

**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 2018 ГОДУ**

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

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

МОСКВА 2019

**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 2018 году. Составители: акад. К.Н.Трубецкой, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2019. – 194 с.**

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2018 году и результаты научно-исследовательских работ в данной области по материалам академических, отраслевых и учебных институтов и других организаций горного профиля Российской Федерации и ряда стран СНГ. Материалы, представленные в Отчете, приведены в редакции организаций, приславших краткие результаты важнейших исследований в области горных наук. Качество печати иллюстраций полностью соответствует качеству представленных оригиналов. Отчет не претендует на полноту изложения научной деятельности учреждений, представивших информацию, его цель – дать представление широкой горной общественности о проводимых в организациях исследованиях.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА</b>	5
<b>II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	12
2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН).....	12
2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР РАН (ИДГ РАН).....	25
2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН).....	34
2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН (ИГД СО РАН).....	41
2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ СО РАН) .....	46
2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В.ЧЕРСКОГО СО РАН (ИГДС СО РАН) ..	54
2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН) .....	60
2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН).....	65
2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УрО РАН. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН) .....	77
2.10. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ КНЦ РАН (Гои КНЦ РАН) .....	84
2.11. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН).....	91
2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕ- РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН) .....	92
2.13. ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И АМУРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА ДВО РАН.....	94
2.14. ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ИНСТИТУТ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ» ....	96
2.15. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА» (ОАО)...	104
2.16. ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ОСУШЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО- ЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЗАЩИТЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ОБВОД- НЕНИЯ, СПЕЦИАЛЬНЫМ ГОРНЫМ РАБОТАМ, ГЕОМЕХАНИКЕ, ГЕОФИЗИКЕ, ГИДРО-ТЕХНИКЕ, ГЕОЛОГИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОМУ ДЕЛУ» (ОАО ВИОГЕМ)....	110
2.17. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» .....	114
2.18. ООО «ИНСТИТУТ ГИПРОНИКЕЛЬ».....	122
2.19. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ НИТУ «МИСиС».....	132

2.20. РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ .....	135
2.21. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ .....	139
2.22. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДФУ) .....	144
2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТулГУ) .....	145
2.24. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ) .....	151
2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И.НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА .....	154
2.26. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ) .....	157
2.27. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ .....	160
2.28. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА» .....	164
2.29. ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. К.И.САТПАЕВА .....	169
2.30. КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ .....	179
2.31. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ .....	186
2.32. РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ .....	192

## І. 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 27 февраля 2018г. № 13000/2-5 и № 13000/1-2 от 19 февраля 2019г. 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, **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, **Мальшев 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, **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, зав. 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» 29 января – 02 февраля 2018г. в г. Москве юбилейного XXVI Научного симпозиума «**Неделя горняка – 2018**». В организационный комитет научного симпозиума «**Неделя горняка – 2018**» 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.Мальшев,* акад. РАН *Н.Н.Мельников,* 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,* канд. техн. наук *А.Г.Красавин.*

С докладами на пленарном заседании научного симпозиума «Неделя горняка – 2018» выступили:

- проф., докт. экон. наук *А.А.Черникова* (ректор НИТУ «МИСиС»). 100-летие университета. От МГА к НИТУ «МИСиС»;
- акад. РАН *Н.Н.Мельников* (научный руководитель Горного института Кольского научного центра РАН). Использование потенциала предприятий оборонного комплекса для развития горнодобывающей промышленности – диверсификация мощностей;
- проф. *Карстен Дребенштедт* (декан факультета наук о Земле, геоинжиниринга и горного дела Фрайбергской горной академии, почетный профессор Горного института НИТУ «МИСиС»). Трансформация горного образования: вчера, сегодня, завтра;
- *Д.В.Илатовский* (директор по логистике, заместитель генерального директора АО «СУЭК»). Развитие транспорта как необходимое условие развития угольной промышленности.
- проф., докт. экон. наук *Г.Л.Краснянский* (член совета директоров Международной угольной ассоциации, научный руководитель Центра стратегического менеджмента и конъюнктуры сырьевых рынков НИТУ «МИСиС», председатель совета директоров ООО «Каракан-Инвест»). 20 лет реструктуризации угольной отрасли России. Итоги.

В рамках программы научного симпозиума 02 февраля 2018 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.

В начале заседания собравшиеся специалисты почтили память ушедшего из жизни в 2017г. члена Научного совета РАН по проблемам горных наук проф., д.т.н. *Н.Г.Матвиенко* минутой молчания.

Председателем Научного совета РАН по проблемам горных наук академиком РАН *К.Н.Трубецким* была дана информация об интервью Президента РАН академика *А.М.Сергеева* о деятельности Научных советов РАН, которое было опубликовано в «Российской газете» в декабре 2017г.

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад докт. техн. наук *В.А.Бобина* (ИПКОН им. академика Н.В.Мельникова РАН) на тему: «*Гироскопические горные машины для извлечения полезных ископаемых на Земле и на Луне*».

В докладе докт. техн. наук *В.А.Бобина* были представлены научные основы нового направления в области создания эффективных горных машин для переработки горных пород на Земле и на Луне.

В основе этого направления лежит новый физический принцип создания усилий истирания за счет гироскопической силы, которая в процессе дезинтеграции геоматериалов заменяет традиционно используемую в современных горных машинах силу тяжести. При этом двухстепенный гироскоп – источник гироскопической силы становится и основным элементом системы автоматического регулирования, обеспечивая устойчивость горной машины при всех режимах ее работы.

Независимость гироскопической силы от ускорения свободного падения обеспечивает гироскопическим горным машинам преимущество по сравнению с существующими горными машинами на космических объектах, где значение силы тяжести меньше, чем на Земле, и в первую очередь – на Луне.

В качестве методологической основы работы используются теоретические и экспериментальные исследования природы нового гироскопического принципа регулирования усилиями истирания рудных полезных ископаемых, опирающиеся на методы механики твердого деформируемого тела, динамики твердого тела и системы тел, а также теорию автоматического регулирования.

В ходе теоретических работ создана математическая модель гироскопической горной машины (ГТМ), описывающая внутренний рабочий процесс ее функционирования с учетом гироскопических сил, обеспечивающих силовое взаимодействие рабочих органов ГТМ, управляемых гироскопами, и измельчаемой горной породой.

Установлены зависимости силового усилия разрушения горных пород, а также производительности ГГМ от ее конструктивных и технологических параметров и физико-механических свойств горных пород.

Экспериментально подтверждены результаты теоретических исследований и установлено, что эффективность работы экспериментального образца ГГМ составила более 306 кг/ч/кВт, а удельная эффективность 62 кг/ч/кВт/т массы установки, что соответственно в 23 и на три порядка величины больше, чем у существующих горных машин аналогичного назначения.

Проведена технико-экономическая оценка использования ГГМ для безударного извлечения алмазов из коренных руд и отвалов обогатительных фабрик и доказано, что ГГМ производительностью 1 т/час и выше рентабельна, а срок окупаемости не превышает 1-го года при содержании алмазов в диапазоне от 0,04 до 0,1 карат/т и выше.

Представлены проект роботизированного 3D-строительства постоянного лунного поселения с использованием ГГМ, как необходимого условия для освоения полезных ископаемых на Луне, а также проект технологии подземного извлечения алмазов за счет применения проходческого комбайна гироскопического типа и 3D-строительного принтера для закладки выработанного пространства пустой кимберлитовой породой и проект технологии одновременной добычи угля и угольного метана, решающей проблему всех опасных динамических явлений в шахтах.

По докладу д.т.н. **В.А.Бобин** были сделаны следующие выводы:

- представлены научные основы нового направления в области создания эффективных, а именно, гироскопических горных машин для переработки горных пород на Земле и Луне;
- обоснован новый физический принцип создания усилий истирания за счет гироскопической силы, которая в процессе дезинтеграции геоматериалов заменяет традиционно используемую в современных горных машинах силу тяжести;
- разработан, сконструирован и испытан в лабораторных условиях не имеющий аналогов в России и за рубежом и защищенный 8-ю патентами РФ действующий образец гироскопической горной машины эффективностью 3-10 кВтч/т в зависимости от крепости горной породы;
- представлены проекты технологии извлечения алмазов из кимберлитовой руды, технологии подземного извлечения алмазов за счет применения проходческого комбайна гироскопического типа и 3D-строительного принтера для закладки выработанного пространства пустой кимберлитовой породой и проект технологии одновременной добычи угля и угольного метана, решающей проблему всех опасных динамических явлений в шахтах, а также проект роботизированного 3D-строительства постоянного лунного поселения с использованием гироскопической горной машины, как необходимого условия для освоения полезных ископаемых на Луне.

По докладу были заданы вопросы акад. РАН *К.Н.Трубецким*, чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплуновым*, чл.-корр. РАН *В.Н.Захаровым*, чл.-корр. НАН РК *С.Ж.Галиевым*.

По докладу выступили акад. РАН *Н.Н.Мельников*, акад. РАН *Л.А.Вайсберг*, чл.-корр. РАН *Л.А.Пучков*, чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплунов*, чл.-корр. РАН *В.Н.Захаров*.

Д.т.н. *В.А.Бобин* поблагодарил всех присутствующих на заседании специалистов и отметил, что получил глубокое удовлетворение от опыта общения с коллегами и полученными рекомендациями по дальнейшей работе по данной проблеме.

На этом же заседании с сообщением на тему «Перспективы цифрового функционирования горных предприятий» выступил академик РАН *Л.А.Вайсберг* (председатель совета директоров АО «Механобр-техника», г. Санкт-Петербург).

Докладчику были заданы вопросы д.ф.-м.н. *В.А.Винниковым*, чл.-корр. РАН *Л.А.Пучковым*, чл.-корр. РАН *В.Н.Захаровым*, чл.-корр. РАН *А.А.Баряхом*, акад. НАН РК *Н.Б.Рыспановым*, чл.-корр. НАН РК *С.Ж.Галиевым*, чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплуновым*.

Докладчиком было отмечено, что обогатительные процессы отличаются закономерностью от горных процессов. Надо выбрать те направления добычи, которые дадут возможность получения искомым результатов.

Председатель Научного совета РАН по проблемам горных наук академик РАН **К.Н.Трубецкой** поблагодарил всех присутствующих на заседании специалистов, а особенно представителей Казахстана, Румынии и Болгарии за активное участие в работе и попросил собравшихся направить в адрес ученого секретаря НС РАН по проблемам горных наук свои предложения о результатах дискуссии на заседании и предложений по выработке решения заседания Научного совета РАН.

Академиком РАН **К.Н.Трубецким** было вынесено предложение об изменении в составе Научного совета. Было предложено ввести в состав Научного совета РАН по проблемам горных наук следующие кандидатуры:

• **Кондратенко А.С.** – канд. техн. наук, директор Института горного дела им. Н.А.Чинакала Сибирского отделения РАН.

• **Косьянов В.А.** – проф., докт. техн. наук, ректор Российского государственного геологоразведочного университета.

• **Краснянский Г. Л.** – проф., докт. экон. наук, заведующий кафедрой мировых сырьевых рынков Международного института энергетической политики и дипломатии МГИМО МИД России, научный руководитель Центра стратегического менеджмента и конъюнктуры сырьевых рынков Горного института НИТУ «МИСиС».

Присутствующие на заседании члены Научного совета РАН по проблемам горных наук единогласно поддержали выдвигаемые кандидатуры по включению их в состав Научного совета.

Федеральное агентство научных организаций, Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Российский фонд фундаментальных исследований, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова, Совет молодых ученых и специалистов 25-29 июня 2018 г. провели в здании ИПКОН РАН 3 конференцию Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого **«Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»**.

Основные направления работы школы:

1. Инженерная геология. Проблемы геомеханики и разрушения горных пород.
2. Совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых.
3. Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр.
4. Экологическая и промышленная безопасность горных работ. Газодинамика и рудничная аэрология.

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

Проведен «Круглый стол» по подготовке «Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов».

Участники конференции решили:

- основные цели и задачи, поставленные организаторами, достигнуты. На пленарных заседаниях и секциях доложены и опубликованы в сборнике научных трудов доклады по актуальным проблемам горных наук и промышленности, связанных с совершенствованием существующих и созданием высокоинтенсивных автоматизированных и роботизированных добычных комплексов для подземного и открытого способов разработки;
- рассмотреть в кругу специалистов возможность формирования условий реализации комплексного освоения недр за счет изменения нормативной и законодательной базы в области недропользования;



- способствовать повышению уровня квалификации специалистов горнодобывающей отрасли за счет внедрения в программы учреждений высшего профессионального, дополнительного профессионального и поствузовского образования информации о современном состоянии горной науки и техники;
- отметить, что предложенные идеи и представленные разработки 3-й конференции Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого в области комплексного освоения и сохранения недр Земли актуальны, востребованы, частично реализованы и являются стратегическими направлениями дальнейшего развития горных наук;
- поддержать приведенный выше перечень фундаментальных и прикладных исследований в целом ряде междисциплинарных научных направлений и задач;
- одобрить целесообразность проведения совещания членов Международной научной школы в форме конференций для обсуждения текущих результатов и перспектив развития горной науки;
- одобрить опыт проведения тематических Круглых столов в рамках работы конференции как эффективный инструмент решения ряда задач горных наук;
- считать важнейшей задачей научной конференции поддержку и воспитание молодых научных сотрудников при выполнении научно-исследовательских работ по проблемам рационального и комплексного освоения и сохранения недр Земли;
- рассмотреть возможность разработки совместных проектов с научными, учебными и производственными учреждениями горного профиля России и стран ближнего зарубежья;
- рассмотреть оргкомитету возможность включать в сборник трудов конференции проект решения по очередной проводимой конференции;
- планировать подготовку и проведение 4-й конференции Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» в июне 2020года;
- просить редакции «Горного журнала», «Маркшейдерского вестника», «Маркшейдерии и недропользования» об опубликовании отчетных материалов о проведении 3-й конференции Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого на страницах указанных изданий.

Материалы школы были опубликованы в виде сборника докладов до начала ее проведения.

Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, АО «СУЭК-Кузбасс» организовали и провели Международную научно-практическую конференцию «Подземная угледобыча XXI век» в г. Ленинск-Кузнецке 10-14 сентября 2018 г.

Тематические секции конференции:

- Технология подземной разработки месторождений.
- Горные машины и энергетика.
- Аэрология и дегазация.
- Промышленная безопасность и охрана труда.
- Экологическая безопасность.

В работе научно-практической конференции приняли участие специалисты в области подземной угледобычи из академических, учебных и отраслевых институтов, угледобывающих предприятий.

В процессе работы конференции были проведены «Круглые столы» по вопросам:

- технологии подземной разработки месторождений;
- проветриванию и дегазации;
- подготовки трудовых ресурсов.

По окончании работы конференции была организована экскурсия по производственным объектам АО «СУЭК-Кузбасс».

Министерство науки и высшего образования РФ, Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Научный совет РАН по проблемам горных наук, НП «Технологическая платформа твердых полезных ископаемых», Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН организовали проведение Всероссийской научно-практической конференции **«Научные основы безопасности горных работ»**.

Конференция проводилась 22-23 ноября 2018 г. в здании Президиума Российской академии наук.

Основные направления работы конференции:

- Безопасность ведения горных работ на шахтах и рудниках. Мониторинг и прогноз техногенных процессов в массиве горных пород (перераспределение горного давления, загазованность горных выработок, вспышки метана, образование взрывоопасных отложений пыли).
- Геомеханические процессы в массиве горных пород и их особенности в современных сложных горно-геологических условиях с учетом гидрогеологического и геохимического факторов.
- Физико-технологические проблемы разрушения горного массива при ведении взрывных работ на глубоких карьерах и рудниках.
- Устойчивость бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов в современных условиях применения развивающихся инновационных технологий.
- Экологическая безопасность разработки месторождений минерального сырья и ухудшение среды обитания человека в зонах интенсивных горных работ.

Конференция была проведена в рамках реализации Комплексного плана научных исследований «Безопасность горных работ».

В рамках проведения Всероссийской научно-практической конференции **«Научные основы безопасности горных работ»** было проведено заседание Научного совета РАН по проблемам горных наук, на котором был заслушан совместный доклад членов-корреспондентов РАН В.Н.Захарова и А.А.Баряха «Безопасность горных работ при разработке угольных, рудных и нерудных месторождений подземным и открытым способами; мониторинг и прогноз техногенных процессов в массиве горных пород; геомеханические, экологические проблемы».

На заседании присутствовало 40 специалистов в области разработки полезных ископаемых, в том числе 10 членов Научного совета РАН по проблемам горных наук.

Председательствующий на заседании зам. председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук чл.-корр. РАН Д.Р.Каплунов отметил, что согласно Указу Президента РФ от 06.05.2018 г. № 198 вопросам промышленной безопасности уделяется большое внимание. Было отмечено, что при решении и экспертизе многих вопросов, решаемых РАН, большое внимание отводится Научным советам РАН, о чем неоднократно говорил Президент РАН академик А.М.Сергеев. Поэтому на решения и рекомендации Научных советов РАН возлагаются большие надежды.

В дополнение к докладам чл.-корр. РАН В.Н.Захарова и А.А.Баряха выступили докт.техн.наук С.В.Корнилов (директор Института горного дела УрО РАН), докт.техн.наук С.В.Лукичев (директор Горного института КНЦ РАН), чл.-корр. РАН В.И.Клишин (директор Федерального исследовательского центра угля и углехимии РАН), проф., докт.техн.наук А.А.Еременко (зам. директора Института горного дела СО РАН им. Н.А.Чинакала), докт.физ.-мат. наук С.Б.Турунтаев (директор Института динамики геосфер РАН).

По окончании заседания Научного совета РАН по проблемам горных наук собравшимся на заседании специалистам было предложено в тезисной форме переслать свои замечания и предложения по рассматриваемому вопросу в адрес Научного совета РАН с их дальнейшим анализом и выработкой окончательного решения.

По данному вопросу повестки заседания Научного совета РАН по проблемам горных наук было получено предложение от члена НС РАН по проблемам горных наук чл.-корр. РАН Г.И.Грицко о внесении предложений в решение заседания.

В целях укрепления научного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов в 2017 году 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 2017 году***, в который были включены краткие результаты научно-исследовательских работ 13-ти НИИ РАН, 4-х отраслевых институтов, 9-ти вузов горно-геологического профиля России и 5-ти институтов и университетов СНГ (Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Республика Беларусь). Отчеты были разосланы в 2018 г. почтой во все организации горного профиля, предоставивших краткие результаты своих научно-исследовательских работ, проведенных в 2017 году.

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Сведения о результатах фундаментальных научных исследований в 2018 году по направлениям исследований в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы

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

**0138-2014-0001, 0138-2014-0014, 0138-2019-0001, номер гос. регистрации: 01201354608) Выполнение фундаментальных научных исследований по теме (проекту) «Разработка научно-методических основ устойчивого развития горнотехнических систем на базе установления закономерностей взаимодействия природных и инновационных технологических процессов в условиях интенсивного комплексного освоения недр Земли»**

**Цель исследования:** Изучение природно-техногенных и технологических процессов в горнотехнических системах при комплексном освоении месторождений многокомпонентных руд, разработка теоретических основ, моделей развития и управления сложными динамическими системами, функционирующими при повышенных техногенных рисках и неопределенности исходной информации. Разработка методологии комплексного освоения недр Земли с полным сохранением природно-ресурсного потенциала России.

**Ожидаемый результат** – теоретические и методологические основы построения моделей развития и управления горнотехническими системами, принципы и научно-методические основы проектирования горнотехнических систем экологически сбалансированного освоения месторождений многокомпонентных руд, минимизирующие техногенные риски и реализующие технологические процессы извлечения полезных ископаемых из литосферы в зонах ведения горных работ.

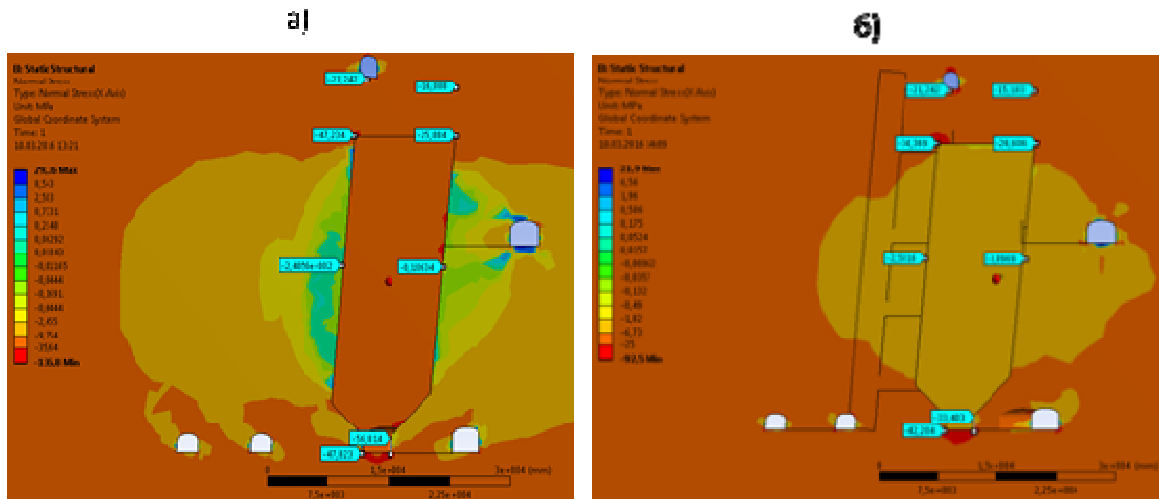
**Основные направления исследований:**

Теоретические основы проектирования устойчивого развития горнотехнических систем с полным циклом комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд; развитие научных основ взаимодействия природных и технических систем в районах интенсивного и масштабного комплексного освоения недр; развитие методологии управления рациональным, комплексным и безопасным освоением и сохранением георесурсов.

**Достигнутые результаты:**

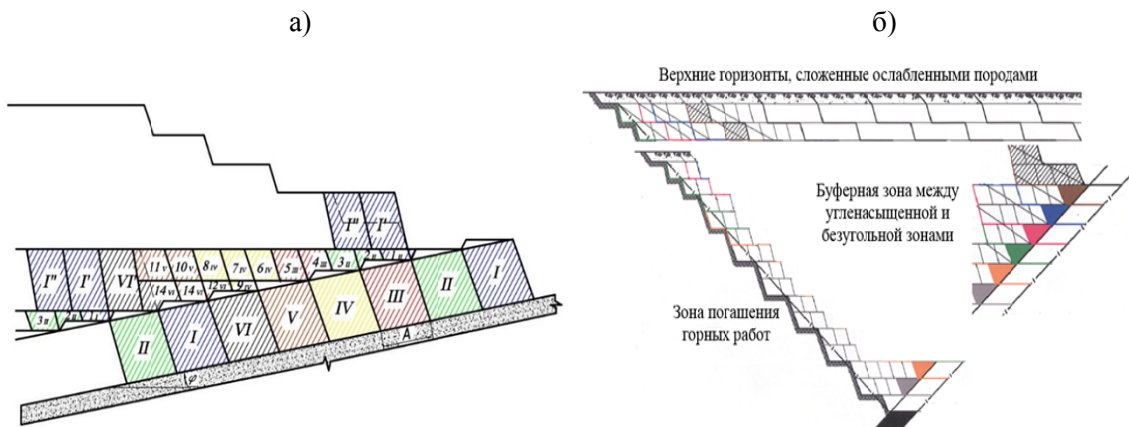
1. Установлено закономерное изменение минерально-сырьевой базы в сторону возрастающего вовлечения в эксплуатацию металлосодержащих вмещающих пород и рудных образований, заключенных в техногенных массивах, в связи с этим параметры технического оснащения рудников для их устойчивого развития должны быть изменены соответственно масштабам взаимосвязанных процессов добычи и многофункционального использования выработанного пространства недр, а также рационального внутрирудничного распределения минерально-сырьевых потоков по процессам комбинированной геотехнологии.

2. Доказано, что принципам перехода на крупномасштабные технологии добычи руд на жильных золоторудных месторождениях отвечают геотехнологические решения по применению этажно-камерной системы разработки с камерами увеличенной ширины и валовой выемкой жил и минерализованных зон при восходящем порядке отработки глубоких горизонтов месторождений с закладкой при изменении логистической схемы подземного рудника с переходом на самоходное оборудование, работающее в безопасном автономном режиме, и циклично-поточную технологию (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Результаты исследований напряженно-деформированного состояния массива при переходе на крупномасштабные технологии добычи руд на жильных золоторудных месторождениях: а) в период крупномасштабной выемки; б) после закладки камер пастовой закладкой**

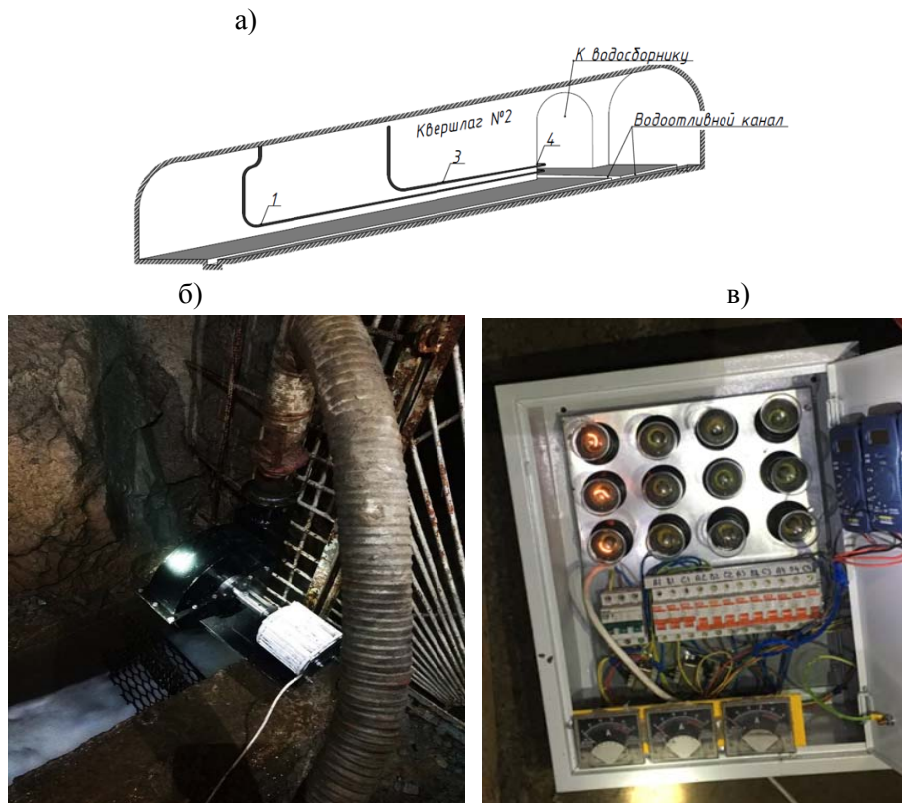
3. Дано развитие теоретических основ проектирования комбинированной открыто-подземной разработки пластовых месторождений, обеспечивающего значительное увеличение глубины карьера (разреза) за счет перехода на высокие вскрышные уступы в период максимального развития открытых горных работ при равенстве текущего коэффициента вскрыши граничному (рисунок 2).



**Переходная зона от открытых горных работ к подземным**

**Рисунок 2 – Условия применения и этапы перехода на комбинированную открыто-подземную разработку пластовых месторождений в условиях значительного увеличения глубины карьера: а) – порядок вскрышных работ при ведении горных работ в карьере высокими уступами; б) – зоны, ограничивающие область применения высоких вскрышных уступов по фактору последующей подземной отработки месторождения**

4. Установлена практическая возможность и выявлены условия воспроизводства электроэнергии от техногенных источников на гидроэлектростанциях малой мощности до 30 кВт. Уточнена методика определения воспроизводимой мощности и выбора ГЭУ малой мощности в зависимости от схемы водоотлива, физико-механических характеристик гидросмеси и типа гидротурбин (рисунок 3).



**Рисунок 3 –** *Натурные испытания технологии воспроизводства электроэнергии от потоков рудничных вод в подземном руднике «Центральный» (Кочкарское месторождение): а) – схема расположения перепускных трубопроводов (поз.1 и 3) в борту выработки гор.700 (поз.2); 4 – место установки гидротурбины; б) – смонтированная на трубопроводе скважины №3 гидротурбина; в) – нагрузочно-измерительный стенд экспериментальной установки*

5. Выявлены основные направления развития геотехнологий подземной разработки месторождений на больших глубинах с выделением опасных зон возможного разрушения массива, обусловленного как природными, так и техногенными факторами, которые влияют на устойчивость горных конструкций и определяют в целом выбор систем разработки залежей, обеспечивающих безопасность и эффективность ведения горных работ.

Установлено, что выбор геотехнологий освоения месторождений на больших глубинах связан с риск-ориентированным подходом, позволяющим учесть формирование опасных зон и обеспечить рациональное комплексное использование георесурсов.

6. Для условий эксплуатации кимберлитовых месторождений на больших глубинах при переходе от открытых к подземным работам и применении технологий с закладкой выработанного пространства, установлены параметры опасных зон, в которых отработка запасов должна осуществляться по специальным проектам с применением методов предварительного приведения массива в безопасное состояние, включая использование каркасных технологий и постоянный контроль состояния массива – гидромеханический мониторинг.

7. Разработана программа исследований напряженно-деформированного состояния массива на различных стадиях отработки опасных зон с использованием программного комплекса ANSYS, позволяющая моделировать последовательное изменение напряжений и деформаций массива при формировании этих зон и при их отработке, оценить устойчивость горных конструкций, и на основе этого выбрать рациональные технологии отработки запасов.

8. Разработаны основные положения методики расчета параметров «динамической» крепи подземных горных выработок, пройденных на больших глубинах в рудах, склонных к горным ударам. Показано, что при разработке удароопасных месторождений крепь выработок должна выбираться, исходя из возможностей поглощать сейсмическую энергию, выделяющуюся при горных ударах, с коэффициентом запаса прочности не менее 2.

Разработана методика численного моделирования в программных комплексах Map 3D и Rocscience (модули DipsRocdata и Unwedge), позволяющая определять для сложных условий больших глубин, удароопасности массива, повышенной трещиноватости и водообильности пород способы и параметры крепления горных выработок, обеспечивающие устойчивость горных конструкций и безопасность ведения горных работ.

9. Разработана методика и определены инновационные возможности совершенствования технологических параметров работы базовых элементов комплексов циклично-поточной технологии (ЦПТ) при разработке твердых полезных ископаемых на больших глубинах открытым способом. Определены параметры дробильно-перегрузочных пунктов и режимы работы комплексов ЦПТ применительно к заданным исходным данным.

Рассмотрены варианты транспортирования конвейерами комплекса ЦПТ одного, двух и трех видов горной массы при различных сочетаниях их по объемам. Определены требуемые вместимости накопительных емкостей и режимы работы комплекса ЦПТ, включая варианты по усреднению различных сортов полезного ископаемого, основанные на физической модели высокоинтенсивной взрывной подготовки горного массива при использовании энерго- и ресурсосберегающей геотехнологии отработки месторождений твердых полезных ископаемых на больших глубинах.

10. Для очистки горнопромышленных вод до концентрации тяжелых металлов ниже ПДК рыбохозяйственного назначения и/или требований водопользователя разработана программа комплекса комбинирования технологических процессов с учетом специфики каждого источника металлоносных вод при функционале минимума затрат. Программа свободно расширяется методами очистки и смешения, а также извлекаемыми металлами (рисунок 4).

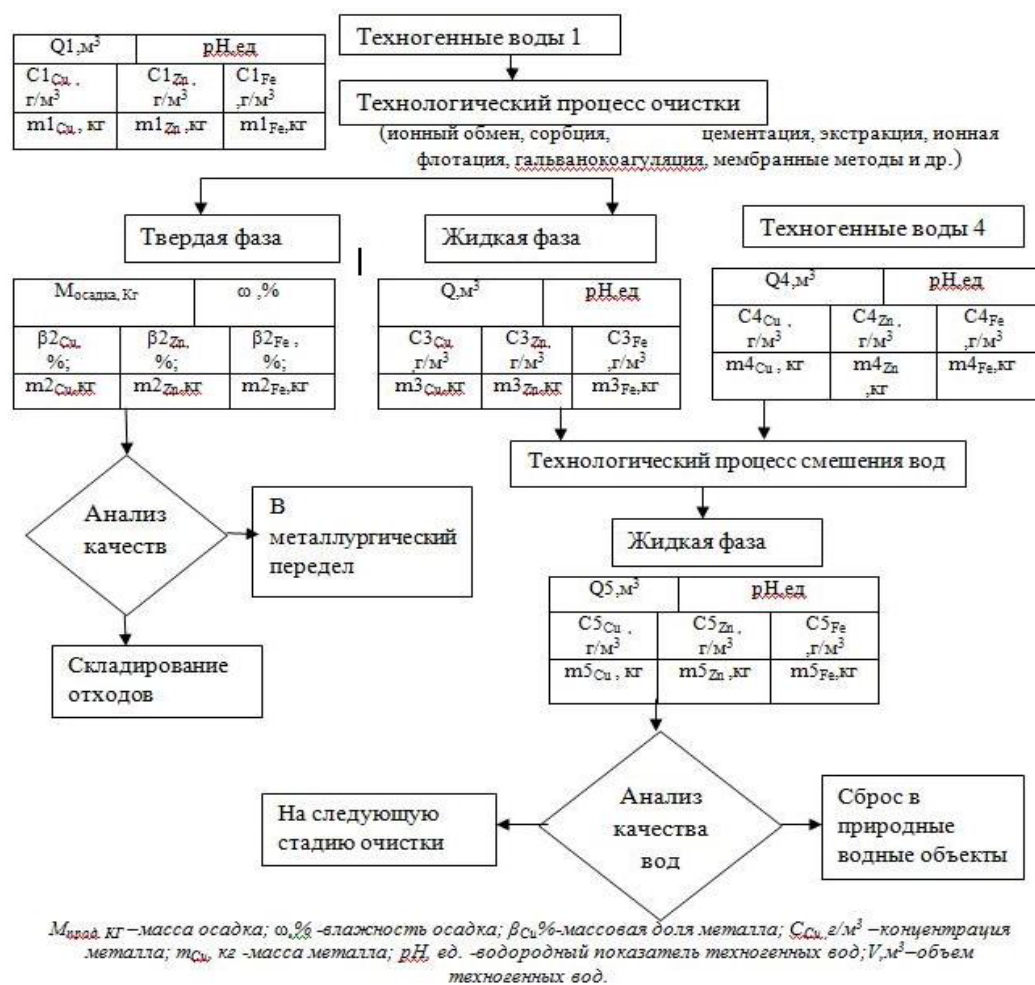


Рисунок 4

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

На основе выдвинутой и разработанной гипотезы о возможности количественной оценки экологической опасности техногенных новообразований при хранении и захоронении твёрдых отходов горного производства, через динамику изменения состояния эдификаторной синузии растительного сообщества классифицированы и табулированы источники экологической опасности при размещении твёрдых отходов горного производства в геосферах Земли.

В зависимости от режима размещения этих отходов (хранение и захоронение), определено понятие показателя их экологической опасности и установлено, что он представляет собой интегральное единство аналогичных показателей для каждого из элементов в составе техногенного фактора, которые определяются по различным методикам в рамках единого методологического подхода (рисунки 5 и 6).



Принципиальная схема формирования экологической опасности крупнодисперсных твердых отходов и характера природоохранных мероприятий

$$P_{rp} = \frac{B_3 - B'_3}{B_3}$$

где:  $B_3$  и  $B'_3$  - соответственно, исходная и фактическая биопродуктивность эдификационной синузии

Показатель экологической опасности для фактора в целом

$$P_{то} = \frac{P_{пп} \cdot \eta_{пп} + P_{rp} \cdot \eta_{rp}}{\eta_{пп} + \eta_{rp}}, \text{ ед. } P_{то}$$

где:  $P_{пп}$  и  $P_{rp}$  - соответственно показатель экологической опасности породных отвалов и рудничной пыли в атмосфере, ед.;  $\eta_{пп}$  и  $\eta_{rp}$  - соответственно доля пустых пород и рудничной пыли в общем объеме твердых отходов, ед.

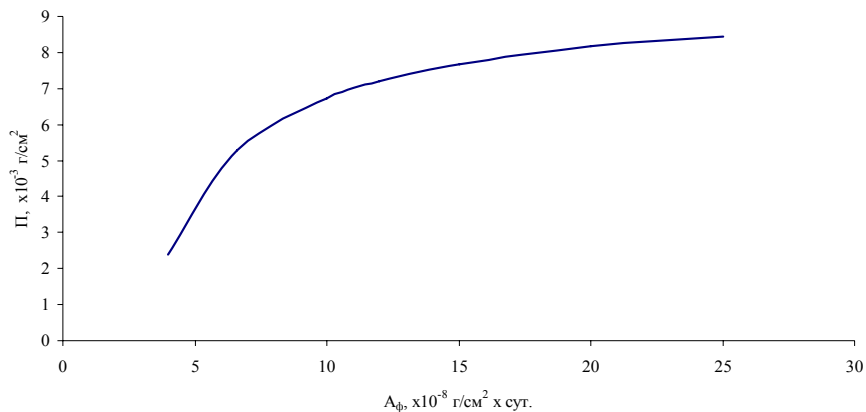
$$P_{пп} = \frac{n_3 - S_{эд} \cdot n'_{эд}}{S_{от} + S_{эд}}, \text{ ед.}$$

где:  $n_3$  и  $n'_{эд}$  - соответственно, суммарная плотность популяции видов-эдификаторов фитоценоза исходной биоты и биоты в зоне техногенного поражения, ед.;  $S_{от}$  и  $S_{эд}$  соответственно площадь занимаемая отвалом и динамическим экотопом.



**Рисунок 5 – Принципиальная схема движения тонкодисперсных тонких отходов горного производства (техногенной пыли)**





**Рисунок 6 – Зависимость предельно допустимого количества пыли (П) по условиям снижения фотосинтеза от продуктивности загрязняемого фитоценоза (Аф)**

**(0138-2014-0002, 0138-2014-0015, 0138-2019-0002, номер гос. регистрации: 01201374315) Выполнение фундаментальных научных исследований по теме (проекту) «Развитие теории комплексного извлечения ценных компонентов и глубокой переработки труднообогатимых руд и нетрадиционного минерального сырья»**

#### ***Основные направления исследований***

Развитие теории взаимодействия селективных реагентов с минералами благородных металлов и разработка технологических процессов извлечения ценных компонентов из комплексных руд и нетрадиционного минерального сырья; научное обоснование структурных, физико-химических и технологических свойств минералов в процессах комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы и водные суспензии; экологически безопасные методы обесшламливания и извлечения ценных компонентов из техногенных вод; научное обоснование процессов извлечения благородных и цветных металлов из тонкодисперсного нетрадиционного минерального сырья; разработка методик изучения влияния элементного и фазового состава геоматериалов, морфологических особенностей их поверхности на характер сорбции флотационных реагентов.

#### ***Достигнутые результаты***

1. На основе комплекса современных физико-химических и физических методов исследования вскрыт механизм интенсификации химико-электрохимического выщелачивания золота из упорного минерального сырья при ультразвуковых воздействиях, заключающийся в очистке поверхности минеральных частиц от окисленных пленок (продуктов растворения концентратов), образовании сколов, трещин, микропор и других дефектов, увеличении скорости протекания химических реакций (окисления) за счет интенсивного диспергирования минеральной суспензии и возникающих в обрабатываемой среде вторичных эффектов (кавитации, пульсации, микро- и макропотоков), что обеспечивает повышение уровня извлечения золота в продуктивный раствор на 16 – 20,5% (рисунок 7).

Проведено сравнение депрессирующего действия на флотоактивные силикаты природных полисахаридов (карбоксиметилцеллюлозы и кукурузного декстрина) и синтетического полимера Акремон Д-13 (сополимер акриловой и малеиновой кислот) при флотации малосульфидной платинометалльной медно-никелевой руды Мончегорского плутона, содержащей тальк, комбинацией (1:1) бутилового ксантогената и Aerophine 3416. Наиболее эффективным из испытанных депрессоров является Depramin 347, который в большей степени снижает выход сульфидного концентрата и извлечение в него кремния (табл.), что позволяет снизить количество продукта, направляемого на дальнейшую металлургическую переработку. Наибольшая селективность Depramin 347 по сравнению с декстрином и Акремон Д-13 подтверждается расчетами коэффициентов разделения серы от кремния по Коэну (рисунок 8).

Таблица 1

Депрессор (расход 400 г/т)	Выход концентрата, %	Извлечение Si в концентрат	Потери с хвостами, %	
			Ni	S
Дергамин 347	45	26	23	13
Декстрин	49	50	35	16
Акремон Д-13	60	55	22	8

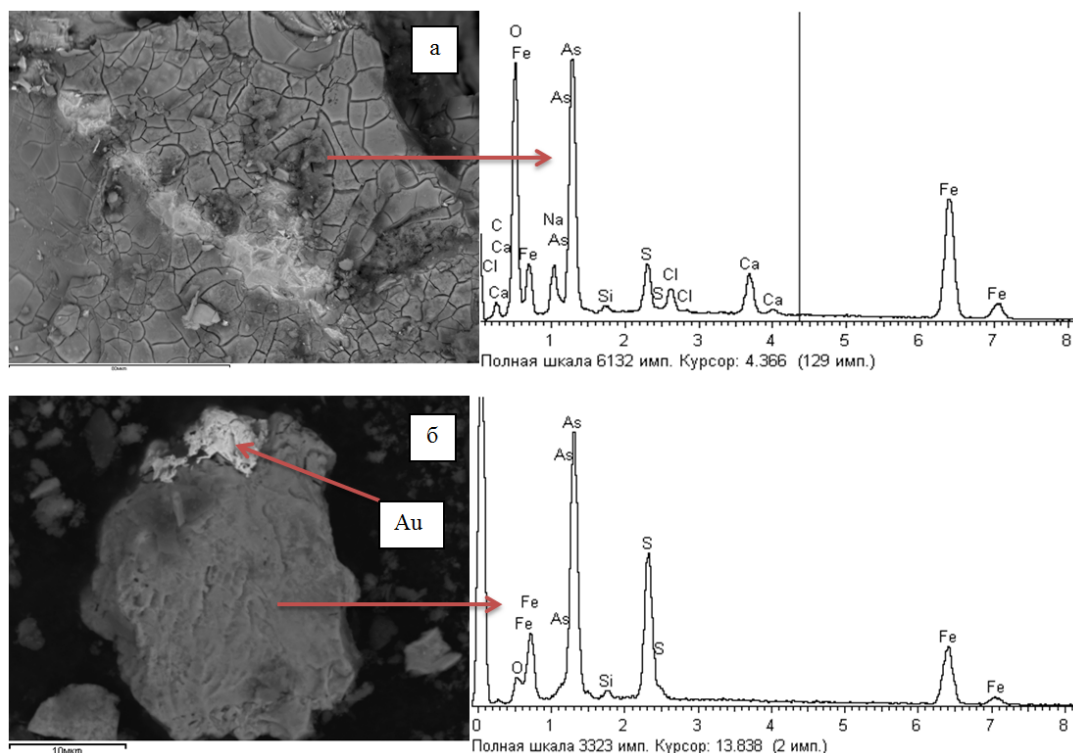


Рисунок 7 – Микрофотографии и рентгеновские спектры поверхности концентрата после химико-электрохимического выщелачивания (без ультразвука (а), с ультразвуком (б))

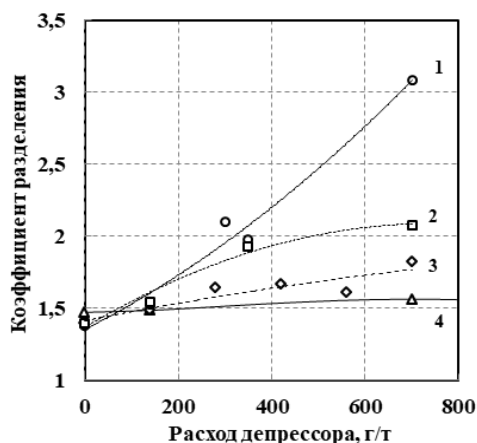
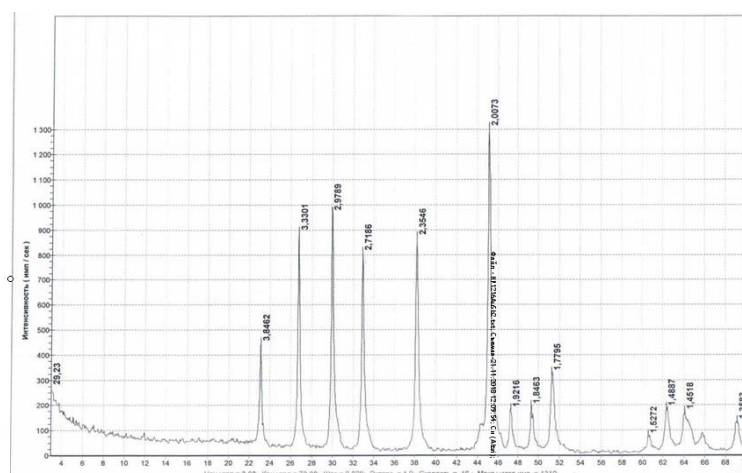


Рисунок 8 – Коэффициент разделения S от Si в зависимости от расхода депрессора: 1 – Дергамин 347, 2 – Дергамин 267, 3 – декстрин, 4 – Акремон Д-13

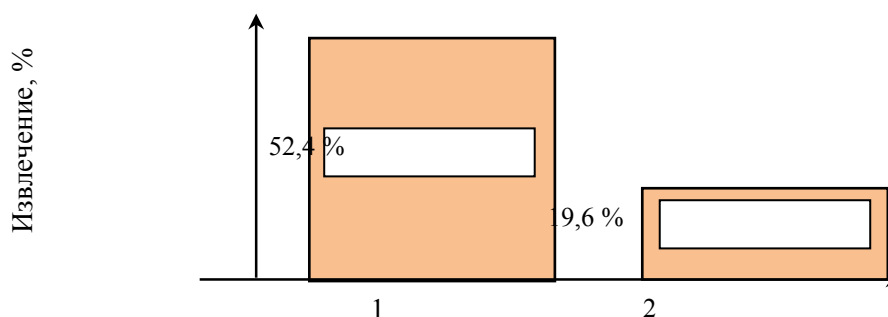
Для повышения флотационного извлечения золота из золотосурьмяных руд, за счет доизвлечения тонкодисперсного теряемого с хвостами аурустибита  $AuSb_2$ , необходимо углубленное изучение физико-химических свойств этого минерала, образцы которого невозможно выделить из руд. Исследовательским Центром АО «Полюс», г. Красноярск и ИПКОН РАН предложен метод синтеза минерала аурустибита, идентичного природному, с целью использования

синтетического образца для определения флотационных свойств минерала на частицах заданной крупности. Исследования рентгенодифракционным методом подтвердили стехиометричность синтетического аурустибита, т.е. его соответствие природному (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Рентгенограмма (дифракционный спектр) AuSb<sub>2</sub>**

Исследования на синтетическом образце позволили определить условия эффективного извлечения частица урустибита микронного размера из руды. Результаты измерений краевого угла смачивания (~ 87°) и силы отрыва частицы от пузырька (0,4 мН) свидетельствуют о достаточной гидрофобности аурустибита, микронные частицы которого можно извлечь из руд флотацией лишь с использованием тонкодисперсных пузырьков. Флотация минерала в трубке Халлимонта подтвердила возможность эффективного извлечения аурустибита из руд. При этом с диэтилдитиокарбаматом достигнуто большее извлечение, чем с бутиловым ксантогенатом (рисунок 10).



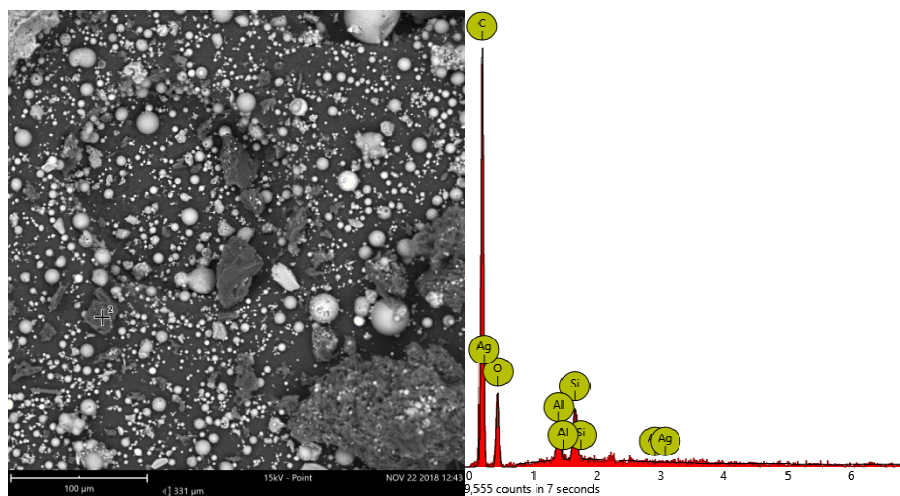
**Рис. 10 – Флотация аурустибита:  
1 – диэтилдитиокарбамат 2 – бутиловый ксантогенат**

В целях повышения эффективности переработки золошлаковых отходов Каширской ГРЭС разработана схема их предварительного обогащения, которая позволяет выделить дополнительные продукты – магнитный железный концентрат и флотационный углеродный концентрат, а также повысить извлечение при последующем выщелачивании редких элементов из отходов. В исходных золошлаковых отходах содержится порядка 11,55% связанного углерода, около половины которого сосредоточено в классе крупности -200+71 мкм.

На первой стадии получен магнитный концентрат с содержанием железа 21,5%, 1,9% титана, 0,39% марганца, при этом содержание алюминия составило 8%, кремния 13%. Из хвостов магнитной сепарации, содержащей 10,9% углерода флотацией получен углеродный концентрат с выходом 7% и содержанием углерода около 60%. Камерный продукт флотации был подвергнут механохимической активации и последующему двустадийному выщелачиванию, что по-

зволило получить раствор, содержащий 0,6 мг/л Ce, 0,3 мг/л La, 0,3 мг/л Nd, 0,3 мг/л Ga, 0,3 смг/л Y, 0,1 мг/л Sc. Кек, являющийся алюмосиликатным продуктом, может быть использован в строительной отрасли.

Электронно-микроскопическими исследованиями установлено наличие примесей благородных металлов – оксида серебра – на пористых частицах недожога угля (рисунок 11, спектр частицы №2).



**Рисунок 11 – СЭМ-исследование фрагмента образца хвостов магнитной сепарации, содержащей недожог, на PhenomPro X (Мелитэк). Ускоряющее напряжение 15 кВ, детектор BSD Full**

**136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий(0138-2014-0003, 0138-2014-0016, 0138-2019-0003, номер гос. регистрации: 01201354607) Выполнение фундаментальных научных исследований по теме (проекту) «Развитие теории разрушения горного массива и геомеханического обоснования инновационных технологий ведения горных работ на глубоких карьерах и рудниках при комплексном освоении недр»**

***Основные направления исследований:***

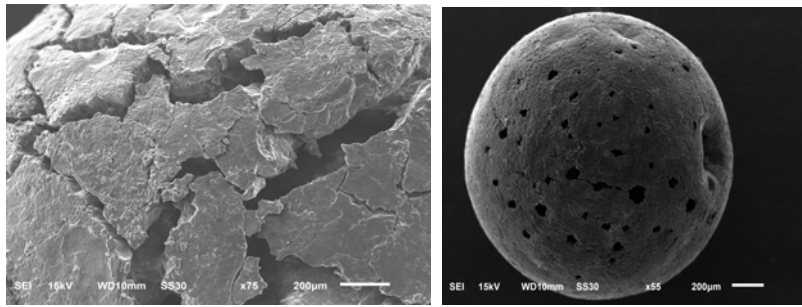
Развитие теории взрывного разрушения горного массива и геомеханическое обоснование ведения горных работ на различных масштабных уровнях; исследование геомеханических и гидрогеологических условий нарушения миграции подземных вод под воздействием техногенных факторов при комплексном освоении недр.

***Достигнутые результаты:***

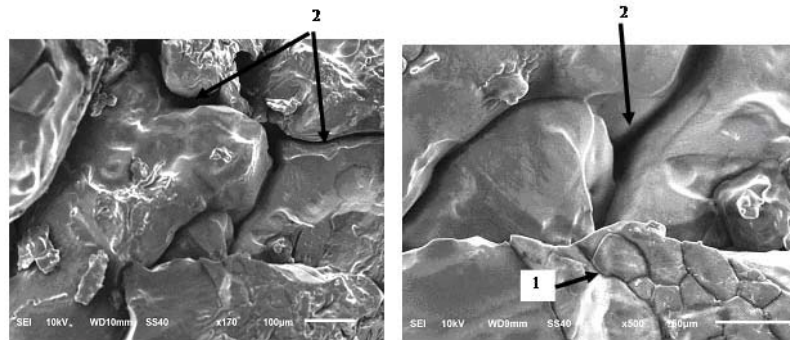
1. Научно обоснованы инновационные технологии производства и применения энергоемких взрывчатых материалов для повышения безопасности и эффективности горных работ.

Одним из важнейших направлений повышения экологической безопасности и эффективности производства взрывных работ на горных предприятиях является решение вопросов комплексного использования продуктов утилизации отходов горного производства, в том числе резинотехнических изделий (автошин и т.п.). Как показали проводимые в ИПКОН РАН исследования, использование таких изделий для производства компонента взрывчатых составов позволяет существенно повысить эффективность гранулированных промышленных взрывчатых веществ расширением возможностей управления кинетикой, полнотой взрывчатого превращения и скоростью детонации.

На этой основе формируется научно обоснованная программа модернизации смесительно-зарядных машин с возможностями управления взрывчатыми характеристиками промышленных взрывчатых веществ, адаптированных к инновационным технологиям автоматизации процессов горного производства (рисунки 12 и 13).



**Рисунок 12 – Фрагменты поверхности гладкой аммиачной селитры ГОСТ 2-2013 (А) и (Б) пористой АС производства ПАО Акрон, полученные методом СЭМ в ИПКОН РАН после обработки эмульсией и образования открытой пористости.**

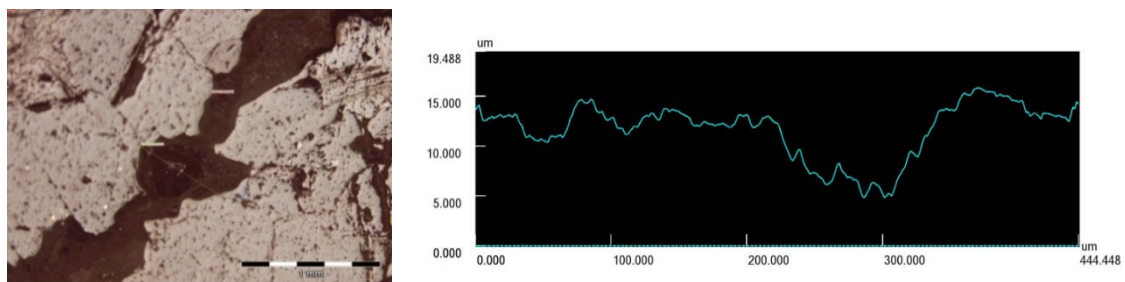


**Рисунок 13 – Фотографии внутренней структуры гранул гладкой аммиачной селитры, полученные методом СЭМ в ИПКОН РАН при различном увеличении. 1 – ненарушенные границы зерен, 2 – области разрушения поликристаллической структуры по границам зерен**

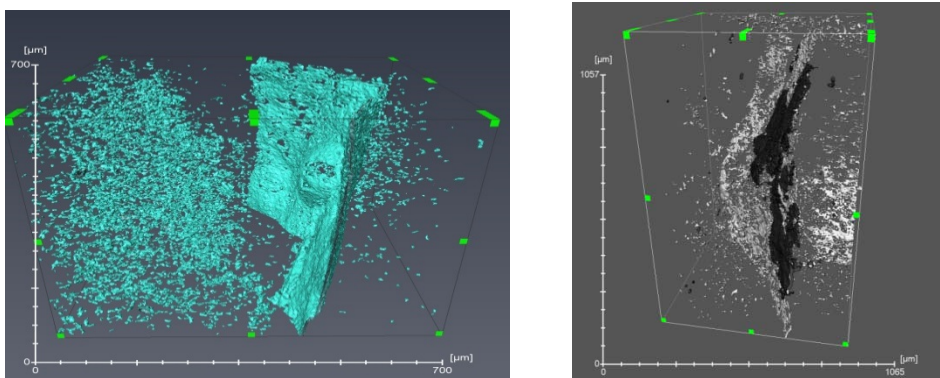
Патент №2663037, Патент №2666426 «Состав взрывчатой смеси» от 07.09.2018 г. Авторы: Викторов С.Д., Захаров В.Н., Вартанов А.З., Закалинский В.М., Ефремовцев Н.Н., Франтов А.Е., Лапиков И.Н., Симонов А.В., Антюфеев В.А.

2. Результаты микро- и нанодиагностики структурных и физических свойств горных пород применительно к процессам динамического разрушения.

С помощью современных методов физического эксперимента оптической, лазерной сканирующей конфокальной и электронной микроскопии выполнено изучения элементов структуры и ее эволюции в условиях динамического воздействия (рисунок 14). Впервые получены изображения дефектов на разных масштабных уровнях в 3D формате и определены их параметры (рисунок 15). Для оценки механических свойств и структурной неоднородности образцов применялся метод микро- и наноиндентирования, позволяющий определять модуль Юнга и твердость на различных масштабных уровнях, а также вязкость разрушения  $K_c$  отдельных минеральных компонентов. Можно отметить довольно низкую вязкость разрушения отдельных кварцевых зерен  $K_c = 0,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ .



**Рисунок 14 – Фрагмент трещины в граните по данным оптической микроскопии(а) и ее ширина по данным лазерной конфокальной микроскопии (б) после динамического воздействия**



**Рисунок 15. Распределение пористости (а) и вид микродефекта (б) по данным рентгеновской компьютерной микротомографии**

Применения новых экспериментальных методов и методик применительно к исследованию структурных и физических свойств горных пород в условиях динамического воздействия отличается новизной, как и результаты, что подтверждается приглашением авторов на престижные международные конференции по физике прочности и механики трещин. Результаты исследований, в том числе связанных с трехмерной визуализацией макро- и микродефектов, создают предпосылки для развития теоретических моделей в области физики прочности для прогнозирования и управления процессами деформирования и разрушения материалов. Применительно к горным породам надежная аттестация их структурных и прочностных характеристик является необходимым инструментом для максимально безопасного и эффективного освоения недр, например, при строительстве подземных сооружений или ведении горных работ, в том числе с целью предупреждения катастрофического разрушения в виде горных ударов и других опасных динамических явлений

При решении вопросов технологического дробления горных пород взрывом, волну напряжений необходимо описывать только как величину тензорную, в которой сжимающие и растягивающие главные составляющие тензора напряжений присутствуют совместно в любой временной и пространственной фазе волны, в любой точке массива.

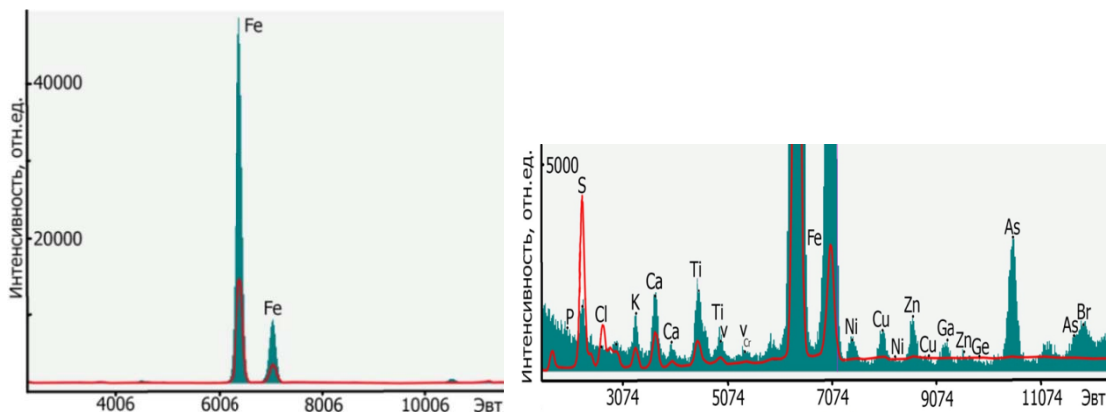
**132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья (0138-2014-0020, 0138-2019-0004) Выполнение фундаментальных научных исследований по теме (проекту) «Развитие теории многофазных гео- и газодинамических процессов в техногенно изменяемом газонасыщенном углепородном массиве»**

#### ***Основные направления исследований***

Научное обоснование влияния особенностей структуры и вещественного состава углепородного массива на газоносность и термодинамические условия газокинетических процессов при ведении горных работ; моделирование и анализ процессов газовыделения, дегазации угля и газоносных пород, с учетом структуры газового баланса шахты и изменения проницаемости углепородного массива при техногенном воздействии; развитие научных основ устойчивого функционирования технологических процессов добычи угля подземным способом.

#### ***Достигнутые результаты***

1. На основе современного комплекса физических спектроскопических методов установлено существенное отличие элементного состава углей из невыбросоопасных и выбросоопасных зон (выброшенного угля) Кузнецкого и Донецкого бассейнов. Угли из выбросов содержат в 2-3 раза больше железосодержащих соединений, чем угли из невыбросоопасных зон, отличаются наличием других элементов: титана, никеля, меди, цинка, мышьяка, а также галлием и германием (рисунок 16б), которые отсутствуют в угле из невыбросоопасной зоны. В пробах из невыбросоопасной зоны отмечается также повышенное, по сравнению с выбросоопасной зоной, содержание серы.

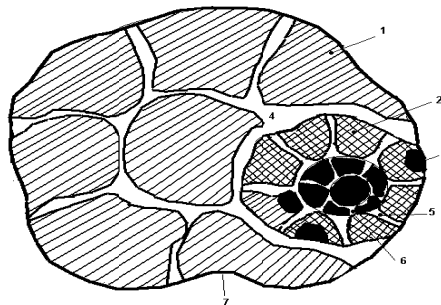


**Рисунок 16 – Спектры углей из невыбросоопасной зоны (красная линия) и из выброса (сплошной зеленый фон) (а); спектры тех же углей, увеличенные в несколько раз (б)**

На рисунке 16 приведены результаты исследований элементного состава угля шахты Комсомолец Донбасса, выполненных на рентгенофлуоресцентном спектрометре Olympus XRF. Полученные результаты являются основой для разработки новых методов прогнозирования выбросоопасных зон угольных пластов.

2. Установлено, что для макроструктурных образований угольного вещества параметры кинетики и термокинетики сорбции метана на природных углях практически равны, причем значения дифференциальных теплот сорбции для каждого типа макроструктурных образований в угольном веществе являются постоянной величиной и составляют для суперсорбционных частиц первого типа величину порядка 13,1-14,5 кДж/моль, второго типа – 19,9-24 кДж/моль и третьего типа – 27,3-32,3 кДж/моль в ряду значений  $\Delta p = 10-31$  (рисунок 17, таблица 2).

**Рисунок 17 – Типы макроструктурных образований в угле**  
 1 – фильтрационно-сорбционная частица (ФСЧ);  
 2 – суперсорбционная частица на поверхности ФСЧ (тип 2),  
 3 – суперсорбционные частицы на поверхности частицы угля (тип 3); 4 – фильтрационные;  
 5 – переходные и 6 – суперсорбционные частицы в объеме ФСЧ (тип 1); 7 – частица угля



**Таблица 2**  
**Дифференциальные теплоты сорбции метана на различных макроструктурных образованиях природного угля**

Тип макроструктурного образования	Дифференциальные теплоты сорбции для образцов углей, кДж/моль			Средняя теплота сорбции по типу макроструктуры кДж/моль
	N1( $\Delta p=10$ )	N2( $\Delta p=17$ )	N3( $\Delta p=31$ )	
Суперсорбционные частицы в объеме ФСЧ (тип 1)	13,1	14,1	17,5	14,9
Суперсорбционные частицы на поверхности ФСЧ (тип 2)	21,5	19,9	24	21,8
Суперсорбционные частицы на поверхности частиц угля (тип 3)	27,3	32,3	30,1	29,9
	Средняя теплота сорбции угля по значению $\Delta p$ , кДж/моль			
	20,8	22,1	23,1	

- Разработана методика расчета кинетических термодинамических параметров процесса десорбции по экспериментальным данным с учетом макроструктуры природного угля.

- Установлена прямо пропорциональная зависимость значений теплоты сорбции метана на природных углях от значений показателя выбросоопасности углей  $\Delta p$ .

- Рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование проницаемости угольных пластов в условиях естественного залегания при изменении напряженно-деформированного состояния массива, связанного с ведением горных работ. Предлагается аналитическая зависимость проницаемости от напряжений и количества сорбированного углем газа, определяющая параметры зоны фильтрации в угольном пласте и закономерности массопереноса. Проведено сопоставление полученного соотношения с известной моделью, отражающей структуру угля, а также с результатами экспериментальных исследований. Предложенная модель проницаемости угольного пласта при соответствующем подборе или экспериментальном определении ее параметров позволяет описать закономерности фильтрации и локализацию зон проницаемости в угольном пласте.

- Решена задача нестационарной фильтрации и проведено математическое моделирование, позволившее установить условия испытания образцов. Разработана методика для определения проницаемости угольных кернов при физическом моделировании условий призабойной зоны угольного пласта, учитывающая трудности измерения малых расходов газа через сорбирующий образец. Создан макет установки, определены рабочие параметры получения достоверных результатов и проведены предварительные испытания по разработанной методике, показавшие работоспособность предложенного метода определения проницаемости в лабораторных условиях.

- Доказано, что риск остановки технологического процесса выемки угля на очистном участке шахты обуславливается сопоставлением вероятности превышения допустимых значений параметров рудничной атмосферы и условной вероятности продолжительности выполнения мероприятий по приведению параметров рудничной атмосферы в номинальное состояние, определяемыми по восстановленным на основе экспериментальных наблюдений плотностям распределений вероятностей загазованности горной выработки и продолжительности их проветривания, с упущенной выгодой, образующейся на основе стоимости не добытого за время простоя угля и общешахтных расходов.

- Установлено, что распределение частиц пыли по длине горной выработки с исходящей струей воздуха, описывается логарифмической зависимостью вида  $y = a \ln(x) + b$ . В качестве примера распределение частиц пыли на исходящей струе выемочного участка шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» ( $y = -0,006 \ln(x) + 0,0435$ , рисунок 18).

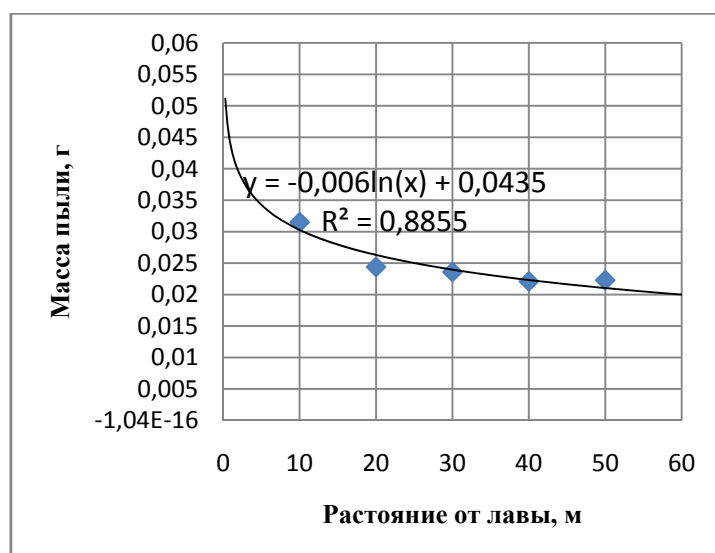


Рисунок 18 – Зависимость запыленности рудничной атмосферы от расстояния до лавы



- Доказано, что риск возникновения превышений показателей запыленности рудничной атмосферы и пылеотложений в горных выработках по мере удаления от источника пылеобразования уменьшается по логарифмическому закону.

- Получено формальное описание технологического процесса формирования грузопотока отбитого угля при изменяемых параметрах добычного и транспортного оборудования с учетом топологии выработок выемочного участка, необходимое для выполнения моделирования и прогнозирования нагрузки на очистной забой в условиях неопределенности параметров рудничной атмосферы.

- Разработан математический аппарат, формально описывающий распределение по транспортной системе выемочного участка отбитого угля, являющегося основным источником метановыделения при работе высокопроизводительных забоев, что существенно влияет на риск остановки технологического процесса отработки газоносных угольных пластов при различных в пределах технических характеристик параметрах работы добычного и транспортного оборудования с учетом изменяющейся топологии выработок.

## **2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР РАН**

*В 2018 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 базе проведения режимных наблюдений на площадках, строящихся АЭС. Локальный сейсмический мониторинг с целью прогнозирования возникновения катастрофических процессов на объекте.
- Прогноз и снижение негативных последствий от геодинамических процессов при разработке месторождений и сейсмическом воздействии на окружающую среду сильных техногенных источников. Разработка прогностической модели катастрофических геодинамических явлений на ряде месторождений России.
- Решение задач геодинамической безопасности флюидных систем земной коры, включая области шельфа.

*В рамках проектов РНФ и РФФИ проводились работы по темам:*

- Разработка новых принципов снижения риска возникновения сильных техногенных землетрясений и изучение антропогенного влияния на сейсмичность в платформенных районах.
- Разработка механической модели и построение концепции контроля в реальном времени процесса подготовки техногенно-тектонических землетрясений.
- Трансформация режима скольжения по модельному разлому при внешнем воздействии.
- 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.
- Экспериментальное определение факторов, влияющих на закономерности динамической разгрузки нарушений сплошности массивов горных пород.
- Геомеханические и флюидодинамические аспекты техногенной сейсмичности.

Ниже приводятся основные результаты работы ИДГ РАН по сейсмическому и акустическому мониторингу массовых взрывов в 2018 г.

Мониторинг массовых взрывов, который включает исследования сейсмического и акустического действия БВР, ведется несколько лет. С этой целью на Лебединском и Михайловском ГОКе были созданы постоянно действующие станции мониторинга. Результаты их работы уже освещались в сборниках «Взрывное дело». В 2017 году была создана станция мониторинга подземных БВР на шахте Губкина. За время ее работы в 2018 году был получен большой объем данных, который показал значительные особенности сейсмозрывного воздействия открытых и подземных БВР. Ниже обсуждаются результаты мониторинга подземных массовых взрывов на шахте Губкина АО «Комбинат КМАруда».

### 1. Сейсмический эффект шахтных массовых взрывов

Исторически так сложилось, что разрабатываемое железорудное месторождение оказалось под жилыми городскими кварталами города Губкина. На предприятии применяется этажно-камерная система разработки. Камеры находятся на глубине 245–285 м от дневной поверхности и поэтому сейсмическое действие массовых взрывов оказывается весьма негативным для инфраструктуры и застройки города.

При подготовке массовых взрывов горный массив разбуривается скважинами длиной 50–55 м и диаметром 105 мм. Суммарная масса ВВ в камере 10 – 20 тонн. Применяется короткозамедленное взрывание, так что на одну ступень замедления приходится 0,5–1,5 тонны ВВ. При каждом массовом взрыве с интервалом 30–50 секунд взрывается 3–4 камеры, расположенные на расстоянии около 1 км друг от друга, т.е. сразу 3–4 района города оказываются в эпицентре взрывов. И такие массовые взрывы проводятся еженедельно. В результате застройка города и его инфраструктура подвержены в течение года неоднократному сильному воздействию сейсмозрывных волн.

Мониторинг 2018 года позволил создать банк данных по 49 массовым взрывам. Исходные данные мониторинга – это акселерограммы и велосигramмы колебаний дневной поверхности. На рисунке 1 приведены типичная велосигramма, зарегистрированная в эпицентре камеры, и ее амплитудный спектр. На велосигramмах можно выделить волны практически от каждой ступени замедления.

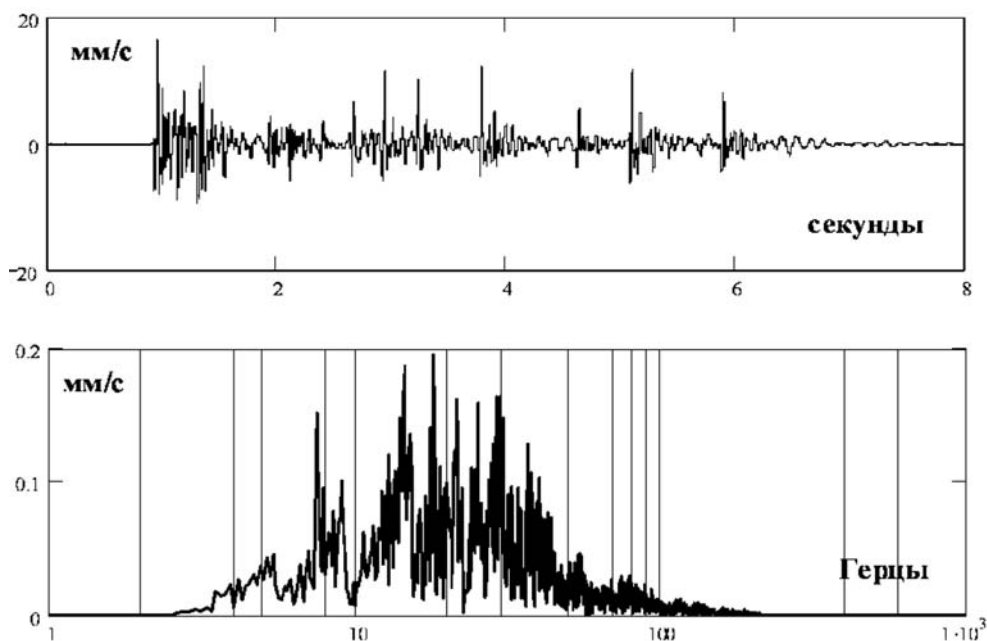
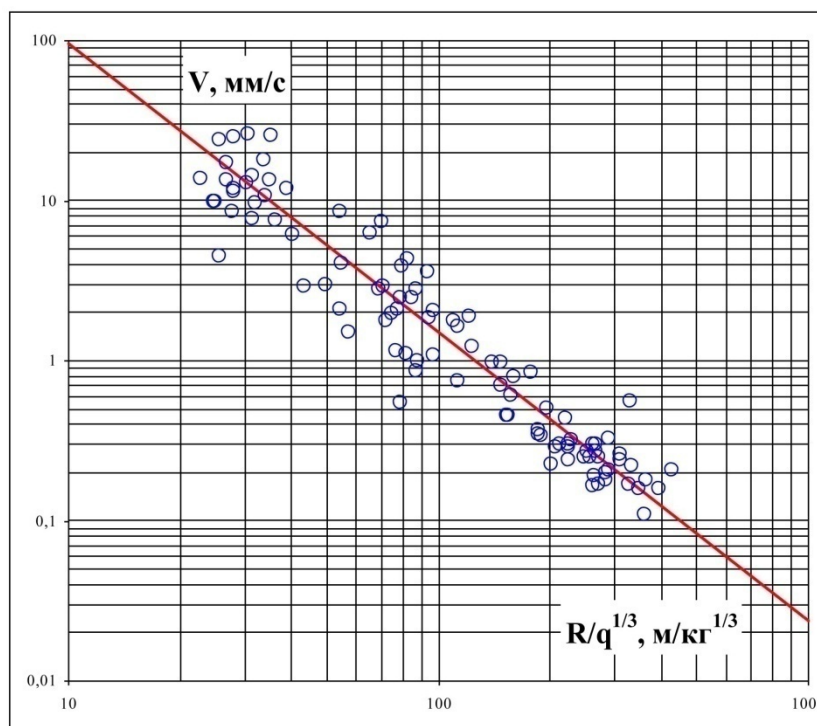


Рисунок 1 – Велосигramма вертикальных колебаний и ее спектр

Сейсмический эффект массовых взрывов оценивался по максимальному значению вектора скорости колебаний земной поверхности –  $V$ , который вычислялся по трем компонентам велосиграм (вертикальной и горизонтальным Юг-Север и Запад-Восток). На рисунке 2 приведены максимальные значения вектора скорости колебаний –  $V$  в зависимости от гипоцентрального расстояния –  $R$  и максимальной массы  $ВВ$  в одной ступени замедления –  $q$ . Особенность представленной зависимости в том, что в случае подземных взрывов пришлось вместо эпицентрального расстояния оперировать гипоцентральным расстоянием –  $R$  (расстояние по прямому лучу от центра заряда до сеймопункта). Эта совокупность данных описывается зависимостью,

$$V = 6000 \cdot \left(\frac{q^{1/3}}{R}\right)^{1,8} \quad (1)$$

которая на рисунке 2 представлена красной прямой.

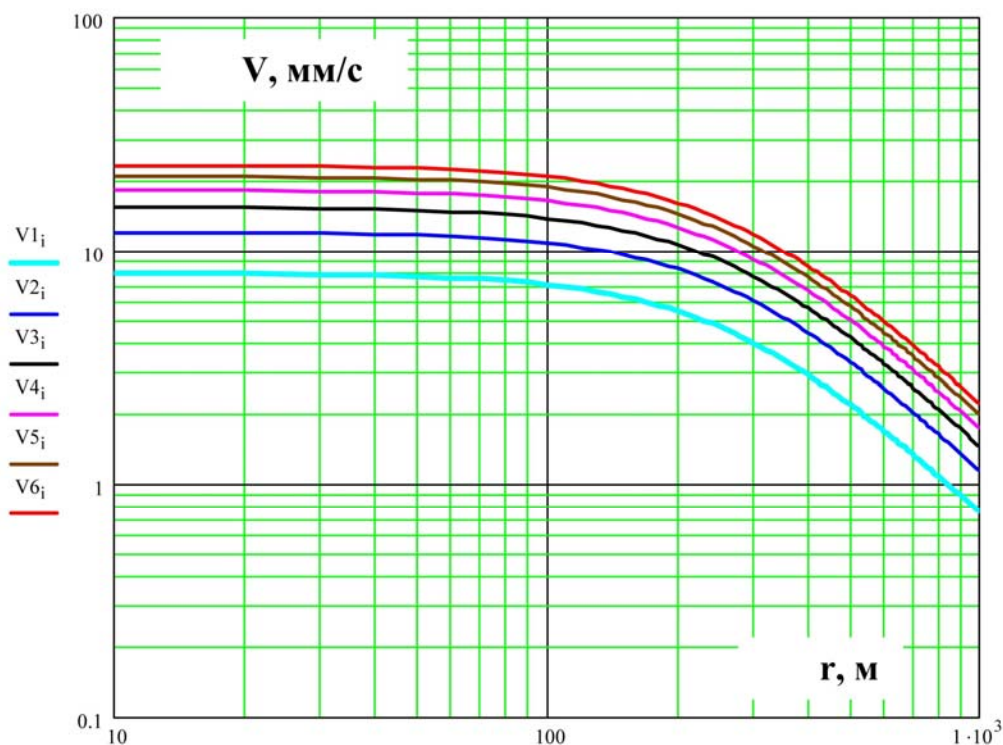


**Рисунок 2 – Зависимость максимальной скорости колебаний от приведенного гипоцентрального расстояния**

Следует отметить, что зависимость на рисунке 2 существенно отличается от аналогичных зависимостей для карьерных массовых взрывов и по степени затухания сейсмозрывной волны, и по коэффициенту сейсмичности. Нет никаких оснований отнести эти особенности на счет физико-механических свойств горного массива. По-видимому, основная причина в использовании при анализе данных гипоцентрального расстояния.

## **2. Особенности сейсмического воздействия подземных массовых взрывов на застройку города**

Используя связь гипоцентрального и эпицентрального расстояний, зависимость (1) может быть пересчитана на эпицентральное расстояние. Но для этого надо задать максимальную массу  $ВВ$  в ступени замедления –  $q$  и глубину заряда –  $W$ . Вместимость скважины около 350 кг  $ВВ$ . Если в ступени замедления одна скважина, то масса  $ВВ$  в одной ступени замедления равна  $q_1 = 350$  кг, если две скважины, то  $q_2 = 700$  кг и соответственно  $q_3 = 1050$  кг,  $q_4 = 1400$  кг,  $q_5 = 1750$  кг,  $q_6 = 2100$  кг. В качестве глубины центра камеры возьмем величину  $W = 265$  м. Это средняя величина глубины. Отклонения от средней глубины в пределах городских кварталов не превышают 20 м.



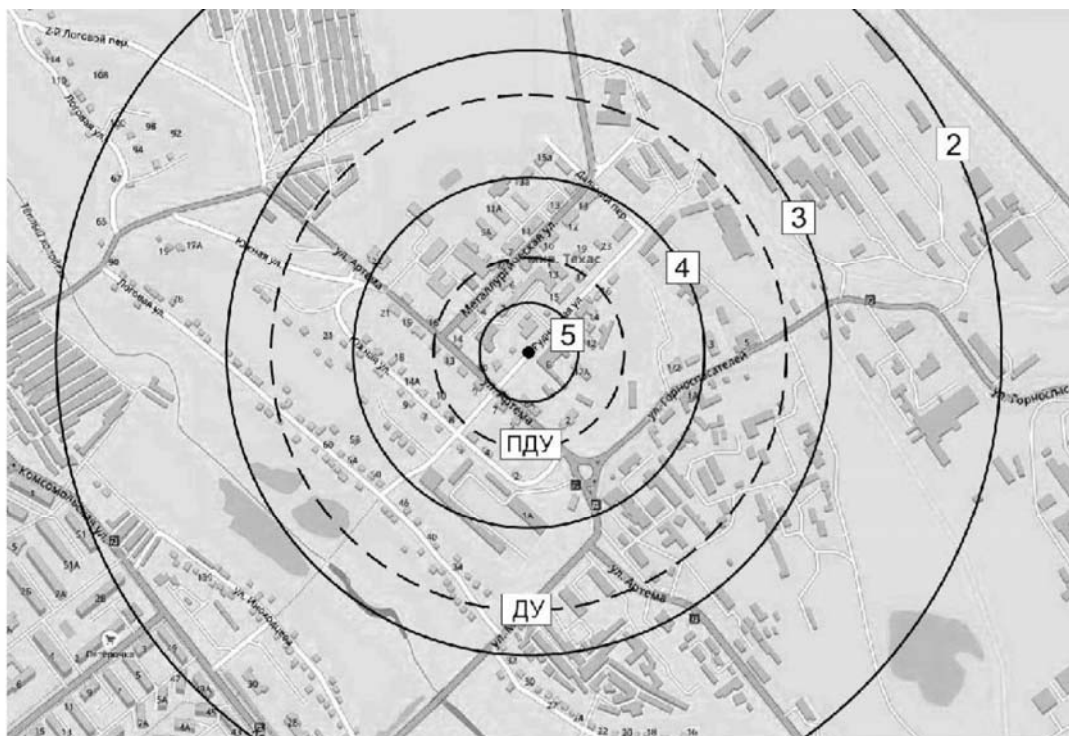
**Рисунок 3 – Максимальная скорость колебаний в зависимости от эпицентрального расстояния  $r$  при различных массах ВВ в ступени замедления.**  
*Голубая – 350 кг. Синяя – 700 кг. Черная – 1050 кг. Сиреневая – 1400 кг.*  
*Коричневая – 1750 кг. Красная – 2100 кг.*

Результаты расчетов по формуле (1) максимальной скорости колебаний  $V$  от эпицентрального расстояния  $r$  для указанных выше шести значений  $q$  показаны на рисунке 3. Из нее следует, в частности, что, если судить по амплитуде колебаний, эпицентром камеры является не геометрический эпицентр (точка) на дневной поверхности, а целая область вокруг этой точки с радиусом около 100 м. Это важная отличительная особенность подземных массовых взрывов.

Интенсивности сейсмических колебаний определяли по шкале С.В. Медведева для горных взрывов (Сейсмика горных взрывов. – М.: Недра, 1964.). Ниже рассмотрим типичный по параметрам массовый взрыв для КМАруды, у которого значения  $q = 1050$  кг и  $W = 265$  м. Согласно шкале Медведева изосейсте 2 балла соответствует скорость колебаний 2 мм/с. Из рисунка 3 получим, что такая скорость колебаний при типичном взрыве будет наблюдаться на эпицентральной дистанции  $r = 810$  м. Это и есть радиус изосейсты два балла. Изосейсте 3 балла соответствует скорость  $V = 4$  мм/с и радиус изосейсты (эпицентрального расстояния)  $r = 520$  м, изосейсте 4 балла соответствует скорость  $V = 8$  мм/с и радиус изосейсты  $r = 300$  м, изосейсте 5 баллов соответствует скорость  $V = 15$  мм/с и радиус изосейсты  $r = 85$  м. И согласно рисунку 3 при типичном массовом взрыве интенсивности колебаний 6 и более баллов быть не может, так как ближайшая к камере точка на земной поверхности находится на расстоянии 265 м от заряда, в результате чего максимальная скорость колебаний в эпицентре будет 16,4 мм/с, что соответствует 5 баллам. В этой ограниченности интенсивности сейсмического действия еще одна особенность массовых шахтных взрывов. (При карьерных массовых взрывах существуют все зоны от 12 до 1 балла.) Увеличение интенсивности колебаний в эпицентральной области возможно лишь при увеличении массы ВВ в ступени замедления –  $q$ . Из зависимости (1) видно, что скорость колебаний пропорциональна  $q^{0,6}$ , поэтому 6 баллов или скорость колебаний 30 мм/с будут достигаться при увеличении  $q$  в ступени замедления в 3,2 раза, т.е. при массе ВВ в ступени замедления 3200 кг.

На рисунке 4 приведен фрагмент карты города Губкин, на которую нанесены рассчитанные выше изосейсты (окружности черных линий) для типичного массового взрыва. Цифрами указаны зоны различной балльности. Центр окружностей соответствует эпицентру реальной

камеры западного месторождения. Полученная картина интенсивности сейсмического действия массовых взрывов должна рассматриваться с учетом того, что Белгородская область согласно карте сейсмического районирования территории России ОСР-97 находится в 5-ти балльной зоне сейсмичности. Причем, согласно шкале Медведева, при 5-ти баллах застройка не получает никаких повреждений и разрушений, кроме возможных волосяных трещин в штукатурке. Из рисунка 4 видно, что при взрыве предельно-допустимая интенсивность колебаний 5 баллов не превышена. Более того, зона 5-ти баллов имеет незначительный радиус 85 м, так что в эту зону попадает 5 – 6 зданий. Значительнее зона 4-х баллов с радиусом 300 м. В ней расположено до 60 зданий. Но в этой зоне сейсмическое действие массового взрыва последствий не имеет. Отметим еще зону с интенсивностью 1 балл – это территория города вне окружности с радиусом 810 м. В этой зоне колебания столь слабые (менее 2 мм/с), что они практически не ощущаются населением этих районов города.



**Рисунок 4 – Карта-схема города и изосейсты. Цифры 2 – 5 баллы интенсивности сейсмических колебаний. Окружности ДУ и ПДУ – допустимый и предельно-допустимый уровень колебаний**

### **3. Сейсмическое воздействие подземных БВР на население города**

Однако город – это не только застройка, которую необходимо сохранить, но и население. В соответствии с Федеральным законом от 30 марта 1999 г. №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» для горных предприятий, ведущих разработку полезных ископаемых открытым и подземным способом, установлены санитарно-защитные зоны (СЗЗ), размеры которых определяются в соответствии с указаниями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Размеры СЗЗ устанавливаются исходя из классификации объекта, назначения горнодобывающего предприятия, на котором производятся БВР, и расчетов возможного загрязнения атмосферного воздуха и воздействия проводимых работ (шум, вибрация и др.) на окружающую среду.

Горнодобывающие предприятия по добыче железных руд шахтным способом относятся к промышленным объектам третьего класса, для которых СЗЗ установлена 300 м. В границах СЗЗ разрешается размещать здания и сооружения для обслуживания работников указанного объекта, а также для обеспечения деятельности промышленного объекта (производства).

Объекты жилой застройки и другие общественные объекты с нормируемыми показателями качества среды обитания должны размещаться только вне границ СЗЗ. Для всех производственных объектов КМАруды это условие соблюдено. Но массовые взрывы проводятся в камерах, которые расположены под различными районами города, за пределами границы СЗЗ. Очевидно, необходимо, чтобы за пределами границы СЗЗ уровень воздействия сейсмических колебаний и вызванной ими вибрации не должен превышать допустимого для населения уровня и исключалась возможность вредного влияния сейсмозрывных колебаний на людей.

Сложность этой проблемы в том, что порог чувствительности человека к вибрациям очень низок. Например, при частоте 50 Гц он равен 0,3 мм/с. Поэтому часто от населения имеют место жалобы на якобы опасные сейсмические воздействия в тех условиях, когда по объективным показателям такой опасности не существует. Поэтому при оценке воздействия колебаний на людей важно знать соответствие между объективно измеренными характеристиками колебаний и субъективными ощущениями людей. Согласно представлениям, полученным с учетом опытных данных и лабораторных исследований (СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.), количественной мерой воздействия вибрации является скорость колебаний при частотах более 10 Гц и ускорение при частотах менее 10 Гц. Как видно из приведенного выше спектра массового взрыва на рисунке 1 мерой воздействия сейсмических колебаний на человека при массовых взрывах в шахтах следует принять скорость колебаний.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 по воздействию вибрации на людей, различают предельно допустимый уровень вибрации на рабочих местах в производственных и административных зданиях и допустимый уровень вибрации в жилых и общественных зданиях. Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Допустимый уровень (ДУ) вибрации – это уровень фактора, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию. Согласно СН в жилых и общественных зданиях при длительности вибровоздействия 480 мин. ДУ для человека по скорости по одной оси колебаний составляет  $V_{ду} = 0,11$  мм/с или уровень  $L = 67$  дБ (для расчета уровня в дБ принята опорная скорость колебаний  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с).

Сделаем важные поправки на ДУ для массовых взрывов. Зависимость допустимого значения виброскорости  $V_T$  (мм/с) от времени фактического воздействия вибрации  $T$  (мин.), не превышающего 480 мин. приведена в таблице упомянутых выше СН и может быть определена по формуле:

$$V_T = V_{480} \sqrt{\frac{480}{T}}, \quad (2)$$

где  $V_{480}$  – допустимое значение виброскорости для длительности воздействия 480 мин., мм/с.

Как видно из рисунка 1, общая продолжительность колебаний при взрыве одной камеры составляет около 10 секунд или 0,167 мин. Это и понятно, потому что проектировщики взрыва стараются использовать все номиналы замедлений электродетонаторов ЭД-ЗН, чтобы увеличить число ступеней замедления и соответственно уменьшить массу ВВ в одной ступени и сейсмическое действие взрыва. Для этого фактического времени взрыва поправка к уровню, вычисленная по формуле (2), составит +34,6 дБ.

Далее, согласно СН в дневные часы допустимо превышение нормативного уровня вибрации на +5 дБ, а в случае непостоянной по величине вибрации вводится поправка –10 дБ. С учетом поправок получим ДУ вибрации  $L = 96,4$  дБ или  $V = 3,3$  мм/с.

Но при взрывах колебания происходят по трем направлениям (вертикальному, радиальному и тангенциальному). Причем, величину вектора скорости колебаний можно считать в 1,5 раза больше, чем величина скорости колебаний по вертикали. С учетом этого при массовом взрыве окончательно получим  $V_{ду} = 4,95$  мм/с или  $L_{ду} = 100$  дБ.

Теперь воспользуемся зависимостью скорости колебаний от эпицентрального расстояния для типичного массового взрыва с массой ВВ в одной ступени 1050 кг и заглублением камеры на 265 м, которая приведена на рис. 3. Из него  $V_{ду}$  достигается на эпицентрального расстоянии 443 м. Окружность этого радиуса изображена на рисунке 4 прерывистой линией с отметкой ДУ. Она попадает в 3-х балльную зону.

СН 2.2.4/2.1.8.566-96 устанавливает предельно-допустимые уровни вибрации только для персонала на рабочих местах, который равен  $V_{пду} = 0,28$  мм/с. Используем его для оценки предельно-допустимой скорости колебаний  $V_{пду}$  для населения. Повторяя процедуру поправок для массового взрыва, получим  $V_{пду} = 12,6$  мм/с или  $L_{пду} = 108$  дБ. Для этой скорости колебаний по зависимости на рисунке 3 для типичного массового взрыва был получен эпицентральный радиус ПДУ колебаний, который равен 165 м. Изолиния ПДУ колебаний показана на рис.4 прерывистой линией с отметкой ПДУ. Эта изолиния попала в 4-х балльную зону. Область превышения ПДУ незначительная, в ней расположено около 20 жилых частных домов с населением около 100 человек. Колебания с такими амплитудами ощущаются всем населением этой зоны и у некоторых они могут вызывать негативные психофизиологические эмоции.

Полученные результаты подтверждаются опросами населения, которые проводились в США и приведены в работе BradenTrexLusk, JoshuaMicahHoffman. Analysis of survey information about airblast and ground vibration reporting units. // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2011. Vol. 25, No 2, Juni. pp. 161-176.

#### Основные публикации сотрудников ИДГ РАН в 2018 г.:

1. Горбунова Э.М. Исследование поствзрывных деформаций дневной поверхности // Геоэкология. № 5. С. 40-52. 2018. (РИНЦ)
2. Горбунова Э.М. Определение режима деформирования массива горных пород по данным мониторинга уровня подземных вод на территории Семипалатинского полигона // Вестник НЯЦ РК. Выпуск 2 (74). С. 78-87 (РИНЦ)
3. Besedina A.N., Ostapchuk A.A. Microseismic Ambient Noise Analysis for Estimation of the Deformation Characteristics of a Fault Zone // AIP Conf. Proc. 2018. Vol. 2051. Article number: 020029, DOI: 10.1063/1.5083272 (WoS – безквартиля, Scopus – безквартиля, РИНЦ)
4. Besedina A.N., Ostapchuk A.A. Parametric Analysis of the Low-Frequency Seismic Noise as the Basis for Monitoring Changes of the Stress-Strain State of Rock // AIP Conf. Proc. 2018. Vol. 2051. Article number: 020030, DOI: 10.1063/1.5083273 (WoS – безквартиля, Scopus – безквартиля, РИНЦ)
5. Ostapchuk A.A., Gorbunova E.M., Ruzhich V.V., et al. Formation of Heterogeneous Internal Structure of Fault Under Long-Term Deformation // AIP Conf. Proc. 2018. Vol. 2051. Article number: 020221, DOI: 10.1063/1.5083464 (WoS – безквартиля, Scopus – безквартиля, РИНЦ)
6. Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Martynov V.S. Seismic and Acoustic Manifestation of the Process of Shear Event Nucleation in Different Frequency Bands // AIP Conf. Proc. 2018. Vol. 2051. Article number: 020222, DOI: 10.1063/1.5083465 (WoS – безквартиля, Scopus – безквартиля, РИНЦ)
7. Gorbunova E.M., Besedina A.N., Vinogradov E.A. Reaction of the fluid saturated collector during the propagation of the seismic waves // AIP Conf. Proc. 2018. Vol. 2051. Article number: 020100, DOI: 10.1063/1.5083343 (WoS – безквартиля, Scopus – безквартиля, РИНЦ)
8. Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Виноградов Е.А. Динамика деформирования флюидонасыщенного коллектора по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод на территории ГФО «Михнево» // Динамические процессы в геосферах. Вып. 10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С. 74-83. DOI: [10.26006/IDG.2018.10.20178](https://doi.org/10.26006/IDG.2018.10.20178)(РИНЦ)
9. Мартынов В.С., Остапчук А.А., Будков А.М. Инжекция флюида как метод изменения энергии динамических событий // Динамические процессы в геосферах. Вып. 10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С. 109-116. DOI: [10.26006/IDG.2018.10.20184](https://doi.org/10.26006/IDG.2018.10.20184)(РИНЦ)
10. Nesterkina M. A., Sergeev S. I., Sanina I. A., Konstantinovskaya N. L., Danilova T. V., Sergeev K. S. Identification of Local Seismic Events Using the Mikhnevo Seismic Array // ISSN 0747-9239, Seismic Instruments, 2018, Vol. 54, No. 4. P. 408–416. DOI: 10.3103/S0747923918040059 (WoS – без кватертя, РИНЦ)
11. Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Чулков А.Б., Куликов В.И., Волосов С.Г. Проблемы, возникающие при идентификации источника сейсмического сигнала, связанные с вариациями волновых форм (на примере карьера «Афанасьевский») // ISBN 978-5-903258-37-6 Со-

временные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / отв. ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018, С. 184-189 DOI: нет (РИНЦ)

12. *Алешина Е.И., Асминг В.Э., Баранов С.В., Белевская М.А., Варлашова Ю.В., Войтова А.С., Волосов С.Г., Гахбрахманова Ю.В., Габсатарова И.П., Голубева И.В., Данилова Т.В., Девяткина Л.В., Денега Е.Г., Денисенко Г.А., Децик И.В., Дягилев Р.А., Иванова Л.Е., Карпинская О.В., Коваленко Л.С., Козьмин Б.М., Коломиец О.А., Константиновская Н.Л., Косая В.В., Круглова И.П., Лескова Е.В., Лещук Н.М., Манушина О.А., Москаленко Т.П., Мунирова Л.М., Надежка Л.И., Нахишина Л.П., Нестеркина М.А., Паришина И.А., Пивоваров С.П., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Санина И.А., Селиванова Е.А., Славский А.В., Сохатюк А.С., Старикович Е.Н., Старкова Е.Н., Федоров А.В., Ферчева В.Н., Хостаева Е.В., Чернецова А.Г., Шаталова А.О., Шевелева С.С., Шевкунова Е.В., Шибяев С.В.* Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах // ISSN 1819-852X Землетрясения России в 2016 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018, С. 183-194 DOI: нет (РИНЦ)

13. *Нестеркина М.А., Куликов В.И., Константиновская Н.Л., Санина И.А., Ризниченко О.Ю.* Оценка уровня сейсмического воздействия промышленных взрывов центральной части ВЕП // Сейсмические приборы. Том 54, № 2, 2018. С. 49-65 DOI: 10.21455/si2018.2-41(WoS – без квартеля, РИНЦ)

14. *Бугаев Е.Г., Кишкина С.Б.* Оценка долговременной и текущей сейсмической опасности площадок объектов использования атомной энергии на основании материалов инженерных изысканий // Ядерная и радиационная безопасность. М. 2018, №3 (89). С.10-22 (РИНЦ)

15. *Besedina A.N., Kishkina S.B., Pavlov D.V.* Reaction of the Fault Zone to Periodic Seismic Impact by Example of the Korobkovo Ore Deposit // AIP Conference Proceedings. 2018.Vol. 2151. Article number: 020028. DOI: 10.1063/1.5083271 (WoS-безквартеля, Scopus – безквартеля, РИНЦ)

16. *Ivanchenko G.N., Kishkina S.B.* Seismotectonic researches of the area of the Rostov nuclear power plant // SGEM 2018 Conference Proceedings 18. Issue 1.1. 2018. P. 981-988. (WoS – безквартеля, Scopus – безквартеля, РИНЦ)

17. *Варыпаев А.В., Санина И.А., Чулков А.Б., Кушнир А.Ф.* Применение робастных фазовых алгоритмов для выявления сейсмической эмиссии в районе проведения взрывных работ в шахтах // Сейсмические приборы. 2018. Т. 54, № 2. С. 5–18. DOI: 10.21455/si2018.2-2 (WoS – без квартеля, РИНЦ)

18. *Varypaev A., Kushnir A.* Algorithm of micro-seismic source localization based on asymptotic probability distribution of phase difference between two random stationary Gaussian processes // International Journal on Geomathematics. 2018. Vol. 9. P.335-358, DOI: 10.1007/s13137-018-0108-0. 2018 (WoS – безквартеля, Scopus – Q3, РИНЦ)

19. *Иванченко Г.Н.* Оценка тектонической стабильности территории Курской АЭС методами компьютерного линеamentного анализа // Динамические процессы в геосферах. Вып.10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С. 65-74. DOI: [10.26006/IDG.2018.10.20177](https://doi.org/10.26006/IDG.2018.10.20177) (РИНЦ)

20. *Варыпаев А., Санина И.* Идентификация сигналов слабых сейсмических событий по записям малоапертурной группы при мониторинге локальной сейсмичности горных выработок // Динамические процессы в геосферах. Вып.10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С. 38-46. DOI: [10.26006/IDG.2018.10.20161](https://doi.org/10.26006/IDG.2018.10.20161) (РИНЦ)

21. *Батухтин И.В., Павлов Д.В., Марков В.К., Варыпаев А.В.* Влияние пространственной гетерогенности заполнителя трещины на инициацию сейсмогенного разрыва. Лабораторный эксперимент // Динамические процессы в геосферах. Вып.10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С. 117-124. DOI: [10.26006/IDG.2018.10.20186](https://doi.org/10.26006/IDG.2018.10.20186) (РИНЦ)

22. *Куликов В.И., Ганопольский М.И.* Воздействие массовых взрывов при подземной разработке железорудных месторождений на застройку и население города Губкин // Взрывное дело, № 121/78, 2018. с. 135-151. DOI: нет. (РИНЦ)

23. *Куликов В.И.* Акустический эффект массовых взрывов при шахтной разработке железорудных месторождений // Динамические процессы в геосферах. Сб. научных трудов ИДГ РАН. Выпуск 10, 2018, с.61 – 65. DOI: [10.26006/IDG.2018.10.20176](https://doi.org/10.26006/IDG.2018.10.20176) (РИНЦ)

24. *Kulikov V.I., Pavlov D.V., Markov V.K., Ostapchuk A.A., Sedochenko V.V.* Manifestations of nonlinearity of deformation properties of regional fault. // Geomechanics and Geodynamics of rock Masses. 2018, vol. 2, p. 1495 – 1500. (РИНЦ).

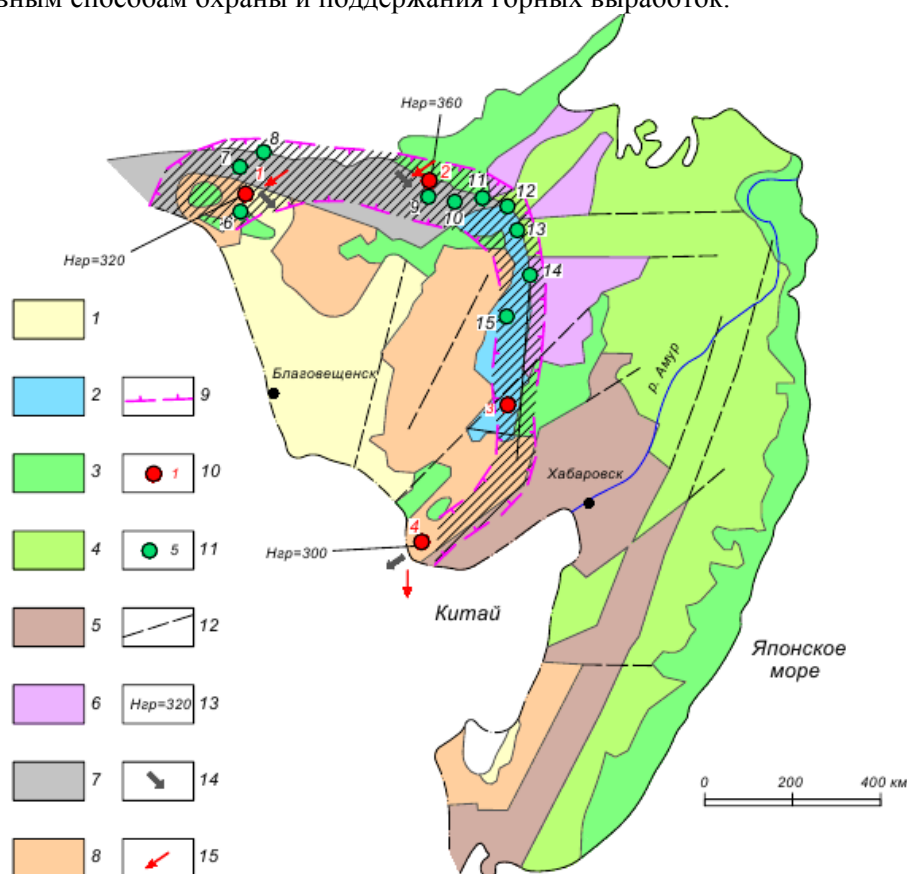


25. Куликов В.И. Сейсмозрывное воздействие подземных БВР на население и застройку региона шахт // Сб. Научные основы безопасности горных работ. Материалы научно-практической конференции. Изд. ИПКОН РАН, 2018. с. 154 – 160. (РИНЦ)
26. Karsanina M.V., Gerke K.M., Skvortsova E.B., Ivanov A.L., Mallants D. Enhancing image resolution of soils by stochastic multiscale image fusion // *Geoderma*, 2018, 314: 138-145. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.10.055 (WoS – Q 1, Scopus – Q 1)
27. Gerke K.M., Vasilyev R.V., Khirevich S., Karsanina M.V., Collins D., Sizonenko T., Korost D.V., Lamontagne S., Mallants D. Finite-difference method Stokes solver (FDMSS) for 3D pore geometries: Software development, validation and case studies // *Computers & Geosciences*, 2018, 114: 41-58. DOI: 10.1016/j.cageo.2018.01.005 (WoS – Q 2, Scopus – Q 1)
28. Карсанина, М. В., Герке, К. М., Сизоненко, Т. О., Корост Д. В. Влияние пространственного разрешения цифровой модели на точность моделирования в масштабе пор // *ГеоЕвразия. Современные методы изучения и освоения недр Евразии*. С. 423-427, 2018. DOI: нет (РИНЦ)
29. Лаврухин, Е. В., Герке, К. М., Сизоненко, Т. О., Корост, Д. В. Использование методов машинного обучения для сегментации изображений пород, полученных методом рентгеновской томографии // *ГеоЕвразия. Современные методы изучения и освоения недр Евразии*. С. 418-422, 2018. DOI: нет (РИНЦ)
30. Герке, К. М., Сизоненко, Т. О., Карсанина, М. В., Корост, Д. В., Баяк, И. О. Апскелинг фильтрационных характеристик пород с помощью сеточных моделей // *ГеоЕвразия. Современные методы изучения и освоения недр Евразии*. 2018. С. 474-477. DOI: нет (РИНЦ)
31. Trimonova M., Zenchenko E., Baryshnikov N., Turuntaev S., Zenchenko P., Aigozhieva A. (2018) Estimation of the Hydraulic Fracture Propagation Rate in the Laboratory Experiment. In: Karev V., Klimov D., Pokazeev K. (eds) *Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes*. PMMEEP 2017. Springer Geology. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-319-77788-7\_27 (Scopus- безквартеля)
32. Dubinya N., Trimonova M., Tyurin A., Golovin Yu., Zenchenko E., Samodurov A., Turuntaev S., Fokin I. Experimental and Theoretical Study of Fracture Toughness Effect on Hydraulic Fracture's Geometry // *SPE Russian Petroleum Technology Conference*. 2018. SPE-191630-MS. DOI:10.2118/191630-18RPTC-MS (Scopus – безквартеля)
33. Trimonova M.A., Zenchenko E.V., Turuntaev S.B., Golovin Yu.I., Samodurov A.A., Tyurin A.I., Dubinya N.V. Rock Toughness Importance For Hydraulic Fracture Modelling. *AIP Conference Proceedings* 2051, 020308 (2018), DOI: 10.1063/1.5083551 (Scopus-безквартеля)
34. Turuntaev S., Zenchenko E., Trimonova M., Zenchenko P., Baryshnikov N., Aigozhieva A. Interactions of hydraulic fractures // *Advances in Mechanics: Failure, Deformation, Fatigue, Waves and Monitoring*. Proceedings of The 11th International Conference on Structural Integrity and Failure. Perth. 2018. PP. 88-94. DOI: нет (Scopus – без квартеля)
35. Trimonova M.A., Zenchenko E.V., Zenchenko P.E., Turuntaev S.B., Baryshnikov N.A. Determination of the Fracture Opening Pressure: Experiment Vs. Theory. // *Geomodel 2018*. DOI: 10.3997/2214-4609.201802421
36. Баришников Н.А., Куприянов А.Д., Зенченко Е.В., Турунтаев С.Б., Орлов А.В. Экспериментальное исследование изменения фильтрационных свойств вязкоупругих пористых сред под влиянием внешней нагрузки // *Динамические процессы в геосферах*. Вып.10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С. 84-90. DOI: 10.26006/IDG.2018.10.20180 (РИНЦ)
37. Рига В.Ю., Турунтаев С.Б., Остапчук А.А. Численное моделирование сейсмогенерирующих подвижек на основе модели rate-state экспериментов межблокового скольжения // *Динамические процессы в геосферах*. Вып.10. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. 2018. С.99-109. DOI: 10.26006/IDG.2018.10.20183 (РИНЦ)
38. Turuntaev S.B., Riga V. Yu. Rate-state based simulation of laboratory and natural induced seismicity // *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. 2018. P.5002-5006 DOI: 10.1190/segam2018-2998197.1 (Scopus – безквартеля).
39. Соловьев А.В., Смирнов А.В., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Попова О.П. Оценка влияния звуковых и инфразвуковых шумов на простые реакции человека // *Материалы XXIV Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*. 2 – 5 июля 2018 г. Томск, Россия. С. D127 – D130.

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

### ГОРНОЕ НЕДРОВЕДЕНИЕ

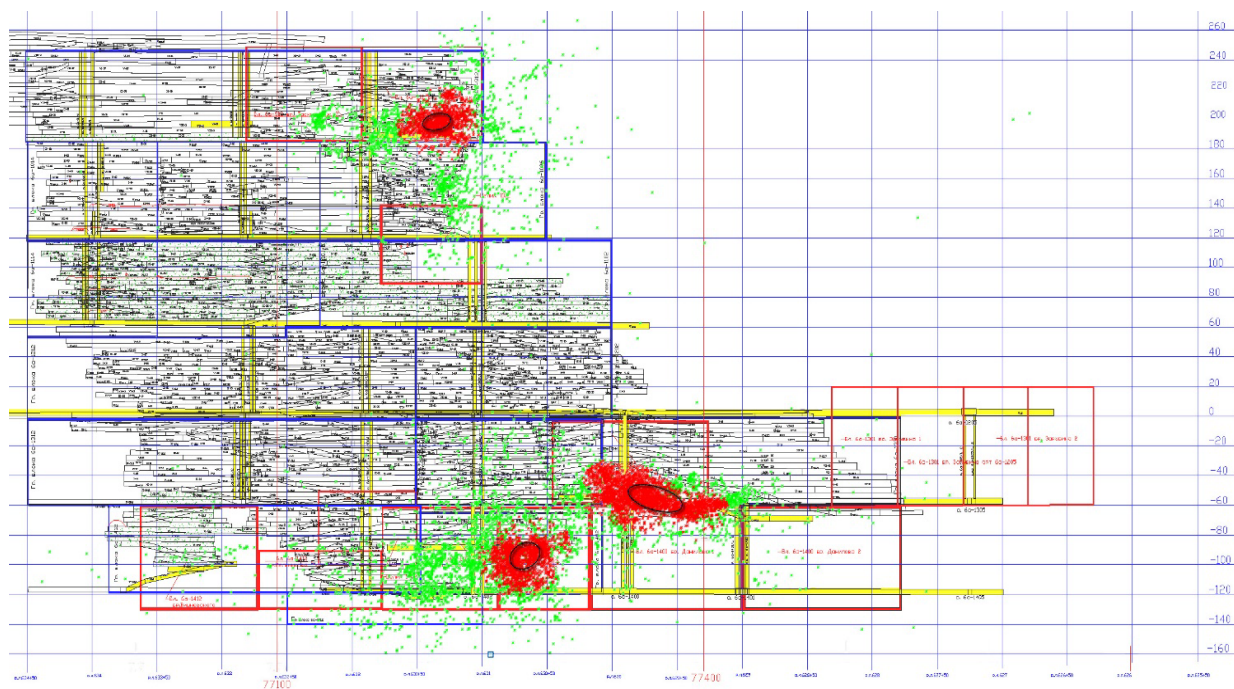
**Геомеханика.** На основе анализа геолого-геофизических, геоморфологических и сейсмологических данных и результатов натурных геомеханических исследований уточнена современная геодинамическая позиция золоторудных месторождений северной и восточной части Цзямусы-Буреинского микроконтинента, определяющая характер и параметры современного поля напряжений в массивах горных пород (рисунок 1). По результатам оценки геомеханического состояния ряда месторождений были обоснованы рекомендации по технологии их комбинированной отработки, рациональному порядку и очередности отработки рудных тел, эффективным способам охраны и поддержания горных выработок.



**Рисунок 1 – Геодинамическая позиция золоторудных месторождений приконтактной полосы северного выступа Узямусы-Буреинского микроконтинента**

1 – мезозойские отложения наложенных впадин, 2 – юрско-меловые отложения предгорных прогибов и наложенных впадин, 3 – позднемезозойские вулканогенные комплексы орогенных поясов и зон активизации, 4 – флишиодные отложения мезозойского возраста, 5 – складчатые комплексы среднего-позднего палеозоя, 6 – отложения раннего – среднего палеозоя, 7 – осадочно-метаорфические комплексы позднего протерозоя, 8 – метаморфические комплексы протерозоя с блоками позднего архея, 9 – контуры приконтактной области, активной в мезозойский этап, 10 – месторождения изученные лабораторией геомеханики ИГД ДВО РАН (1. Пионер, 2. Маломыр, участок Кварцитовый, 3. Нони, 4. Южно-Хинганское), 11 – Другие месторождения приконтактной области (6. Покровское, 7. Бортуликан, 8. Золотая гора, 9. Маломер, 10. Ворошиловское, 11. Токур, 12. Албан, 13. Афикасьевское, 14. Эльчинское, 15. Йорик), 12 – продольные и межблоковые глубинные разломы, 13 – глубина преимущественного действия гравитационного поля напряжений, 14 – направление сжатия рудного этапа (реставрированное тектонофизическими методами); 15 – направление современного наибольшего субгоризонтального сжатия

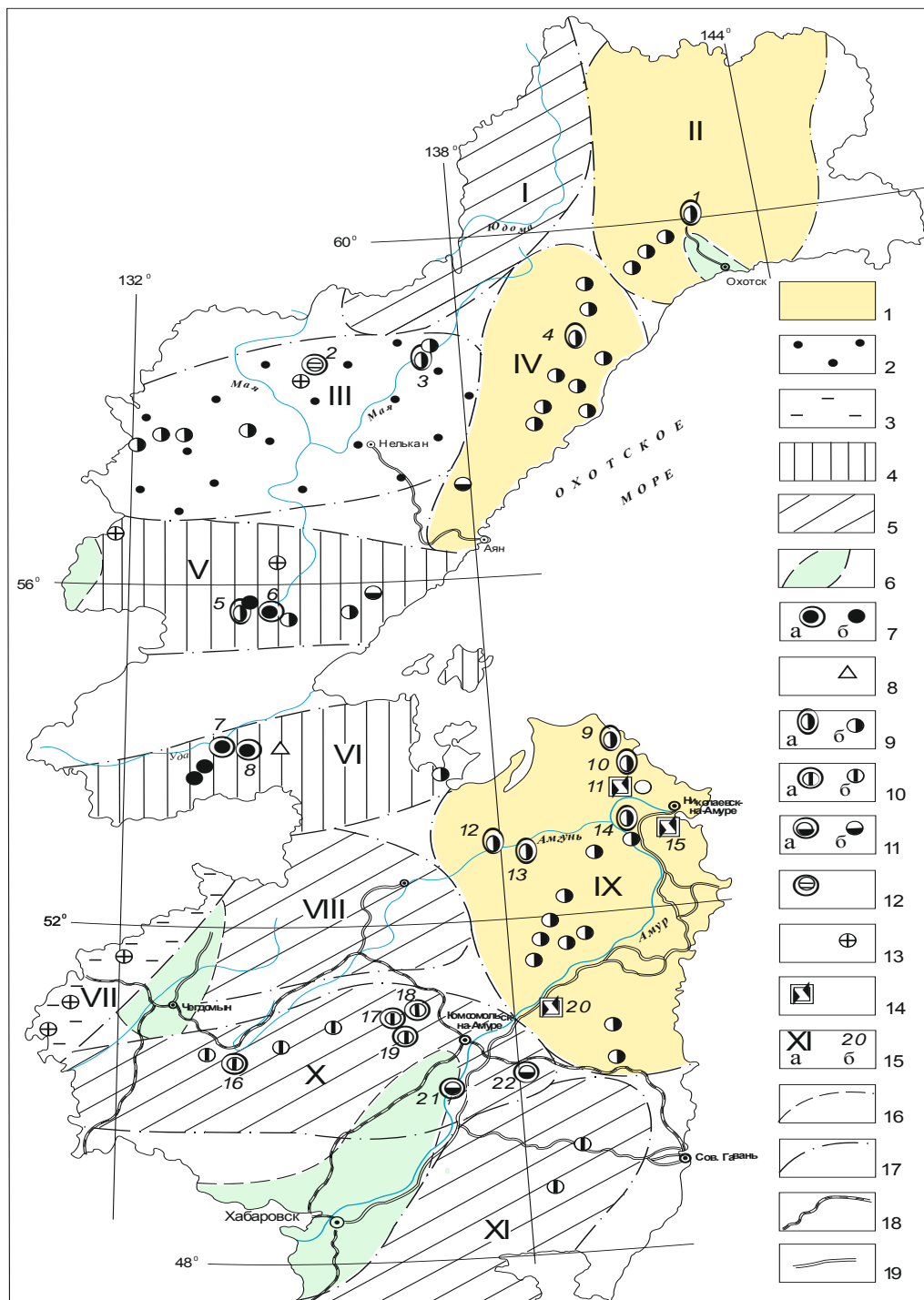
По результатам анализа и обобщения данных сейсмоакустического мониторинга на удаленных месторождениях Дальневосточного региона с использованием алгоритмов нечеткой логики разработан эффективный метод выделения и параметризации зон подготовки крупных геодинамических явлений, основанный на формировании связанных кластерных структур в виде взаимно перекрывающихся гиперэллипсоидов произвольной ориентации. Применение данного метода позволяет существенно повысить быстродействие работы алгоритмов кластеризации и автоматизировать процесс обработки потока регистрируемых сейсмоакустических событий (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Карта сейсмоакустической активности массива месторождения Антей, построенная с применением метода выделения и параметризации активных зон (зеленым цветом выделены сейсмоакустические события, относящиеся к фоновому излучению, красным цветом – к активным зонам, очаговые зоны отмечены эллипсами)**

В области *теплофизики* разработана новая теория устойчивости режима работы добычной пароводяной скважины, базирующаяся на подходах классической механики. В рамках новой теории нашли трактовку явления, ранее считавшиеся необъяснимыми, такие как отсутствие неустойчивости вблизи точки инверсии графика производительности, стабилизирующий эффект дросселирования потока между устьем и магистральным трубопроводом, отсутствие свободного фонтанирования с малым расходом и т.д. Новые представления открывают широкие возможности для разработки способов повышения эффективности использования фонда скважин при освоении месторождений парогидротерм.

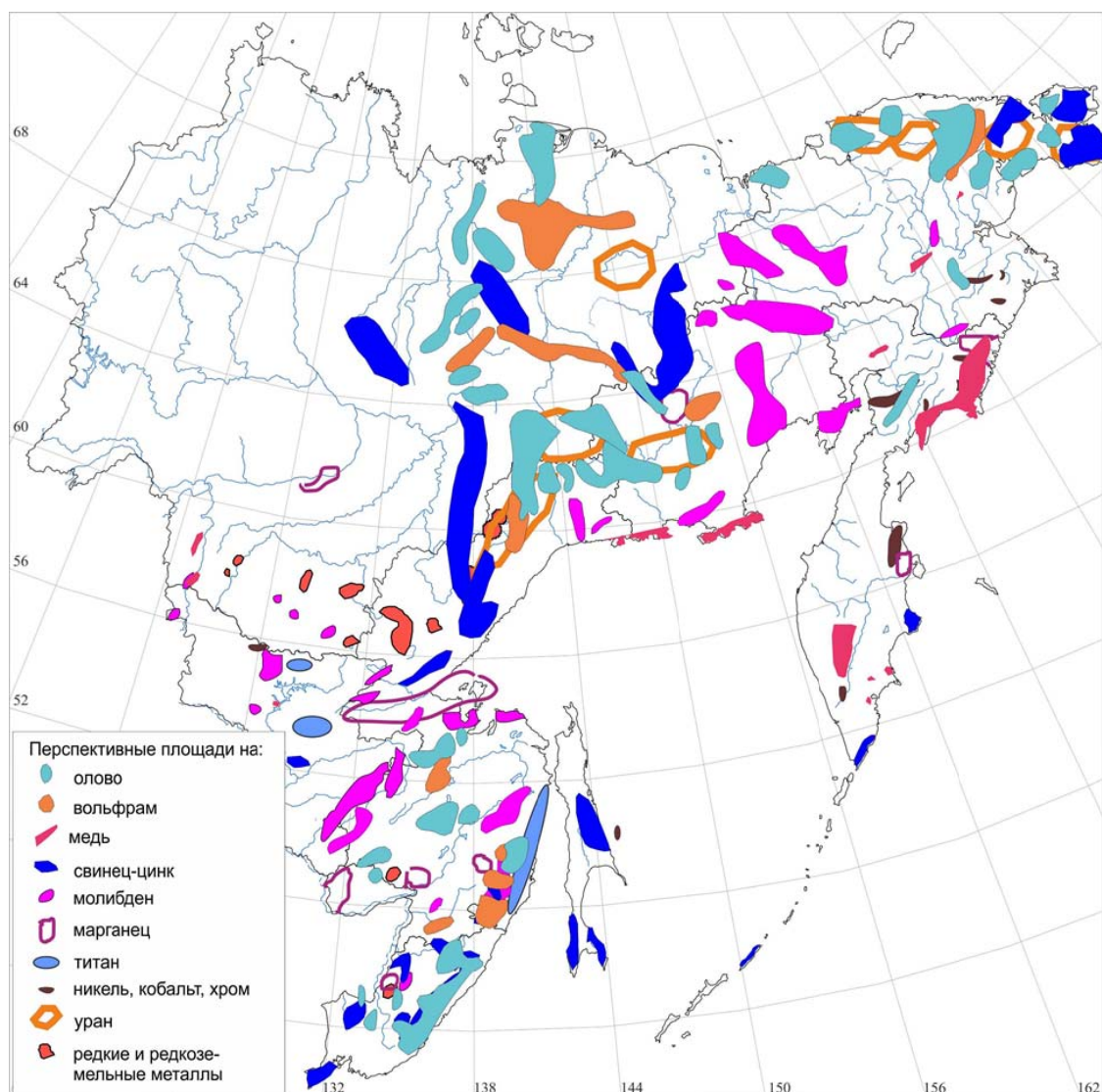
В области *горной информатики* на основе минерагенического районирования территории Хабаровского края выделены 3 золотоносных, 1 редкометалльно-редкоземельный и 7 комплексных группировок. Основой выделения ареалов являются сводово-блоковые и линейные структуры, насыщенность рудными объектами, состав магматитов и руд, рудно-метасоматическая зональность. В результате обоснован высокий потенциал золота, олова и меди в Нижнеамурском, Баджалско-Комсомольском и Ульинском ареалах, а также в Джугджурском, Верхнебуреинском и других рудных районах (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Пространственные группировки эндогенных месторождений Хабаровского края**

1-6 – Аралы (1. Золотоносные. 2. Золото-редкометалльно-редкоземельные. 3. Редкоземельные. 4. Титан-редкометалльно-редкоземельные и титан-железо-марганцевые. 5. Золото-оловянные. 6. Угольных и угленосных образований). 7. Месторождения железа, титана: а) крупные и средние б) мелкие. 8. Марганцевые месторождения. 9. Месторождения золота: а) крупные и средние; б) мелкие. 10. Месторождения олова: а) крупные и средние; б) мелкие. 11. Порфировые месторождения: а) крупные и средние; б) мелкие. 12. Месторождение циркония. 13. Мелкие редкометалльно-редкоземельные месторождения. 14. Месторождения алунитовых вторичных кварцитов. 15. Номера: а) аралов; б) крупных и средних по запасам месторождений. 16. Границы аралов. 17. Границы угленосных площадей. 18. Железные дороги. 19. Автомобильные дороги

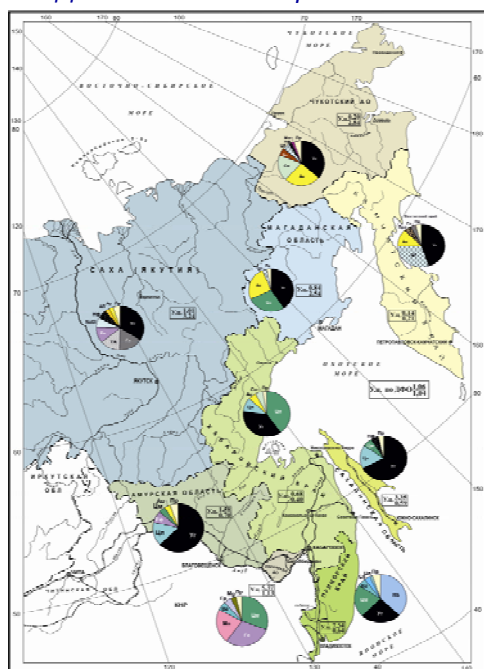
Разработаны базовые принципы и методический подход к исследованию пространственной и отраслевой организации недропользования в Дальневосточном регионе с целью комплексного освоения минерально-сырьевых объектов путем внедрения современных инновационных технологий. Системный ресурсно-методологический комплексный подход дает преимущества для формирования фундаментальной базы и развития организационной среды средне- и долгосрочного планирования в недропользовании региона (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Топология территории Дальневосточного региона по перспективности выявления основных видов рудных месторождений. Составлено на основе металлогенических исследований производственных и научно-исследовательских геологических организаций 1960-2018 гг.**

На основе нового методического подхода количественно-качественного и стоимостно-го анализа минерально-сырьевых ресурсов Дальневосточного федерального округа, выполнено ранжирование территории по ценности недр в сравнительном аспекте по субъектам Федерации с составлением «Карты потенциальной ценности недр Дальневосточного региона Российской Федерации». Охарактеризованы полезные ископаемые, участки, потенциально представляющие инновационную и инвестиционную значимость (рисунок 5).

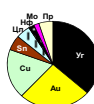
Карта потенциальной ценности недр  
Дальневосточного региона РФ



Условные обозначения

Ранжирование территории ДФО по суммарным потенциальным стоимостям ПИ по субъектам федерации

Субъекты Федерации	Потенциальная стоимость		Окраска площадей по градациям стоимостей	Удельные ценности недр	
	Млрд. долл.	% к суммарной по ДФО		на 1 км <sup>2</sup>	на 1 чел.
Саха (Якутия)	2099,00	47,44		1,01	3,24
Приморский кр.	1240,94	19,00		7,54	0,64
Амурская обл.	570,66	8,74		1,58	0,70
Хабаровский кр.	536,63	8,22		0,68	0,40
Магаданская обл.	387,68	5,94		0,84	2,54
Сахалинская обл.	291,98	4,47		3,35	0,59
Европейская АО	194,72	2,98		5,37	1,13
Чукотский АО	144,01	2,20		0,20	2,84
Камчатский кр.	66,16	1,01		0,14	0,21
ДФО (итого)	6531,79	100,00		1,06	1,04



Сокращенные наименования полезных ископаемых:

Алмазы - Ал, Бериллий - Ве, Газ - Гз, Графит - Гр, Железо - Фе, Золото - Ау, Куларит (редк. земли) - ТР, Магнетит - Мг, Марганец - Мп, Медь - Си, Молибден - Мо, Нефть - Нф, Оксид рублидия - Рб, Оксид цезия - Сс, Олово - Sn, Перлит - Пр, Серебро - Аг, Соль поваренная - NaCl, Уголь - Уг, Цементное сырье - Цм, Цеолиты - Цл.

У.ц.  $\frac{7,91}{1,40}$  Удельные ценности недр (млн долл.):  $\frac{\text{(в числителе на 1 кв км)}}{\text{(в знаменателе на 1 чел.)}}$

Рисунок 5 – Карты потенциальной ценности недр Дальневосточного региона РФ

В результате анализа цифровой модели рельефа Кавалеровско-Дальнегорского рудного района построена оригинальная, не имеющая прототипов морфоструктурная схема, по которой оценена динамика тектонического потока и выявлены направления современных горизонтальных напряжений горного массива (рисунок 6).

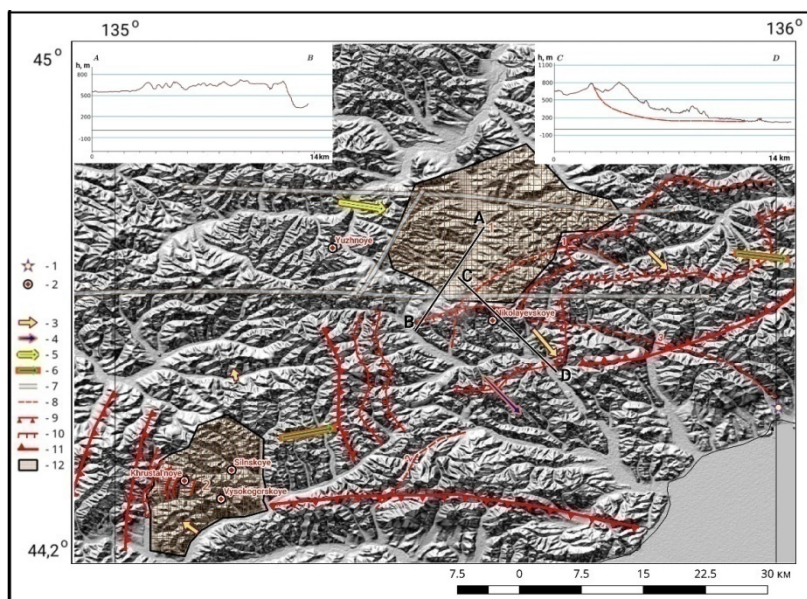
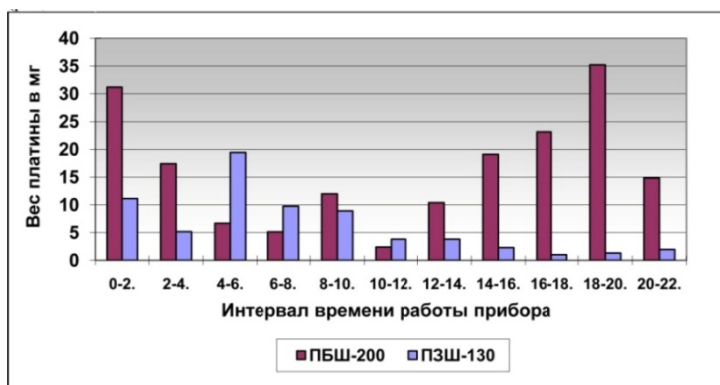


Рисунок 6 – Основные структуры Кавалеровско-Дальнегорского рудного узла, выявленные по ЦМР на основе матрицы высот SRTM03:

1 – землетрясение в районе п. Каменка 2016 г.; 2 – месторождения; 3 – направления смещения тектонических чешуй относительно друг друга; 4 – направления перемещения тектонического потока ранних этапов; 5 – вектор современных напряжений; 6 – современные направления перемещения тектонического потока; 7 – линейные зоны напряжения; 8 – тектонические нарушения (без разделения); 9 – контуры тыльных границ покровов; 10 – линии отрыва покровов от нижележащих слоев; 11 – надвиги; 12 – тектонические блоки (1 – Верхнениколаевский, 2 – Силинский); АВ и CD – положение профилей рельефа земной поверхности; Красной линией показана проекция тектонического нарушения № 1 на вертикальную плоскость

В области *геотехнологии* установлены графические зависимости потерь россыпной платины от ряда факторов при поинтервальном опробовании в течение суток хвостов шлюзов промывочных приборов ПБШ-200 и ПЗШ-130. Определено, что потери металла носят неравномерный характер в течение суток, на их величину в первую очередь (до 80 % от общего количества потерь металла) влияет количество глинистых фракций в песках и удельная нагрузка на шлюз (колебания отношения твердого к жидкому в двухфазном потоке пульпы на шлюзе). Установлено, что высокое содержание тяжелых минералов в песках месторождения оказывает существенно меньшее влияние, чем указанные выше факторы (рисунок 7).



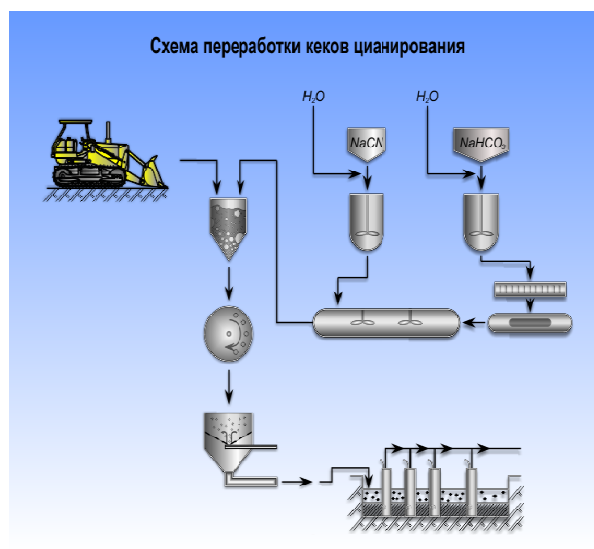
**Рисунок 7 – Распределение уровня потерь платины, теряемой со шлюзов при поинтервальном опробовании**

### ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

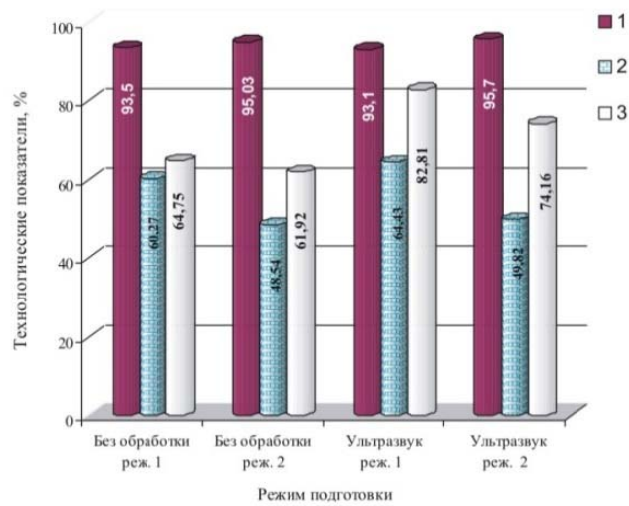
**Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов.** Научно обоснован эффективный метод извлечения инкапсулированных и дисперсных форм нахождения благородных металлов из упорных медно-порфировых руд и техногенного минерального сырья. Технология включает механохимическую обработку руд в среде электро-фото-активированных водно-газовых эмульсий, полученных смешиванием гидрокарбоната натрия и водного раствора цианида натрия, активационное кучное или чановое выщелачивание и сорбцию растворенных ценных компонентов (рисунок 8).

По результатам исследований техногенного карбонатно-флюоритового сырья с применением методов флотационного обогащения и направленного ультразвукового воздействия на поверхностный слой частиц установлены закономерности десорбции остатков соединений первичной переработки, новообразований и шламовых покрытий. Контакт флотореагентов с очищенной ультразвуком поверхностью обеспечивает селективную адсорбцию собирателей и увеличение контрастности во флотационных свойствах минералов: из бедного сырья выделены высококачественные концентраты (93,1-95,7 %  $\text{CaF}_2$ ) с извлечением флюорита 64,08-49,8 % (рисунок 9).

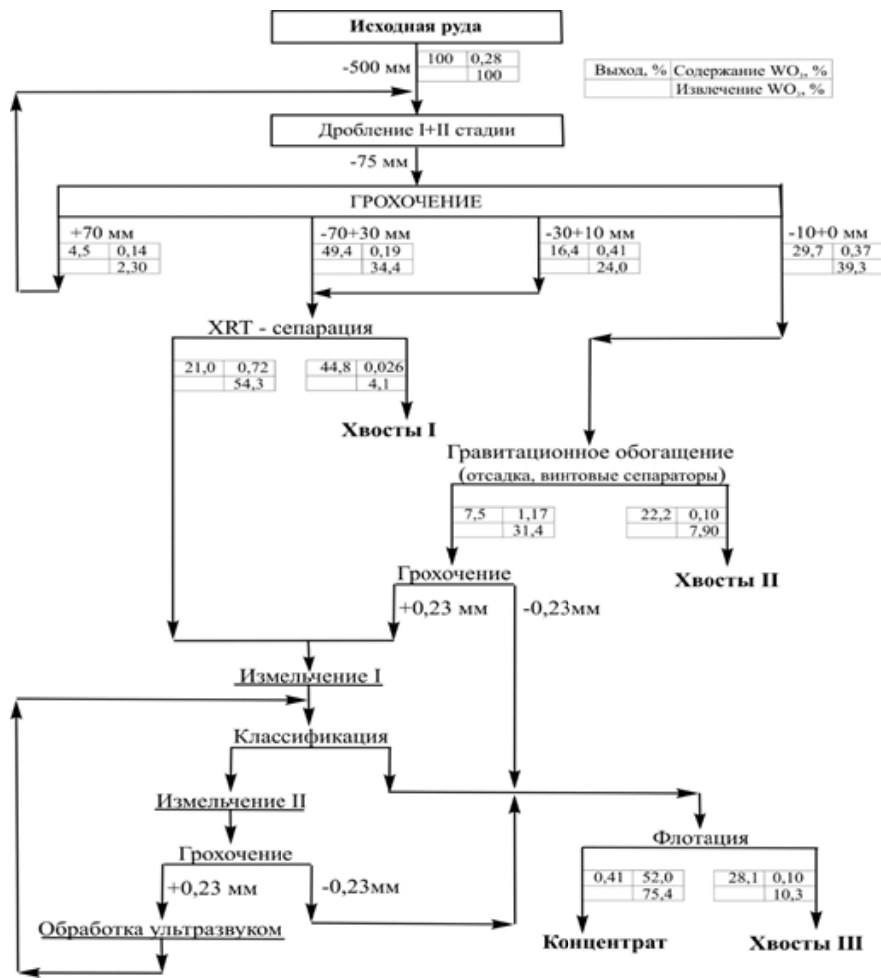
Научно обоснована комбинированная технология обогащения вольфрам содержащего минерального сырья с предварительной концентрацией ценных компонентов в исходной руде с применением радиометрической сепарации и ультразвуковой обработки рудных ассоциаций, повышающей флотационную контрастность минеральных поверхностей (рисунок 10). Обогащение по разработанной технологии бедных руд месторождения Скрытое в Приморском крае в 1,6 раза повысило сквозное извлечение шеелита по сравнению с традиционной флотационной технологией.



**Рисунок 8 – Схема переработки техногенного минерального сырья (на примере кеков цианирования)**



**Рисунок 9 – Результаты флотации флюорита из техногенных хвостов Ярославской горнорудной компании в режимах с обработкой и без обработки питания флотации ультразвуком:**  
 1 – содержание в концентратах  $\text{CaF}_2$ ,  
 2 – извлечение флюорита в концентрат,  
 3 – утилизация кальцита в начальной стадии технологии



**Рисунок 10 – Комбинированная технология обогащения вольфрам содержащего минерального сырья с ультразвуковой обработкой рудных ассоциаций**



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

Деятельность ИГД СО РАН осуществляется в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, приоритетным направлением развития науки, техники и технологий «Рациональное природопользование» и с Уставом Института по трем важнейшим областям горных наук: «Современные геодинамические поля и процессы, вызванные техногенной деятельностью; геомеханика горных пород и их массивов», «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий», «Горное и строительное машиноведение». В 2018 году в ИГД СО РАН выполнялись работы по 6 научным проектам как государственные задания, 5 проектам, поддержанным грантами Российского научного фонда и 7 проектам, поддержанным грантами Российского фонда фундаментальных исследований.

1. Наиболее значимый результат, полученный по направлению «**Современные геодинамические поля и процессы, вызванные техногенной деятельностью; геомеханика горных пород и их массивов**».

Разработана технология дегазации угольных пластов, базирующаяся на лабораторных исследованиях газодинамических процессов при гидравлическом разрыве крупноблочных образцов (1,0 м x 1,0 м x 3,0 м) в условиях двухстороннего сжатия и математической модели распространения трещины в изотропной пороупругой среде с учетом утечек рабочей жидкости. В лабораторной установке применялись несколько пригрузочных устройств, что позволило реализовать различные виды и режимы нагружения с регистрацией возникающих деформаций. Особенностью математической модели является использование фантомных узлов и когезионного закона разрушения материала. На основе вышеописанных исследований можно рассчитать траекторию разрыва в зависимости от начальных условий и геометрии задачи, подобрать необходимые параметры закачки рабочей жидкости и ее свойства для создания трещины нужной длины. Полученные экспериментальные и численные результаты позволяют установить закономерности фильтрации газа в геологической среде до и после проведения операции гидроразрыва, исследовать влияние неоднородного поля напряжений на приток газа в дегазационную скважину, включая вопросы повышения безопасности горных работ (рисунок 1).

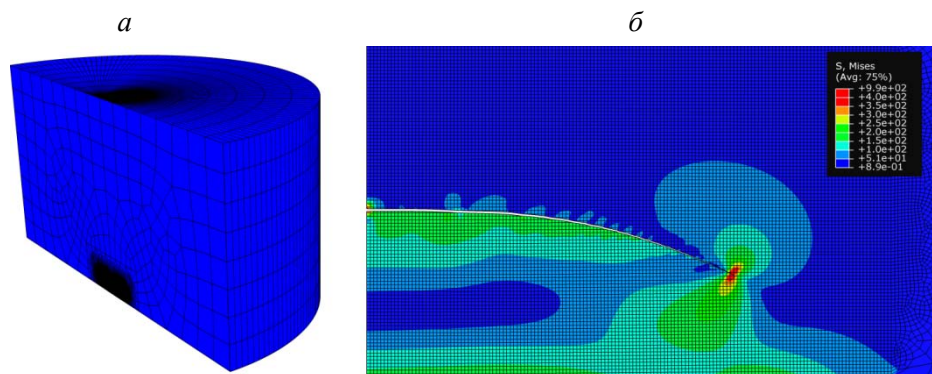


Рисунок 1 – Трехмерная модель среды (а) и распределение максимальных напряжений при распространении трещины (б)

В рамках выполнения проекта фундаментальных научных исследований «**Разработка методов и измерительных средств для создания комплексных мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности горнодобывающих предприятий Сибири. Геомеханика и физика формирования и развития очаговых зон катастрофических событий, разрушения горных пород в природных и горнотехнических системах**» достигнуты новые результаты экспериментально-теоретических исследований и технических разработок в следующих направлениях:

1. Формирование геоинформационного обеспечения функционирования региональных мониторинговых систем для горнодобывающих предприятий Сибири с учетом специфики их функционирования в изменяющихся горно-геологических, горнотехнических и природно-климатических условиях.

1.1. Установлена детерминированная связь между геодинамическим влиянием крупного кластера магматических месторождений Алтае-Саянской складчатой области (Горной Шории и Хакасии), характером газодинамической активности шахт сопряженного с ней Кузнецкого угольного бассейна. Доказано, что существует тесная корреляционная связь выхода летучих веществ (стадий метаморфизма угольных пластов), значений удельной энергии релаксации метаноносности, геологического возраста для угольных пластов месторождений Кузбасса по расстоянию от кластера магматических месторождений с выбросоопасностью основных стратиграфических структур Кузбасса

1.2. Впервые для условий открытой разработки угольных разрезов Кузбасса выполнен комплекс геомеханико-геофизических исследований по оценке устойчивости бортов карьеров с учетом влияния природно-климатических (эрозионных) и технологических факторов ведения горных работ с применением методов триангуляционного 3-D лазерного сканирования поверхностей обнажения обрабатываемых породных массивов и сейсмического профилирования их «проблемных» участков.

2. Развитие существующих и разработка новых методов натуральных измерений напряженного состояния и контроля геомеханических процессов в массивах горных пород:

2.1. По результатам натуральных испытаний экспериментального образца скважинного инклинометрического комплекса, изготовленного в соответствии с патентом РФ №2558556, разработаны методические положения по контролю вертикальных сдвижений закладочного массива при его подработке. Технические решения на их основе вошли составной частью в проектную документацию, разработанную в 2018 году НТЦ «НОВАТЭК»: «АК «АПРОСА». Рудник «Айхал». Документация по техническому перевооружению системы мониторинга гидрогеомеханических процессов при отработке подземным способом запасов месторождения трубки «Айхал» до отм. -100 м.».

2.2. Разработаны способ и роботизированное устройство измерения фильтрационных свойств горных пород в не обсаженных скважинах с использованием направленного гидроразрыва в составе двухпакерного и двигательного скважинных модулей, гидравлической станции, автономного регистратора данных.

3. Физическое и механико-математическое моделирование развития нелинейных геомеханических процессов и их прогнозирования:

3.1. Разработано и изготовлено оборудование для определения открытой пористости образцов горных пород и углей традиционным способом – методом жидкостенасыщения (по воде, керосину), состоящее из двух резервуаров, вакуумного насоса, измерительной системы взвешивания образцов в воздухе и насыщающей жидкости. На основе анализа результатов определения пористости 3-мя методами: открытой пористости методом насыщения жидкостью, поверхностной пористости по аншлифам на комплексе Минерал-7, а также общей пористости томографическим методом на ЯМР-релаксометре «МСТ-05», сделано заключение, что традиционный метод дает существенно заниженные результаты (2÷10 раз).

По проекту «**Механико-математическое моделирование квазистатических и динамических процессов в напряженных массивах горных пород блочно-иерархического строения**» в 2018 году получены следующие результаты:

- Разработана и численно реализована геомеханическая модель вязкоупругого деформирования структурированного породного массива, вмещающего разрабатываемый продуктивный пласт при различных режимах функционирования добычной скважины. Мультипараметрический анализ показал, что в окрестности контакта пласта с проявляющим реологические свойства нарушением сплошности с течением времени формируется зона повышенных деформаций уплотнения, что приводит к локальному уменьшению порового пространства и повышению давления. Величина последнего зависит от расстояния между нарушением и скважиной.

- На основе метода дискретных элементов разработан алгоритм учета несферичности формы частиц. Создано программное обеспечение, реализующее его применительно к задачам выпуска раздробленной горной массы из камер и бункеров.

- Предложен новый метод расчета геомеханического состояния массива горных пород, позволяющий в общем случае анализировать статическую, кинематическую и динамическую составляющие процесса деформирования. Развита феноменологическая теория, учитывающая собственный вес пород при расчете полных смещений в окрестности выработки.

- Разработан метод оценки напряженного состояния породного массива, учитывающий последовательность ведения горных работ. Установлено, что при поэтапном возведении в выработанном пространстве элементов крепи формируются зоны растягивающих напряжений в массиве, которые могут достигать максимальных значений на промежуточных этапах ведения горных работ.

## 2. Наиболее значимый результат, полученный по направлению «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий».

Разработана единая теоретическая база флотационного процесса, которая лежит в основе выбора состава и структуры углеводородного фрагмента реагента-собираателя для технологий флотационного обогащения сульфидных и не сульфидных руд, разработки экологически безопасных технологий без применения химических веществ в том числе для районов Крайнего Севера страны и Арктики.

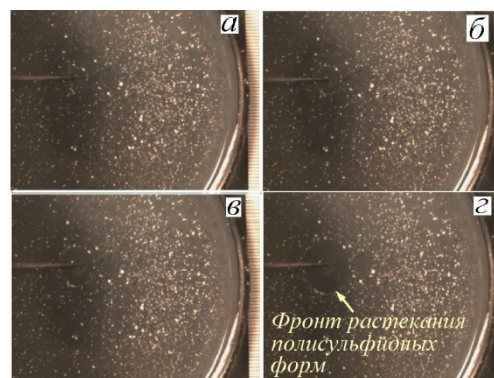
Единая теоретическая база флотационного процесса объединяет ксантогенатную флотацию сульфидов – полупроводников, активацию флотации минералов ионами тяжелых металлов и бесколлекторную флотацию сульфидных руд. Установлено, что функцию физически сорбируемых реагентов-собираателей в бесколлекторной флотации сульфидных руд выполняют полисульфиды и сульфаны, формирующиеся в широком диапазоне pH на поверхности минералов в водной среде. Скорость растекания полисульфидов сопоставима со скоростью растекания карбоновых кислот и производных форм ксантогенатов (рисунок 2). Показано, что полисульфиды, как и производные формы сульфгидрильных и оксигидрильных собирателей, снижают кинетическое ограничение образованию флотационного контакта.

Область применения технологий охватывает горнопромышленные предприятия страны, включая районы Крайнего Севера и Арктическую зону.

В рамках выполнения проекта фундаментальных научных исследований «Развитие научных основ и разработка физико-технической геотехнологии освоения месторождений твердых полезных ископаемых в сложных горно-геологических и геомеханических условиях на основе интенсификации и совмещения производственных процессов» основными результатами являются:

- Предложен дифференцированный порядок погашения целиков в первую и последующие очереди, соответственно по простиранию и по падению залежей в условиях Дукатского и Иртышского месторождений на основе изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород с многофакторной оценкой его морфоструктурных особенностей и параметров устойчивости междукамерных и междуэтажных целиков, сформированных при камерно-целиковой выемке крутопадающих маломощных рудных тел. Такой технологический подход к отработке ранее накопившихся рудных целиков решает проблему безопасной и своевременной подготовки залежей к добычным работам, обеспечивая непрерывное восполнение выбывающих запасов и поддержание мощности рудника на требуемом уровне существенно повышая конкурентоспособность действующих рудников.

- Разработан метод расчета параметров технологии буровзрывных работ на удароопасных рудных месторождениях склонных к самовозгоранию, расположенных на глубинах 1000-2000 м и при температуре горных пород до +50°C; расчеты позволяют снижать интенсивность



**Рисунок 2 – Растекание полисульфидных форм меди по поверхности воды:**  
а – через 0,01с; б – через 0,02 с;  
в – через 0,04 с; г – через 0,1 с.  
(белые крапинки – тальк)

сейсмического воздействия на подземные выработки различного назначения путем регулирования энергии взрыва. Промышленные испытания элементов технологии взрывного разрушения массива горных пород осуществлялись на предприятиях ПАО «ГМК «Норильский никель» и АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и показали повышение качества дробления горной массы, производительности на выпуске руды.

- Создан программный комплекс для оптимизации параметров рабочих зон бестранспортной технологии с максимальным использованием выработанного карьерного пространства. В отличие от методов определения зон бестранспортной технологии по параметрам экскаваторов-драглайнов и значениям коэффициента переэкскавации обоснован подход, предусматривающий оптимизацию совокупных затрат по всем рассматриваемым технологическим зонам. Программный комплекс позволяет определять экономически обоснованное долевое участие технологий, их параметры и извлекаемые объемы при развитии горных работ, обеспечивающие возможность минимизации эксплуатационных расходов на удаление вскрышных пород, как наиболее затратной составляющей в себестоимости добычи угля на разрезах Кузбасса.

- Создана программа «Проза-5.0» для математического моделирования и оптимизации технологических параметров очистных работ длинностолбовой системы разработки пологих и наклонных метаноносных угольных пластов. Программа согласована с АО «НЦ ВостНИИ» и использована в проектных работах ЗАО «Гипроуголь».

Основные результаты, полученные по научному проекту **«Развитие научных основ и методов повышения качества флотационных концентратов за счет селективной дезинтеграции минеральных комплексов и избирательного флотационного извлечения полезных компонентов, создание геотехнологий переработки отходов горного производства»:**

- дана оценка ресурсному потенциалу цеолитсодержащего сырья и определена сорбционная активность природных цеолитов Восточного Забайкалья по отношению к радионуклидам  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Изучены перспективы развития добычи и переработки цеолитсодержащих пород в Приаргунском районе Забайкальского края. Теоретически обоснована возможность применения природных цеолитов в геотехнологиях переработки отходов горного производства;
- на примере свинцово-цинковой руды исследовано влияние параметров пучка высокоэнергетических электронов (доза, энергия, частота) для предварительного ее разрушения и селективного измельчения в шаровых мельницах и выполнена оценка энергетических воздействий ускоренными электронами на результаты ее флотационного обогащения; установлено повышение извлечения свинца на 9,5% и цинка на 4,74% из руды в коллективный концентрат при затратах электроэнергии не более 1 кВт·ч на тонну руды;
- разработаны технологии и определены технологические параметры и режимы активационного кучного выщелачивания ценных компонентов из глубоко залегающих россыпей и труднообогатимого техногенного сырья с применением, в том числе, бесцианидных реагентов.

**3. Наиболее значимый результат по научному направлению «Горное и строительное машиноведение».**

Разработана методика оценки энергоэффективности бурения скважин ударно-вращательным способом погружными пневмоударниками. В основе методики оценки лежит безразмерный энергетический критерий объемного разрушения горных пород, рассчитываемый по энергии сжатого воздуха, подведенного к буровой колонне.

Экспериментально установлено, что:

- текущее значение безразмерного энергетического критерия объемного разрушения горных пород  $k$ , а также его модифицированного выражения – критериального энергетического показателя позволяет оценить энергоэффективность ударно-вращательного бурения скважин погружными пневмоударниками;
- диапазон значений безразмерного энергетического критерия объемного разрушения горных пород  $k \in (1\div 4) \cdot 10^{-9}$  обеспечивает наибольшую энергоэффективность процесса ударно-вращательного бурения скважин погружными пневмоударниками.

Методика предназначена для:

- определения режимных параметров бурения скважин в различных горно-геологических условиях месторождения;
- оценки энергоэффективности применения пневмоударников по безразмерному энергетическому критерию объемного разрушения горных пород;
- проведения научно-исследовательских работ по определению влияния конструктивных параметров погружных ударных машин, систем их воздухораспределения и параметров бурового инструмента на эффективность процесса бурения скважин.

Проведена экспериментальная проверка методики оценки энергоэффективности бурения скважин ударно-вращательным способом погружными пневмоударниками на рудниках АО «Евразруда» и АО «Комбинат КМАруда».

В рамках выполнения проекта фундаментальных научных исследований **«Создание энергоэффективных ударных и вибрационных технических средств для реализации технологий разведки, добычи и переработки полезных ископаемых и освоения подземного пространства»** получены следующие результаты:

- Для управления траекторией скважины в породном массиве разработана конструктивная схема ударного устройства, состоящего из двух шарнирно соединенных между собой частей корпуса одинакового диаметра с возможностью углового отклонения задней части в заданном направлении. Получены расчетные зависимости для определения радиуса траектории скважины в зависимости от физико-механических свойств породного массива.

- Разработан прототип импульсного механизма для проходки выработок в породном массиве с разделением ударной массы на две свободно перемещаемые друг относительно друга части. Смещение передних торцевых поверхностей масс относительно друг друга на величину до 1 мм вызывает увеличение продолжительности непрерывного воздействия ударного импульса на погружаемый в породу рабочий орган, что снижает сопротивление породного массива и увеличивает скорость проходки скважины.

- Решена задача формирования высокоплотного компакта дисперсной среды, содержащей частицы разного размера и плотности, с использованием полигармонического вибрационного воздействия на уплотняемый материал в замкнутом объеме на основе патента РФ № 2296819 для технологии формирования бесшовных футеровок алюминиевых электролизеров.

- Экспериментально установлено, что при полигармоническом режиме вибровоздействия на уплотняемый материал обеспечивается увеличение плотности на 10 – 15 % в сравнении с гармоническим режимом за счет наличия в спектре высокочастотных составляющих, амплитуда виброскорости которых соизмерима с амплитудой виброскорости основной частоты.

Важнейшие результаты, полученные при выполнении проекта фундаментальных научных исследований **«Энергоэффективные вентиляционные комплексы подземных горнодобывающих предприятий и транспортных систем с повышенной безопасностью к последствиям природных и техногенных катастроф»** представлены ниже:

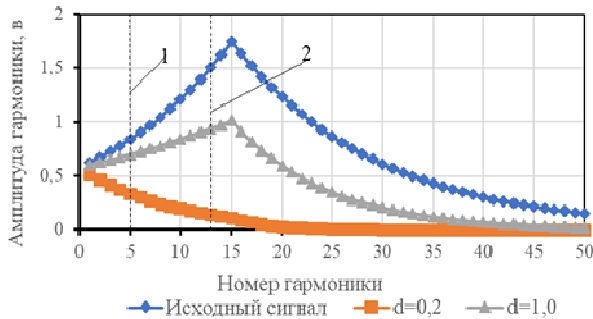
- На основе анализа полей скоростей воздушного потока в подводящем канале главной вентиляторной установки и во входных элементах вентиляторов главного проветривания, путем математического моделирования, обоснован способ модернизации многократно выработавших ресурс двухступенчатых осевых вентиляторов ВОД (аэродинамическая схема ОВ-84 ЦАГИ), включающих рабочее колесо и спрямляющий аппарат в каждой ступени, путем замены двухступенчатого ротора на высоконагруженный одноступенчатый, выполненный по схеме «входной направляющий аппарат – рабочее колесо – спрямляющий аппарат», что позволяет достичь требуемых аэродинамических параметров, обеспечит равномерность воздушного потока на входе в рабочее колесо, повысить ресурс работы подшипниковых опор ротора и значительно снизить его массу.

- Разработана методика расчета и выбора аэродинамических и конструктивных параметров шахтных осевых вентиляторов для их модернизации, учитывающая влияние частотно – регулируемого привода, гироскопического момента рабочего колеса, жесткость подшипниковых опор и соотношение инерционно-массовых параметров ротора, которая позволяет определять на ранней стадии проектирования критические частоты вращения вентилятора.

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

Выявление функциональных связей между критериями выбросоопасности спектрально-акустического и инструментального (по начальной скорости газовыделения и выходу бурового штыба при бурении контрольных шпуров) методов текущего прогноза (исп. д.т.н. Шадрин А.В.)

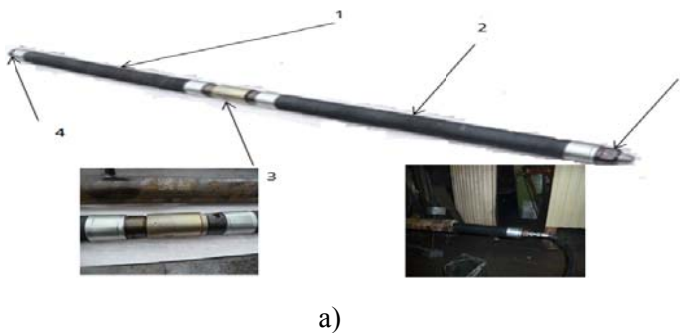
Предложен и обоснован вариант исполнения спектрально-акустического метода прогноза газодинамических явлений, основанного на зависимости медианы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) шумов работающего по угля горного оборудования от напряженного состояния призабойного пространства. Показано, что увеличение напряжений ведет к росту медианы (частотной характеристики спектра сигнала).



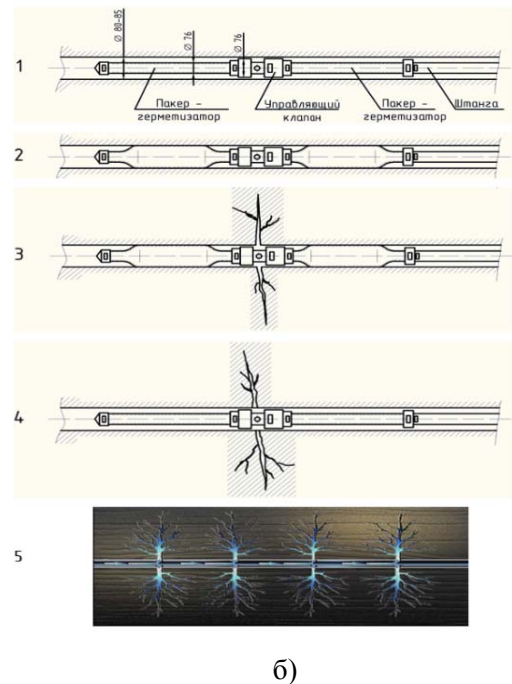
**Рисунок 1 – АЧХ исходного сигнала и прошедших участков горного массива. 1 и 2 – текущие значения медианы  $M_c$ , равные 100 Гц и 260 Гц для  $d=0,2$  и  $d=1,0$  соответственно**

Увеличение отношения текущих напряжений в массиве горных пород к предельным ( $d=0,2$  до  $d=1,0$ ) привело к смещению медианы АЧХ со 100 Гц к 260 Гц (рисунок 1).

Это позволило установить функциональную связь между критериями выбросоопасности спектрально-акустического и эталонного инструментального (по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи) методов прогноза.



**Рисунок 2 – Схема расположения скважин и интервалов гидроразрыва**  
**а) Устройство разрывное: 1,2 – упруго расширяющиеся рукава; 3 – распределитель давления; 4 – наконечник запорный; 5 – муфта присоединительная.**  
**б) Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного массива: 1 – ввод пакера в скважину; 2 – герметизация скважины; 3 – гидрорасчленение угольного массива; 4 – разгерметизация скважины и перемещение пакера; 5 – серия гидроразрывов**



Разработка метода поинтервального гидроразрыва угольного пласта для интенсификации процессов пластовой дегазации и обосновать его параметры (исп. к.т.н. Опрук Г.Ю.)

Разработан метод поинтервального гидроразрыва угольного пласта, осуществляемый из действующих подземных горных выработок через скважины, для интенсификации процессов пластовой дегазации. Метод позволяет обеспечить распространение трещин гидроразрыва по нормали к оси скважины по направлению вектора главных напряжений. Предложено устройство, обеспечивающее растягивающие напряжения в области гидроразрыва и распространение трещины в заданном направлении (рисунок 2).

*Исследование влияния давления метана, образующегося в предельно напряженных краевых зонах угольного пласта на геомеханическое состояние массива в окрестности пластовой выработки (исп. д.т.н. Черданцев Н.В.)*

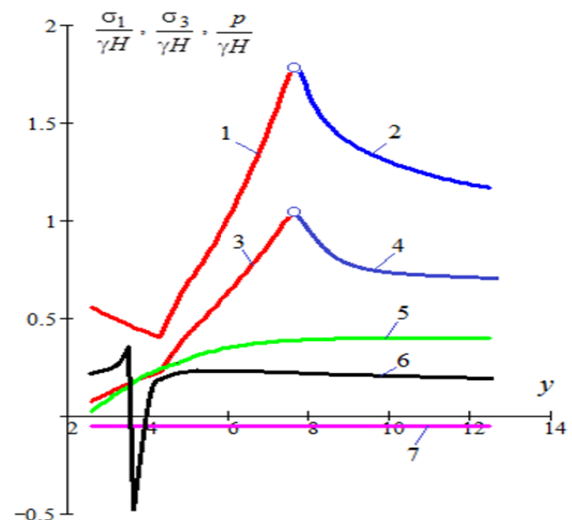
Разработана модель геомеханического состояния углепородного массива, вмещающего пластовую выработку, пройденную по газоносному пласту. В рамках этой модели проведены исследования и впервые получены количественные оценки влияния порового давления метана угольного пласта на параметры опорного давления в его краевой зоне и осуществлён прогноз интенсивного развития поровых трещин, приводящих к выбросам угля и метана.

На рисунке 3 показаны графики зависимости исследуемых параметров в зоне опорного давления пласта. Цифрами 1 и 2 обозначены эпюры главного напряжения  $\sigma_1$ , цифрами 3, 4 эпюры главного напряжения  $\sigma_3$ , линии 1 и 3 – эпюры предельной зоне, линии 2, 4 – эпюры в упругой части пласта. График 5 – график изменения порового давления метана  $p$  (аппроксимируется гиперболой). График 6 построен по формуле

$$1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_0},$$

график 7 – предел прочности пласта на растяжение  $\sigma_p$ , взятый со знаком минус. Из рисунка график 6 на интервале от 3,5 м до 4 м отрицателен и расположен ниже графика 7. Из условия разрушения в механике разрушения следует, что на указанном интервале происходит интенсивный рост газосодержащих микротрещин.

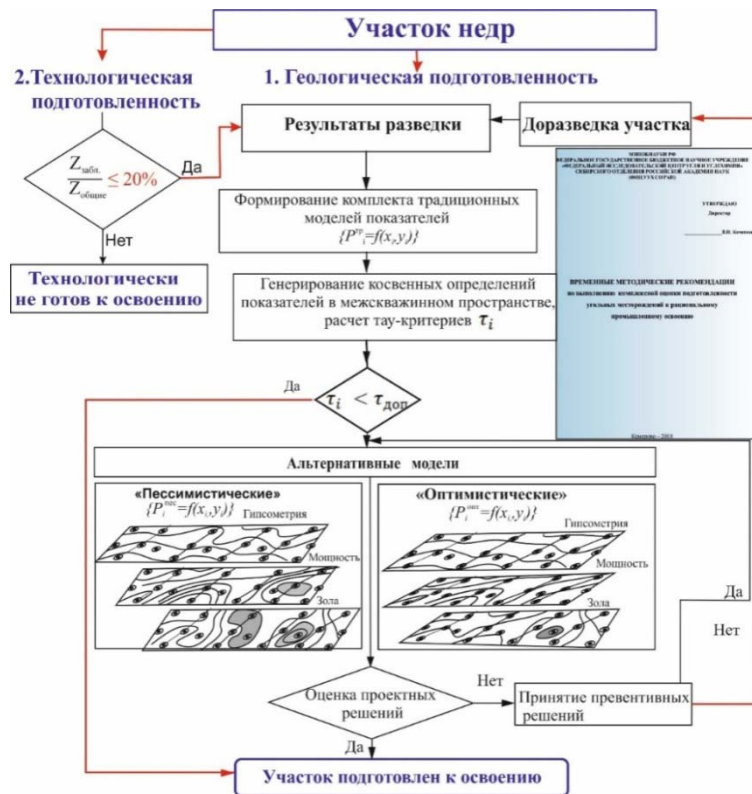
**Рисунок 3 – Графики изменения основных параметров в предельной зоне пласта. Глубина заложения выработки  $H=800$  м, объёмный вес пород  $\gamma=25$  кН/м<sup>3</sup>, предел прочности пласта на сжатие  $\sigma_0=10$  МПа, на растяжение  $\sigma_p=1$  МПа высота выработки  $h=3$  м, пролёт выработки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



*Разработка методических указаний по выполнению комплексной оценки соответствия достигнутой степени геологической изученности месторождения характеру принимаемых геотехнологических решений, направленных на рациональную, безопасную и эффективную разработку угольных пластов. (исп. д.т.н. Шаклеин С.В.)*

Методические рекомендации регламентируют выполнение оценки качества геологической информации объекта освоения в двух направлениях (рисунок 4): оценки технологической подготовленности и геологической изученности и подготовленности месторождения к рациональному промышленному освоению. Обязательность наличия такой оценки в геологических и проектных материалах на разработку недр требуется горным законодательством.

Оценка технологической подготовленности – это оценка проектных геотехнологических решений на разработку с позиции полноты отработки запасов месторождения, устанавливается по доле запасов подлежащих извлечению в результате реализации проектных решений к общим запасам месторождений. Данная оценка направлена на обеспечение рациональности использования недр, а также на стимулирование недропользователей к совершенствованию технологий добычи и переработки угля.



**Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма комплексной оценки подготовленности угольных месторождений к рациональному промышленному освоению**

Геологическая подготовленность – это оценка соответствия достоверности изученности свойств, форм условий залегания угольных пластов и качества угля требованиям геотехнологических, технологических и управленческих решений. Данная оценка основывается на анализе эффективности проектных решений на разработку месторождений по альтернативным горно-геометрическим моделям показателей месторождения, наличие которых порождает объективная неоднозначность интерпретации геологических данных об объекте освоения.

*Разработка методики диагностирования и прогнозирования работоспособности длительно работающих горных машин (в том числе в подземных условиях на примере редукторов конвейеров)(д.т.н., проф. Герике Б.Л.)*

Тяжелые условия эксплуатации горных машин, а также высокий уровень динамической нагруженности приводят к снижению их срока эксплуатации. Количественная оценка надежности машин по одному из показателей – ресурсу, получила широкое распространение во всех отраслях техники. Одним из важных методов повышения надежности в условиях эксплуатации является техническое диагностирование.

Отсутствие нормативной базы для оценки ресурса большинства горных машин требует разработки соответствующей методической базы, позволяющей собирать, систематизировать и обобщать информацию о техническом состоянии оборудования опасных производственных объектов.

В рамках выполнения Программы разработан Стандарт организации «Методические указания по проведению диагностических измерений редукторов, выпускаемых ОАО «Анжеромаш». Его внедрение позволило создавать вибрационные паспорта на выпускаемую продукцию (рисунок 5а) при их обкатке на заводском стенде (рисунок 5б), а также контролировать в шахтных условиях их техническое состояние (рисунок 6а), не допуская аварийного выхода из строя (рисунок 6б).





Рисунок 5 – Вибрационный паспорт редуктора (а) и общий вид обкаточного стенда (б)

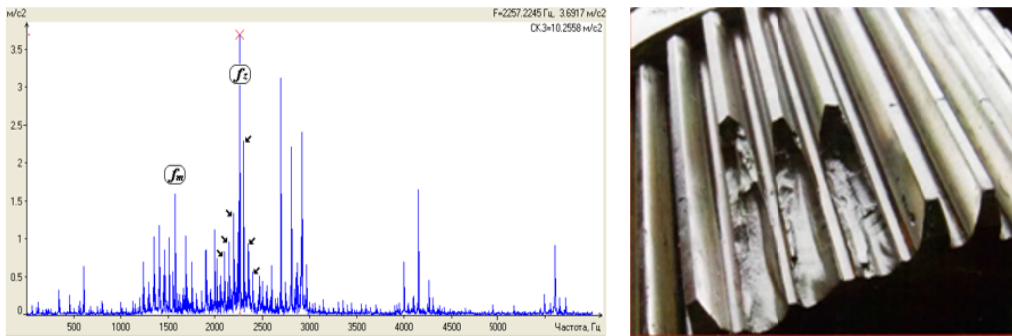


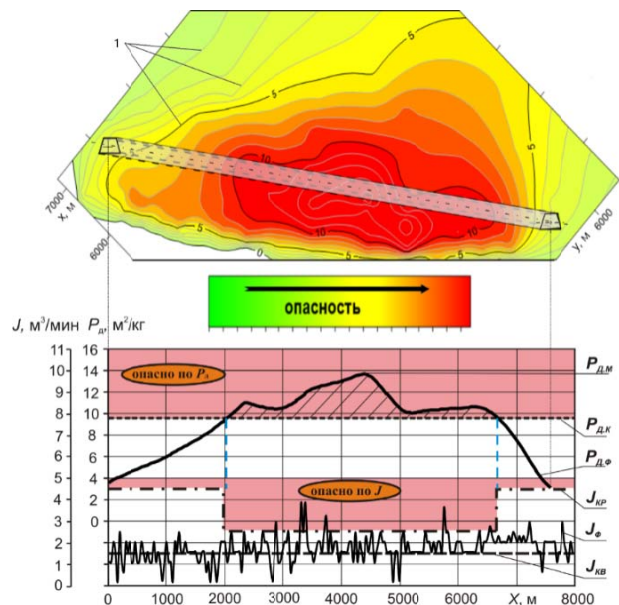
Рисунок 6 – Спектр вибрации на промежуточном валу редуктора (а) и излом зуба вследствие ударной нагрузки в зацеплении (б)

*Исследование по геологоразведочным данным свойств и состояния угольных пластов, определяющих уровни их потенциальной газодинамической активности, и разработка основ автоматизированного контроля газовой опасности в действующих подготовительных забоях. (исп. к.т.н. Козырева Е.Н.)*

Разработан метод регионального и локального прогноза уровней газодинамической активности угольных пластов при проведении подготовительных выработок, с учетом которого разработаны основы автоматизированного текущего контроля газовой опасности в действующих подготовительных забоях (рисунок 7). Разработки базируются на энергетической оценке

Рисунок 7 – Основы метода автоматизированного текущего контроля газодинамической активности угольных пластов при проведении подготовительных выработок с учетом данных регионального и локального прогноза

*1 – изолинии показателя газодинамической активности  $P_{Д}$ ,  $м^2/кг$ ;  $x$  – направление на север,  $y$  – направление на восток;  $P_{Д,к}$  – критический уровень показателя газодинамической деструкции,  $м^2/кг$ ;  $P_{Д,м}$  – максимальная величина показателя  $P_{Д}$ , превышающая  $P_{Д,к}$ ,  $м^2/кг$ ;  $P_{Д}$  – показатель газодинамической деструкции,  $м^2/кг$ ;  $J_{кр}$  – критический уровень метанообильности,  $м^3/мин$ ;  $J_{ф}$  – фактическая метанообильность,  $м^3/мин$ ;  $J_{кв}$  – квазистатическая метанообильность,  $м^3/мин$*

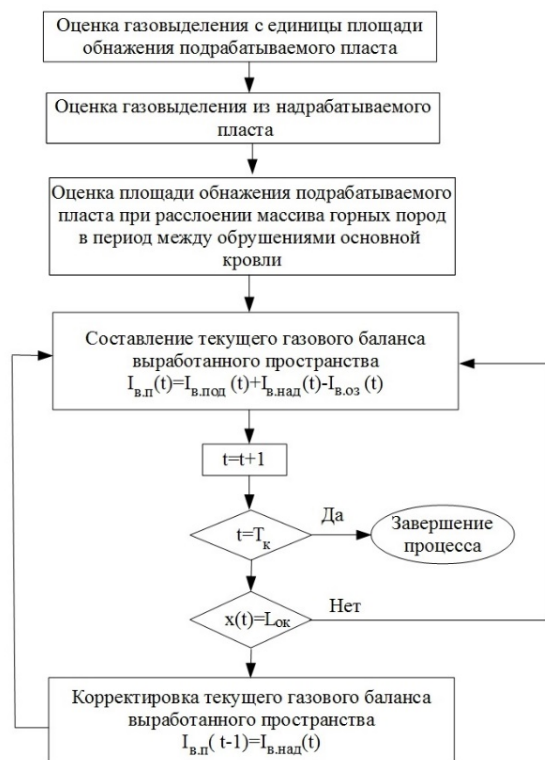


склонности угольного пласта к газодинамической деструкции при его отработке (потенциальной способности пласта к разрушению при его разгрузке от горного давления с учетом реализации энергии газа, содержащегося в угле), а снижение и контроль газодинамической активности пласта по трассе выработки достигается управлением ее метанообильностью. Предложены современные мероприятия по снижению выбросоопасности призабойной части пласта впереди подготовительного забоя.

*Разработка математической модели совместного 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 (исп. д.т.н. Палеев Д.Ю.)*

Предложен и обоснован единый алгоритм расчёта воздухораспределения в вентиляционной сети горных выработок и пространственной фильтрации газа в выработанном пространстве, позволяющий осуществлять управление газовыделением, снижение нагрузки на вентиляционную сеть и повышение эффективности дегазации выработанных пространств. При этом:

- фильтрация газа рассчитывается на основе классических уравнений газовой динамики на прямоугольной разностной сетке, которая рассматривается как ориентированный связный граф;
- учитывается совокупное влияние вентиляторов главного проветривания, вакуум-насосов, работающих на систему дегазационных трубопроводов и поверхностных газоотсасывающих вентиляторов;
- источники метановыделения определяются геомеханическими процессами при ведении горных работ для конкретной системы разработки (рисунок 8);
- метановыделение через негерметичные изолирующие сооружения (перемычки), установленные в сбойках, определяются степенью их проницаемости.



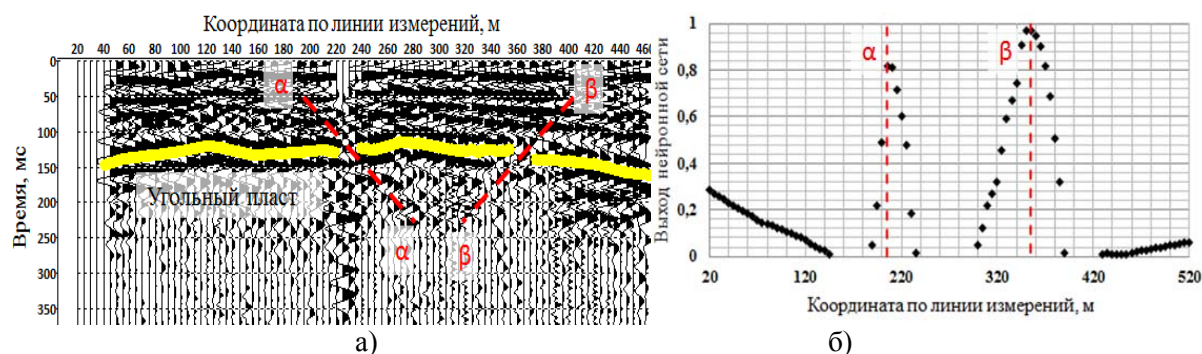
**Рисунок 8 – Блок-схема модели газовыделения из ВП выемочного участка**

*Разработка и апробация подходов к определению горногеологических условий залегания угольных пластов с высоким содержанием метана на основе применения нейронных сетей для обработки регистрируемых сейсмограмм, определение рациональной структуры и параметров размещения геофизического оборудования на шахтных полях (исп. д.т.н. Тайлаков О.В.)*

Для повышения достоверности и оперативности идентификации дизъюнктивных нарушений, способных накапливать метан, предложено и обосновано последовательное применение быстрого преобразования Фурье (БПФ), позволяющего обнаруживать существование нарушения, и двухслойных нейронных сетей, обеспечивающих определение их положения и структуры. При этом временной сейсмический разрез исследуемой области углепородного массива представляется как двумерное пространство, в котором распространение угольного пласта и возможного дизъюнктивного нарушения определяется его координатами. Установлено, что для этого достаточно использовать каскадную нейронную сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки.

Выполнено обучение сетевой модели с использованием выборок, построенных на основе обработки 20 сейсмограмм, на 14 из которых присутствовали дизъюнктивные нарушения. На рисунке 9 представлен пример применения предложенного подхода.

Показано, что обнаружение дизъюнктивных нарушений при обработке суммарных сейсмограмм, полученных при проведении сейсмоакустического профилирования шахтного поля, обеспечивается расстановкой приемников и источников, выбором шага приема и возбуждения колебаний.



**Рисунок 9 – Сопоставление результатов нейросетевого анализа и стандартной интерпретации сейсмической информации по горизонту залегания угольного пласта со сместителями структурных нарушений  $\alpha$ -  $\alpha$  и  $\beta$  –  $\beta$ :**  
*а) – временной сейсмический разрез, интерпретированный с использованием стандартных процедур;*  
*б) – координаты нарушений, обнаруженные на основе применения БПФ и каскадной нейронной сети*

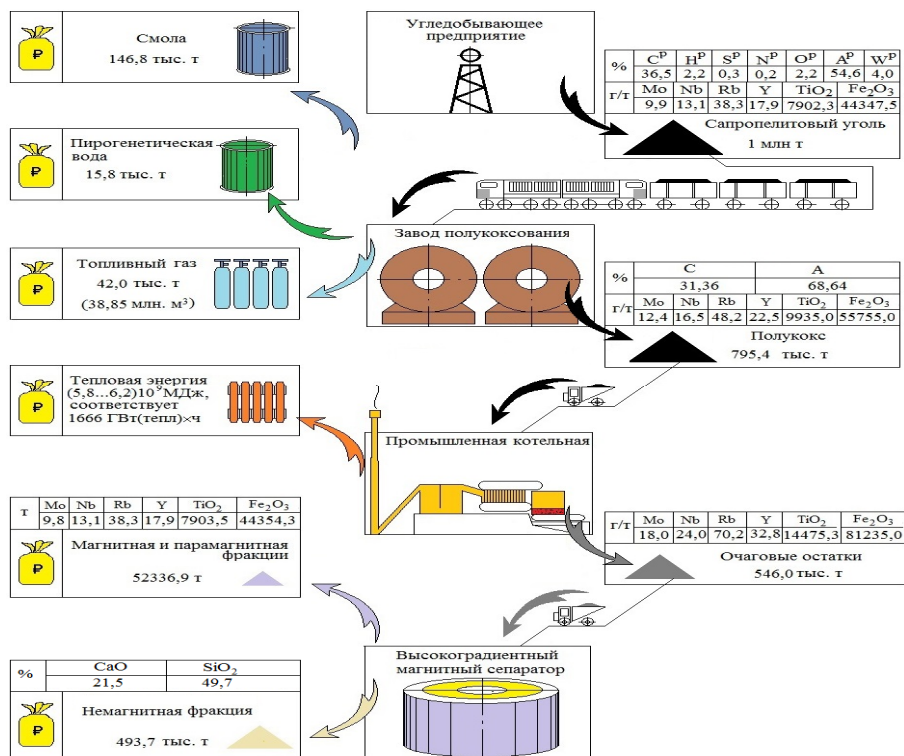
*Обоснование параметров освоения высокотехнологичных запасов угля, обеспечивающих комплексное извлечение полезных ископаемых при подземной разработке угольных месторождений (исп. д.т.н. Федорин В.А.)*

Систематизация технологических схем подземной селективной выемки угольных пластов позволяет группировать технологии по определенным признакам (цель, деление на слои, присечка вмещающих пород, способ разграничения горных пород при их отбойке и т.д.) и, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, методом аналогии выбирать наиболее рациональный вариант.

На примере Барзасского месторождения Кузбасса определены Техничко-технологические решения подземного способа комплексного освоения угольных месторождений при селективном извлечении ценных полезных компонентов (схемы и способы вскрытия, подготовки, системы разработки) с учетом разработанного в лаборатории метода доступа к георесурсам (рисунок 10).

Осуществлено технологическое обоснование высокоэффективных систем комбинированной разработки мощных угольных пластов. Разработаны модульные горнотехнологические структуры шахтоучастков, адаптированные к комбинированным технологиям добычи угля в Кузбассе, защищенные патентами на изобретения РФ.

Установлена высокая эффективность комбинированного способа разработки угольных пластов с прибылью выше среднего по Кузбассу в 1,5 раза. В перспективе рассматривается безлюдная геотехнология «Highwall» – Комплекс глубокой разработки пласта (КГРП), как промежуточный ярус комбинированного способа разработки. КГРП является полностью автономной, мобильной, высокопроизводительной и экономичной угледобывающей системой, позволяющей осуществлять полностью механизированную подземную разработку пластов на угольном разрезе по безлюдной технологии.

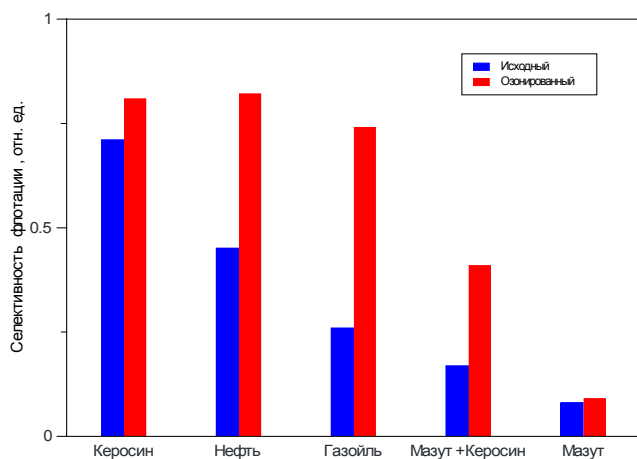


**Рисунок 10 – Материальный баланс энергохимического кластера Барзасского месторождения сапропелитовых углей**

Разработка лабораторной методики окислительной модификации аполярных флото-реагентов с целью повышения их флотирующей способности (исп. д.х.н. Патраков Ю.Ф.)

Установлена возможность получения комплексных реагентов (собиратель+пенообразователь) для флотации углей на основе нефтяных углеводородных продуктов методом их озонирования. Основные результаты:

- озонирование способствует преобразованию углеводородного состава нефтепродуктов с образованием кислородсодержащих соединений различной функциональности (альдегидов, кислот, линейных и циклических эфиров);
- предварительное озонирование нефти и нефтяных фракций способствует повышению эффективности флотации коксующихся углей: снижению расхода реагента, повышению селективности, увеличению выхода концентрата и зольности отходов (рисунок 11).



**Рисунок 11 – Результаты флотации каменного угля марки ОС с использованием нефтяных углеводородных и модифицированных реагентов**

Разработка структурной схемы системы имитационного моделирования технологий проведения горных выработок буровзрывным и комбайновым способами, определение требований к основным модулям и элементам, установление логических и информационных связей между ними. Создание базы данных машин и оборудования на основе информации о горно-геологических условиях их применения, технологических и технических характеристик (исп. к.т.н. Зиновьев В.В.).

Разработана структурная схема системы имитационного моделирования технологий проведения горных выработок буровзрывным и комбайновым способами (СИМТП), включающая три модуля:

«Модуль имитационного моделирования» для генерации по заданному алгоритму моделей различных вариантов ведения горных работ с возможностью учета случайных факторов взаимодействия машин и оборудования во времени и пространстве, а также проведения имитационных экспериментов; «Модуль оптимизации» для планирования имитационных экспериментов и оценки технико-организационных вариантов ведения горных работ; «Модуль визуализации» для отображения взаимодействия элементов технологий проведения горных выработок в соответствии с работой имитационной модели, а также «Интерфейс пользователя» для интерактивного взаимодействия с системой имитационного моделирования (рисунок 12).

Создана реляционная база данных для интеграции в СИМТП, включающая 153 единицы современных горных машин и оборудования, которая содержит их технические характеристики и информацию о горно-геологических условиях применения.



**Рисунок 12 – Схема системы имитационного моделирования технологий проведения горных выработок буровзрывным и комбайновым способами**

*Разработать схемные решения внешних движителей геохода и их сопряжений с законтурными каналами. Определить перечень геометрических параметров внешнего движителя геохода, влияющих на силовые параметры его работы. Разработать математическую модель взаимодействия лопасти внешнего движителя геохода с породой (исп. к.т.н. Казанцев А.А.)*

1. Установлено, что при взаимодействии лопасти ВД с породой образуется область смятия породы, на границе которой имеет место равномерно распределенная нагрузка с интенсивностью равной или близкой к пределу прочности породы на одноосное сжатие.

2. Доказано, что в области взаимодействия лопасти ВД с приконтурным массивом пород максимальные по модулю значения напряжений приходятся на поверхность взаимодействия, а с удалением от поверхности вглубь массива значения напряжений уменьшаются.

3. Доказано, что значения рациональных углов наклона опорной поверхности зависят от радиальной координаты, максимальные значения рациональных углов имеют место у внутренней кромки опорной поверхности канала (кромки при вершине лопасти), по мере удаления от внутренней кромки значения углов уменьшаются, а в области наружной кромки канала (кромки при основании лопасти) начинают расти.

4. При проектировании элементов системы «внешний движитель – геосреда» для заданных горнотехнических условий рекомендовано:

- обеспечить угол наклона опорной поверхности винтового законтурного канала несколько большим, чем угол наклона опорной поверхности лопасти ВД, а величину предварительного зазора определять опытным путем с учетом расчетов корпуса и лопасти на жесткость;
- для обеспечения центрирования геохода в выработке применять многолопастной ВД пропеллерного типа;
- для рационального размещения оборудования в головной секции применять двухлопастной ВД (по числу барабанов исполнительного органа), короткие винтовые лопасти которого размещаются за барабанами исполнительного органа, а число заходов винтовых каналов равно числу лопастей;

- для обеспечения достаточной несущей способности межвиткового целика обеспечить равномерное распределение нагрузки между лопастями ВД, для управления распределением нагрузки между лопастями ВД обеспечить управление взаимным положением лопасти и исполнительного органа ВД (рисунок 13).

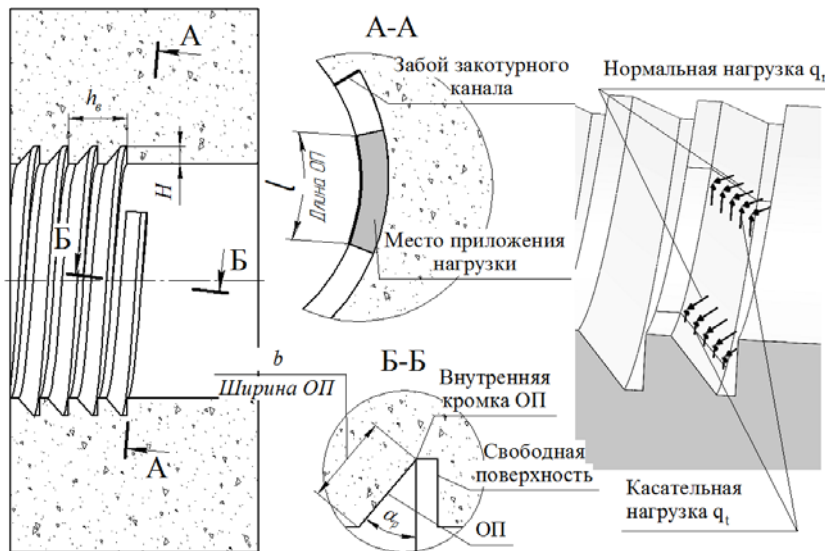


Рисунок 13 – Схема взаимодействия ВД с породой

## 2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В. ЧЕРСКОГО СО РАН

### Геомеханика

- В результате проведённых экспериментальных исследований получены новые данные о статических упругих свойствах вмещающих карбонатных пород трубки «Ботуобинская» различной влажности в диапазоне изменения температуры испытания от +20°C до -40°C. Установлены закономерности изменения модуля упругости и коэффициента Пуассона исследованных пород в зависимости от температуры и степени водонасыщения, отмечено возрастание модуля упругости при переходе материала из талого в мёрзлое состояние при сохранении постоянного значения коэффициента Пуассона. С увеличением влажности образцов отмечено снижение модуля упругости и повышение коэффициента Пуассона во всём температурном диапазоне (рисунок 1).

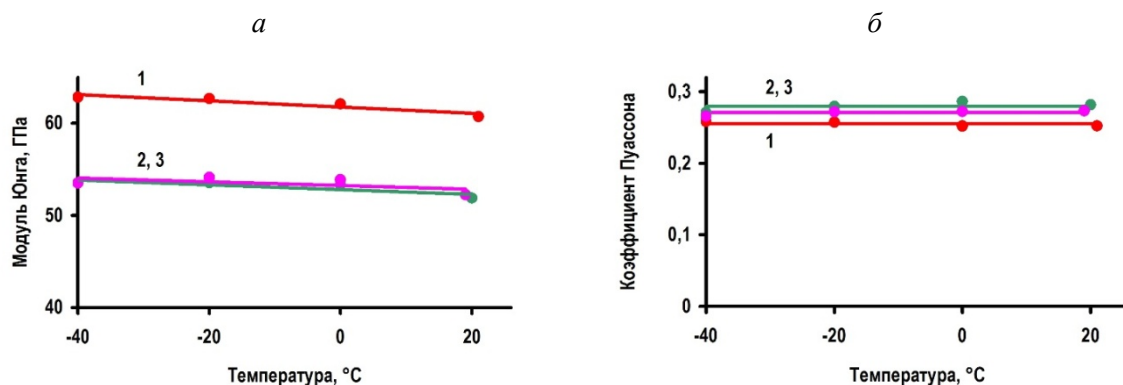
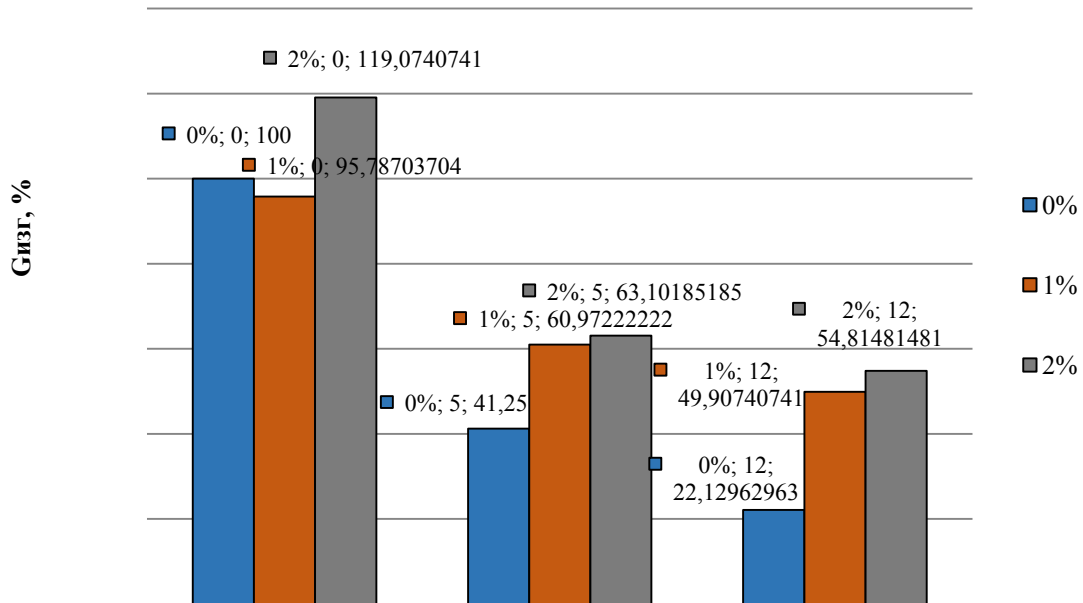


Рисунок 1 – Зависимости модуля Юнга (а) и коэффициента Пуассона (б) образца известняка от температуры при различных уровнях водонасыщения:  
1 – 0 % (воздушно-сухое состояние), 2 – 12 %, 3 – 33 %

- Выполнен анализ возможности применения известных нелокальных и градиентных критериев разрушения для описания хрупкого, квазихрупкого и вязкого разрушения геоматериалов с концентраторами напряжений. Общим свойством этих критериев является введение внутреннего размера материала, характеризующего его структуру, что позволяет описать масштабный эффект в условиях концентрации напряжений и тем самым расширить область применения по сравнению с традиционными критериями. Вместе с тем показано, что эта область ограничена случаями хрупкого, либо квазихрупкого разрушения с малой зоной предразрушения. Для расширения области применения критериев на случаи разрушения с развитой зоной предразрушения предложено отказаться от гипотезы о размере этой зоны, как о константе материала, связанной только с его структурой. Размер зоны предразрушения представляется в виде суммы двух слагаемых, одно из которых характеризует собственно структуру материала, а второе – зону неупругих деформаций, размер которой определяется геометрическими особенностями (форма, размер полости), условиями нагружения и пластическими свойствами материала. От соотношения этих размеров зависит, какой механизм разрушения (хрупкий или вязкий) будет реализован. Пластические свойства, определяющие вязкий характер разрушения, начнут проявляться только тогда, когда размер зоны неупругих деформаций превысит характерный размер структуры материала. В противном случае пластическая зона мала и разрушение носит хрупкий характер. Предложен ряд новых критериев разрушения, являющихся развитием критериев средних напряжений, напряжений в точке, фиктивной трещины, а также градиентного критерия, и содержащих комплексный параметр, характеризующий размер зоны предразрушения и учитывающий не только структуру материала, но также пластические свойства материала, геометрические особенности и условия нагружения. Получены выражения для критического давления в задаче об образовании трещин отрыва при сжатии в образцах геоматериалов с круговым отверстием. Результаты расчётов хорошо согласуются с экспериментальными данными о разрушении гипсовых плит. Кроме того, применение разработанных критериев позволило объяснить наблюдаемую в эксперименте смену характера разрушения с хрупкого на вязкий при увеличении размера отверстия.

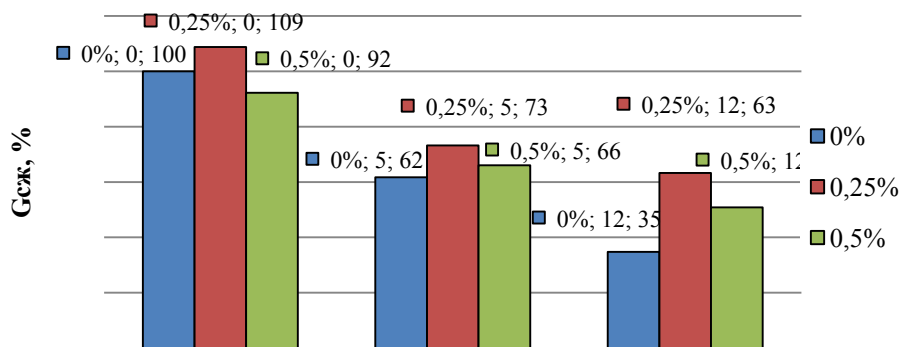
### **Горная теплофизика**

- Установлены закономерности изменения пределов прочности при изгибе и сжатии торкретбетона различного состава армированного полипропиленовой фиброй (длина 6 мм,  $\text{Ø}10\div15$  мкм) при знакопеременных температурных воздействиях. Показано, что с увеличением содержания полипропиленовой фибры до 2% наблюдается рост прочности при изгибе, в том числе после воздействия циклов замораживания-оттаивания. При введении в состав торкретбетона 0,25% полипропиленового волокна прочность образцов на сжатие после воздействия 12 циклов замораживания-оттаивания превосходит неармированную серию  $\approx$  в 2 раза, что свидетельствует о существенном повышении морозостойкости армированного бетона. На рисунках приведены диаграммы влияния циклов замораживания-оттаивания на относительное изменение пределов прочности при изгибе (рисунок 2) и сжатии (рисунок 3) мелкозернистого бетона в зависимости от содержания полипропиленового волокна. Полученные результаты имеют практическое значение для разработки эффективных способов крепления горных выработок в условиях криолитозоны.



Количество циклов замораживания оттаивания

**Рисунок 2 – Относительные изменения предела прочности при изгибе мелкозернистого бетона (Цемент/Песок=1/1) в зависимости от содержания полипропиленового волокна и количества циклов замораживания-оттаивания**



Количество циклов замораживания оттаивания

**Рисунок 3 – Относительные изменения предела прочности на сжатие мелкозернистого бетона (Цемент/Песок=1/1) в зависимости от содержания полипропиленового волокна и количества циклов замораживания-оттаивания**

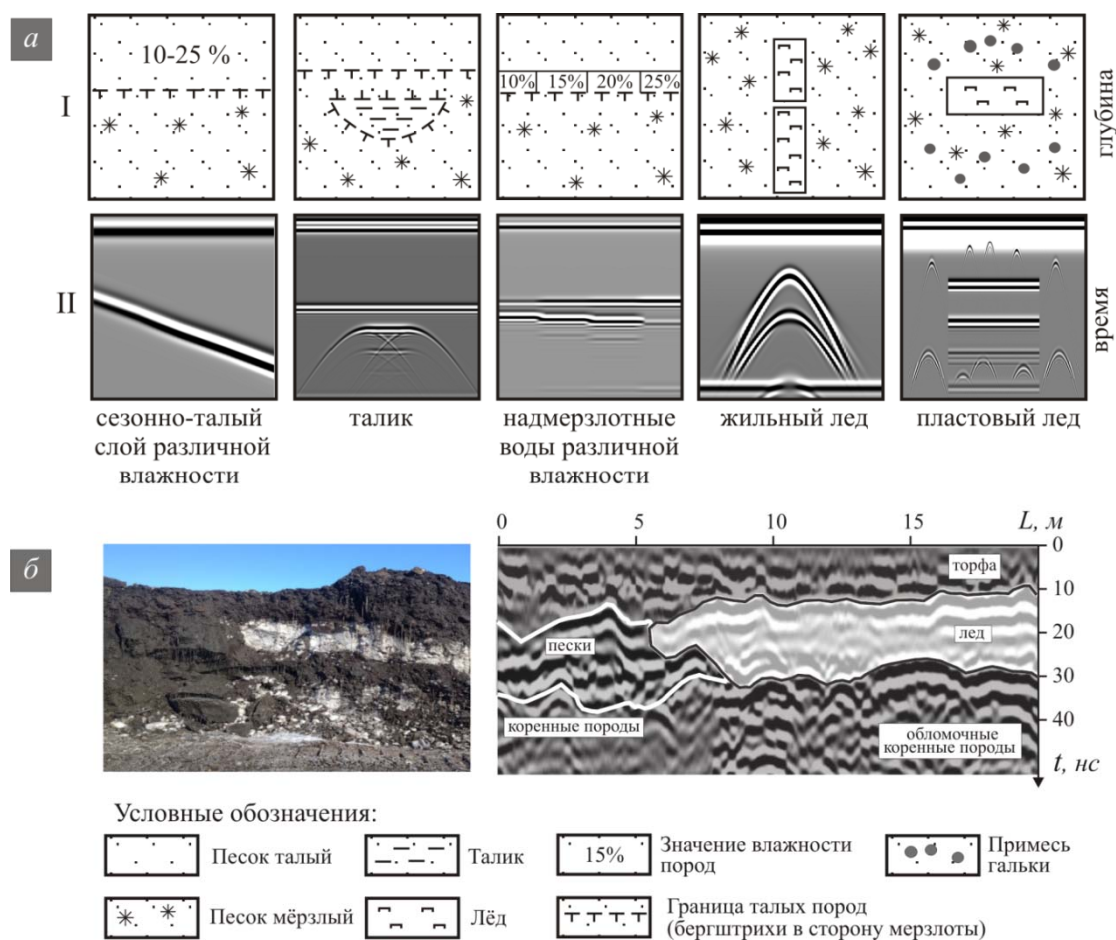
- Разработаны рекомендации по обеспечению подвижности защитных подушек при подземной доработке подкарьерных запасов руды системами с обрушением в условиях криолитозоны, включающие: требования по формированию и эксплуатации защитной подушки, обеспечивающие хорошую фильтрацию атмосферных осадков и подземных вод; мероприятия по предотвращению смерзания геоматериала, из которого она сформирована, с учетом годового хода температуры наружного воздуха, интенсивности атмосферных осадков, температуры и депрессии рудничного воздуха, степени засоленности геоматериалов.
- Модернизирован ранее разработанный программный комплекс совместного расчёта вентиляционного и теплового режимов на шахтах и рудниках криолитозоны за счет добавления



модулей «Очистные выработки» и «Тупиковые выработки в период проходки». Интеграция данных модулей в основную программу позволяет проводить расчёты теплового и вентиляционного режимов в очистных и тупиковых выработках с учётом всех изменений в вентиляционном потоке, происходящих при его движении по сети горных выработок к указанным пунктам. Это дает возможность более полно оценить тепловой режим шахт и рудников криолитозоны с учетом технологических операций, проводимых в местах ведения очистных и подготовительных работ.

### Горнопромышленная геофизика

- Разработаны двумерные георадиолокационные модели геокриологических объектов, значимых для планирования и ведения открытых горных работ: мощность сезонно-талого слоя, включение пластовых и жильных льдов, наличие таликов и надмерзлотных вод деятельного слоя, неравномерное распределение влаги в горных породах. Модели содержат характеристики дифрагированных и отраженных волн (время регистрации, вариации амплитудных значений и спектральных характеристик сигналов), зависящие от геометрических размеров геокриологических объектов и вмещающих сред, их электрофизических свойств и частотного диапазона георадара. Разработанные модели подтверждаются результатами физического моделирования и натурных георадиолокационных исследований массива горных пород месторождений криолитозоны, разрабатываемых АО «Алмазы Анабара» и ОАО «Разрез Кангаласский» (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Георадиолокационные модели геокриологических объектов (а) и результаты экспериментальных георадиолокационных исследований пластового льда (б) на россыпном месторождении (АО «Алмазы Анабара»)**

*I – схемы геологических разрезов;*

*II – синтетические георадиолокационные разрезы*

## Физико-техническая геотехнология

• Экспериментальными исследованиями установлено, что при системах с подэтажным обрушением в условиях отрицательных температур очистного пространства ( $-5 \div -7^\circ\text{C}$ ) потери руды в блоке, вследствие возможного смерзания, при изменении влажности отбитой руды от 0 до 1,0% и расстояния между буро-доставочными выработками с 8 м до 12 м увеличиваются

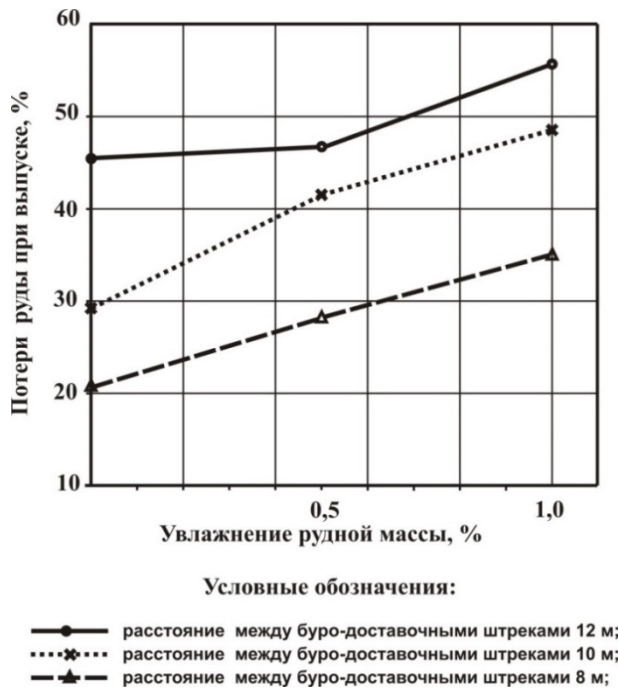


Рисунок 5 – Влияние расстояния между буро-доставочными выработками на потери вследствие смерзаемости отбитой руды

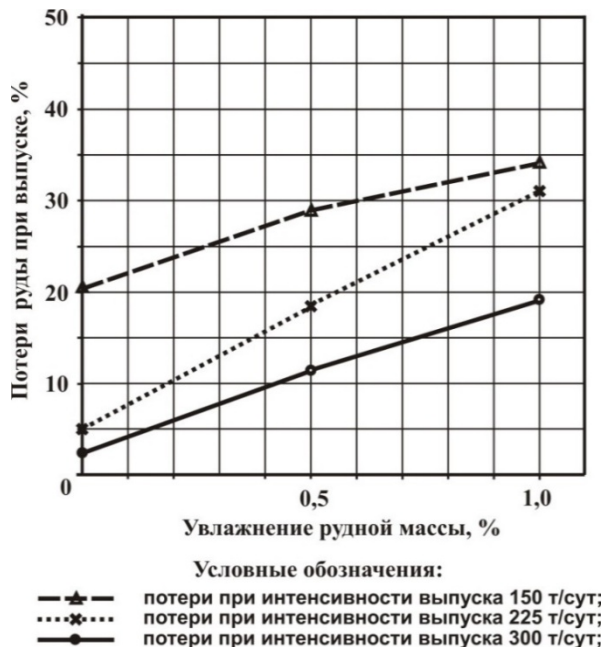


Рисунок 6 – Влияние дозы выпуска на потери вследствие смерзаемости отбитой руды

на 21% (рисунок 5). При аналогичных показателях влажности руды увеличение дозы (интенсивности) выпуска в 2 раза (от 150 до 300 т/см.) приводит к снижению потерь на 14% (с 33 до 19%) (рисунок 6). Полученные результаты являются основой для разработки рекомендаций по технологии выпуска руды из блока, обеспечивающей безопасную и эффективную подземную разработку запасов месторождений криолитозоны.

• Разработаны рекомендации по совершенствованию технологических и организационных решений в цепочках добычи, логистики и потребления угля труднодоступных районов Крайнего Севера, позволяющие на основе учета интересов потребителей более рационально использовать оцененный георесурсный потенциал месторождений и их участков, сократить суммарные количественные и качественные потери топлива. Внедрение рекомендаций повысит экономическую и бюджетную эффективность работы цепочек поставок и энергобезопасность региона.

• Экспериментальными исследованиями на образцах неоднородной структуры смерзшихся геоматериалов установлены закономерности изменения их прочности на срез, угла внутреннего трения и структурного сцепления в зависимости от гранулометрического состава, температуры, влажности и плотности упаковки образца. Показано, что основное влияние на формирование смерзающегося образца оказывают влажность и гранулометрический состав. В диапазоне размера среднего куса гранулометрического состава образца 10–40 мм угол внутреннего трения снижается, а показатель структурного сцепления увеличивается в 2 раза по сравнению с образцами однородной структуры. Полученные зависимости являются основой для аналитической интерпретации показателя трудности экскавации смерзающегося взорванного массива горных пород в диапазонах влажности пород 10–15% и температуры от  $-5$  до  $-15^\circ\text{C}$ .

• Разработана методика прогнозной оценки ресурсного потенциала техногенных россыпей Якутии, учитывающая горно-геоло-

гические характеристики месторождений, технологические и морфологические свойства металла, особенности процессов добычи и переработки продуктивных песков, позволяющая с достаточной степенью достоверности выполнить оценку прогнозных запасов золотоносных техногенных образований. Отличительной особенностью методики является использование коэффициента соответствия технологии промывки, определяемого по медианной крупности грансостава золота; коэффициента мерзлого состояния, определяемого, как соотношение объемов мерзлых и талых песков в процессе добычи; коэффициента намыва, как показателя погрешности геологоразведочных работ; коэффициента морфологии, характеризующего уплощенность золотин.

### **Геоэкономика**

• На основе индивидуальных показателей экспертной оценки уровня использования принципов комплексного управления качеством угля с учётом его трансформации при разведке, добыче, обогащении и поставках потребителям был получен общий показатель экспертной оценки, который оказался равным 0,308. Это свидетельствует пока о недостаточно высоком уровне использования в научных исследованиях основных принципов управления качеством угля при его доставке в труднодоступные районы. Индивидуальные оценки по отдельным вопросам анкеты или в целом по всей анкете могут существенно различаться. Для оценки степени согласованности мнений вычисляется дисперсия индивидуальных оценок. Большая дисперсия показателя свидетельствует о высокой степени несогласованности мнений. Причина несогласованности может быть в разном понимании вопроса, в разном отношении к вопросу, в неоднородности экспертов. Принцип комплексного ресурсосберегающего управления качеством угля при поставках в труднодоступные транспортно- и энергоизолированные районы заключается в создании малых добычных и создаваемых на их основе единых топливно-энергетических комплексов, в составе которых работают предприятия и организации различных форм собственности и ведомственной принадлежности, участвующие в функционировании технологической цепи «месторождение местного угля – потребитель», учитывая требования конечных потребителей (выработка тепловой (электрической) энергии), а не интересы поставщиков угля и их посредников. Кроме того, необходимо учитывать требования отдельных потребителей.

### **Обогащение полезных ископаемых**

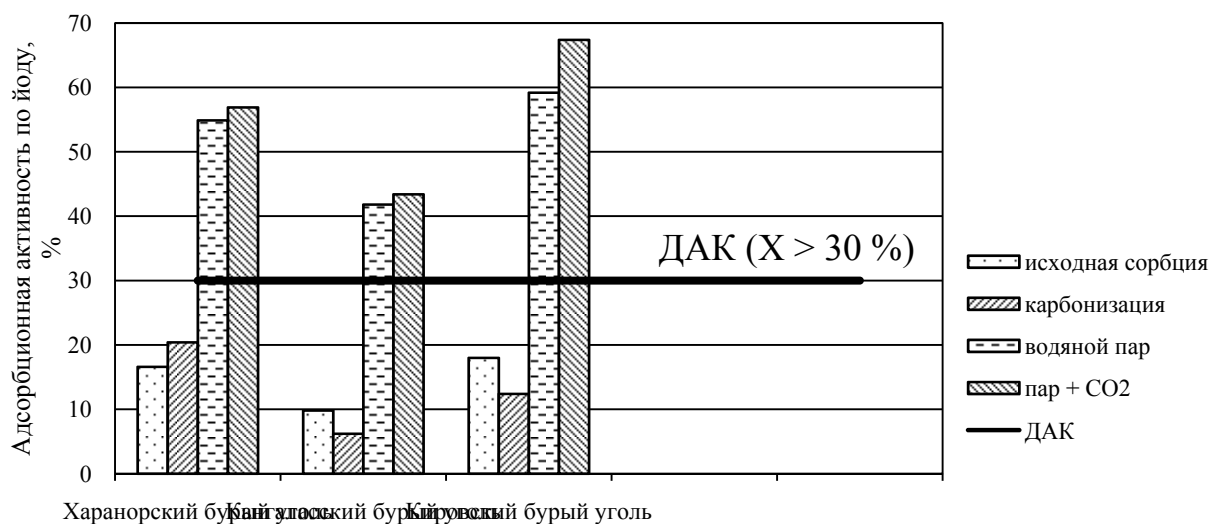
• Экспериментальными исследованиями дезинтеграции кусковых геоматериалов разной текстуры и фазового состава на основе кварцевой матрицы (руд жильного типа) многократными динамическими воздействиями в дробилке ДКД-300 конструкции ИГДС СО РАН установлено, что гранулометрические характеристики продуктов дробления, как правило, имеют двухмодальный характер, где мода в области мелких классов (-5+2 мм.) крупности объясняется накоплением вскрываемых в процессе дробления наиболее слабых текстурных компонентов, в том числе мономинеральных фаз, а мода в области крупных классов (-20+10 мм.) формируется обломками кварцевой матрицы имеющей более однородный состав. На основании данных исследований разработана методика определения полноты дезинтеграции кусковых геоматериалов в процессах дробления с использованием динамических воздействий в зависимости от их текстуры и фазового состава.

• Разработана, апробирована и экспериментально подтверждена физико-математическая модель, описывающая с достаточной степенью точности и достоверности траекторию перемещения частиц разной формы в восходящем потоке воды по наклонной поверхности с учетом комплекса действующих сил на частицу. Использование результатов моделирования позволит управлять разделительными процессами частиц в рабочей зоне крутонаклонного концентратора (разработка ИГДС СО РАН), оптимизировать его параметры и совершенствовать конструкцию.

### **Физико-химическая геотехнология**

• Экспериментальными исследованиями изменения качественных характеристик получаемых сорбентов в зависимости от параметров процесса парогазовой активации (расход пара, время и температура обработки), установлены оптимальные параметры одностадийного про-

цесса: расход парогазового реагента 250-300 мл/час, температура обработки 800°C, время изотермической выдержки от 60 до 90 мин, которые обеспечивают получение из угольного сырья сорбентов, по качественным показателям соответствующим промышленно-выпускаемым активным углям марки ДАК. На основании проведенных исследований разработан новый способ получения сорбентов путем парогазовой активации угольного сырья, исключая из процесса наиболее энергоемкую стадию – карбонизацию. Анализ энергозатрат и качественных характеристик образцов, показал эффективность проведения активации бурых углей без карбонизации. Разработанный на этой основе способ получения сорбентов путем парогазовой активации угольного сырья в одну стадию позволяет получать образцы с адсорбционной активностью по йоду (X), сопоставимой с промышленно выпускаемым активным углем марки ДАК (X > 30 %) (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Сорбционная активность по йоду продуктов, полученных в одностадийном процессе высокотемпературного нагрева в сравнении с исходной сорбцией предшественников (бурых углей) и с сорбцией промышленно-выпускаемого активного угля марки ДАК**

#### **Информация о проведенных в 2018 году научно-организационных мероприятиях**

Совместно с ИФТПС СО РАН и ИПНГ СО РАН Институт провел 3-7 июля 2018 года в г. Якутске VIII Евразийский симпозиум по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, посвященный памяти и 80-летию академика В.П. Ларионова, с участием иностранных ученых, и совместно с ИГД ДВО РАН VII Международную научную конференцию «Проблемы комплексного освоения георесурсов», 25-29 сентября 2018 года в г. Хабаровске.

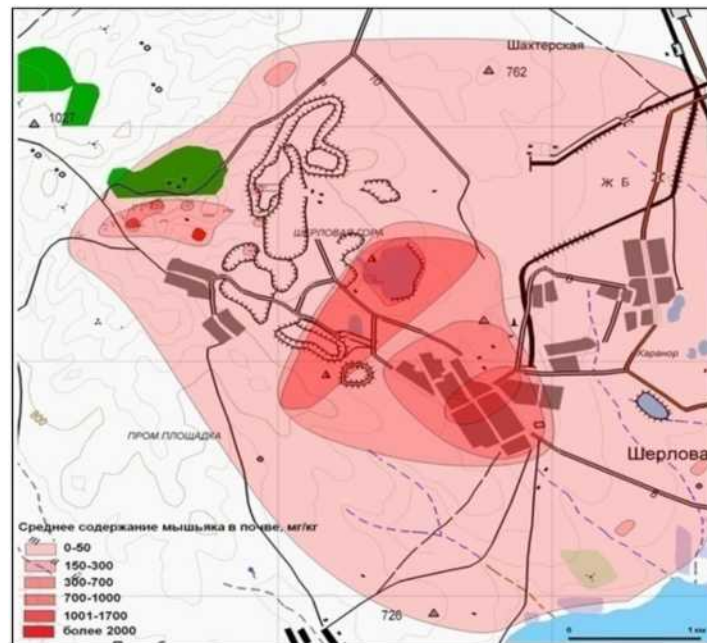
**Публикации Института:** опубликована коллективная монография, 60 статей в журналах и 69 докладов в материалах конференций, получено 9 охранных документов РФ (полезные модели, программы ЭВМ, базы данных) и подано 9 заявок.

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

Работы выполнены в рамках проекта «Геохимия редких и редкоземельных элементов в природных и геотехногенных ландшафтах и гидрогеохимических системах» (№ 0386-2017-0006), руководитель д.г.-м.н. профессор Г.А. Юргенсон.

Получены следующие результаты.

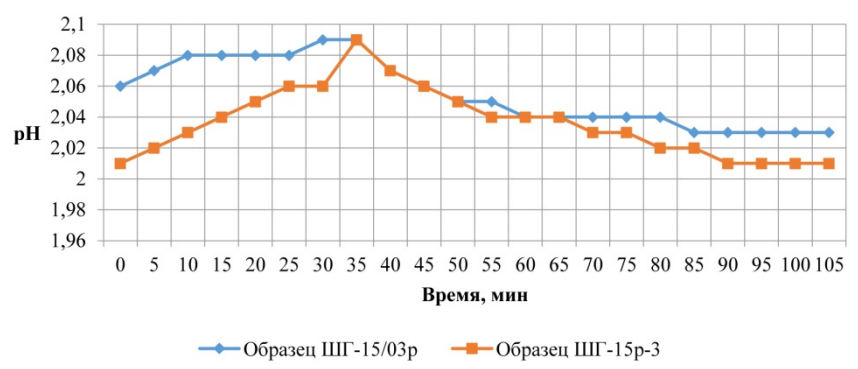
1. Определено распределение мышьяка в природно-антропогенных и антропогенных ландшафтах старейшего Шерловогорского горнопромышленного района Забайкалья и составлена соответствующая карта (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Пространственное распределение мышьяка в почвах и технозомах Шерловогорского рудного района**

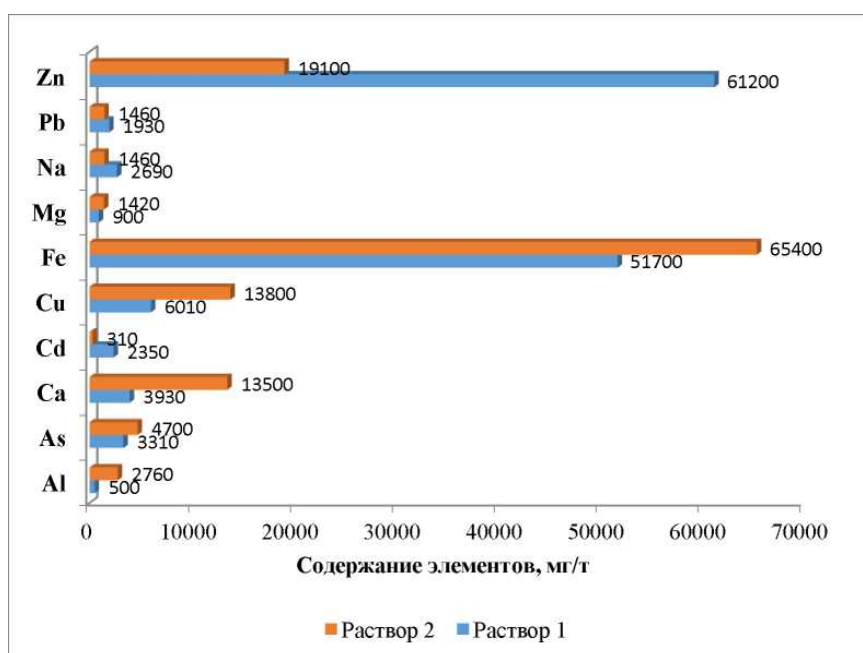
Показано, что распределение концентраций мышьяка не зависит от размещения горных выработок, включая карьеры и хвостохранилище, а обусловлено особенностями размеров и форм природной геохимической аномалии, совмещенной с площадью эндогенной минерализации.

С целью определения возможности заражения мышьяком вод, дренирующих отвалы некондиционных руд, содержащих арсенопирит и другие минералы мышьяка, выполнены эксперименты по воздействию на арсенопиритовые руды подкисленными водами и подщелоченными. В ходе эксперимента подкисленной водой наблюдалось резкое понижение величины уровня кислотности с его начала. Это вызвано взаимодействием сульфидов в составе руды с кислым раствором (рисунок 2). После 10 минут от начала эксперимента наблюдалось выпадение оранжево-коричневого студенистого осадка – гидроксида железа (III), которое в большом количестве присутствует в исходной пробе арсенопиритовой руды, вместе с железом в осадок могли выпасть часть цинка, кадмия, меди и других подвижных элементов. В динамике после 45 минут наблюдается спад величины рН, это вызвано постепенным затуханием процесса химической реакции и процесса перехода сульфидов в раствор с поверхности пробы.



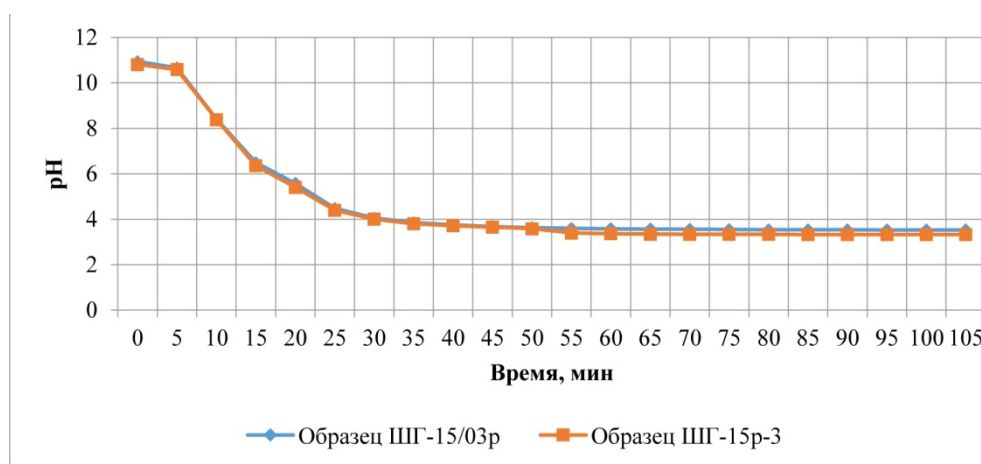
**Рисунок 2 – Динамика уровня кислотности во времени**

Максимальное растворение и вынос кислым раствором происходит через 40 минут. По данным анализа фильтрата можно судить о том, что интенсивно переходят в раствор двухвалентное железо и некоторые халькофильные элементы (Zn, Cu, Cd) (рисунок 3).



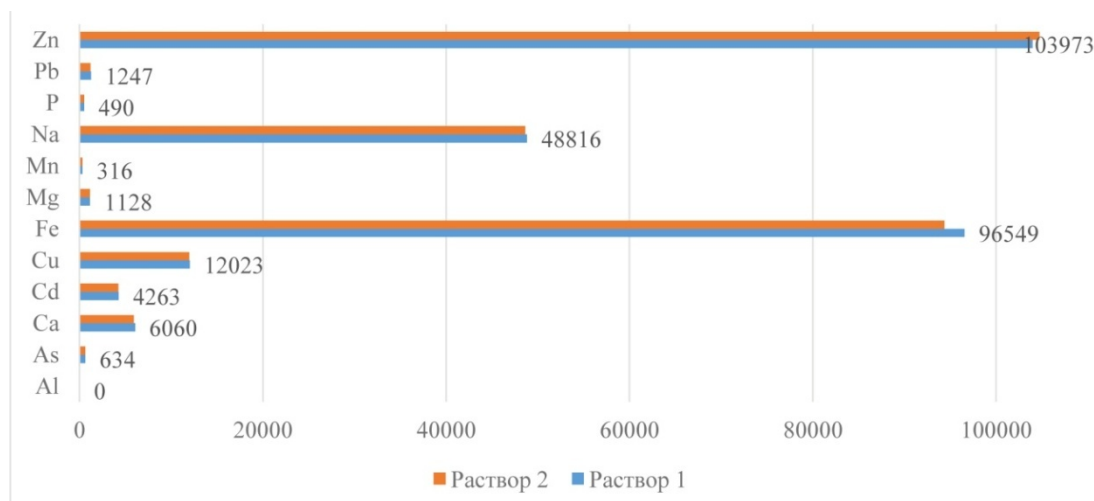
**Рисунок 3 – Концентрация элементов в фильтрате после взаимодействия с сернокислым раствором, мг/т**

Основное выщелачивание выполнялось с помощью раствора едкого натра pH=11. Временной интервал был взят 105 минут (1 час 45 минут), Полученные экспериментальные данные по времени и по динамике водородного показателя по двум пробам представлены на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Динамика уровня кислотности во времени**

При воздействии на пробу подщелоченным раствором наблюдалось изменение уровня кислотности по типу «убывание-const». По данным анализа фильтрата от пробы можно судить о том, что мышьяк, железо и некоторые халькофильные элементы (Pb, Zn, Cu, Cd) переходят в раствор в большем количестве в начальных стадиях эксперимента (рисунки 4, 5). Но в щелочной среде выносающееся из арсенопирита железо быстро переходит в гидроксидное состояние и осаждается, сорбируя цинк, кадмий и мышьяк, препятствуя их интенсивному выносу на ландшафт.



**Рисунок 5 – Концентрация элементов в фильтрате после взаимодействия с щелочным раствором, мг/т**

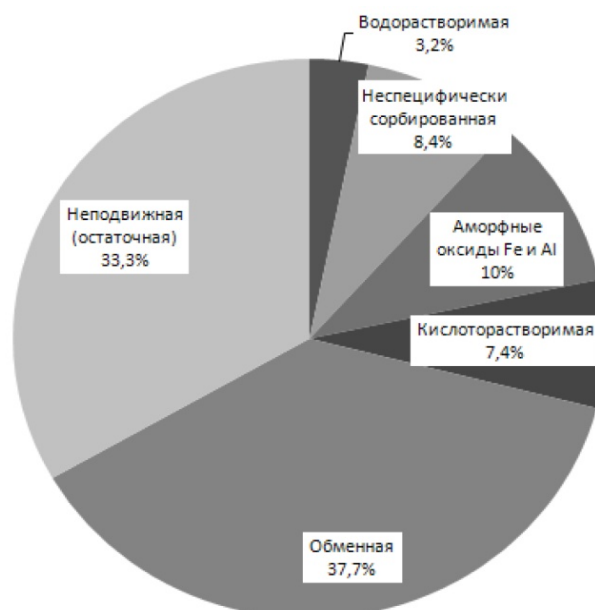
Таким образом, мышьяк, несмотря на высокое содержание в горных породах и минералах, в зоне геотехногенеза характеризуется слабой миграцией. Присутствие железа и свинца способствуют образованию здесь скородита или миметита, являющихся главнейшими продуктами гипергенеза. Оба эти минерала геохимически устойчивы, что ограничивает подвижность мышьяка в зоне гипергенеза в почвах и технозомах. Основными продуктами гипергенного изменения первичных минералов мышьяка, находящихся в почвах, являются его арсенаты (скородит, миметит) и окислы (арсенолит). Особенностью этих минералов является их относительная устойчивость.

Несмотря на то, что технозем хвостохранилища содержит почти в 2 раза меньше мышьяка, чем природные почвы, эта концентрация значительно превышает установленные нормы ПДК (для почв) в 100 раз и более, ОДК (для почв) в 50 раз и более.

Но полученные данные свидетельствуют о том, что хвостохранилище как таковое, а также отвалы, в которых происходит окисление мышьяксодержащих сульфидов, не представляет особой опасности, так как основными формами нахождения его в зоне геотехногенеза являются арсенаты железа и, частично, висмута. Поэтому мышьяк слабо участвует в гипергенной миграции. В связи с этим изучены формы нахождения мышьяка в техноземе хвостохранилищ и породо-рудных отвалах.

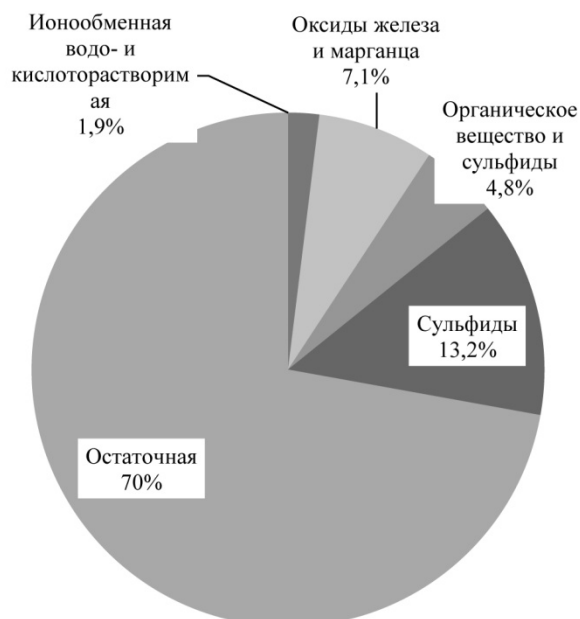
Результаты этих исследований приведены на рисунке 6. Анализ его показывает, что доля неподвижных форм мышьяка достаточно велика. Это существенно ограничивает возможность его физико-химической миграции в селитебный ландшафт.

Если учесть, что обменная и кислоторастворимая фракции была выделены с помощью смеси минеральных кислот, для образования которых в хвостохранилище требуется присутствие легко окисляющихся сульфидов и большой объем влаги, то и их в условиях, обезвоженных хвостохранилищ можно считать относительно неподвижными. Можно полагать, что во влажный период процессы физико-химической миграции будут усиливаться. Важной особенностью



**Рисунок 6 – Формы мышьяка в поверхностном слое хвостохранилища**

технозема хвостохранилища можно считать увеличение в нем доли водорастворимых форм мышьяка, поскольку именно эта его форма доступна для растений и способна образовывать арсин – ядовитый газ. Однако анализ дренажной воды хвостохранилища показал, что содержание мышьяка в ней составляет всего 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, что не превышает установленных норм. В почве и техноземе природно-техногенного делювии карьера также доля наиболее подвижных



**Рисунок 7 – Формы мышьяка в природно-техногенном делювии карьера**

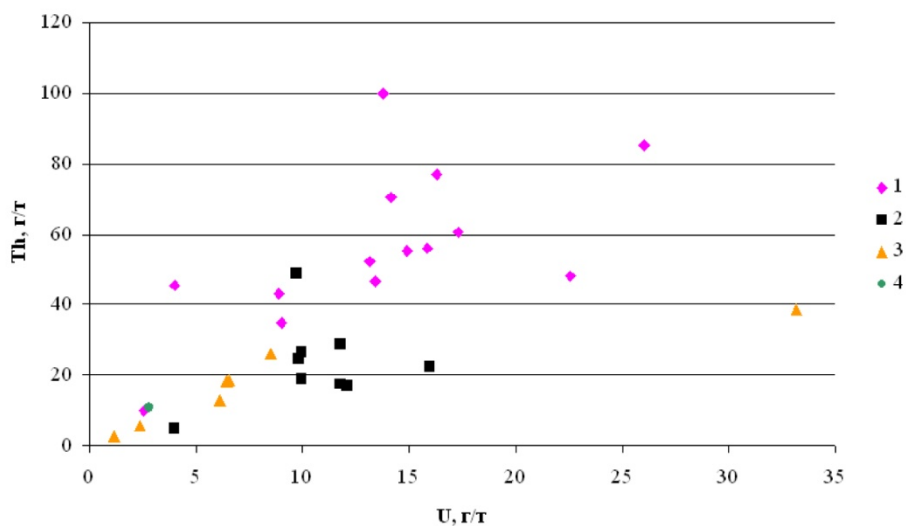
ионообменных водо-и кислоторастворимых форм составляет всего 1,9 (%) (рисунок 7). Существенная часть его находится в остаточной неподвижной форме.

Одним из факторов опасности обезвоженных хвостохранилищ принято считать их пыление в весенне-летний период. Но поскольку плотность скородита 3,5–4 г/дм<sup>3</sup>, вероятность его эоловой миграции незначительна. Это еще в большей мере относится к арсенату свинца миметиту и арсенату висмута рузвельтиту. Поэтому механическая миграция мышьяка за счет ветровой эрозии невелика.

Публикация: М.А. Солодухина, Г.А. Юргенсон. Мышьяк в ландшафтах Шерловогорского рудного района (Юго-Восточное Забайкалье), Чита: ЗабГУ, 2018.176 с.

2. В почвах и техноземах бериллий-висмут-олововольфрамового месторождения Шерловая Гора и оловополиметаллического месторождения Сопка Большая изучено распределение соотношений концентраций урана и тория и установлена тенденция к

прямой зависимости между ними и их возрастание в почвах и техноземах участков бериллий-висмут-олововольфрамового месторождения по сравнению с оловополиметаллическими (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Соотношение содержаний урана и тория почвах и техноземах геотехногенных объектов Шерловогорского рудного района**  
 1 – участки бериллий-висмут-олововольфрамового месторождения;  
 2 – хвостохранилище; 3 – отвалы и карьер оловополиметаллического месторождения; 4 – «фоновый» участок



При этом содержания U (2,0 – 33ppm) и Th (2,4-102 ppm) превышают кларки, в среднем, соответственно, в 10 и 6 раз. Сверхкларковые содержания этих элементов установлены и для фонового участка.

3. Выполнены эксперименты по выщелачиванию кварц-вольфрамитовых руд Бом- Горхонского месторождения. Определено, что извлечение редкоземельных элементов из кварц-вольфрамитовых пород происходит более равномерно с депрессией легких лантаноидов на 96 минуте выщелачивания и повышением концентраций в фильтрате тяжелых (Tm, Lu и Eu). В то время как выщелачивание лантаноидов из сульфидных руд протекает более интенсивно в первые минуты, снижаясь до незначительных количеств в последних порциях фильтрата (рисунок 9). В целом, на графике показано, что доля извлечения РЗЭ из вольфрамитовых пород преобладает, что можно использовать в некоторых технологиях.

Остальные элементы извлекаются со схожей динамикой – из сульфидных руд интенсивно в первой порции фильтрата и затем снижаются, а из кварц-топаз-вольфрамитовых постепенно.

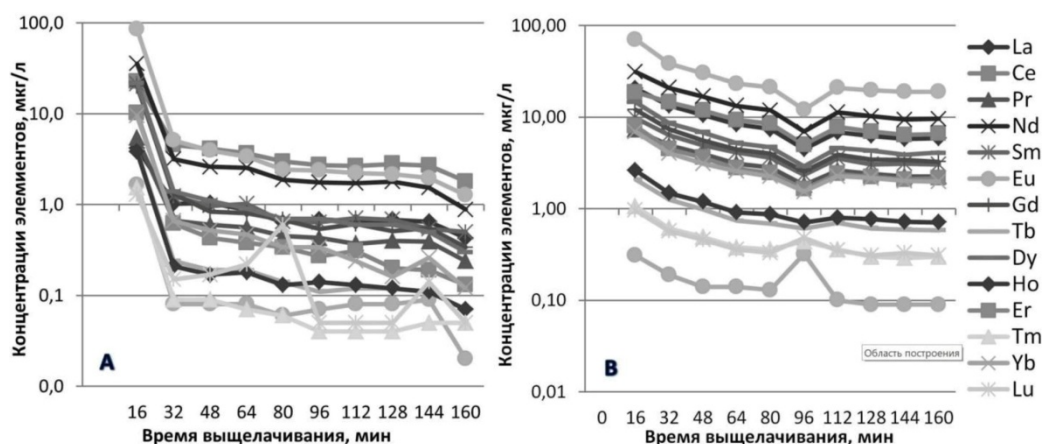


Рисунок 9 — Динамика извлечения РЗЭ из оловополиметаллических сульфидных руд (А) и кварц-вольфрамитовых пород (В)

Спектр и доля извлечения элементов, выщелачиваемых из кварц-топаз-вольфрамитовых грейзеновых пород значительно шире, чем из сульфидных руд, которые больше характеризуются извлечением рудных элементов (Zn, Pb и т.п.) в результате кислотного преобразования сульфидов.

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

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

1. На основе систематизации горно-геологических условий отработки запасов на ведущих железорудных горно-обогатительных комбинатах Российской Федерации, лабораторного изучения свойств титаномагнетитовой руды Гусевогорского месторождения, аналитических исследований по оценке признаков определяющих типы руд, разработана методика и апробированы алгоритмы математической обработки массива исходной геологической информации, формирования базы входных данных и блочного моделирования геобъектов с целью выделения и геометризации руд с характерными технологическими признаками. Для решения задач управления качеством минерального сырья с учетом динамики горно-геологических условий освоения запасов разработаны основные положения методики выбора систем рудоподготовки с учетом результатов геоинформационного моделирования качественного и пространственного расположения промышленных типов и сортов руд, изменяющихся требований к продуктам обогащения сырья, горнотехнических, эколого-экономических и организационных факторов (рисунок 1).

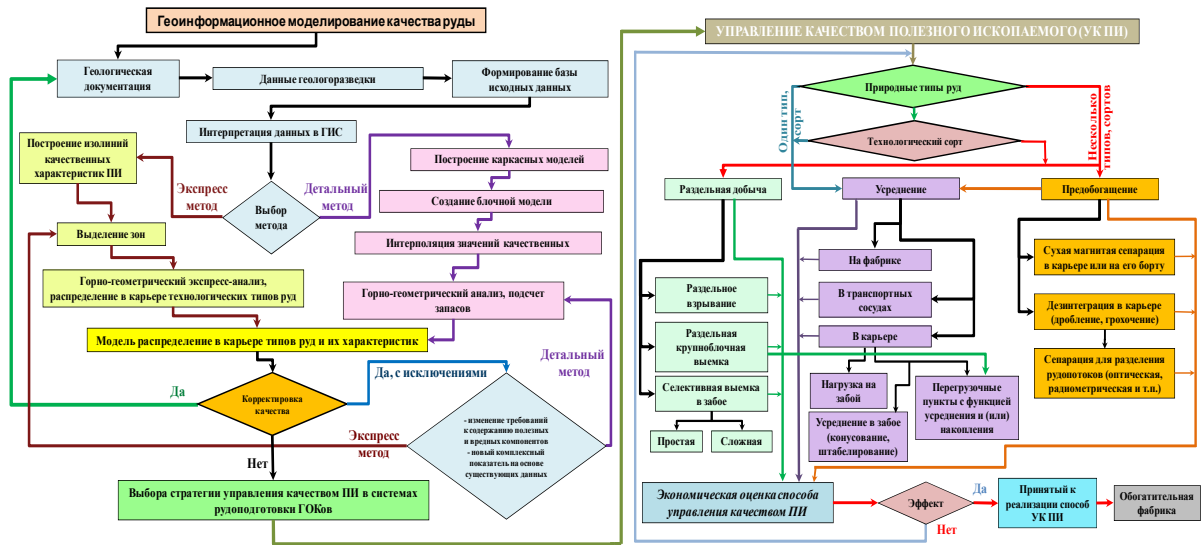


Рисунок 1 – Схема выбора технологических операций по управлению качеством полезного ископаемого

2. Выполнена оценка ресурсов природных месторождений и техногенных образований как комплексной сырьевой базы горно-металлургического комплекса с формированием элементов геоинформационной системы оценки технологий раздельной добычи минерального сырья (рисунок 2). Разработаны основные элементы технологии комплексной переработки поликомпонентных руд с получением сталей заданного сортамента. Оценены данные экспериментальных исследований процесса восстановления хрома с использованием различных составов шлака и восстановителя, полученные методом термодинамического моделирования многокомпонентной системы Fe-Si-Ni-Cr-C.

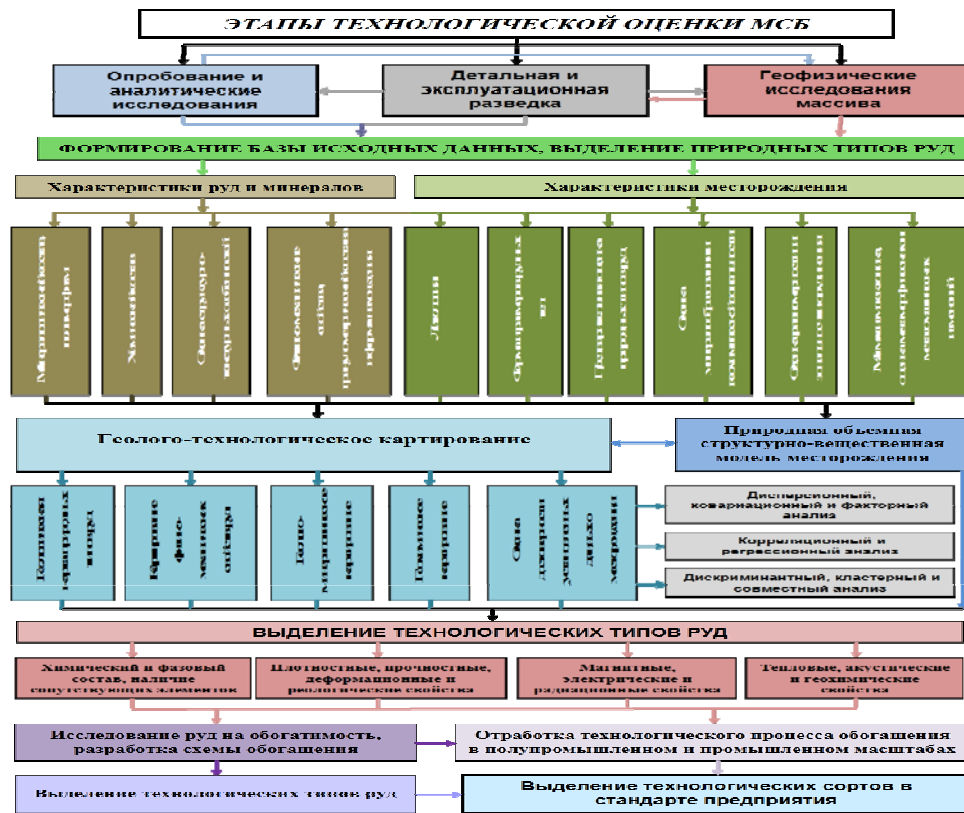


Рисунок 2 - Этапы технологической оценки минерально-сырьевой базы

3. Разработана комплексная методика выбора технологической схемы и видов карьерного транспорта, отличающаяся повышенной точностью и достоверностью расчетов и прогнозов за счет учета динамики переходных процессов при формировании транспортной системы карьера. Расчетами доказано, что при идентичных показателях капитальных и эксплуатационных затрат различная динамика переходного процесса (например, изменение вида транспорта) приводит к различным экономическим результатам. Их учет в течение всего срока существования карьера позволяет существенно улучшить эффективность обработки месторождения и реализовать принцип «жизненного цикла» транспортной системы (рисунок 3).

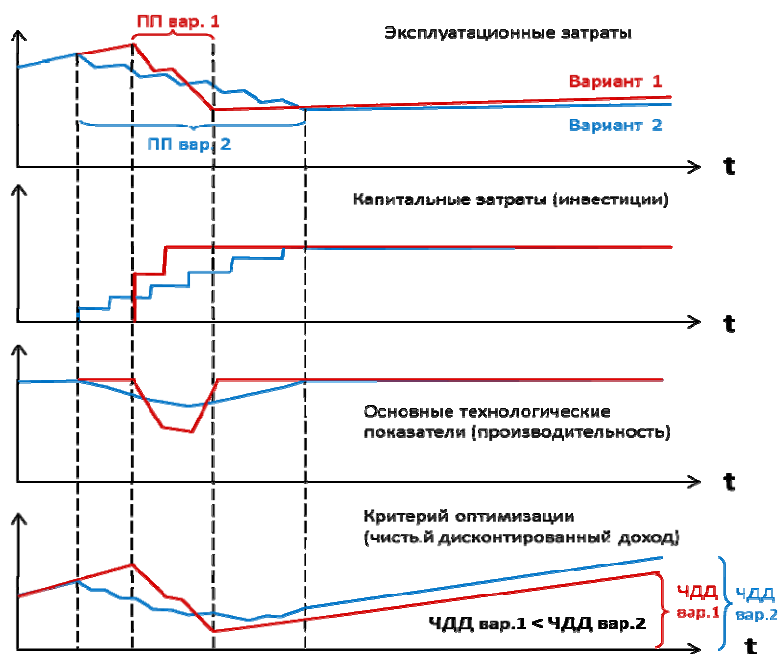


Рисунок 3 – Влияние динамики переходного процесса на экономические показатели

4. На основании экспериментальных исследований механизмов аккумуляции меди и цинка разработаны методологические основы формирования искусственных биогеохимических барьеров для целей экологической реабилитации нарушенных экосистем. Разработаны принципы комплексной оценки воздействия предприятий ГМК на земельные ресурсы и гидросферу. Показано, что оценка мгновенных величин эмиссии  $\text{CO}_2$  позволяет прогнозировать наличие / отсутствие биодеструкции / аккумуляции в местах потоков и локализации ТМ в условиях комбинированного взаимодействия природных и техногенных факторов. На основании решения обратных задач определен состав пород, в которых могут формироваться кислые подземные воды и скорость выноса компонентов (сульфатов, железа, цинка) (рисунок 4).

5. Разработаны теоретические основы геотехнологической стратегии освоения переходных зон (ПЗ) при последовательной схеме комбинированной разработки рудных месторождений, состоящие в систематизации и формировании вариантов подземной геотехнологии в соответствии с установленными принципами, разработке методики определения параметров и показателей горнотехнической системы, отличающейся учетом специфических факторов и условий, образованных на стадии открытых горных работ, с целью создания оптимальных условий для освоения основных запасов (ОЗ), и установлении на основе экономико-математического моделирования оптимального варианта геотехнологической стратегии по обоснованному комплексному эколого-экономическому критерию (рисунок 5).

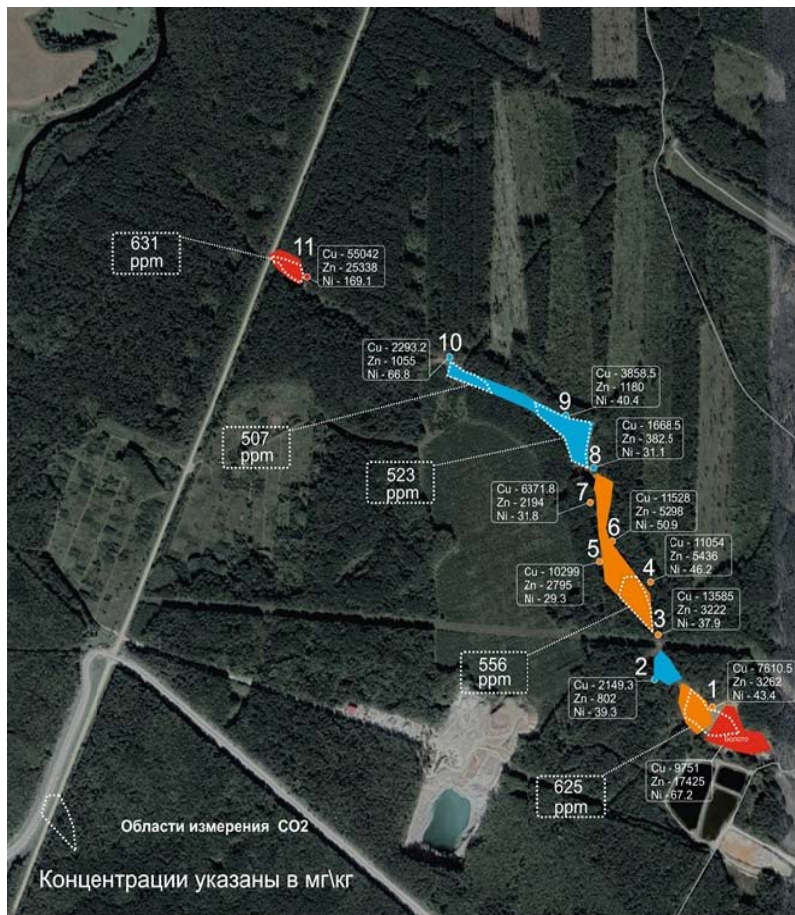


Рисунок 4 – Геохимический спектр макро- и микрокомпонентов в водных объектах Левихинского рудника (кларки концентраций)

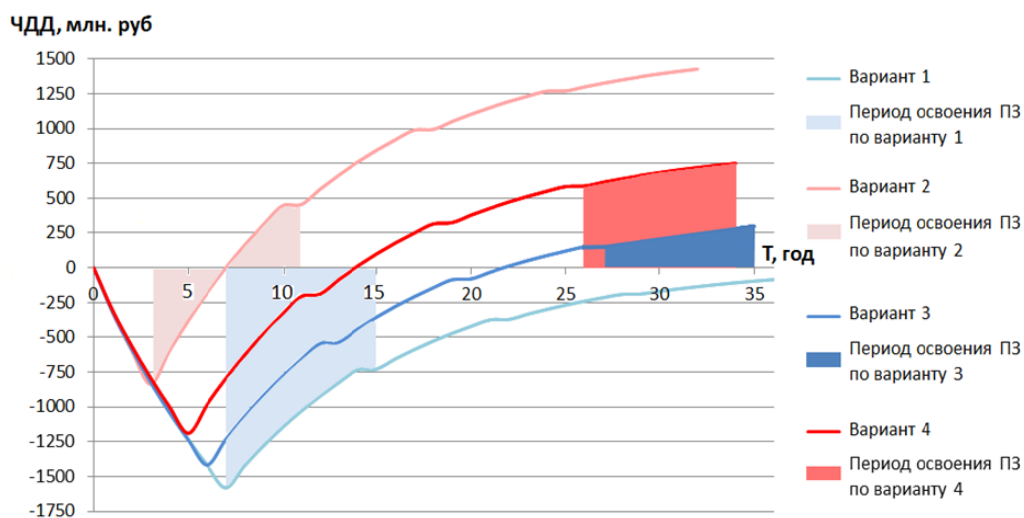


Рисунок 5 – Динамика изменения чистого дисконтированного дохода (ЧДД) по вариантам геотехнологической стратегии освоения ПЗ и ОЗ Уральского медноколчеданного месторождения

6. Систематизированы переходные процессы буровзрывных работ, сгруппированные по времени их протекания, что позволило уточнить факторы, влияющие на показатели породоразрушения и сформулировать основные направления исследований для поиска перспективных технологических решений. Полученные результаты являются новыми, могут быть ис-

пользованы для разработки долгосрочных планов в предметной области исследований, а также при обосновании мер по повышению энергоэффективности, уровня ресурсосбережения и безопасности в процессах подготовки горной массы к выемке (рисунок 6).

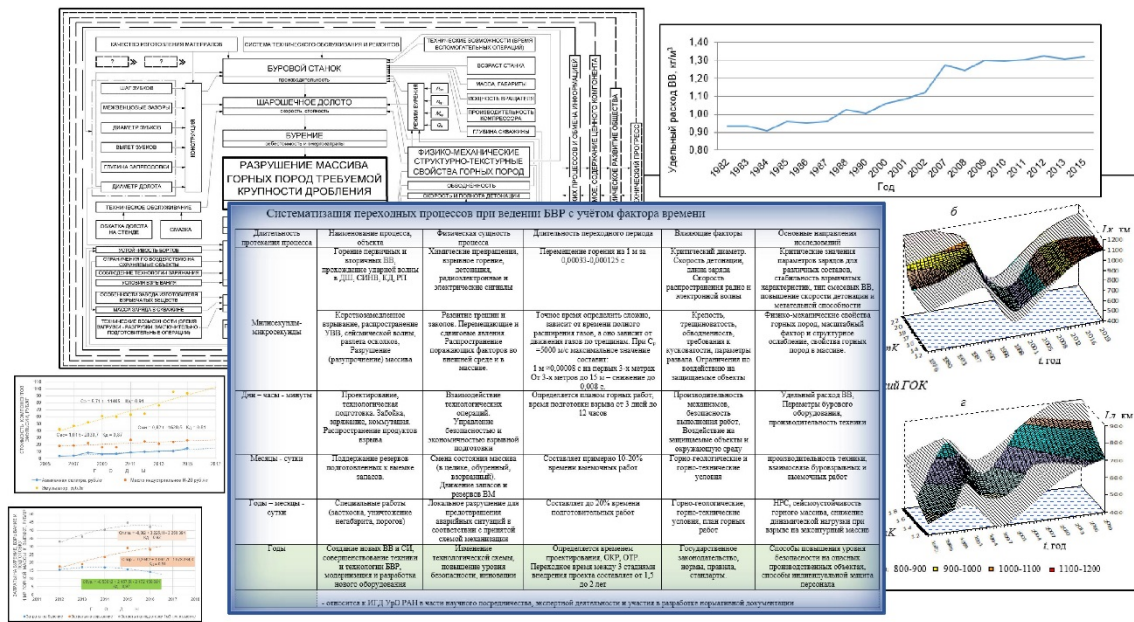


Рисунок 6 – Результаты систематизации переходных процессов при ведении БВР

7. На основе систематизации переходных процессов и выявления определяющих факторов развития буровзрывных работ на действующих карьерах разработано технологическое решение, предусматривающее проработку подошвы уступа горизонтальным врубом с одновременным увеличением расстояния между породоразрушающими вертикальными скважинами, что, в отличие от традиционной отбойки с применением перебуров и более близким расположением зарядов, позволяет при равном объеме бурения снизить потребление ВВ более чем в 2 раза (рисунок 7).

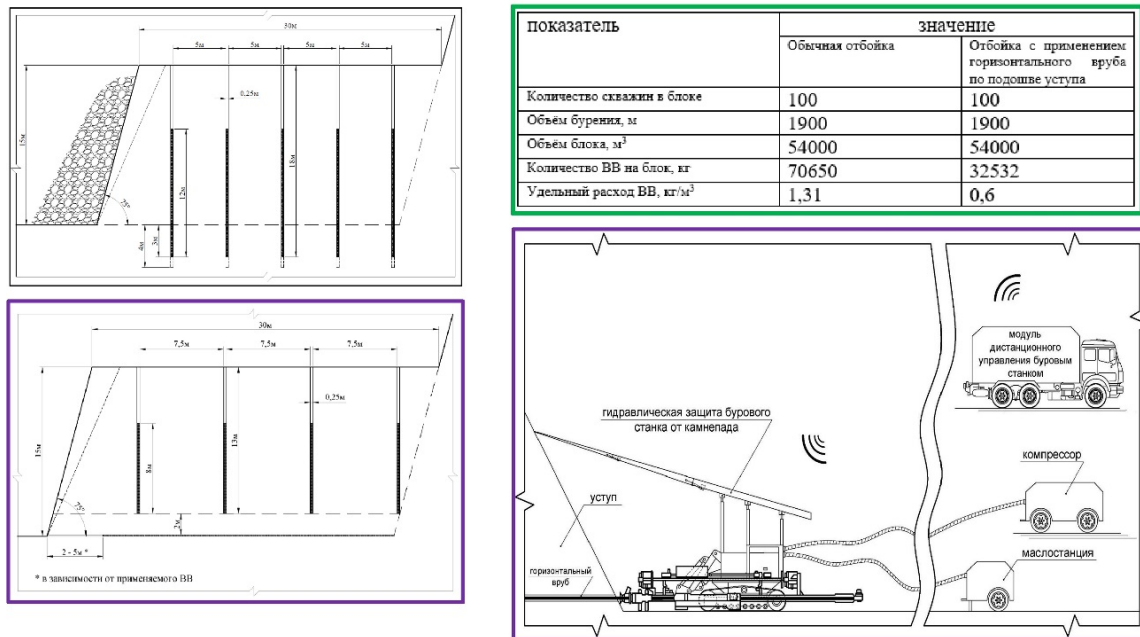
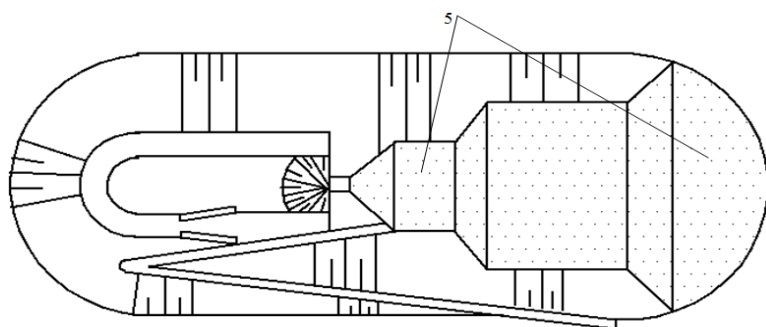


Рисунок 7 – Результаты систематизации переходных процессов при ведении БВР

8. Анализ способов вскрытия глубокозалегающих месторождений при открытой разработке с применением внутреннего отвалообразования, ограничивающих применение этой высокоэффективной технологии, привел к необходимости создания принципиально новых способов вскрытия, основанных на комбинации горизонтальных и наклонных берм безопасности, при которой бермы на торцевых бортах карьера первой очереди устраивают горизонтальными, а на продольных бортах наклонными, при этом наклонные бермы стыкуют с горизонтальными, расположенными на торцевых бортах. Совокупность указанных признаков позволяет многократно уменьшать объем вскрышных работ, необходимый для размещения вскрывающих выработок и значительно расширять область применения этой высокоэффективной технологии (рисунок 8).

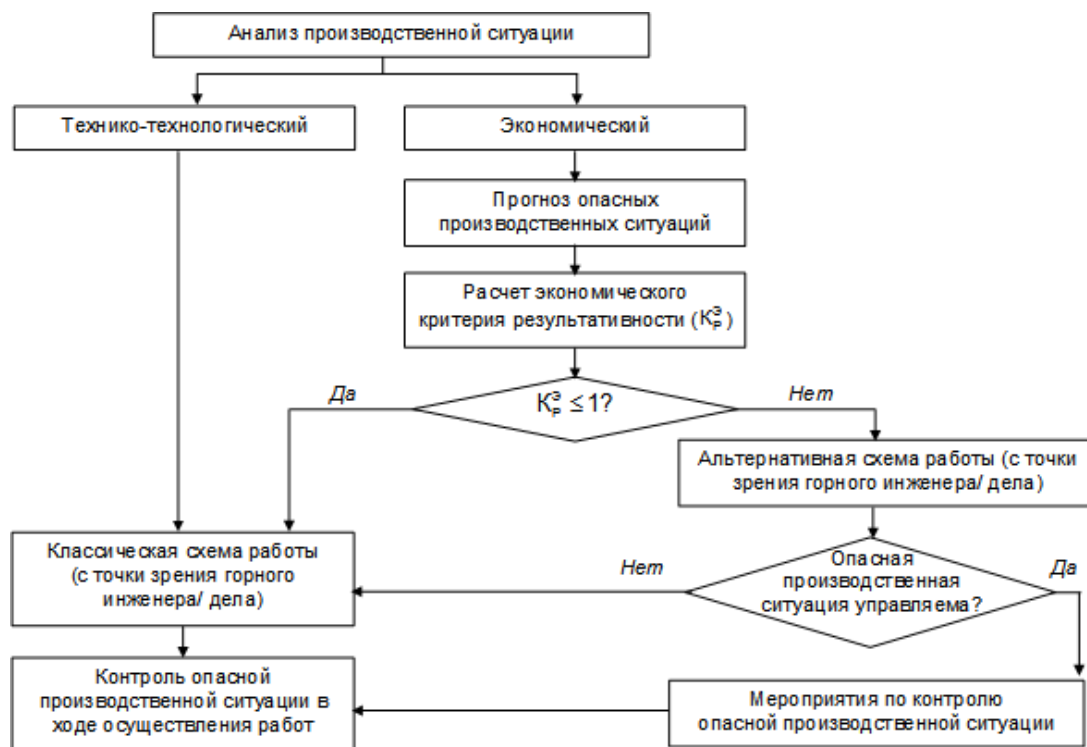


**Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала**

Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала. Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала. Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала.

Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала. Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала. Рисунок 8 – План карьера на момент его доработки и формирования внутреннего отвала.

9. Основные научные результаты, полученные в ходе изучения экономических аспектов обеспечения безопасности основных технологических процессов горного производства при комплексном освоении месторождения в условиях переходных процессов, развивают теоретические основы стратегии освоения месторождений в динамике развития горнотехнических систем в части обеспечения безопасности горных предприятий. Теоретические основы включают в себя метод повышения результативности функционирования системы обеспечения безопасности посредством контроля опасных производственных ситуаций и экономический критерий результативности работы системы обеспечения безопасности. Стратегия технологического развития в аспекте обеспечения безопасности заключается в управлении производственным риском, осуществляемом по предложенному алгоритму (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Принципиальная схема осуществления производственного планирования, основанная на управлении производственным риском**

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

1. Разработана методика и технология геомеханического мониторинга за состоянием геологической среды в области влияния недропользования с применением геофизических методов дистанционного зондирования структуры массива горных пород и фотограмметрических методов съемки земной поверхности беспилотными летающими аппаратами, позволяющая спрогнозировать и выявить граничные зоны самоорганизовавшихся структур в иерархически блочном массиве горных пород, в которых формируются повышенные параметры напряженно-деформированного состояния, являющиеся основным источником развития аварийных и катастрофических ситуаций на объектах недропользования (рисунок 10).

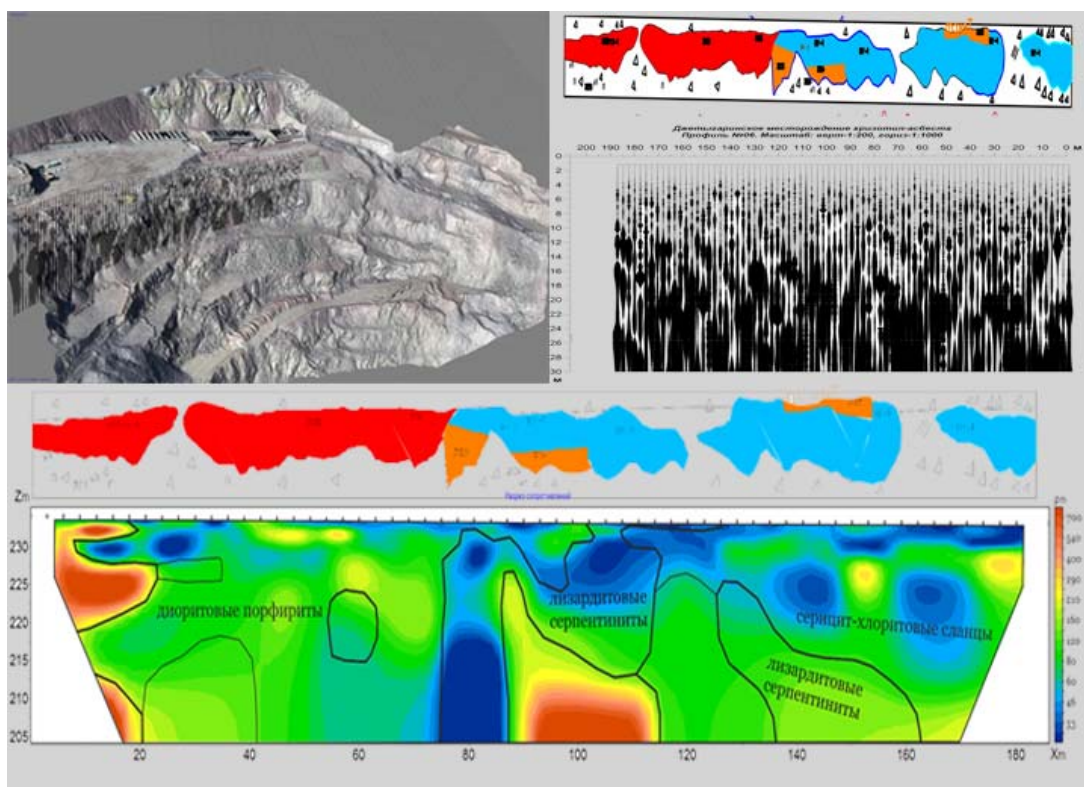
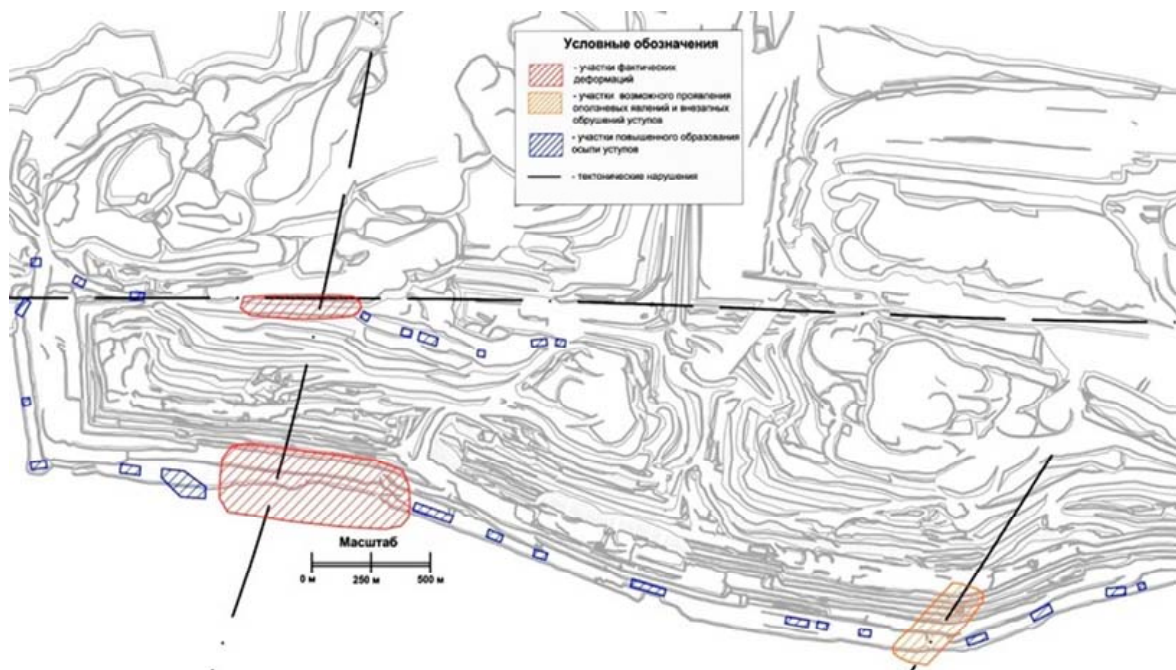


Рисунок 10 – Мониторинг за состоянием геологической среды в области влияния недропользования

2. На основе исследований маркшейдерско-геодезическими методами эволюции деформационных полей разработана инновационная технология прогноза на земной поверхности эпицентров внезапных деформационных явлений. Технология включает:

- прогноз эпицентра аварийного деформирования горного массива на основе рейтинговой оценки горного массива по совокупности негативных факторов, влияющих на подвижность массива;
- архитектуру наблюдательной станции с учетом рейтинговой оценки горного массива и мониторинг критических значений деформаций;
- прогноз времени наступления аварийной ситуации по совокупности критериев изменения деформационного поля.

На десяти опасных промышленных объектах технология прошла экспериментальные испытания в результате которых спрогнозированы места развития аварийных деформаций горного массива, а также характер этих деформаций (рисунок 11).

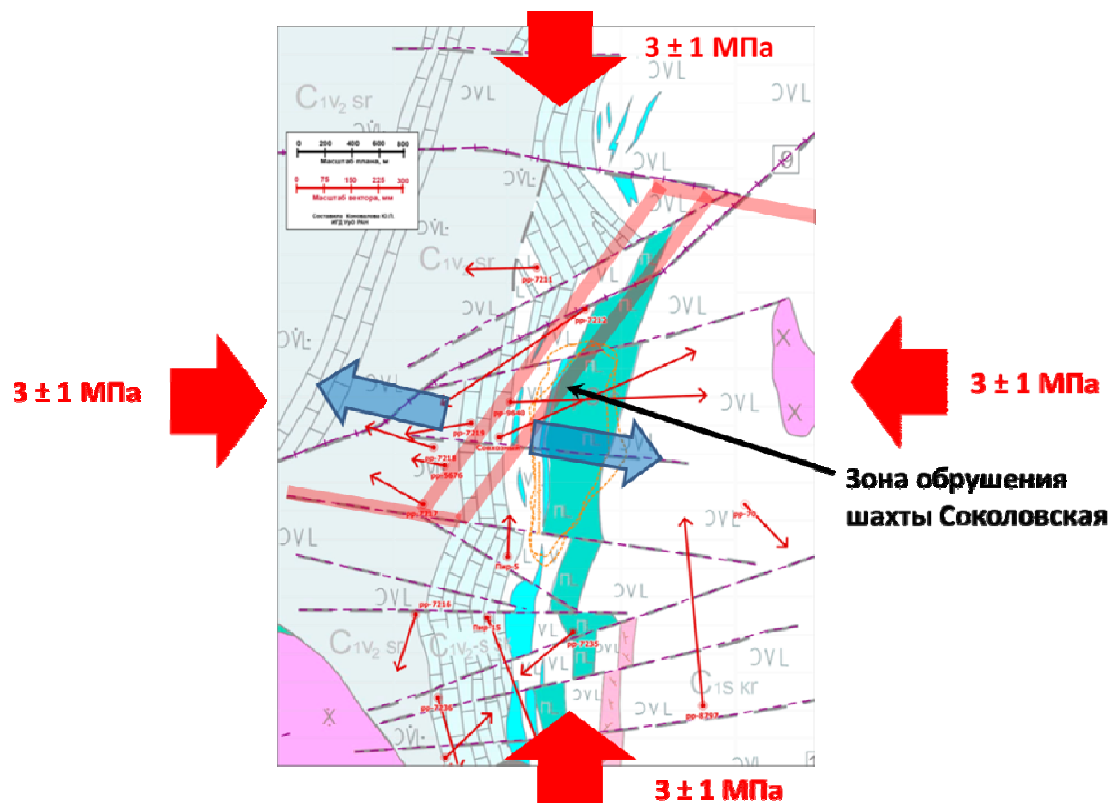


**Рисунок 11 – Прогноз эпицентров развития деформаций в прибортовом массиве по типам ожидаемых деформаций**

3. Экспериментально установлено, что природное напряженно-деформированное состояние верхней части литосферы формируется явлением самоорганизации иерархически блочной среды массива горных пород, находящегося в постоянной подвижности под воздействием современных геодинамических движений, вызываемых экзогенными и эндогенными процессами и явлениями, протекающими в Земле и в ее коре, как в космическом теле. Самоорганизовавшиеся вторичные блоки образуют изменяющуюся во времени дискретную, мозаичную структуру поля напряженно-деформированного состояния, в которой в граничных и внутриблочных зонах вторичных структур параметры напряжений и деформаций различаются в десятки раз. Дифференциация опасности и степени воздействия напряженно-деформированного состояния на объекты недропользования определяется положением объекта недропользования относительно граничных зон самоорганизовавшихся структур и их миграции во времени, в которых аномальные величины напряжений и деформаций могут вызвать нарушение объекта.

4. Показано, что породные массивы не являются статичной и неподвижной мозаикой иерархических блочных структур, а под влиянием современной геодинамической активности на различных пространственно-временных масштабных уровнях в них непрерывно происходят процессы дезинтеграции и самоорганизации, формирующие неоднородное и подвижное поле деформаций и напряжений. Для масштабного уровня «регион – месторождение» уровень геодинамической активности породного массива, вне зависимости от литологического состава, определяет средняя величина его относительной деформации на реперных интервалах, превышающих 2-3 км. Для более мелкомасштабных уровней на НДС массива наиболее существенное влияние оказывают взаимные смещения самоорганизующихся структурных породных блоков. Основным критерием выделения самоорганизующегося породного блока является способность формирующих его более мелкомасштабных блоковых структур смещаться под внешним силовым воздействием как единое целое в течение рассматриваемого периода времени. При этом НДС вмещающего объект недропользования породного массива определяется суперпозицией разномасштабных деформационных полей, отстраиваемых по векторам взаимных смещений самоорганизующихся структурных блоков (рисунок 12).





**Рисунок 12 – Выделение границ и направлений смещений самоорганизующихся породных блоков на плане геологического строения Соколовского месторождения**

5. В связи с произошедшим в сентябре 2018 года в районе гр. Катав-Ивановск землетрясением, был проведен эксперимент, в котором было задействовано 9 постоянно действующих GNSS станций Южного Урала, при этом размеры района исследований составили 280 x 250 км. Была сделана выборка исходных данных за период с 15.08.2018 по 15.10.2018, для фиксации движений и деформаций до и после землетрясения. Программа эксперимента включала определение абсолютных координат и их изменения по осям координат ежедневно, за 61 сутки, путем привязки их от 10-12 исходных пунктов IGS в системе INRF-2014, обработку и уравнивание GNSS сети для исследования трендовых движений.

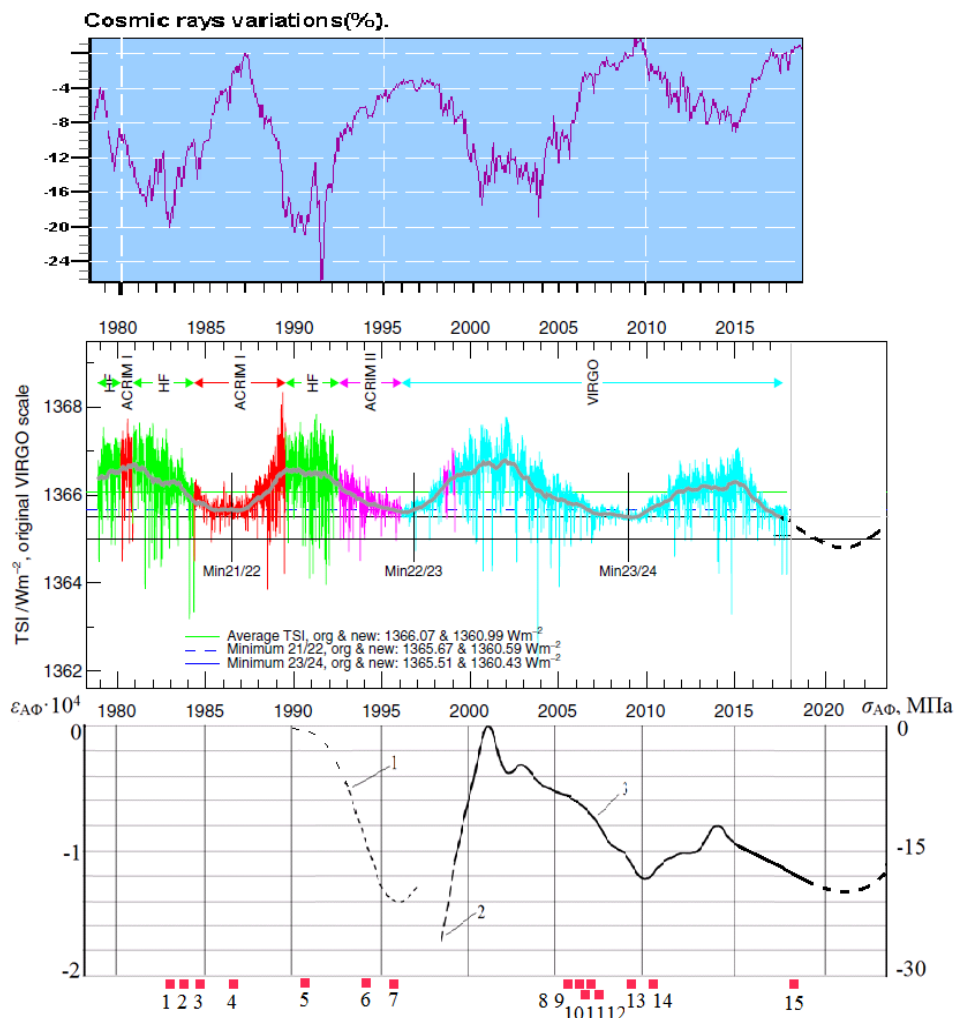
В результате были определены:

- точные амплитуды изменений координат по трем осям координат, амплитудная и трендовая составляющие до землетрясения, между сериями землетрясений и после землетрясений.
- горизонтальные сдвиги и деформации массива горных пород в районе в виде перемещений на восток с амплитудами 7-10 мм.
- зафиксированы вертикальные сдвиги, которые проявляются в виде равномерного наклона: поднятия в юго-западной части, оседания на северо-востоке.
- отмечены деформации растяжения в юго-западной и западной частях участка под азимутами 135° и 45°, в восточной части преобладают сжимающие деформации.

Также построены азимут-диаграммы сдвижений по всем возможным  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta H$ , 2D, 3D между пунктами GNSS сети. Установлено их и соответствие, и несоответствие по основным направлениям преобладающих ориентировок разломов в Уральском регионе. Сделаны выводы о необходимости расширения GNSS сети до 25-30 пунктов за счет включения дополнительных станций по внешнему контуру.

6. Установлено, что в верхней части Земной коры до глубины 500–600 метров, напряженное состояние массива горных пород не только соответствует гипотезам А.Гейма, А.Д.Динника, Н.Хаста, но и изменяется в течение 11 летнего цикла солнечно-земных связей. В течение этого цикла, в периоды максимальных сжатий, наблюдается консолидация массива

горных пород и подвижки по нарушениям отсутствуют или очень малы; периоды уменьшения сжимающих напряжений сопровождаются движениями массива в криповой и динамической формах. Таким образом, до глубины 500-600 м массив в основном разгружен от высоких напряжений и подвержен знакопеременному воздействию тектонических напряжений, однако при увеличении глубины горных работ до 1000-1500 м возможно формирование в массиве знакопеременных напряжений, максимальные значения которых сопоставимы с пределом прочности вмещающих пород (рисунок 13).



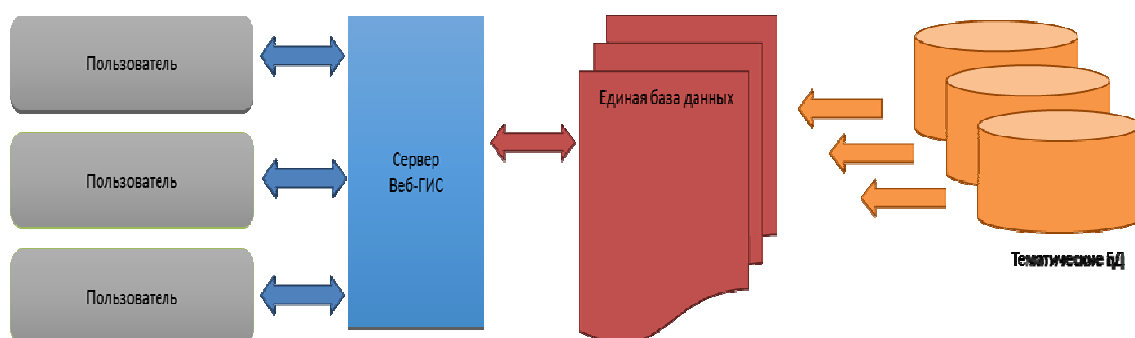
**Рисунок 13 – Изменение средних значений параметров напряжённо-деформированного состояния массива горных пород ( $\sigma_{АФ}$  и  $\epsilon_{АФ}$ ) на Урале на фоне изменения излучающей способности Солнца  $S_0$  и интенсивности космического излучения**

**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. В части совершенствования методологии прогноза качественных показателей добываемого сырья на основе геоинформационных технологий показано, что необходимым условием функционирования геоинформационных систем, предназначенных для принятия стратегических решений по управлению динамикой качественных показателей минерального сырья, является обеспечение непрерывной диагностики состояния горного производства, которая основывается на создании технологий сквозной рудоподготовки – от забоя до обогатительной фабрики. Поэтому прогноз при планировании инвестиционной деятельности в строительство

новых объектов, в модернизацию или реконструкцию действующего производства на основе геоинформационного моделирования приобретает все более важное значение.

2. Создан веб-портал, обеспечивающий доступ конечного пользователя через браузер или через подключение активной ссылки (для интернет-глобусов и просмотрщиков настольных ГИС). Определены структура портала, иерархия доступа и технические требования. Для реализации предложенной идеологии создания веб-гис создавалась в среде комплекса общераспространенных программных средств NextGIS и Quantum GIS, а также на основании оцифрованных топографических планшетов различных масштабов и адаптированных материалов федерального портала [www.Mineral.ru](http://www.Mineral.ru), для создания подложек использовались данные OSM. Предложен функциональный прототип рабочего места пользователя ГИС, обеспечивающего ввод, обработку и использование топогеодезических растровых и векторных карт и планов с учетом особенностей местных систем координат; построение пространственных объектов из каталогов координат; ввод, хранение и обработку тематических пространственных слоев; размещение картографических слоев (рисунок 14).



**Рисунок 14 – Схема функционирования геоинформационного портала**

3. Показано, что обеспечение целей и задач геоинформационного мониторинга, решаемых при освоении недр, достигается созданием и актуализацией нескольких версий пространственных моделей, позволяющих недропользователю на каждом этапе эксплуатации месторождения реализовать наиболее вероятный сценарий и его завершения, что обеспечивает сокращение текущих потерь полезного ископаемого и увеличение полноты его извлечения из недр (рисунок 15).



**Рисунок 15 – Структура методических положений по прогнозированию содержания полезного компонента на месторождении и техногенном образовании**

4. Создана методология раскрытия в экспериментальных горно-технологических исследованиях сложных нелинейных закономерностей становления и развития наблюдаемых техногенных явлений, основанная на функционально-факторном принципе формирования регрессионной модели, описывающей изменения зависимого технологического показателя, оптимизации ее параметров специально разработанным методом приближений параболической вершины, проверке модели на соответствие закономерности по сформулированному двухстороннему критерию допустимого коэффициента детерминации. По данной методологии раскрыта с высокой достоверностью на уровне коэффициента детерминации 0,998 закономерность изменения экономического показателя прибыли  $\Pi$ , получаемой в процессе подземной добычи кварцевого сырья при разных мощностях рудного тела  $m$  и угла его падения  $\alpha$  (рисунок 16), в математико-статистическом виде:

$$\Pi = (785,6 \cdot 6^{0,23} - 4632,2) e^{-\frac{m}{4,1}} + 592,6 \pm 17,7$$

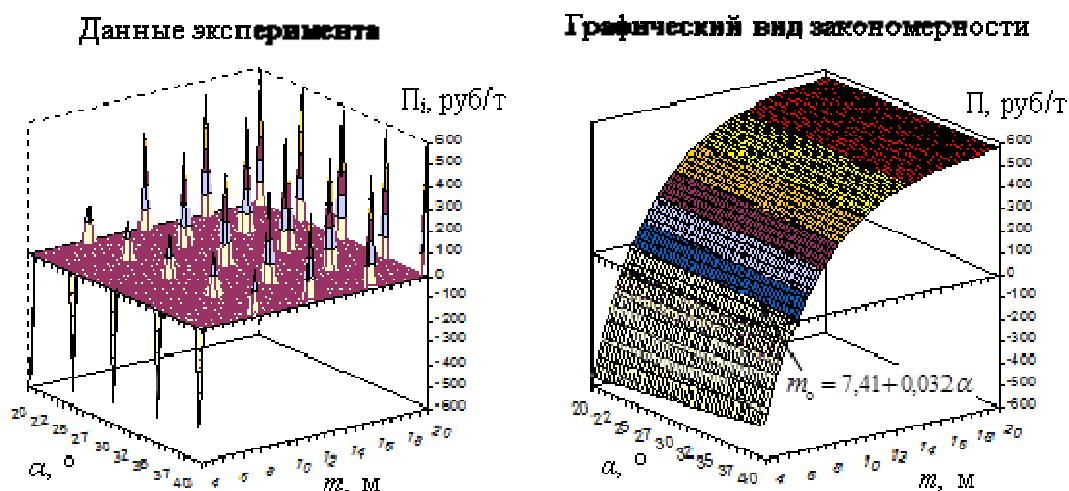


Рисунок 16 – Изменение прибыли ( $\Pi$ ) при подземной добыче кварцевого сырья при изменении мощности рудного тела  $m$  и угла его падения  $\alpha$

### Основные результаты прикладных научных исследований (ПНИ)

Для ОАО «Богословское рудоуправление» выполнена тема ПНИ «Исследование закономерностей процесса сдвижения и обоснования стратегии отработки рудных запасов Северопесчанского участка месторождения на гор. -400м и в лежачем боку на гор. -240м в разведочных линиях 12-15, обеспечивающей безопасность охраняемых объектов промплощадки шахты». Целью работы являлись прогноз и обоснование значений параметров процесса сдвижения породной толщи лежачего бока на этапе доработки оставшихся рудных запасов Северопесчанской залежи в границах разведочных линий 12-15 в этажах -240 и -400м, обеспечивающих полноту выемки вновь осваиваемых и ранее законсервированных рудных запасов и безопасность охраняемых объектов.

Для АО «Костанайские Минералы» выполнена тема ПНИ «Применение комплекса различных способов и методов геофизики и геомеханики, с использованием современных инструментов не разрушающего действия для оценки и интерпретации структуры горного массива по физико-механическим свойствам пород, разработка методики определения структурных особенностей взрывного блока для выбора оптимальных параметров БВР в условиях АО «Костанайские минералы». Основная задача исследований была направлена на определении методики для организации геомеханического мониторинга на предприятии, позволяющего в сравнительно короткий промежуток времени проводить диагностику взрывных блоков для снижения себестоимости взрывных работ при повышении качества взрывной массы и соблюдении безопасности отработки карьера. В процессе выполнения ПНИ на данном объекте была опро-

бовано комплексирование различных способов и методов геофизики и геомеханики имеющиеся в арсенале авторского коллектива, с использованием современных инструментов неразрушающего действия для оценки и интерпретации структуры горного массива по физико-механическим свойствам пород, а также разработки методики определения структурных особенностей взрывного блока для выбора оптимальных параметров буровзрывных работ.

Для ИГД им. Кунаева (Республика Казахстан) выполнена ПНИ «Исследование деформационных характеристик юго-западного борта Качарского карьера и разработка рекомендаций по параметрам конструктивных элементов борта в конечном положении». Было установлено, что происходит снижение уровня активной стадии опасных деформаций периода 2015г. по отношению к первому кварталу 2016г. до неопасных, однако, их развитие продолжается, выполнено моделирование и прогноз процесса деформирования юго-западного борта Качарского карьера, организован мониторинг на участке развития опасных деформаций. Установлено, что деформирование участка юго-западного борта протекает под сильным влиянием природных факторов (геодинамика и структура массива). Борт карьера всегда будет пребывать под риском активизации деформационных процессов. Любые принятые решения по стабилизации деформаций потребуют пристального деформационного мониторинга юго-западного борта.

Для ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG» (ТОО НИИЦ ERG) (Республика Казахстан) выполнена тема ПНИ «Разработка технологии безопасного отвалообразования на земной поверхности в условиях сдвижения земной поверхности на промплощадке шахты «Соколовская». Целью работы являлась разработка технологии безопасного отвалообразования на земной поверхности в условиях сдвижения земной поверхности на промплощадке шахты «Соколовская» на основе анализа процессов воронкообразования. Установлено, что процесс развития воронки обрушения, при заполнении единичной полости, вызванной очистными работами, упрощенно описывается тремя стадиями: появление воронки на земной поверхности, затухающее увеличение воронки, устоявшаяся стадия. Полученные закономерности позволяют определить устоявшуюся фазу воронкообразования и период безопасного нахождения людей в области обрушения в период формирования отвала над выработанным пространством подземных горных работ.

Для «Полюс Красноярск» выполнена тема ПНИ «Определение устойчивости и обоснование крепи всех видов подземных горных выработок и элементов системы подземной разработки». На основании геологических данных, физико-механических свойств вмещающих пород и ранее проведенных геомеханических исследований определены критерии и параметры, оказывающие значимое влияние на модель напряженно-деформационного состояния (НДС) горного массива и выполнить расчет НДС массива на участках проектируемой подземной добычи с учетом технических решений по вскрытию и отработке запасов подземным способом и планируемого развития горных работ.

Для РГП «Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанов» (Республика Казахстан), в рамках гранта №АР05130117 выполнена ПНИ «Научно-техническое обоснование применения на рудных карьерах Казахстана инновационной технологии с использованием крутонаклонного конвейерного транспорта». В проекте обоснована важность и необходимость применения крутонаклонного конвейерного транспорта для глубоких рудных карьеров Казахстана. Доказано, что применение крутонаклонного конвейерного подъемника позволит уменьшить объём горно-строительных работ на 30-50%, что в свою очередь сократит срок ввода карьера в эксплуатацию, сократит длину транспортировки руды и тем самым можно увеличить производительность труда.

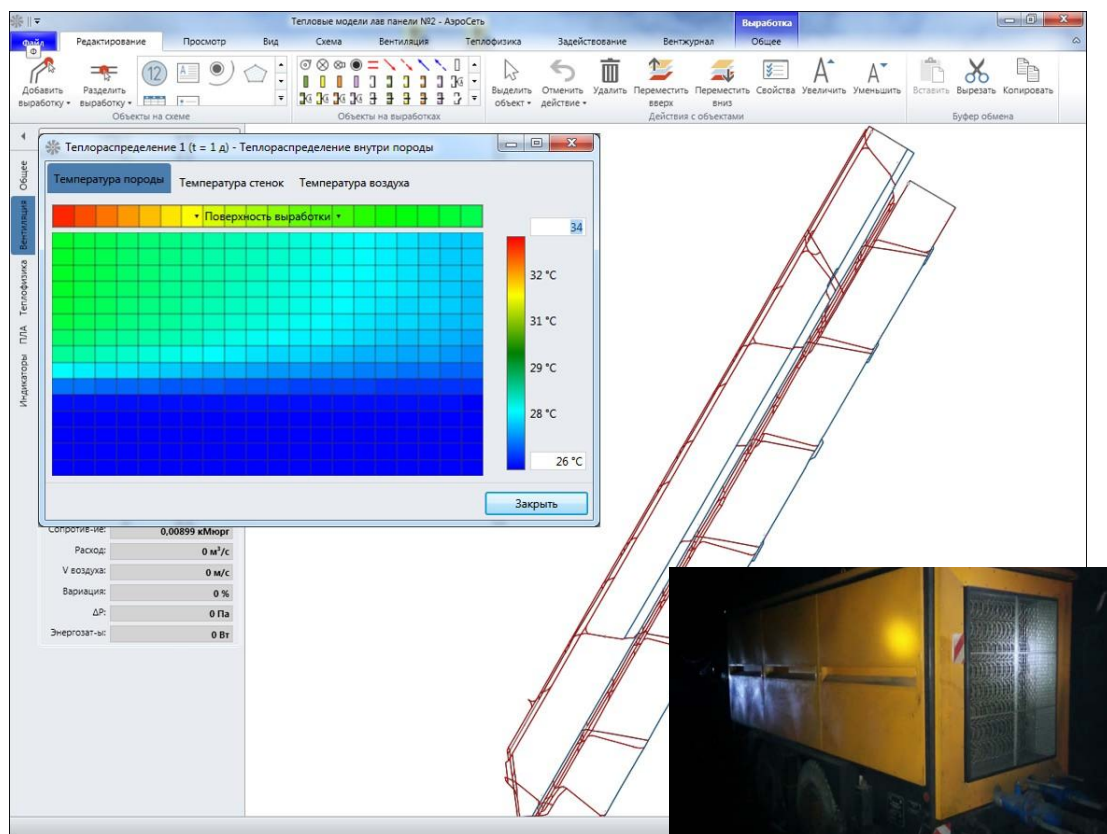
## **2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УРО РАН «ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРО РАН»**

### ***Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрология и теплофизика***

Разработана синтезированная математическая модель расчета микроклиматических параметров воздуха в горных выработках глубоких рудников, включающая сетевую модель тепло- и массопереноса, модель нестационарного сопряженного теплообмена в системе «воздух –

крепь – горные породы» с учетом сжимаемости воздушной среды, влагообмена в рудничной атмосфере и феноменологические модели техногенных источников тепловыделения (рисунок 1).

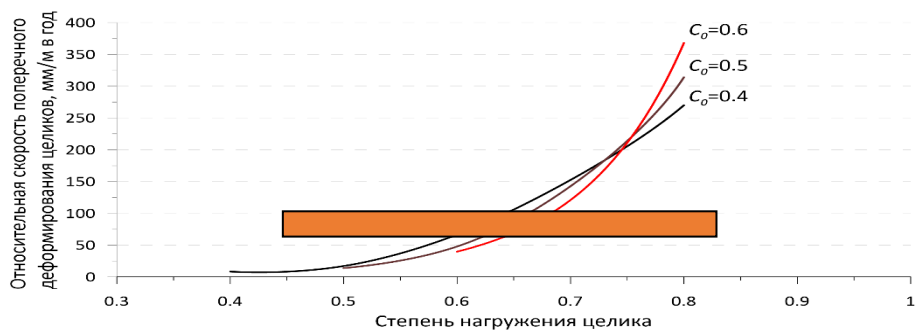
Отличительной особенностью модели является расчет теплообмена между воздухом и массивом горных пород в нестационарной сетевой постановке с учетом адиабатического нагревания и охлаждения воздуха при его движении по вертикальным и наклонным выработкам. Разработанная модель позволяет прогнозировать микроклиматические параметры воздуха глубоких шахт и рудников, характеризующихся сложными и разветвленными сетями горных выработок, высокой температурой вмещающих пород и применением мощных горных машин, что служит фундаментальной основой разработки инновационных систем кондиционирования воздуха.



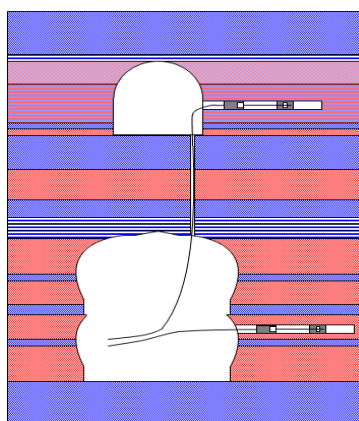
**Рисунок 1 – Результаты расчета теплораспределения в сети горных выработок и окружающем породном массиве**

Установлены критерии разрушения конструктивных элементов камерной системы разработки, основанные на определении критических значений скоростей поперечного деформирования междукамерных целиков (рисунок 2). На основе этого подхода создана система дистанционного инструментального мониторинга состояния горных выработок (рисунок 3). Использование этой системы обеспечивает контроль наступления критических режимов деформирования подработанных толщ и позволяет принимать оперативные решения по реализации дополнительных противоаварийных мероприятий.

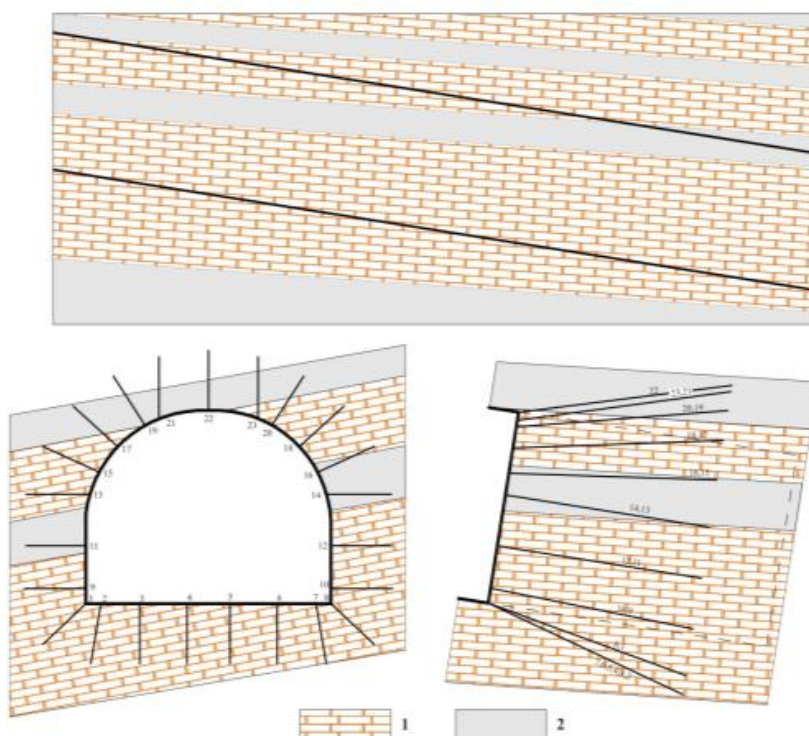
Разработан способ безопасного ведения горных работ при вскрытии и пересечении подготовительными горными выработками слоев выбросоопасных доломитов, заключающийся на первой стадии буровзрывных работ в торпедировании массива шпуровыми зарядами взрывчатого вещества по контуру выработки или по контуру выбросоопасного слоя в пределах сечения выработки и формировании вокруг выработки или части контура выработки области дегазированных пород и на второй стадии – в отбойке пород в забое выработки буровзрывным способом с использованием для снижения интенсивности и частоты выбросов породы и газа пространственного расположения шпуров и порядка взрывания зарядов в шпурах (рисунок 4).



**Рисунок 2 –** Изменение относительной скорости поперечного деформирования целиков при различной начальной степени их нагружения



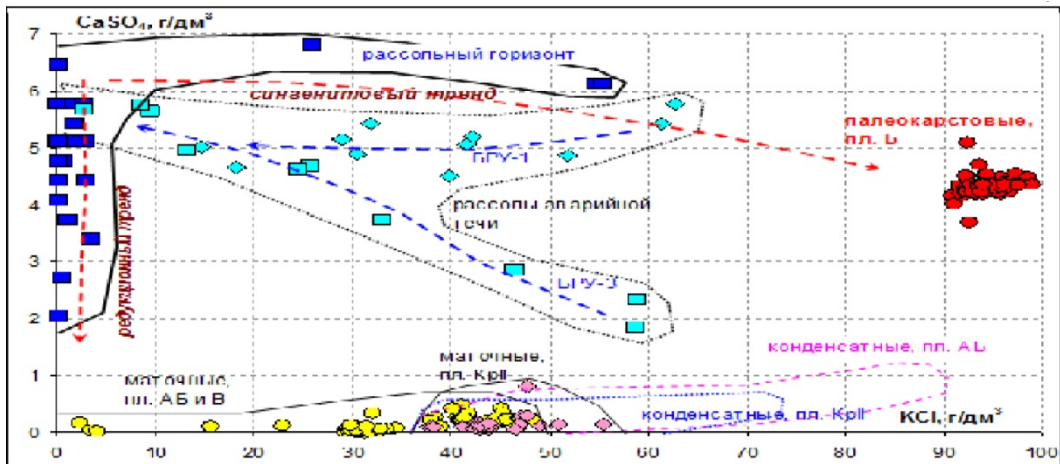
**Рисунок 3 –** Схема организации дистанционного контроля



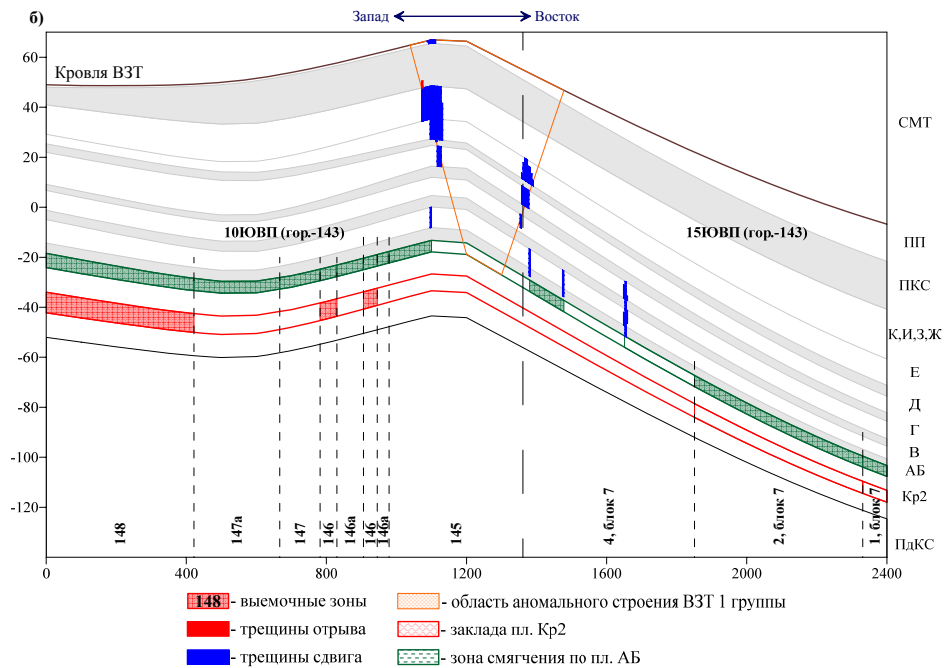
**Рисунок 4 –** Схема торпедирования массива шпуровыми зарядами взрывчатого вещества по контуру выбросоопасного слоя при расположении выбросоопасных пород в почве, проектное сечение выработки и кровле:  
*1 – выбросоопасные породы; 2 – невыбросоопасные породы*

## Горнопромышленная геология

Впервые в соляной толще Верхнекамского месторождения установлено присутствие нового генетического типа рассолов относящихся к палеокарстовым водам (рисунок 5), которые сформировались за счет реакции надсолевых сульфатных вод с сильвинитовыми пластами (сингенитовый тренд). Наличие аномалии данного типа, априори, создает угрозу разрушения водозащитной толщи, аварийного прорыва пресных вод в рудник и его затопления. Геологическая природа зоны выщелачивания, выявленная по результатам комплексной интерпретации пространственной сейсморазведки, площадных электроразведочных исследований, с учетом минерального состава легла в основу физико-геологической модели образования, которая позволила выполнить геомеханические расчеты для оценки возможных условий ведения горных работ на потенциально опасных участках (рисунок 6).



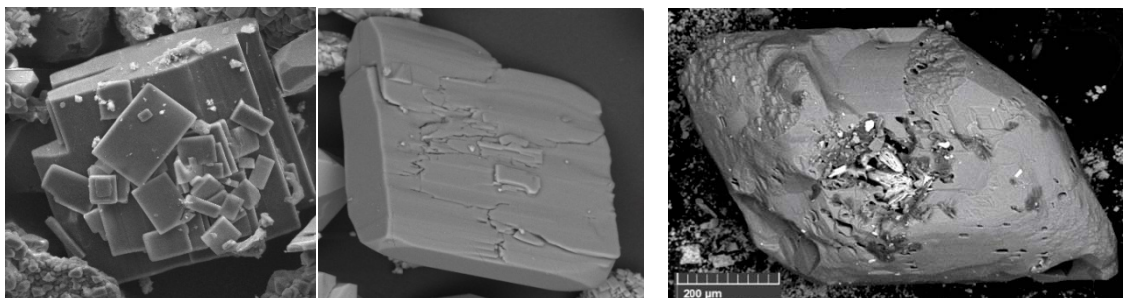
**Рисунок 5 – Положение состава палеокарстовых вод на типизационной диаграмме рассолов Верхнекамского месторождения**



**Рисунок 6 – Характер техногенного нарушения сплошности водозащитной толщи**

Совместно с МГУ открыты два новых минерала. Оба относятся к группе боратов и происходят из калийно-магниевых солей Верхнекамского и Челкарского месторождений (рисунок 7).





*Красноштейнит,  $Al_8[B_2O_4(OH)_2](OH)_{16}Cl_4 \cdot 7H_2O$*

*Яржемскиит,  $K[B_5O_7(OH)_2] \cdot H_2O$*

Рисунок 7

### *Теория и методология горнопромышленной геофизики*

Разработана и опробована на практике новая технология скважинной сейсморазведки – сейсмическое скважинное профилирование (рисунок 8). Технология основана на теоретических положениях систем интерференционной регистрации отраженных волн в рамках методики многократных перекрытий (ММП). Основная цель – локализация в пространстве контрастных вертикально-ориентированных тонких скоростных неоднородностей, обусловленных техногенной и природной нарушенностью породного массива. Данная цель достигается за счет высокочастотного спектра сейсмических скважинных данных в диапазоне 600-800 Гц и сформированного для цифровой обработки сейсмограмм ММП графа. Результаты обработки обеспечивают картирование в направлении излучения неоднородностей размерами от 1.6 м до 0.8 м с минимальной протяженностью в 65 м на расстоянии до 200 м. Аппаратурное обеспечение включает специализированный скважинный источник с частотой импульса 2000 Гц и 24-канальную гидрофонную косу с пьезокерамическими приемниками, регистрирующими объемное сжатие. Данная технология применяется в комплексе с наземными и традиционными скважинными сейсморазведочными исследованиями и использована для контроля развития катастрофических провальных явлений над затопленными калийными рудниками (рисунок 9).

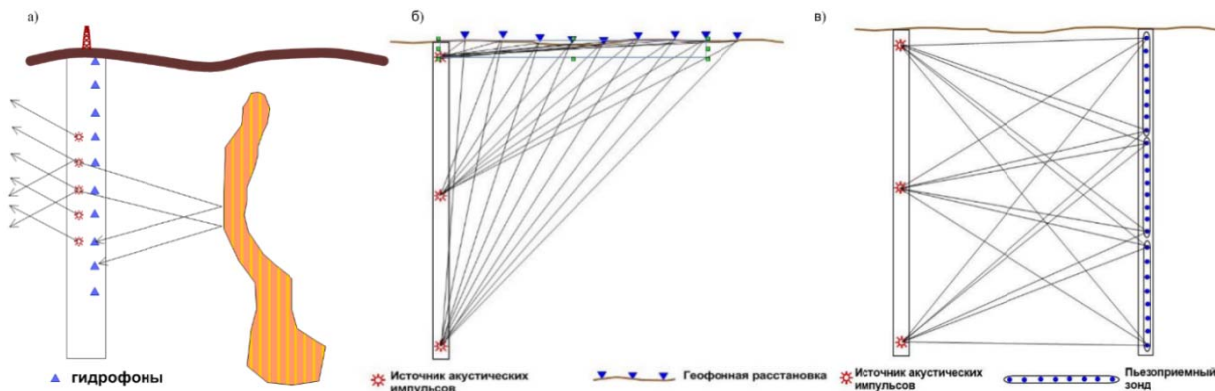
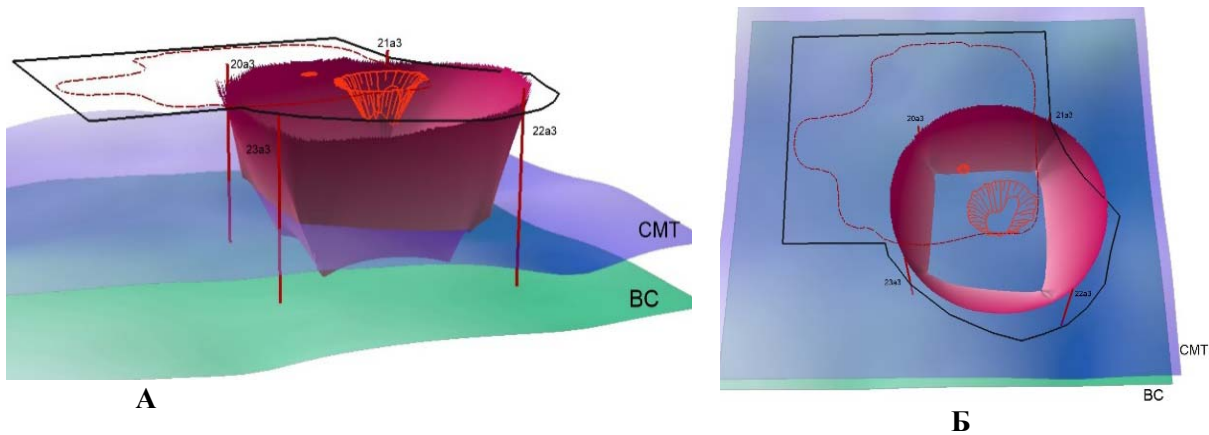


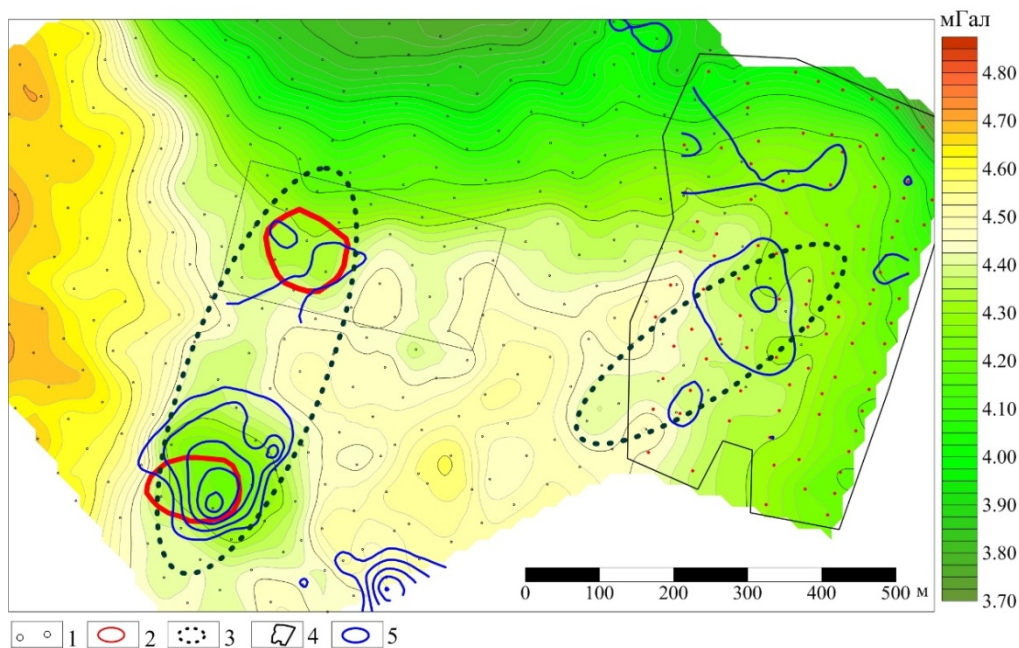
Рисунок 8 – Схемы сейсмических скважинных технологий:

*а) сейсмическое скважинное профилирование ММП, б) вертикальное скважинное профилирование, в) межскважинное просвечивание*

Разработаны критерии выявления аномалий силы тяжести, обусловленных плотностными неоднородностями геологической и техногенной природы. Совместная интерпретация локальных и динамических аномалий – участков, где за период между съемками происходило изменение гравитационного поля, позволяет оценить интенсивность дезинтеграционных процессов, происходящих в породном массиве. Наибольшую опасность представляют участки совпадения отрицательных локальных аномалий силы тяжести и динамических изменений гравитационного поля (рисунок 10).

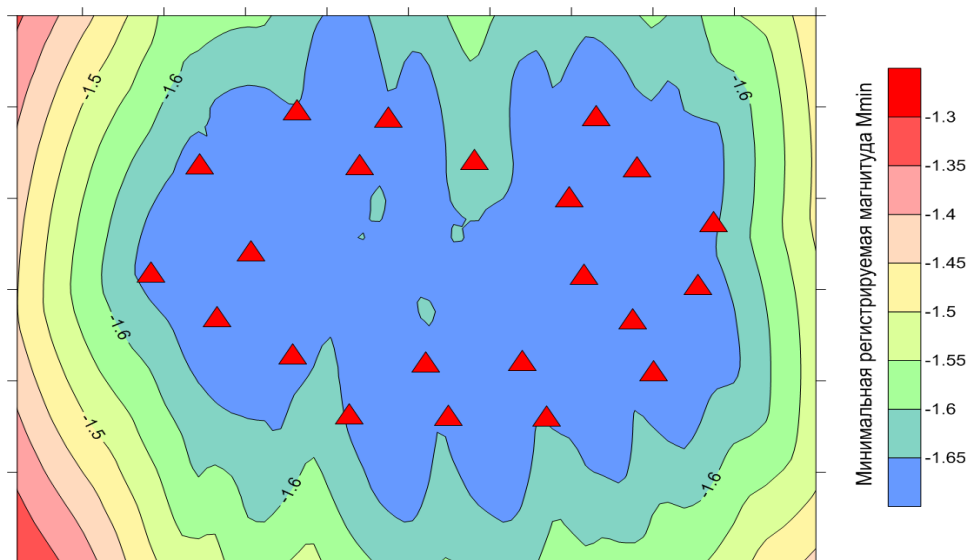


**Рисунок 9 – Пространственная (а) и площадная (б) модели зоны дезинтегрированного массива**



**Рисунок 10 – Гравитационное поле в районе провалов земной поверхности:**  
**1 – пункты гравиметрических наблюдений, 2 – провалы земной поверхности,**  
**3 – контуры локальных аномалий силы тяжести, 3 – участки повторной гравиметрической съемки, 4 – динамические аномалии силы тяжести**

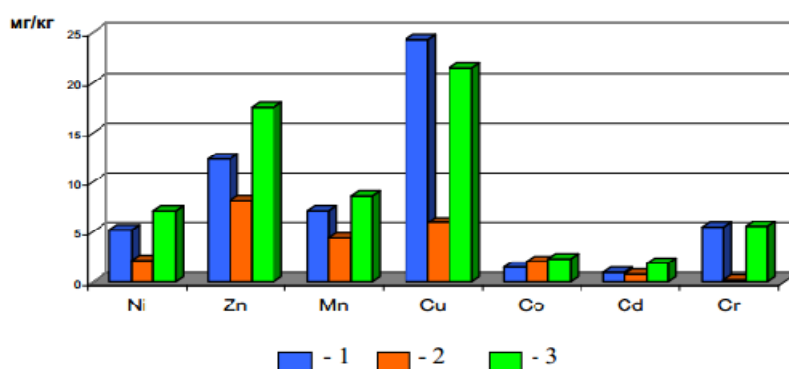
Разработана новая методика оценки регистрационных возможностей системы сейсмологического мониторинга. Методика базируется на расчете очагового спектра сейсмического события с использованием модели Брюна и фактического спектра целевого сигнала в месте установки датчика с учетом поглощения в среде. Наличие модельных сигналов, соответствующих разным источникам, и характеристик сейсмических шумов позволяет произвести моделирование работы алгоритмов-детекторов и оптимизировать их параметры для достижения максимальной эффективности работы сейсмологической сети. Пример расчета минимальной предельно регистрируемой магнитуды для реальной сейсмической сети представлен на рисунке 11.



**Рисунок 11 – Предельные регистрационные возможности системы локальной мониторинговой системы, полученные с учетом фактического уровня сейсмических шумов и добротности сред**

### Геоэкология

Результаты экспериментального моделирования поведения систем «отходы – вода» свидетельствуют, что происходящие в угольно-породных отвалах Кизеловского бассейна химико-физические процессы приводят к разрушению прочно связанных с минеральной матрицей соединений, повышению их геохимической подвижности и увеличению содержания миграционно-способных форм. Установлено, что растворимость тяжелых металлов, определяющая масштабы их эмиссии из угольно-породных отвалов в гидросферу, уменьшается в следующем ряду: Cd>Sr>Co>Ni>Zn>Mn>Cr>Cu>Fe (рисунок 12).



**Рисунок 12 – Характер выщелачивания тяжелых металлов из угольно-породных отвалов Кизеловского бассейна**  
 1 – содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов (ТМ) в исходных отходах; 2 – суммарное содержание ТМ, перешедших в водную вытяжку; 3 – содержание кислоторастворимых форм ТМ в породах после взаимодействия с водой

Разработана технология переработки глинисто-солевых отходов К-Мг руд (шламов) и использования их в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия для зерновых культур и картофеля. Технология обеспечивает утилизацию отходов калийного производства и получение удобрений, содержащих питательные (К, Mg, Ca), мелиорирующие компоненты (глина, доломит) и комплекс микроэлементов (рисунок 13).



**Рисунок 13 – Шламы и продукт их переработки – удобрения**

## **2.10. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ КНЦ РАН**

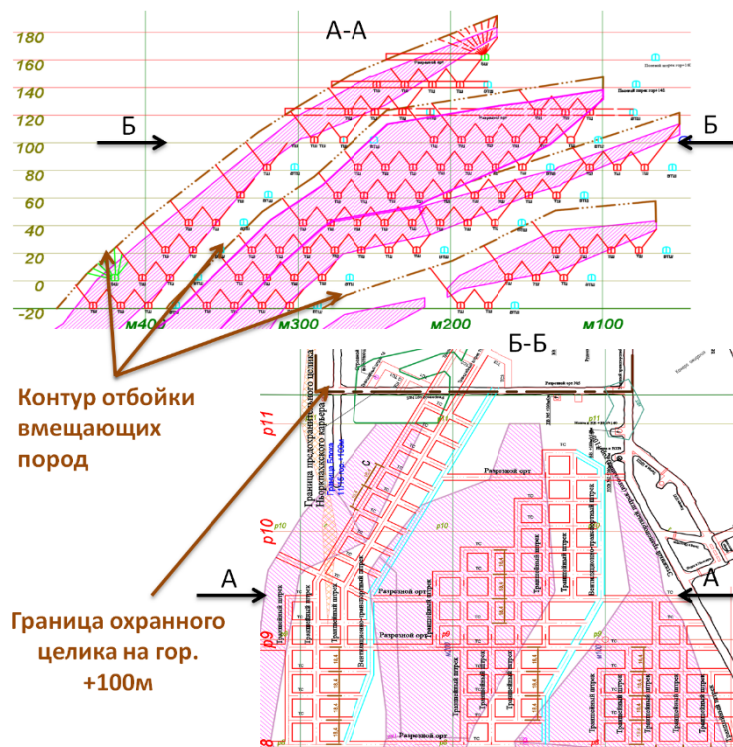
### **Комплексное решение задач эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых**

Для повышения эффективности и экологической безопасности освоения месторождений редкоземельного и редкометалльного сырья предложены инновационные технологические решения в области горной технологии и обогащения полезных ископаемых. Для месторождения «Партомчорр» компьютерным моделированием обосновано расширение проектного контура карьера со строительством гидротехнических сооружений, обеспечивающее отработку запасов в водоохранных целиках, определены схемы вскрытия и подготовки подземного рудника с дистанционно-управляемым транспортом, обоснована технология обезвоженной укладки отходов обогащения. Для Зашихинского месторождения разработана флотационно-магнитная технология обогащения литийсодержащего техногенного сырья с извлечением до 50% оксида лития при содержании полезного компонента > 3%. Для очистки промышленных вод и снижения техногенного воздействия на природную среду предложена прогнозная модель процессов коагуляции и осаждения взвешенных частиц и катионов металлов, переведенных в нерастворимые соединения.

### **Геотехнология**

В рамках развития горно-геологической информационной системы MINEFRAME, нацеленной на создание цифровой модели горнодобывающего предприятия, разработан комплекс программных средств, реализующий на основе моделирования объектов и процессов горной технологии решение таких задач, как: формирование границ отрыва и развала оторванной от массива горной массы, формирование отвалов пустых пород при минимизации транспортных затрат, определение нормативных показателей потерь и разубоживания, перспективное и краткосрочное планирование горных работ.

Разработан алгоритм и методика автоматизированного обоснования направления углубки и режима горных работ, учитывающие горно-геологические условия и технологические параметры системы разработки с возможностью изменения темпов углубки рабочей зоны карьера в различные периоды отработки месторождения.



**Рисунок 1 – Системы подэтажного обрушения с частичным принудительным обрушением налегающих вмещающих пород и выпуском руды через траншейное днище**

Обоснованы параметры технологии подземной разработки рудных тел сложного геологического строения, исключая самообрушение подработанной толщи пород. Технология реализована при отработке опытно-промышленного блока 11/15 гор. +100м месторождения «Олений ручей», где предложен вариант системы подэтажного обрушения руды с частичным принудительным обрушением покрывающих пород скважинами с увеличенной ЛНС и выпуском руды через траншею с применением самоходной техники. Обоснована минимальная толщина породной подушки, обеспечивающей защиту выработок от воздушных ударов, что позволяет извлекать запасы без оставления целиков и создавать условия для перехода на системы с полным обрушением руды и вмещающих пород (рисунок 1).

Обоснована технология подготовки горизонтов для системы разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды путем нарезки блоков на подэтажах по шахматной схеме расположения буро-доставочных и вентиляционно-транспортных выработок, что позволяет в 1.5-2.0 раза уменьшить количество нарезных выработок, исключить 4-х сторонние сопряжения, в результате чего повышается их устойчивость и обеспечивается возможность производить отбойку сопряжений одиночными веерами, что обеспечивает повышение показателей выпуска руды, уменьшение степени нарушенности массива и скважин, обуренных на опережение.

Разработана методика геотехнического сопровождения работ по инженерной защите склонов от скально-обвальных явлений, отличающаяся комплексностью использования междисциплинарных методов на основе геофизического мониторинга, численного моделирования состояния породного массива до и после производства работ, а также технико-экономического обоснования проектных решений, что позволяет оперативно оценивать степень аварийности обследуемого объекта капитального строительства при выборе эффективных и надежных инженерно-технических средств обеспечения его безопасности.

Разработан методологический подход к анализу инвестиционной привлекательности освоения техногенных образований (ТО) для оценки перспектив их перевода в разряд техногенных месторождений, реализованный на основе междисциплинарных исследований, взаимовызывающих результаты мониторинга состояния ТО, принципы и технологии их добычи, переработки, складирования и консервации, анализ законодательной базы обращения с ТО и

укрупненную геолого-экономическую оценку с учетом особенностей региона. Осуществлена модернизация структуры базы данных кадастра ГО Кольского горнопромышленного комплекса.

### Геомеханика

На основе комплекса геологических, геомеханических и технологических моделей исследовано влияние масштабов открыто-подземной геотехнологии на геомеханическое состояние крупной горнотехнической системы. Выявлены закономерности перераспределения напряжений в окрестности очистных пространств на больших глубинах в условиях высокого тектонического сжатия, гористого рельефа и взаимного влияния открытых и подземных горных работ, позволившие сформулировать принципы безопасной отработки месторождений в сложных геомеханических условиях. На примере Хибинских апатитовых месторождений показано, что при масштабном развитии горных работ, связанных с добычей более 300 млн. т руды и понижении границ горных работ до отметки 1000 м от дневной поверхности, увеличивается вероятность риска возникновения сильных динамических проявлений горного давления вплоть до техногенных землетрясений (рисунки 2, 3).

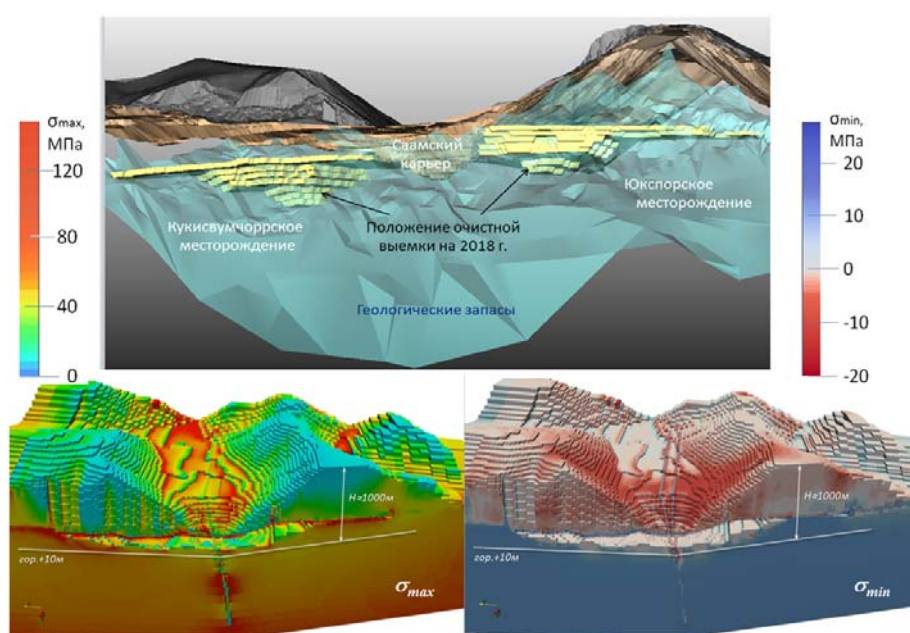


Рисунок 2 – 3D модель Кировского рудника и распределение максимальной  $\sigma_{max}$  и минимальной  $\sigma_{min}$  компонент главных напряжений в массиве пород

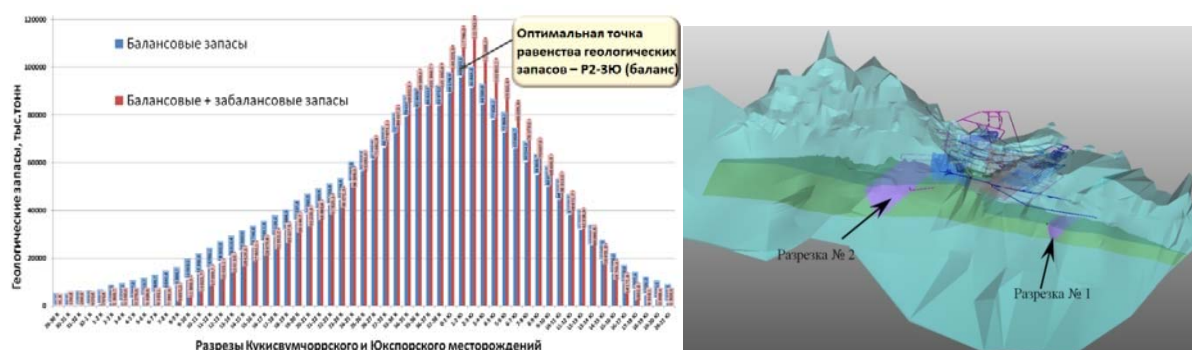


Рисунок 3 – Диаграмма распределения запасов в пределах Кукисвумчорского и Юкспорского месторождений, предлагаемым местоположением разрезов

На примере техногенного землетрясения на Расвумчоррском руднике 09.01.2018г обоснован механизм мощных сейсмических событий, реализующихся в виде взброса по имеющимся структурным нарушениям в подстилающих породах лежащего бока за счет частичного снятия вертикальной нагрузки, роста величин касательных напряжений ( $\tau_{\max}$ ) вплоть до критических и совпадения площадок действия  $\tau_{\max}$  (сдвигового напряжения) с геодинамически активной разломной структурой. Триггером мощного динамического явления был массовый взрыв 08.01.2018 на фоне достижения самим массивом горных пород предельно неустойчивого состояния. События с подобным механизмом вызывают наиболее мощный сейсмический отклик массива и могут привести к серьезным разрушениям подземных и наземных объектов.

На основе комплексных натурных измерений и компьютерного моделирования геомеханических процессов в подрабатываемом массиве горных пород при подземной отработке сближенных удароопасных месторождений Хибинского массива установлены особенности его деформирования, приводящие к повышению устойчивости подработанной толщи в условиях действия высоких сжимающих напряжений. С учетом данного фактора выполнено научное обоснование параметров безопасной отработки временно неактивных запасов месторождения «Олений ручей» и предложен методический подход к совершенствованию правил проектирования границ охранных зон в тектонически напряженных массивах, что обеспечивает повышение полноты извлечения запасов и снижение рисков техногенных катастроф при ведении горных работ в условиях взаимного влияния открытых и подземных очистных пространств.

На основе ретроспективного анализа изменений сейсмического режима рудников с использованием информативных индикаторов уровня сейсмической активности и комплексирования с результатами моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород обоснована методика выявления потенциально сейсмически опасных участков массива на удароопасных месторождениях, отличающаяся последовательным уточнением индикаторов на нескольких масштабных уровнях для выявления зон повышенной сейсмической опасности и определения вероятности реализации мощного сейсмического события.

Разработана система комплексного многоуровневого мониторинга горнотехнических сооружений западной части российского сектора Арктики, в основу которой положен принцип синхронизации междисциплинарных исследований, включающих в себя: наземные и GPS геодезические, гидрогеологические, геофизические и геотехнические измерения, а также подповерхностные, поверхностные (наземные), воздушные и спутниковые георадарные съемки. Система базируется на проведении режимных измерений на различных уровнях: подповерхностном (гидрологические измерения, георадарное зондирование, сейсмотомография), наземном (геодезические наблюдения, лазерное и радарное сканирование), воздушном (тепловая и радарная аэрофотосъемка с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА)), дистанционном (GPS геодезия, оптические, спектральные и радарные снимки), компьютерном (2D и 3D модели, геомеханическое и гидрогеомеханическое моделирование).

Дана комплексная оценка влияния локальных нарушений протифильтрационной устойчивости на гидрогеомеханическое состояние и надежность насыпных гидротехнических сооружений (ГТС). В единый комплекс сведены такие различные по природе механизмы влияния на устойчивость насыпных ГТС, как: суффозия, приводящая к возникновению зон ослабления и полостей в теле сооружения; перераспределение фильтрующихся вод, приводящее к изменению геометрии депрессионной кривой – одного из важнейших индикаторов устойчивости ГТС; воздействие фильтрационного хода как структурной неоднородности, приводящее к снижению устойчивости подсекаемых уступов; гидростатическое давление, передаваемое по фильтрационному ходу от ограждаемого водного объекта к основанию сооружения, смещающее баланс удерживающих и сдвигающих сил у основания сооружения.

### **Разрушение горных пород**

Разработан комплекс численных моделей взрыва скважинных и шпуровых зарядов, обеспечивающих решение задач: взрывания смежных скважинных зарядов в двухмерной и объемной постановке при одновременном и разновременном их инициировании; взрывания контурных скважин при постановке откосов уступов на конечный контур; взрывания скважинных зарядов при веерном их расположении; взрывания комплекта шпуров при проведении

горной выработки. Предложенные численные модели на основе программного продукта AnsysAutodyn и интегрированной в него модели разрушения горных пород под действием динамических нагрузок позволяют решать актуальные задачи взрывного дела.

На основе численного моделирования взрыва в упругопластической среде в объемной постановке выявлены особенности разрушения массива горных пород системой скважинных зарядов при параллельном их расположении и обоснованы оптимальные условия их взрывания на основе учета взаимодействия полей напряжений и динамики развития зон разрушения между смежными скважинными зарядами при применении технологии поскважинного взрывания зарядов ВВ, что позволило для открытых и подземных горных работ обосновать рациональные параметры БВР, последовательность взрывания скважин и оптимальные интервалы замедлений между скважинами и рядами скважин с целью получения необходимого качества подготовки горной массы и снижения сейсмического действия взрыва.

Установлено соответствие между местами повышенных значений реакции массива горных пород на взрывные воздействия и зонами пониженной устойчивости прибортового массива в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК», определёнными в результате оценки коэффициента запаса устойчивости ( $K_{зу} \leq 1,3$ ). Выделенные зоны пониженной устойчивости и, соответственно, повышенных значений реакции массива горных пород на взрывные воздействия сконцентрированы в большей степени в северо-восточной, восточной и юго-восточной областях карьера. Полученный результат дополняет районирование массива пород карьера «Железный» по устойчивости элементов открытой геотехнологии и позволяет уточнить места их пониженной устойчивости.

Разработаны «Методические указания по расчету и проектированию паспортов буровзрывных работ и технология взрывных работ для системы разработки с поэтажным обрушением и торцевым выпуском руды», в которых приведены основные требования к буровзрывным и очистным работам; схемы подготовки горизонтов, обоснованы параметры системы разработки по условиям выпуска руды; приведен расчет параметров буровзрывных работ, оптимальной глубины скважин по условиям бурения, нарушения и потерь скважин после взрывных работ, заряжания и полноты детонации; схем обустройства и взрывания массива, что позволяет существенно снизить потери и разубоживание отбитой руды и обеспечить более качественное дробление.

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

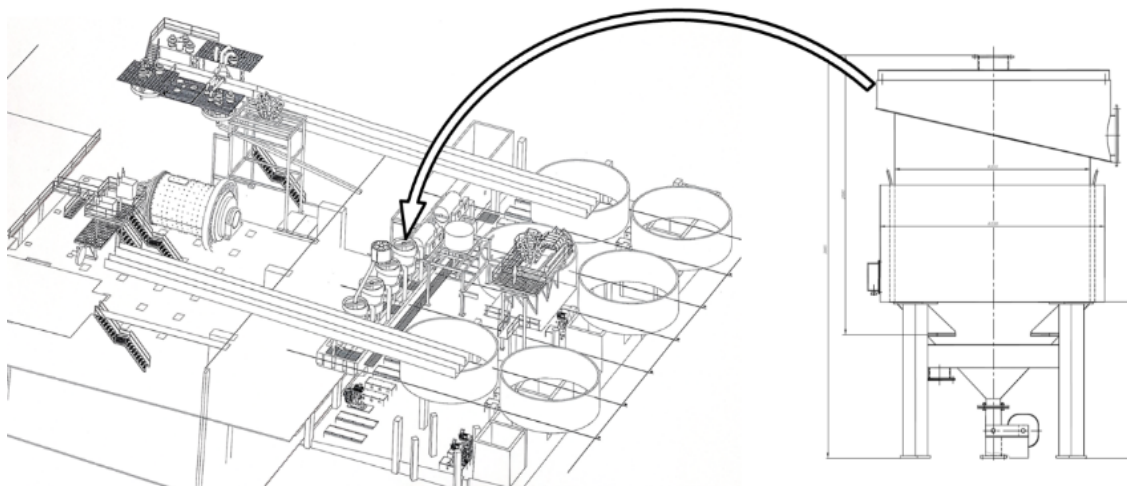
С использованием разработанной цифровой модели теплового взаимодействия большепроточной камерной выработки с породным массивом установлена динамика оттаивания приконтурной части массива, определяющая условия сохранения криогенного состояния многолетнемерзлых горных пород и требования к горнотехническим системам регулирования теплового режима. Определены параметры защитной конструкции выработки, ограничивающей оттаивание породного массива.

Методами математического моделирования исследованы закономерности образования источников тепла в подземных модулях хранилищ контейнерного типа для отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) реакторных установок (РУ) атомных станций малой мощности (АСММ) различного типа: АБВ-6Э, УНИТЕРМ, РИТМ-200М, СВБР-10 и СВБР-100. В рамках концепции хранения облученного топлива в металобетонных контейнерах типа ТУК-120 в течение всего срока службы РУ определена динамика остаточных энерговыделений в хранилищах ОЯТ в период эксплуатации АСММ.

### **Обогащение полезных ископаемых**

На основе установленных закономерностей поведения сильномагнитных частиц в ферромагнитной суспензии, находящейся под воздействием магнитного поля и центробежно-восходящего водного потока, разработана конструкция промышленного магнитно-гравитационного сепаратора и на его основе технология получения высококачественного железорудного концентрата с содержанием  $Fe_{общ} \geq 70\%$ . Опытнo-промышленная проверка технологии показала ее высокую эффективность, которая наряду со снижением затрат на получение концентрата до 25% обеспечивает повышением извлечения железа из руды до 5% (рисунок 4).





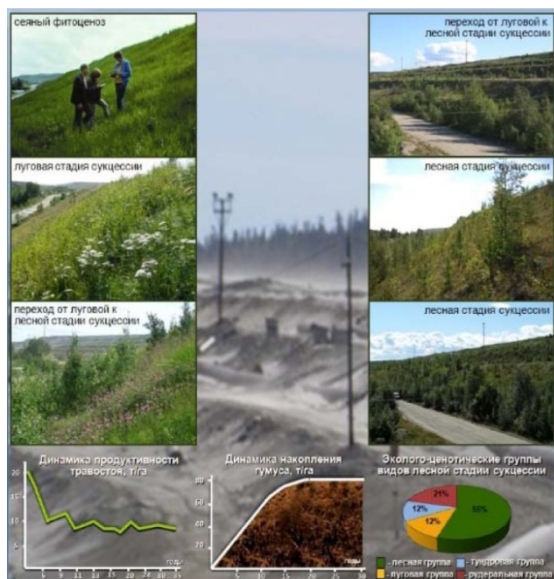
**Рисунок 4 – Проект экспериментальной секции на ОФ АО «Карельский окатыш» с использованием магнитно-гравитационной сепарации**

На основе установленных минералого-петрографических особенностей труднообогащаемой тонковкрапленной медно-никелевой руды Печенгского рудного поля, закономерностей раскрытия сульфидных минералов в процессе измельчения и флотационного разделения тонкодисперсных частиц обоснованы эффективные технологические решения, включающие снижение крупности питания флотации с 80 до 97% класса -0,071 и оптимизацию реагентного режима за счет введения реагентов-диспергаторов. Разработанная технология позволит повысить извлечение никеля в кондиционный концентрат на ~7-8% при снижении его массовой доли в хвостах флотации.

Обоснован подход к выбору порога разделения кускового материала апатитсодержащих руд в процессе предварительной концентрации посредством рентгенолюминесцентной сепарации, в результате которой осуществляется вывод из технологического процесса части кусковых пород, приводящий к увеличению рудной составляющей в питании процессов обогащения. Повышение содержания апатита в руде обеспечивает увеличение удельной производительности мельницы по вновь образованному классу в среднем на 25% при одновременном снижении энергозатрат на измельчение на 35%. Технологические показатели апатитовой флотации соответствуют концентрату типа "Стандарт" при извлечении в него  $P_2O_5$  на уровне 93-95%, объем тонкоизмельченных хвостов снижается не менее, чем в 1,5 раза.

На основе компьютерного моделирования выявлены особенности распределения концентраций твердой и газообразной дисперсной фаз в различных типах флотационных машин, что позволило обосновать применение для флотации медно-никелевых руд пневматических флотационных машин с низкой гидродинамической нагрузкой на сформированные комплексы частица-пузырек. Результаты исследований позволили разработать технологию флотационного обогащения медно-никелевой руды с использованием пневматических флотационных машин и дозированием гетерополярного собирателя в виде активированной водной дисперсии воздуха, обеспечившую повышение извлечения никеля на 0,8% при снижении расхода собирателя на 10-15%.

Показано, что комбинированная гравитационно-флотационная технология обогащения тонкодисперсных малосульфидных руд при оптимальном размещении гравитационных аппаратов в цикле измельчения-классификации обеспечивает повышение извлечения благородных металлов на 2,55%, в т.ч. платины – на 1,84%, палладия – на 2,45%, золота – на 8,8%, а также снижение более чем на 20% циркуляционной нагрузки в операции измельчения по сравнению с разработанной ранее флотационной технологией.



**Рисунок 5 – Стадии сукцессии сеяного злакового фитоценоза**

Разработаны научные основы восстановления природных экосистем в соответствии с принципом их самоорганизации для поддержания устойчивого состояния биосферы. Исследования процессов биологической организации горной породы в ходе мониторинга при восстановлении нарушенных земель показали, что образование биологически активной среды в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя обеспечивает быстрое накопление органического вещества, диагностирование био-генно-гумусоаккумулятивного горизонта, значительно более быстрое, чем при самозарастании, формирование фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта, и подтвердили правильность разработанной методологии, обеспечивающей возможность восстановления почвенно-растительного покрова в масштабах, необходимых для саморегуляции природной среды (рисунок 5).

Разработан методический подход к оценке состояния нарушенных земель техногенных ландшафтов и динамики их восстановления по спутниковым данным. На основании анализа массива пространственно-временного распределения согласованных (непротиворечивых) значений вегетационного индекса разработана прогнозная математическая модель изменения вегетационного индекса нарушенных земель при их восстановлении, аппроксимирующая начальный период наблюдаемого временного ряда и включающая периодический и нарастающий компоненты. Выявлена характерная для зональных фитоценозов величина вегетационного индекса, на значение которой выходит вегетационный индекс растительного покрова на лесной стадии сукцессии сеяного злакового фитоценоза при формировании фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта.

На примере Кольского горнопромышленного комплекса разработана информационно-аналитическая система поддержки принятия решений при восстановлении нарушенных земель техногенных ландшафтов созданием биологически активной среды. В структуру информационной системы интегрирован программный модуль автоматизированного выбора способов восстановления нарушенных земель на основе анализа содержимого баз данных их состояния и способов создания биологически активной среды в области пересечения по факторам, лимитирующим процессы самовосстановления нарушенных земель. Для оптимизации алгоритма выбора способов восстановления нарушенных земель интегрированы спутниковые данные ретроспективного анализа их состояния, динамики восстановления и параметры оценки ресурсного потенциала самовосстановления природных экосистем, полученные на основе анализа техногенной нагрузки и показателей экологического состояния нарушенных земель.

Обоснован комбинированный способ очистки шахтных вод, заключающийся в переводе компонентов загрязнения из растворенного состояния во взвешенное для реализации процессов коагуляции, сорбции, и флотации, в одном комплексе. С целью автоматизации управления процессом очистки предложена математическая модель кинетики агрегации взвешенных частиц.

Выполнено научное обоснование экологически целесообразного способа утилизации мазута из нефтеловушек укладкой на открытые площадки в смеси с биосорбентом, с последующим посевом многолетних трав без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием. Создание биологически активной среды обеспечивает высокую степень утилизации в течение одного вегетационного периода.

## 2.11. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА КНЦ РАН

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

Разработан способ повышения морозостойкости керамических строительных материалов полусухого прессования на основе неспекающегося малопластичного техногенного сырья – отходов обогащения медно-никелевых, апатито-нефелиновых и железных руд. Способ основан на формировании матричной структуры керамических стеновых материалов за счет использования в технологии массоподготовки агломерационных процессов (агрегирование и грануляция), обеспечивающих создание упорядоченного пространственного каркаса в материале. Получаемые стеновые керамические материалы обладают высокими техническими характеристиками, которых невозможно достичь традиционными технологическими способами приготовления керамических пресс-порошков. Материалы продемонстрировали высокие значения морозостойкости (более 50 и 100 циклов), не характерные для изделий полусухого прессования. (ИХТРЕМС КНЦ РАН, ИППЭС КНЦ РАН, 132)

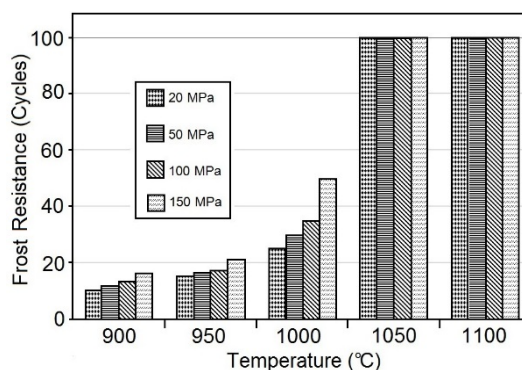
Осуществлена попытка использования техногенных отходов для уже существующих технологий производства кирпича с традиционной массоподготовкой, формированием структуры изделий, тепломассообменными процессами при сушке и обжиге не обеспечивает достижения хорошего качества изделий. Как известно, изделия полусухого прессования в ряде случаев оказываются недостаточно морозостойкими: в процессе эксплуатации в кирпиче выкрашиваются углы и ребра, шелушится поверхность, появляются специфические трещины.

Авторами разработан перспективный способ существенного повышения морозостойкости керамических материалов из отходов обогащения медно-никелевых, апатитонефелиновых и железных руд с использованием гранулированных пресс-порошков.

Экспериментальными исследованиями установлены условия и режимы грануляции шихты. Изучены физико-технические свойства керамики в зависимости от температуры обжига, фракционного состава компонентов и количества опудривающего гранулы слоя. Для обеспечения наиболее плотной упаковки гранул при прессовании подобран рациональный фракционный состав гранулированных шихт.

При синтезе керамических изделий из техногенного сырья со структурой, приближенной к идеальной, были получены керамические матричные композиты путем покрытия поверхности гранул глиноподобной частью шихты (опудривающий слой) – хвостами обогащения медно-никелевых руд в количестве 5-20 %. При обжиге происходит трансформация структуры сырца в керамический матричный композит. На границе контакта гранул опудривающий слой продуцирует расплав, который внедряется в периферийную зону ядра и после кристаллизации образует матричную структуру, состоящую из ядер, покрытых оболочкой из продуктов спекания глинистой части медно-никелевых отходов. В свою очередь оболочка имеет свое внутреннее армирование, повышающее прочностные характеристики матрицы.

Формирование матричной структуры керамики обеспечивает морозостойкость изделий, соответствующую значениям для керамики высшей категории качества (50 и более циклов). Такие значения морозостойкости не характерны для изделий полусухого прессования и их невозможно достичь при традиционной технологии приготовления керамических пресс-порошков (рисунок 1). Кроме того, формирование матричной структуры керамического материала оказывает положительное влия-



**Рисунок 1 – Морозостойкость образцов в зависимости от давления прессования и температуры обжига**

ние и на прочностные характеристики изделий. Происходит значительное повышение прочности при сжатии – до 118 МПа (при температуре обжига 1050 °С) и изгибе – до 50 МПа (при температуре обжига 1100 °С).

Высокие физико-механические характеристики керамических материалов из техногенных отходов, полученных сочетанием технологии компрессионного формования и использования гранулированных пресс-порошков, дают основание рекомендовать их для производства качественных полнотелого и пустотелого кирпича, а при определенных условиях и клинкерных керамических материалов (*ИППЭС КНЦ РАН, директор, д.т.н. Макаров Д.В.; ИХТРЭМС КНЦ РАН, к.т.н. Суворова О.В., технолог Плетнева В.Е.*)

Результат получен в рамках темы НИР «Разработка стратегии минимизации техногенных воздействий на окружающую среду отходов горно-металлургического комплекса» Номер проекта в ИС: № 0226-2018-0001; № гос. рег.: АААА-А18-118021490072-9 (НИОКТР)).

Результаты исследований отражены в статье: О. Suvorova, V. Kumarova, D. Nekipelov, E. Selivanova, D. Makarov, V. Masloboev Construction ceramics from ore dressing waste in Murmansk region // Construction and Building Materials. 2017. V. 153. P. 783-789.

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

В 2018 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 2018 году материалы, можно отметить следующее. Производительность труда и выполняемые объемы на открытых горных работах, наиболее распространенные при добыче минеральных ресурсов, во многом зависят от мощности применяемого горного оборудования: буровых станков, экскаваторов, автосамосвалов. Ниже приводятся раздел информационно-аналитического обзора ВИНИТИ РАН, выполненный в 2018 году и посвященный механическим экскаваторам.

Основные требования для эффективной эксплуатации современных электрических прямых лопат: максимальная высота уступа – не более верхней точки расположения головного блока стрелы; время цикла – 28-40 с (среднее 35 с); коэффициент наполнения ковша в хорошо взорванном забое – 100-105%; наиболее эффективное сочетание с загружаемым транспортным средством – 3-5 ковшей; наиболее благоприятные условия работы в забое – односторонняя погрузка на уступе оптимальной высоты с хорошо взорванной горной массой, на удовлетворительно выровненной, устойчивой и хорошо зачищаемой вспомогательным средством подошве с достаточным пространством у забоя, для свободного маневрирования автотранспорта.

Канатные экскаваторы Cat® с электрическим приводом выпускаются 5-ти базовых типовых размеров (таблица 1) и используются, в основном, для погрузки горной массы в карьерные автосамосвалы в процессе вскрытия и добычи полезных ископаемых.

Таблица 1

**Основные базовые типоразмеры карьерных механических лопат компании Cat**

Модель	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
7295	18,4-39,0	45,4	21,8	15,6	789,25
7395	19,1-61,2	63,5	23,3	16,7	1179,34
7495HD	19,1-61,2	81,8	24,0	17,3	1306,34
7495; 7495HF	30,6-61,2	100	25,0	18,0	1372,12

Компания SurfaceMining (P&H) – подразделение корпорации JoyGlobalInc. предоставляет на рынок модельный ряд карьерных электрических механических лопат с реечным напором 5-ти базовых типоразмеров (таблица 2).

Таблица 2

**Модельный ряд электрических карьерных экскаваторов компании P&H**

Модель	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
2300XPC	18,3-25,5	45,4	21,3	13,6	775
2800XPC	26,8-33,6	59,0	24,2	16,6	1079
4100C	42,8-47,7	81,6	24,7	15,8	1243
4100C BOSS	44,3	60,7	23,9	16,8	1459
4100XPC	52,8-61,2	108,9	23,9	16,8	1532

Карьерные экскаваторы Тайюаньского завода тяжелого машиностроения (TZ) (TaiyuanHeavyIndustryCo.)

Совсем недавно на российском рынке громко заявил о себе китайский производитель аналогичного оборудования: Тайюаньский завода тяжелого машиностроения TaiyuanZhonggong (TZ). Завод производит гусеничные карьерные экскаваторы типа прямая лопата с канатным механизмом подъема ковша, реечным напором рукояти ковша и электрическим приводом переменного тока

Тайюаньский завод является основным производителем карьерных экскаваторов в КНР, предлагает модельный ряд из 9 типоразмеров карьерных экскаваторов прямая лопата с реечным напором, с ковшами вместимостью от 4 до 76 м<sup>3</sup>, оснащенных современным электроприводами переменного тока. Ростехнадзор разрешил применение экскаваторов типа WK-12, WK-20, WK-35 и WK-55 (таблица 3) на территории РФ.

Таблица 3

**Модельный ряд электрических карьерных экскаваторов Тайюаньского завода тяжелого машиностроения TZ**

Модель	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
WK-12	10-16	35	18,9	13,6	485
WK-20	16-34	45	21,2	14,4	731
WK-27	23-46	59	23,4	16,3	907
WK-35	25-54	75	24	16,2	1020
WK-55	36-76	103	23,9	16,1	1460

**Карьерные механические лопаты ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова»**

ИЗ-КАРТЭКС – крупнейший на территории России и стран СНГ производитель и поставщик карьерных электрических экскаваторов. В 2010 г. на Оленегорском железорудном карьере ОАО «Олкон» успешно прошёл опытно-промышленные испытания и запущен в промышленную эксплуатацию первый экскаватор новой продуктовой линейки ЭКГ-12К №1 с канатным типом напорного механизма и ковшем вместимостью 12 м<sup>3</sup>.

На машинах ИЗ-КАРТЭКС нового поколения ЭКГ-12К, ЭКГ-20К/18Р и ЭКГ-35К применяется частотно-регулируемый электропривод постоянного (Тп-Д, Трп-Д) тока, а на экскаваторах ЭКГ-32Р и проектируемом экскаваторе ЭКГ-50 – электропривод переменного (ПЧ-АД) тока. Последний позволяет более существенно снизить расход электроэнергии.

Карьерные механические лопаты ОАО «УРАЛМАШЗАВОД».

Производственная линейка карьерных гусеничных экскаваторов типа прямая лопата с речным напором Уралмашзавода включает модели ЭКГ-5А, ЭКГ-12А, ЭКГ-18 и ЭКГ-30 (таблица 4).

**Таблица 4**

**Модельный ряд электрических карьерных гусеничных экскаваторов Уралмашзавода**

Модель	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Масса груза в ковше, т	Макс. радиус копания, м	Макс. высота копания, м	Рабочая масса, т
ЭКГ-5А	4,6-6,3	35	14,5	10,3	196
ЭКГ-12А	12-16	45	21,0	15	655
ЭКГ-18	16-20	59	22,2	16,4	750
ЭКГ-30	24-40	75	26	19,5	1250

Приведенные данные свидетельствуют о том, что российские карьеры обеспечены достаточно широким диапазоном механических экскаваторов, в том числе и отечественного производства.

Следует отметить, что в настоящее время ВИНТИ РАН по заказам потребителей осуществляет подготовку информационно-аналитических обзоров по инновационным и приоритетным направлениям научных исследований в области точных, естественных и технических наук. Обзоры готовятся ведущими специалистами ВИНТИ РАН с привлечением научных референтов института – ведущих специалистов в определенных областях науки и техники, и включают результаты анализа и обобщения сведений по актуальным проблемам, а в некоторых случаях – и прогностические выводы. Основой для составления обзоров служит отечественная и зарубежная научно-техническая литература, доступная ВИНТИ РАН. Это около 3 тыс. названий периодических изданий России и стран СНГ; иностранные журналы и продолжающиеся издания – более 5 тыс. названий; российские книжные издания – монографии, сборники статей, материалы конференций, учебники вузов монографического типа – около 8 тыс. изданий в год. Кроме того, ВИНТИ РАН доступны зарубежные электронные платформы ведущих научных издательств, издающих основную часть академических рецензируемых журналов. Всего 15 платформ, около 10 тыс. названий зарубежных изданий в полном тексте. Все доступные ресурсы используются в информационном обслуживании. Можно получить в электронном виде уже имеющиеся в ВИНТИ РАН обзоры и заказать обзоры по интересующей Вас тематике.

**Отделение наук о Земле ВИНТИ РАН готово по заявкам потребителей подготавливать информационно-аналитические обзоры:**

- по минерально-сырьевой базе золота, цветных и черных металлов, угля и редкоземельных элементов;
- по горнотранспортному оборудованию, применяемому на открытых горных работах;
- по применяемому оборудованию и технологиям в области обогащения полезных ископаемых. Вся необходимая информация на сайте ВИНТИ РАН [Http://www.viniti.ru](http://www.viniti.ru)

### **2.13. ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ, АМУРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ДВО РАН**

1. Проведен анализ состояния мирового рынка технологий химической переработки каустобиолитов угольного ряда. Рассмотрены перспективы развития угольной базы Дальнего Востока, позволившие обозначить основные пути развития технологий в области переработки угля. Показана возможность сосредоточения работ по направлениям углехимии в Амурской области (термическая конверсия углей, получение монтан-воска и окисленных гуматов),

в Хабаровском крае (создание базы подземной газификации) и в Приморье (производство моторного и жидкого топлива) (Сорокин А.П., Савченко И.Ф., Носкова Л.П., Кузьминых В.М. Конюшок А.А., Римкевич В.С., Крапивенцева В.В. Комплексное использование каустобиолитов угольного ряда Дальнего Востока на основе инновационных технологий в области углехимии. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 1. – С. 166–177).

2. Теоретически и экспериментально изучены процессы физико-химической переработки нефелиновых концентратов и выявлены оптимальные условия фторидно-аммониевого комплексного извлечения различных полезных компонентов. Предложена эффективная инновационная технология получения аморфного кремнезема, глинозема, красного железного оксидного пигмента, фторида кальция и других товарных продуктов. (Римкевич В.С., Сорокин А.П., Пушкин А.А., Гиренко И.В. Эффективная технология физико-химической переработки нефелиновых концентратов. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 2. – С. 136–145).

3. Проведены экспериментальные исследования по изучению формы нахождения и степени трансформации золота в продуктах сгорания углей – топочные шлаки, золу уноса и продукты мокрой очистки дымовых газов (шлам) – при различных режимах сжигания топлива и технологиях очистки дымовых газов. (Сорокин А.П., Агеев О.А. Самородное золото в продуктах сгорания бурых углей Ерконецкого месторождения. // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции. // Екатеринбург, 10-13 апреля 2018 г. Издательство «Форт Диалог-Исеть». – 2018. – С. 252-256).

4. Разработана технология формирования и распределения продуктов сгорания углей по удельному весу в процессе сжигания топлива в опытных экспериментальных установках, изготовленных в Амур НЦ ДВО РАН. (Агеев О.А., Сорокин А.П. Новые технологии фракционирования продуктов сгорания бурых углей. // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции. // Екатеринбург, 10-13 апреля 2018 г. Издательство «Форт Диалог-Исеть». – 2018. – С. 294-298).

5. Изложены результаты экспериментальных исследований распределения самородного золота в золошлаковых отходах, полученных при сжигании бурого угля Ерконецкого месторождения в экспериментально-технологическом комплексе «Амур». Показана технология получения обогащенного концентрата гравитационным и магнитным методами и выделение из концентрата золота. (Sorokin A., Ageev O. The technology of gold containing concentrates recovery from the coal combustion products of the Yerkovetskoye brown coal deposit (the Amur Region, Russia). // Problems of Complex Development of Georesources: VII International Scientific Conference, 25-27 September 2018, Khabarovsk. – Vol. 56. – P. 03003).

6. Разработана технология регулируемого сжигания угля в режиме кипящего слоя в топочной камере с вторичным смесеобразованием несгоревших летучих соединений углерода с воздухом в камере дожига. Разработана технология многоступенчатой очистки дымовых газов и техногенной воды от вредных и токсичных примесей. (Агеев О.А., Борисов В.Н., Кичанова В.В. Комбинированная технология утилизации дымовых газов с попутным извлечением ценных компонентов. // Сборник докладов Пятой Всероссийской научной конференции с международным участием «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии». – г. Благовещенск, 02-04 октября 2018. – Издательство ИГиП ДВО РАН. – 2018. – Т. 2. – С. 56-62).

7. Проведены экспериментальные работы по сжиганию бурых углей Ерконецкого месторождения. Изложены результаты экспериментальных исследований распределения редких металлов и редкоземельных элементов в продуктах сгорания углей. Изучен микроэлементный состав шлака, золы и шлама (продуктов мокрой очистки дымовых газов). Установлено, что более 60% РМ и РЗЭ сосредоточены в золе и шламе. (Сорокин А.П., Конюшок А.А., Агеев О.А. Редкие металлы и редкоземельные элементы в продуктах сжигания бурых углей Ерконецкого месторождения (Приамурье). // Сборник докладов Пятой Всероссийской научной конференции с международным участием «Вопросы геологии и комплексного освоения природных

ресурсов Восточной Азии». – г. Благовещенск, 02-04 октября 2018. – Издательство ИГиП ДВО РАН. – 2018. – Т. 2. – С. 87–94).

8. Приведены результаты исследования техногенных объектов Дальнего Востока России. Показано наличие ценных компонентов в исследованных объектах, в частности: золота, благородных металлов, редкоземельных элементов. Установлено, что золото в исследованных объектах, представлено в основном трудно извлекаемым тонким классом крупности (<5 мкм) Предложены методики предварительного концентрирования и гидрометаллургической переработки, позволяющие извлечь золото из данных техногенных объектов. В качестве методов гидрометаллургии предложены бесцианидные методы аммиачно-тиосульфатного итиокарбамидного выщелачивания (Ivannikov S., Ageev O. Beneficiation and hydrometallurgical processing of gold-containing sludge. // Problems of Complex Development of Georesources: VII International Scientific Conference, 25-27 September, 2018, Khabarovsk. – Vol. 56. – P. 03007).

9. Разработана технология выделения из бурых углей Сергеевского месторождения неорганических примесей и получения, частично очищенных от примесей и разделенных по плотности, фракций бурого угля. Изложены результаты выхода восков и гуминовых кислот из продуктов обогащения. Предложена технология углеподготовки, позволяющая получать из угля сырье, которое может быть использовано для производства различных видов продукции. (Сорокин А.П., Агеев О.А., Носкова Л.П., Гиренко И.Г. Технология углеподготовки бурых углей Сергеевского месторождения – перспективное направление получения сырья для производства продукции многоцелевого назначения. // Сборник докладов Пятой Всероссийской научной конференции с международным участием «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии». – г. Благовещенск, 02-04 октября 2018. – Издательство ИГиП ДВО РАН. – 2018. – Т. 2 – С. 94–97).

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

### **Горное недроведение**

#### *Геомеханика*

В 2018 г. целью выполненной научно-исследовательской работы по Государственному контракту являлась разработка научного обоснования параметров опасных зон вблизи выходов пластов угля под наносы и у геологических нарушений, которое включило в себя методику построения и нанесения границ опасных зон на горно-графическую документацию, рекомендации по шахтному мониторингу зон выветрелых пород и зон тектонического влияния нарушений, рекомендации по безопасному ведению горных работ в указанных опасных зонах.

В ходе работы:

- выполнен анализ документации горных выработок и геологоразведочных скважин (дел скважин), проводимых в зонах выветрелых пород и в зонах тектонического влияния нарушений;
- установлены прочностные свойства пород и углей, по граничным значениям которых можно определить нижнюю границу зоны экзогенного выветривания на основе исследования отобранных проб в горных выработках;
- представлены результаты инструментальных измерений в горных выработках с целью определения степени расслоения и трещиноватости пород и углей, наличия признаков окисления пород и углей;
- представлены результаты оценки физико-механического состояния пласта и его кровли в зонах аномальных напряжений на основе зондирования с помощью геофизической аппаратуры;
- выполнено научное обоснование параметров опасных зон у выходов пластов угля под наносы, у геологических нарушений и возникающих вблизи них зон опасных концентраций напряжений, с точки зрения геомеханических и физических процессов, происходящих в массиве по мере формирования современной угленосной толщи;



- установлены закономерности распространения границ безопасного ведения горных работ на выходах пластов угля под наносы;
- установлена зависимость глубины внедрения процессов выветривания массива от различных природных факторов, таких как условия формирования угленосной толщи, денудации древнего рельефа, современные морфологические характеристики местности, степень тектонической нарушенности, мощность покрывающих коренные породы рыхлых отложений;
- разработаны научно обоснованные предложения по установлению границ зон безопасного ведения горных работ вблизи выходов пластов угля под наносы и у геологических нарушений (отдельно) и рекомендации по безопасному ведению горных работ в таких зонах.

Основная научная новизна проведенных исследований геомеханического состояния участков недр в зонах ослабленного состояния пород на выходах пластов под наносы и у геологических нарушений заключается в следующем:

- Установлено, что глубина зоны выветрелого слоя пород в первую очередь определяется геологическими, тектоническими и ландшафтными условиями. Наибольшую роль играют два фактора – мощность наносов, перекрывающих выходы пластов на поверхность коренных пород, и положение в стратиграфическом разрезе или возраст слоев и угольных пластов по геохронологической шкале. Чем больше мощность наносов, тем больше и мощность слоя выветрелых пород под ними.

- Установлены зависимости форм развития негативных геомеханических процессов от размеров и конфигурации выработанных пространств. В том числе показано, что негативное влияние неявно выраженных тектонически разгруженных зон может не проявляться в подготовительных выработках шириной 4-6 метров, но приводить к обрушению кровли, «куполению», повышенным водопритокам и др. в очистных выемках шириной 200-300 метров, соединенных с выработанным пространством; для предотвращения этих явлений рекомендован проход лавы через зону ТРЗ на большой скорости без остановок движения.

- Показана многообразная роль повышенной проницаемости пород в ослабленных зонах при формировании очагов возгорания пластов, прорывов глин, аккумуляции подземных вод, инфильтрации газонасыщенных флюидов. В том числе установлено, что зоны ТРЗ являются концентраторами скоплений свободного метана, способствуют формированию водопрводящих трещин между затопленными и действующими шахтами, формируют заболоченные зоны над затопленными шахтами.

- Показано влияние скоростных режимов ведения подземной добычи на характер геомеханической реакции участков недр в зонах ослабленного состояния горных пород. С одной стороны, в зонах ТРЗ высокая скорость подвигания очистного забоя не оставляет времени для развития процессов деструкции угольного пласта и пород кровли и предотвращает опасные явления, с другой стороны, в зонах ТНЗ высокая скорость подвигания очистного забоя обгоняет процессы релаксации горного массива, способствует росту напряженности.

- Показана геодинамическая опасность расщеплений угольных пластов. В наибольшей степени расщепления повышают риск выбороопасности, а также риск горных и горно-тектонических ударов, динамических разломов почвы выработок и самовозгораний угольных пластов.

- Установлен двухстадийный характер аварийных ситуаций в опасных зонах на участках выходов пластов под наносы и слабовыраженных зонах ТРЗ. На первой, скрытой – стадии, в течение которой идет прорастание трещин, не происходит обрушений и, как правило, даже явных вывалов. Вторая, открытая стадия, начинается с резкого обрушения и дальше продолжается в виде куполения, дальнейших обрушений и вывалов, повышенных водопритоков, что приводит к деструкции не только пород кровли, но и почвы, у которой увеличивается склонность к пучению.

- Установлены прочностные свойства пород и углей, по граничным значениям которых определяется нижняя граница зоны экзогенного выветривания.

### ***Геометрия и квалиметрия недр***

В рамках подготовки «Технического проекта на проведение маркшейдерских работ по восстановлению и обустройству профильных линий специальной наблюдательной станции на территории горного отвода ООО «Кнауф Гипс Новомосковск» было выполнено обоснование и согласование сети профильных линий специальной наблюдательной станции, разработаны рекомендации по производству маркшейдерских наблюдений на восстановленных профильных линиях, проведены контрольные наблюдения на восстановленных профильных линиях, выполнен анализ и оказана помощь в составлении окончательной редакции «Технического проекта» и выполнено его согласование.

- Разработано «Заключение о параметрах деформации земной поверхности на территории проектируемого дистрибьюторского центра ООО «Проктер энд Гэмбл – Новомосковск».
- Дополнительно обоснованы опасные факторы, которые могут оказать вредное влияние на строительный объект в районе строительной площадки: карстопроявления; просадочные грунты; высокий уровень подземных вод вблизи земной поверхности.
- Определены параметры деформации земной поверхности на территории проектируемого дистрибьюторского центра ООО «Проктер энд Гэмбл – Новомосковск» под влиянием горных работ в панели №15«А».

### ***Подземная геотехнология***

Исследовательские работы 2018 года в пределах горного отвода шахты № 1-5 при отработке удароопасного пласта «Верхний» были сосредоточены на геофизическом мониторинге состояния массива при ведении горных работ (с помощью метода ЕЭМИ и сейсмического метода). При этом учитывались данные долговременных наблюдений по линиям реперных станций и моделирования геопроцессов в природно-техногенных системах с отражением их изменений в пространстве и времени.

Особенностью ведения очистных работ в 29 северной лаве является оставление на границах с подготавливаемой 30 северной лавой и нетронутым массивом податливых целиков шириной не более 5 м. Данная технологическая схема выемки пласта положительно зарекомендовала себя, с точки зрения обеспечения безопасности и профилактики геодинамических явлений, при отработке 30<sup>бис</sup> и 31 южных лав. Анализ данных, полученных методом естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ), подтвердил периодичность влияния мощных кровель на конвергенцию в подготовительных выработках в зависимости от предельных пролетов этих кровель в условиях отработки 29 северной лавы. Также подтвердилось, что при отработке одиночной лавы отсутствуют критические напряжения в угольном массиве у нарезных и капитальных горных выработках.

Региональный контроль методом непрерывного геофизического мониторинга с помощью сейсмической сети GITS также указывает на то, что породы, вмещающие угольный пласт «Верхний», находятся в условиях, при которых возникающие в них напряжения не могут привести к динамическому разрушению. Отмечен значительный спад сейсмической активности (3 события за 9 месяцев 2018 года), что также связано с технологической схемой (отработка первой лавы в массиве). Отсутствие условий, которые могут привести к проявлению горного давления в динамической форме, позволило рекомендовать мероприятия по переходу передовой выработки под инструментальным и геофизическим прогнозом и предложить дальнейшее сроки проведения геофизического мониторинга с анализом полученных данных и корректировкой действующих критериев удароопасности.

Также отмечено, что отсутствие проявлений горного давления в форме горных ударов связано с применяемой технологической схемой отработки (использование податливых целиков шириной не более пяти метров), углом заложения линии очистного забоя относительно кливажа (трещин в угольном пласте) и ведением горных работ в нетронутым участке шахтного поля (отсутствует влияние от давления блочных структур вблизи отработанных лав на менее прочные угольный массив и породы почвы).

В рамках «Геомеханического обоснования текущих технических решений по безопасной и эффективной отработке руд на рудниках Талнаха» выполнен анализ горнотехнической и геомеханической обстановки на рудниках «Октябрьский», «Таймырский» и «Комсомольский»

в 2018 году и разработаны рекомендации по повышению эффективности и безопасности ведения горных работ в 2019 году.

Установлено, что 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. Поднятие отдельных реперов связано с их расположением впереди границ мульды сдвижения и вызваны упругим прогибом породных слоев. Кроме того, для подземных наблюдательных станций такое явление объясняется сложной вращательной кинематикой смещений тектонических блоков.

На основании анализа фактического состояния наблюдательных станций и достигнутого положения горных работ, даны рекомендации по корректировке наблюдательных станций на земной поверхности и в подземных горных выработках.

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.

Сейсмическая обстановка в поле рудника «Октябрьский» характеризуется как удовлетворительная. Наиболее сейсмически активной зоной рудника, в настоящее время, является восточный фланг отработки медистых руд в районе панели 3. По мере продвижения данного фронта по падению залежи, ожидается увеличение сейсмической активности как по количеству, так и по энергии событий.

Сейсмическая обстановка в поле рудника «Таймырский» характеризуется как сложная. На всех отработываемых участках, сейсмическая активность проявляется вблизи рабочих панелей на уровне горизонта отработки и в подстилающих породах. Наиболее сейсмически активной зоной рудника в настоящее время продолжает оставаться северо-восточный фланг залежи С-2 в районе панелей 22-23. В районе Большого горста сейсмические события достаточно равномерно распределяются по глубине в диапазоне отметок -900 – -1300 м. 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 сложная. В поле залежи С-1 выделяется обширная зона группировки событий в районе примыкания панелей 2,4,3. Зона является активной как по числу событий, так и по их энергии. В ближайшие 2-3 года активность данной зоны может оставаться на таком же уровне, после чего ожидается снижение активности по мере отработки запасов руды и удаления фронтов очистных работ панелей 2 и 3.

Прогнозная оценка напряженности рудного массива при развитии горных работ в 2019 году выполнена методом математического моделирования.

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  $75 \div 85$  МПа, с концентрацией до 140 МПа в угловых частях. На горизонте медистых руд, в подработанной богатыми рудами зоне, очистные работы будут вестись с напряжениями не более 30 МПа. Напряжения в угловых восточном и западном участках панели 3 могут составлять 35 МПа, с концентрацией до 100 МПа в угловых частях.

На руднике «Таймырский» величины напряжений в зонах ведения очистных работ в 2019 году, могут составлять для шахты 1 –  $40 \div 90$  МПа, для участка отработки Большой горст –  $50 \div 75$  МПа, для шахты 2 –  $45 \div 90$  МПа, для шахты 3 –  $50 \div 105$  МПа. В районе безрудной зоны, оконтуренной очистными работами с трех сторон, напряжения могут достигать 110 МПа.

На руднике «Комсомольский» величины напряжений в зонах ведения очистных работ в 2019 году, могут составлять: для района «Запад» –  $50 \div 110$  МПа, для района «Восток» –  $30 \div 100$  МПа. Такой уровень напряжений составляет  $30 \div 100$  % от прочности богатых руд на одноосное сжатие, что на локальных участках может привести к проявлению внешних признаков проявления

горного давления. Наиболее неблагоприятная конфигурация сформирована в панели 11 южно-го фланга залежи Ю-О, где концентрируются повышенные напряжения.

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 2019 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÷70 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. Конфигурация очистных фронтов характеризуется наличием уступов между панелями, взаимно перпендикулярными фронтами, сохраняется предохранительный целик СУ-1. В результате, формируются многочисленные зоны повышенного горного давления в угловых частях массива.

Разработана новая редакция регламента технологических производственных процессов по ведению очистных работ.

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

С целью выбора типов и параметров крепи горных выработок и их сопряжений в условиях Яковлевского месторождения были выполнены инструментальные, лабораторные и инженерно-аналитические исследования, в результате чего разработан «Технологический регламент крепления горных выработок в условиях Яковлевского месторождения»

Задачами исследований являлись:

- рассмотрение возможности проходки горно-капитальных и горно-подготовительных выработок в породах лежачего бока без крепления;
- обоснование видов и параметров крепи нарезных и очистных выработок и их сопряжений с учетом применяемого оборудования;
- способы безопасной разделки сопряжений из пройденных выработок;
- выбор технологии проходки выработок в рыхлых рудах.

В результате исследований проведено изучение деформационного состояния рудопородного массива шахты; выполнен анализ состояния крепления горных выработок; определены оптимальные форма и параметры сечений горных выработок различного назначения; выбраны типы крепи и параметры крепления для различных горно-геологических и горнотехнических условий; разработаны рекомендации по формированию защитного слоя; выполнены исследования возможности упрочнения неустойчивого рудного массива:

- Проведенные исследования показали, что установленные величины показателей физико-механических свойств руд и пород находятся в пределах значений, определенных ранее выполненными исследованиями.

- Исследование состояния приконтурного массива показало, что в 50% случаев прослеживается формирование зоны расслоения, при этом отношение высоты зоны расслоения к ширине выработки составляет 0,44.

- На основании анализа фактического состояния одиночных выработок и сопряжений, случаев устойчивого состояния и обрушений, выполнены расчёты предельно допустимых пролётов обнажений для основных типов руд и пород. Для железослюдковых руд, он составляет 1,0 м, для маргито-гидрогематитовых руд и сланцев лежачего бока – 2,3 м, для железистых кварцитов и гранитов – 8,0 м.

- Проведены расчеты устойчивых пролетов сопряжений выработок. Граниты и кварциты будут сохранять устойчивость при любых конфигурациях сопряжений, при ширине сопрягающихся выработок до 5,0 м. Любые виды сопряжений выработок шириной более 4,0 м, формируемые в сланцах и всех типах руд, будут неустойчивыми и потребуют крепления.

- Обоснованы виды крепи горных выработок в различных горно-геологических условиях. В породах с прочностью на сжатие более 60 МПа, выработки могут поддерживаться без крепления. При прочности 25-60 МПа, требуется крепление анкерной крепью. При меньшей прочности необходимо крепить арочной податливой крепью.

- Рассчитаны параметры крепления всеми видами крепи в зависимости от ориентации выработки к простиранию рудного тела, параметров выработки, типа руд и пород, а также для различных конфигураций сопряжений.

• Методом математического моделирования с использованием отечественного программного комплекса CAEFidesys было рассчитано напряженно-деформированное состояние рудопородного массива на различных стадиях отработки залежи. Установлено, что защитный слой не вносит существенного изменения в характер НДС даже при значительном пролете, не создавая зон разгрузки и зон опорного давления. Ширина зоны повышенных напряжений и деформаций не превышает ширины выработки. Существенно влияние на распределение НДС оказывает строение залежи – в лежачем боку рудного тела протяженность зоны повышенных деформаций (на уровне отм. -370 м) составляет около 60-70 м. В то же время, висячем боку, величины деформаций в 2-3 раза меньше, а зона практически не прослеживается.

- Выполнен цикл лабораторных работ по испытаниям упрочняющих смесей:
  - определены требования к составам и свойствам упрочняющих составов;
  - с использованием рудной массы Яковлевского месторождения испытаны два базовых опытных состава полимерной смеси с различными сроками твердения;
  - установлены параметры проникновения составов в рудный массив и определены свойства пропитанной рудной массы.
- На базе полученных результатов лабораторных испытаний, разработаны рекомендации по технологии упрочнения рудного массива, учитывающие существующую технологию: для проходки одиночной горной выработки; для проходки группы выработок защитного слоя.

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

• Объектом исследований являлись техногенный гидрогеологический комплекс, включающий шахты на территории города Анжеро-Судженска; вероятные негативные гидрогеологические последствия, связанные с ликвидацией и затоплением шахт.

• Цель выполненной научно-исследовательской работы явилась разработка комплекса мероприятий по управлению гидрогеологической ситуацией в техногенных горизонтах и на поверхности горных отводов ликвидируемых шахт города Анжеро-Судженска с учетом влияния гидравлически связанных действующих горных предприятий, обеспечивающих производственную и экологическую безопасность жизнедеятельности населения.

• По результатам исследований оценены изменения гидрогеологической ситуации в приповерхностном водоносном комплексе при затоплении шахт, представлены прогнозы развития гидрогеологической ситуации в техногенных горизонтах и на поверхности горных отводов ликвидируемых шахт города Анжеро-Судженска. Определены научно-обоснованные мероприятия, исключающие подтопление поверхности; составлены прогнозы развития гидрогеологической ситуации.

• Представлены рекомендации по организации контроля гидрогеологических процессов в период затопления и подъема уровня подземных вод в техногенном комплексе для своевременного выявления и предотвращения развития негативных процессов, представляющих угрозу для жизни и здоровья населения.

• По результатам исследований даны рекомендации по применению методов численного моделирования для выполнения краткосрочных и долгосрочных прогнозов развития негативных процессов с целью принятия оперативных мер по защите населения.

• Значимость работы обусловлена тем, что выполнен научно обоснованный прогноз негативных гидрогеологических последствий ликвидации шахт и разработаны научно обоснованные предложения по стабилизации гидрогеологической ситуации в техногенных горизонтах и на поверхности горных отводов ликвидируемых шахт города Анжеро-Судженска.

• Прогнозные предположения о развитии объектов исследований свидетельствуют о необходимости постоянного и всеобъемлющего научного контроля процессов, связанных с ликвидацией шахт города Анжеро-Судженска.

• В результате выполнения работ были получены следующие основные результаты.

– По месту расположения угольных шахт можно выделить два горно-геологических блока, которые между собой не были связаны, так как между ними существует целик под Транссибирской магистралью. Первый блок объединяет в настоящее время ликвидированные шахты «Судженская», «Анжерская» и расположен в северной части города. Во втором блоке расположено угледобывающее

предприятие ОАО «Шахтоуправление Анжерское», которое объединяет шахты «Восход», «Физкультурник», «Сибирская» и «Таежная» и находится в южной части города.

– Учитывая, с одной стороны, схожесть гидрогеологических условий шахтных полей первого и второго блока, а, с другой, их изолированность, горные отводы шахт «Судженская» и «Анжерская» могут рассматриваться как объект-аналог при прогнозе последствий затопления шахт ОАО «Шахтоуправление Анжерское». Результаты режимных наблюдений за 2010 год, в целом, подтверждают отсутствие влияния затопления горных выработок шахт «Анжерская» и «Судженская» на подъем уровней грунтового горизонта. Причины подъема зеркала грунтовых вод, отмеченного по некоторым скважинам, требуют отдельного рассмотрения. Следует отметить, что подъем уровней произошел только на двух участках, где грунтовые воды залегают на значительной глубине 2,8 и 6,2 м и не могут угрожать подтоплением территории. Таким образом, подъем уровня затопления в шахте «Анжерская» до отметок +197 – +199 м не привел к значимому повышению уровней в приповерхностном водоносном комплексе и к подтоплению территорий, что подтверждено достоверным рядом режимных наблюдений, выполненных с использованием этажных пьезометров и датчиков гидростатического давления.

– На момент проведения полевого обследования территории уровень затопления шахт Шахтоуправления Анжерское не достиг проектных отметок (+178,6 м).

– Хорошая гидравлическая связь между отдельными шахтами в пределах выделенных блоков определяет формирование единой уровенной поверхности при затоплении выработок. Приводораздельное положение территории города Анжеро-Судженска обеспечивает относительно глубокое положение уровней в выработках после завершения процесса затопления на большей части территории. На этом фоне следует отметить существенное влияние геомеханических факторов (провалов и осадок земной поверхности) на дренирование и подтопление территорий.

– Наличие суглинистых покровных отложений определяет слабую дренированность территории. На этом фоне возрастает вклад техногенных факторов, не связанных с ведением горных работ в формировании гидрогеологического режима территории.

– Основной акцент при управлении гидрогеологической ситуацией нужно делать на организации дренажных систем на поверхностный горизонт. Основой для принятия решений должна быть работа системы гидрогеологического и геомеханического мониторинга.

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

В 2018 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, была выполнена научно-исследовательская работа «Геомеханическое обоснование параметров откосов внутренних отвалов с выдачей заключения об их устойчивости на разрезе Буреинский АО «Ургалуголь». Основной целью первого этапа работы является оценка устойчивости внутреннего отвала при принятых в проекте параметрах. При проведении работы выполнен анализ инженерно-геологических условий. Выполнены расчеты устойчивости откосов внутреннего отвала. Получены следующие результаты:

- Главным осложняющим фактором внутреннего отвалообразования на разрезе «Буреинский» являются крутые углы наклона основания отвала от 13 до 20 градусов для всего склона и до 24 градусов на локальных участках.

- Анализ инженерно-геологических материалов выявил отсутствие достоверных данных о прочностных свойствах отвальной смеси и, что самое главное – о физико-механических свойствах контакта пород «отвал-основание». Все предыдущие исследования и проекты, в которых производились расчёты устойчивости внутреннего отвала, основывались на аналогиях со схожими месторождениями и нормативной литературой.

- Контрольные расчеты показали, что при принятых в проекте прочностных параметрах отвальной смеси и контактов пород основания, которые должны достигаться с помощью рыхления 40% их поверхности, коэффициенты запаса устойчивости отвала и его ярусов выше нормативного ( $n=1,2$ ), кроме двух ярусов, высоту которых следует уменьшить, 2 ярус разреза IV и 1 ярус разреза VII.

- В настоящий момент отсыпка внутреннего отвала ведется без террасирования и рыхления основания отвала, при этом деформации отвалов отсутствуют.

- Расчеты устойчивости фактического состояния внутреннего отвала показали, что коэффициенты запаса устойчивости ниже нормативного по ряду разрезов. Отвалы, имеющие коэффициенты запаса ниже 1,1 вероятно должны были уже обнаружить себя очевидными признаками деформаций, однако в действительности отвалы устойчивы. Данный факт может говорить о том, что прочностные свойства отвальной массы и контакта пород «отвал-основание» занижены.

- Оптимизация параметров внутреннего отвала на основе информации лабораторных исследований, возможно позволит снизить процент рыхления площади основания отвала или вообще отказаться от дорогостоящего террасирования.

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 «Ургалуголь».

По пластам В<sub>12</sub> и В<sub>26</sub> горные работы ведутся и, в перспективе 2019 года, 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 массива горных пород на границе отнесения к удароопасным.

Предпроектная оценка и обоснование порядка отработки пластов угольной свиты в пределах шахтного поля с учетом геодинамических и геомеханических особенностей массива пород актуальный вопрос на любом угледобывающем предприятии. Данные текущих натурных наблюдений с помощью метода ЕЭМИ вполне могут использоваться, например, для предпроектных обоснований, наряду с аналитическим методом (геодинамическое районирование), результатами натурных наблюдений и лабораторными исследованиями (например, ФФС)

В III и IV кварталах 2018 года проведены испытания технологической схемы при производстве измерений в двух положениях антенны в каждой точке замера. Получены положительные результаты – установлены оптимальные сочетания положений антенны для различных условий эксплуатации (очистные и подготовительные забои, выработки выемочных участков и общешахтные, сопряжения и камеры). Эти изменения существенно сократят время на производство измерений и качественно по-новому позволят использовать результаты, исключив из анализа заведомо неинформативную информацию.

### ***Знаковое событие***

*Подведены итоги конкурсов на соискание премий имени выдающихся учёных Академии горных наук в 2018 г.*

Лауреатами премии имени А. А. Скочинского в области рудничной аэрологии и безопасности горных работ стали: **Бондарев Алексей Владимирович** (Ведущий инженер лаборатории горной геофизики ООО «Институт горной геомеханики и геофизики — Межотраслевой

научный центр ГЕОМЕХ») и **Шванкин Михаил Васильевич** (Ведущий научный сотрудник сектора геодинамики ООО «Институт горной геомеханики и геофизики — Межотраслевой научный центр ГЕОМЕХ», к.т.н.) за научную работу «Способы обеспечения геодинамической безопасности при разработке Баренцбургского угольного месторождения».

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

В 2018 г. в Научно-производственной корпорации «Механобр-техника» продолжалось проведение исследований, направленных на создание новых прогрессивных технологий по деинтеграции, классификации, обогащению, переработке различного сырья, промышленных и коммунальных отходов, создание конкурентоспособного горнодобывающего и обогатительного оборудования, используемого при добыче и переработке сырья и отходов, снижение энергозатрат при соответствующих технологических операциях.

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

В 2018 г. в Научно-производственной корпорации «Механобр-техника» продолжалась работа над проектом Российского научного фонда «Вибрационные технологии переработки различных материалов в передовых интеллектуальных производствах – теория, моделирование, основы создания мехатронных комплексов для их реализации».

Выполнение нового объемного цикла фундаментальных исследований, изложенного в данном проекте, позволит получить новое научное знание в достаточно широком диапазоне и вести его последующую коммерциализацию.

Основное содержание проекта:

- исследование и разработка вибрационных динамических систем с энергетически оптимальным типом возбуждения колебаний, обеспечивающих избирательную, заранее заданную по технологическим соображениям форму колебаний и форму воздействия на перерабатываемый материал, идеализируемый определённой средой – твёрдое тело, сыпучий материал, жидкость или их комбинацию. Будут исследованы также квазирезонансные системы и их воздействия на перерабатываемые среды. Исследование ориентировано на снижение общих энергетических затрат в этих технологиях на 10-15% за счёт использования энергетически оптимального типа возбуждения вибрационных воздействий при полном использовании дефектности структуры различных материалов, а также на возможность управления формой и размерами частиц готовых продуктов переработки, обеспечивающих их высокие потребительские качества как исходных материалов в дальнейших технологиях, например, в аддитивных, где крупность порошковых материалов должна находиться в диапазоне от 10 до 100 мкм. Эти же вибрационные системы и созданные на их базе мехатронные комплексы в специализированном исполнении могут быть использованы для принципиально новых технологий твердофазного легирования;
- аналитическое описание и численное моделирование поведения сыпучих сред в комбинированных силовых полях, где доминирующими являются вибрационные воздействия. Это позволит на последующем этапе разработать общий подход к созданию мехатронных устройств высокой производительности и низкой энергоёмкости для механической классификации сыпучих (порошковых) материалов по крупности на перфорированных (ситовых) поверхностях с использованием, в том числе, эффекта диффузной сегрегации, а также для электростатической, электродинамической и вибромагнитной классификации тех же дисперсных материалов, что будет, в первую очередь, ориентировано на развитие аддитивных технологий за счёт новых, создаваемых в данном проекте подходов к подготовке соответствующего материала – порошкового сырья, а именно это и является в настоящее время ключевой проблемой аддитивных технологий. Создаваемые технологии позволят значительно расширить ассортимент выпускаемых порошков, улучшить их качество по размерам и диапазонам уз-



ких классов крупности, которые, как уже сказано выше, должны находиться в пределах от 10 до 100 мкм, но должны быть с высокой точностью расклассифицированы на различные узкие классы крупности (например, 20 – 40 мкм, 40 – 60 мкм и т.д.), а взаимное засорение этих узких фракций не должно превышать 10%;

- разработка технологий и мехатронных устройств для сепарации сыпучих материалов по форме, а также по электрическим и магнитным свойствам, причем в условиях вибрационных воздействий высокой интенсивности, обеспечивающих переход обрабатываемых сред в так называемое состояние вибрационного ожигения, по сути, квазиожигения, обеспечивающего кажущееся состояние нахождения материала в дисперсной жидкой среде. Потребность в них остро ощущается в таких отраслях, как переработка минерального рудного и нерудного сырья, строительных и техногенных материалов, химических и фармацевтических продуктов, при переработке промышленных отходов, а также в агропромышленном комплексе при сортировке зерновых материалов.
- изучение и описание поведения при вибрационных воздействиях жидких сред и структурированных суспензий дисперсных материалов с целью создания технологий и мехатронных устройств вибрационного типа для виброаэрации, перемешивания, осаждения, осветления. Эти научные результаты позволят обеспечить не только энергоэффективность, но и заметное снижение потребления во многих технологиях пресной воды за счёт переработки более плотных суспензий. В отдельных технологиях переработки материалов объём потребляемой свежей пресной воды достигает 15-20 м<sup>3</sup> на одну тонну твёрдых материалов в дисперсном виде. Проект нацелен на возможность снижения этого расхода на 20–30%, а в отдельных случаях, например, при вибрационной сепарации, полностью отказаться от использования водной среды и перейти к так называемым сухим технологиям.

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 2018 году началась также работа над проектом Российского научного фонда «Исследование технологических основ переработки различного минерального сырья, содержащего слоистые силикаты, направленным модифицированием структуры при минимизации использования воды»

Мировая переработка калийно-магниевого сырья превышает 80 млн. т в год. Существующие методы обогащения сильвинитовых руд, особенно с повышенным содержанием нерастворимого в воде остатка, основаны на тонком измельчении всей перерабатываемой руды, обесшламливания, флотации и обезвоживании.

Воздействие калийной промышленности на окружающую среду велико и охватывает многие природные компоненты. Основной спецификой калийного производства является накопление значительного количества отходов в шламохранилищах и солеотвалах. Отходы представлены легкорастворимыми компонентами (хлоридами калия, натрия и магния) и содержат большое количество микроэлементов (стронций, марганец, никель, кобальт, хром, цинк и др.), а также реагентов, используемых для обогащения полезных ископаемых. Стоки и фильтраты из солеотвалов и шламохранилищ являются основными источниками загрязнения окружающей среды, они загрязняют поверхностные и подземные воды, на загрязнённых почвах происходит замена растительных сообществ на более устойчивые к повышенному содержанию солей и микроэлементов, что приводит к трансформации зональных ландшафтов. Охрана окружающей среды, защита ее от отрицательного влияния растущей горнохимической промышленности вызывают необходимость проведения исследования по созданию безводной технологии переработки калийных руд, в частности по разработке сухих методов их обогащения.

Известны исследования по созданию сухих способов переработки калийных руд в части сухого дробления до конечной крупности, использования сухой магнитной сепарации, электростатической сепарации. Однако практически все предложенные технологии сухой переработки калийных руд требуют их предварительной термической обработки.

Установлено, что термическая обработка сильвинитовых руд позволяет существенно изменить структурно-реологические свойства их суспензий, а также оказывает положительное воздействие на процесс их дальнейшей флотации.

В то же время до настоящего времени отсутствуют сведения о практическом использовании процессов обогащения калийных руд с предварительной термообработкой, что, по-видимому, обусловлено большими затратами на термическую обработку всей массы руды в традиционных тепловых агрегатах.

В рамках проекта изучалось влияние термохимического модифицирования на структуру минералов, составляющих сильвинитовые руды с применением методов высокотемпературной рентгендифракционной съемки, лазерной оценки шероховатости минеральной поверхности и рентгеновской микротомографии. Установлено, что термообработка сильвинитовой руды в диапазоне 100–500°C незначительно влияет на структуру солевых минералов галита и сильвина, но существенно изменяет структуру минералов, входящих в нерастворимую фракцию, что оказывает влияние на технологические свойства сильвинитовых руд.

С целью сокращения энергетических затрат на термообработку предложено использовать СВЧ-нагрев, обеспечивающий избирательный нагрев минералов, входящих в нерастворимую фракцию. Показано, что при СВЧ-нагреве изменение технологических свойств сильвинитовой руды аналогично наблюдаемому при конвекционном нагреве. Установлены оптимальные параметры СВЧ-нагрева калийных руд для обеспечения термохимического модифицирования.

Разработана оригинальная методика оценки энергозатрат на дезинтеграцию руд в молотковых дробилках. Исследование процесса дезинтеграции сильвинита в молотковой дробилке, позволило установить зависимости, описывающие влияние основных параметров работы дробилки, а также температуры разрушаемого материала на физические характеристики получаемых продуктов дробления, учитывающие, в том числе, затраты электроэнергии на их разрушение. Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке математической модели разрушения материалов в молотковой дробилке.

Установлено, что термообработка сильвинитовой руды приводит к снижению пористости рудных кусков, содержащих нерастворимую минеральную фазу, которая в процессе термообработки подвергается аморфизации. Высказано предположение, что увеличение энергозатрат на дезинтеграцию калийных руд при термообработке связано, в основном, с изменением физико-механических свойств рудной массы, влияющих на ее поведение в рабочем объеме молотковой дробилки.

Установлены оптимальные значения параметров и режимов флотации калийных руд, подверженных термохимическому модифицированию. Термическая СВЧ-обработка руды оказывает положительное влияние на результаты флотационных опытов. Потери хлористого калия с хвостами флотации при обработке пробы руды СВЧ уменьшаются, при расходе депрессора шламов 200 г/т руды содержание хлористого калия уменьшается с 2,27 % до 1,41-1,65 %. Качество черного концентрата при обработке СВЧ имеет более высокое значение, извлечение хлористого калия в черновой концентрат увеличивается от 95,09 % (без обработки) до 96,77 % (при обработке СВЧ) при расходе депрессора шламов 200 г/т руды. Предварительная обработка пробы руды СВЧ до дробления в молотковой дробилке показала более резкое увеличение качества черного концентрата при увеличении расхода депрессора в отличие от проведения СВЧ после дробления руды.

Представлен доклад по выполненным исследованиям на XXIX Международном конгрессе по обогащению полезных ископаемых (Москва) на тему: Hydro- and thermochemical modification of orescontaining argillaceous varieties.

В течение 2018 г. опубликовано 3 статьи в журналах, индексируемых в базах данных «Скопус» (Scopus). Зарегистрировано 1 исключительное право на результаты интеллектуальной деятельности.

## II. Основные научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки

1. В 2018 году в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014 – 2020 годы» была продолжена начатая в 2016 году трехлетняя работа по теме «Создание устройства и энергосберегающей технологии утилизации лома микроэлектроники на основе комбинированных физико-механических воздействий».

Работа была направлена на создание научно-технического задела для создания устройств и энергосберегающей технологии утилизации лома микроэлектроники, что соответствует приоритетному направлению модернизации и технологического развития экономики России «Рациональное природопользование».

Перспективными направлениями решения поставленной задачи являлось создание устройств и технологий для дезинтеграции и физико-механического разделения компонентов лома микроэлектроники, основанные на использовании эффектов, возникающих при комбинировании различных физических воздействий с применением импульсных, вибрационных, электрических и магнитных полей.

Научный результат НИР заключается в разработке научных основ создания процессов и устройств для сепарации смеси проводников, полупроводников и диэлектриков, с применением вибраций путем комбинированного аэродинамического и электростатического воздействия.

Практический результат НИР заключается в разработке эскизных проектов устройств для дезинтеграции поликомпонентного микроэлектронного лома до крупности менее 1-1,5 мм и для сепарации мелкодиспергированной смеси проводников, полупроводников и диэлектриков, что позволило создать экспериментальную установку для утилизации лома микроэлектроники, изготовленную иностранным партнером (BGRIMM, Китай).

Целью третьего этапа выполнения работ являлось проведение натурных (экспериментальных) исследований на разработанных и изготовленных инновационных устройствах для подтверждения достоверности ранее выбранных направлений исследований.

В рамках третьего этапа проекта произведена доработка макета устройства для сепарации микроэлектронного лома и выполнены его экспериментальные исследования.

Разработан эскизный проект на экспериментальный образец устройства для сепарации микроэлектронного лома. Разработан проект ТЗ на проведение ОКР по разработке экспериментальной установки для утилизации лома микроэлектроники.

Проведены испытания экспериментальной установки у иностранного партнера. Выполнено обобщение и оценка полученных научно-технических результатов и разработаны рекомендации и предложения по их использованию.

Полученные научные результаты доложены на двух международных конференциях. Результаты работы опубликованы в четырех статьях в научных журналах, подана одна патентная заявка на полезную модель.

2. Также в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» продолжалась работа «Создание высокоэффективных технологий и вибрационных грохотов для тонкого грохочения полезных ископаемых при сухой и мокрой классификации по крупности с целью максимального ресурсосбережения в циклах рудоподготовки».

Выполнены работы по 3-ему этапу прикладных научных исследований, проведены исследования экспериментальных образцов устройств для сухой и мокрой классификации.

Результаты экспериментальных исследований на экспериментальном образце устройства для сухой классификации с модифицированными и перфорированными ситами показывают преимущество устройства с модифицированными ситами. Так, удельная производительность экспериментального образца устройства с модифицированными ситами на всех режимах работы по сравнению с перфорированными ситами выше на 27-39 %. Определено оптимальное значение частоты колебаний равное 13,25 Гц.

Результаты экспериментальных исследований на экспериментальном образце устройства для мокрой классификации показывают, что при амплитуде колебаний 0,8 мм и содержании твердого 30 % и 50 % значения эффективности грохочения примерно одинаковы (75-76 %), но

удельная производительность при содержании твердого в пульпе 50 % увеличилась на 20,5 %, а при амплитуде 1,22 мм и более того – на 47 %. Отметим, что эти показатели были получены при подаче на просеивающую поверхность орошения с объемом воды 0,82 м<sup>3</sup>/ч.

В результате сравнения работы экспериментального образца при содержании твердого в пульпе 50 % с подачей на просеивающую поверхность орошения объемом воды 0,82 м<sup>3</sup>/ч и без него установлено, что эффективность грохочения без орошения падает на 10 %.

Анализ результатов экспериментальных исследований процессов сухой и мокрой классификации показывает правильность выбранных технических решений в конструкциях экспериментальных образцов устройств.

Эти технические решения в конструкциях экспериментальных образцов устройств обладают новизной.

На технические решения получены патенты: на изобретение №2668603 и на полезную модель №176729. Поданы три заявки на полезную модель №2018143897, №2018142107 и №2018141104.

В процессе проведения экспериментальных исследований определены технические требования к промышленным вибрационным грохотам. С использованием этих требований разработан проект технического задания на ОКР «Разработка промышленных вибрационных грохотов для тонкого грохочения полезных ископаемых при сухой и мокрой классификации по крупности с целью максимального ресурсосбережения в циклах рудоподготовки».

Исследования и разработки выполнены при активном участии молодых специалистов и аспирантов и при поддержке индустриального партнера.

### 3. Защита интеллектуальной собственности

В 2018 году в НПК «Механобр-техника» получено 7 патентов: 3 патента на полезную модель и 4 патента на изобретения); подано 7 заявок на изобретения и полезные модели.

В настоящее время поддерживается в силе 36 патентов: 22 – на изобретения, 12 – на полезные модели и 2 – на промышленные образцы, 4 свидетельства на товарные знаки.

### 4. Участие в совещаниях и конференциях

В 2018 г. сотрудники корпорации принимали участие в конференциях и совещаниях.

1. 16 января 2018 г. СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Л.А. Вайсберг, Открытая лекция «Отходы. Как избавиться от них человечество?!», <https://etu.ru/ru/universitet/novosti-i-obyavleniya/akademik-ran-rasskazhet-kak-spasti-chelovechestvo-ot-othodov>.

2. 29 января – 2 февраля 2018 г., Москва, Горный институт НИТУ МИСиС, XXVI Международным научным симпозиум «Неделя горняка» в рамках 100-летия Московской горной академии.

Л.А. Вайсберг – Модератор двух круглых столов – «Прообраз цифровой экономики в горном производстве» и «Арктика». <http://misis.ru/science/events/lectures/2018-01/639/>

3. 29 января–2 февраля 2018 года **Международная научная конференция по механике «Восьмые Поляховские чтения»**, СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия. <http://nanomat.spbu.ru/ru/node/192>

И.В. Демидов, В.С.Сорокин «Motion of a pendulum with damping and vibrating axis of suspension at unconventional values of parameters» (устный доклад).

4. IV Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее», Москва, ул. Радио, 17, 30.03.2018 (ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, государственный научный центр российской Федерации).

Л.А. Вайсберг, доклад «Аддитивные технологии в проектах российского научного фонда». <https://conf.viam.ru/conf/271>

5. XXIII Международная научно-техническая конференция: «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» в рамках XVI Уральской горнопромышленной декады, г. Екатеринбург, апрель 2018.

А.О. Мезенин, «Подготовка и электростатическая сепарация при рециклинге электронного лома», <http://mgri-rggru.ru/>.

6. 12 – 13 апреля 2018 года, Санкт-Петербургский горный университет. Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018».

Е.В. Шишкин, С.В. Казаков «К исследованию динамики вибрационной конусной дробилки с учетом влияния технологической нагрузки» <http://spmiv3.spmi.ru/konferencii/mezhdunarodnaa-naucno-prakticeskaa-konferencia-innovacii-i-perspektivy-razvitiya-gornogo>.

7. 15-16 мая 2018 года. Всероссийское совещание с международным участием по технологической минералогии «Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании», Москва, «ВИМС» им. Н.М. Федоровского. Вайсберг Л.А. – член Организационного комитета.

Л.А. Вайсберг, И.Д. Устинов «Технологическая минералогия как основа цифровых технологий обогащения полезных ископаемых». <https://www.minsoc.ru/confs.php?id=6&cid=1970>.

8. 25-й Всемирный Горный Конгресс (25-th World Mining Congress), 19-22 июня 2018 г., Астана. <https://wmc2018.org/ru/>

Л.А. Вайсберг, А.Н. Коровников «Инновационные технологии НПК «Механобр-техника» для переработки природного и техногенного сырья».

9. 25-30 июня 2018 года 46-я Международная Летняя школа – Конференция «Актуальные проблемы механики – 2018», Санкт-Петербург, Политехнический университет Петра Великого, Россия.

Л.А. Вайсберг, И.В. Демидов, К.С. Иванов, «Обобщение метода разделения движений в моделировании динамики частиц в виброожиженном слое». <https://research.spbstu.ru/>

10. Конференция ESNC-2018, 2-6 июля 2018 г. (European Solid Mechanics Conference) подэгидой EUROMECH. <http://imechanica.org/node/20827>

В.С. Сорокин. «On the stochastic resonance phenomenon in parametrically excited mechanical systems».

11. XXIX Конгресс по обогащению полезных ископаемых. Москва, Центр Международной торговли, 15-21 сентября 2018 г. <http://impc2018.com/ru/>.

Л.А. Вайсберг «Обобщенная теория вибрационной сепарации гранулярных материалов».

В.А. Арсентьев, И.Д. Устинов, А.М. Герасимов, А.О. Мезенин «Гидро- и термохимическое модифицирование твёрдого минерального сырья, содержащего глинистые разности».

Л.А. Вайсберг, С.В. Казаков, Е.В. Шишкин «Вибрационная дезинтеграция твёрдых материалов в квазирезонансных режимах».

12. Международная конференция «Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса». Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), 4-6 октября 2018 г. [https://waste.eltech.ru/assets/files/informpismo\\_waste\\_2018.pdf](https://waste.eltech.ru/assets/files/informpismo_waste_2018.pdf)

Н.В. Михайлова «Обезвреживание твердых коммунальных отходов. В поисках перспективных решений».

А.В. Ясинская «Технологии НПК «Механобр-техника» для переработки муниципальных отходов».

13. Открытая лекция Л.А. Вайсберга для студентов в рамках Международного научного совета по теме: «Тенденции развития горных наук» (НИТУ «МИСиС», Горный институт), 17 октября 2018 г. <http://misis.ru/university/events/МНС10/2018-10/1400/>.

14. Международная конференция «Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро-Арктического региона: взгляд в будущее» (МГПК БЕАР-2018) в рамках VII Мурманской международной деловой недели (ММДН), г. Кировск 15-16 ноября 2018 г. <https://mines.gov-murman.ru/activities/week/>.

А.Н. Коровников «Модернизация технологии рудоподготовки на АО «Апатит» с применением грохотов ГСТ-72МТ».

15. Конференция «Аддитивные и цифровые технологии в машиностроении», в рамках 24-ой Международной выставки «МЕТАЛЛ ЭКСПО», Москва, ВДНХ, 15 ноября 2018 г. <http://www.titan-association.com/addtech>.

16. Конференция молодых ученых и специалистов с международным участием «Новые исследования в обогащении полезных ископаемых и техносферной безопасности». Санкт-Петербург. Научно-образовательный центр НПК «Механобр-техника». 29 ноября 2018 г. [http://mtspsb.com/news/konferentsiya\\_molodih\\_uchenih\\_npk\\_mehanobr-tehnika.html](http://mtspsb.com/news/konferentsiya_molodih_uchenih_npk_mehanobr-tehnika.html).

А.М. Балдаева «Эффективность последовательной классификации (грохочения)».

Е.Л. Гончарова «Исследование процесса классификации пульпы на вибрационном грохоте».

С.В. Дмитриев, А.О. Мезенин «Использование диэлектрического барьерного разряда и трибоэлектризации при электростатической сепарации».

В.В. Лазарева «Исследование физико-механических свойств пролонгированных удобрений».

А.М. Герасимов «Изучение термической модификации угля и эффективности его дальнейшей переработки».

17. Конференция «Аддитивные и цифровые технологии в машиностроении», в рамках 24-ой Международной выставки «МЕТАЛЛ ЭКСПО», Москва, ВДНХ, 15 ноября 2018 г. <http://www.titan-association.com/addtech> (участие в работе).

18. Л.А. Вайсберг. Лекция при вручении диплома почётного доктора Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, 26 ноября 2018 г. «Наука и образование как основные гуманитарные ценности 21 века». <https://www.spbstu.ru/media/news/>

19. Л.А. Вайсберг. Телевизионная беседа на тему «Развитие науки как основа нового технологического уклада», 21 декабря 2018 года, Санкт-Петербург, 78 канал, [https://78.ru/tv/barishnya\\_smolnii](https://78.ru/tv/barishnya_smolnii).

В 2018 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. ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ОСУШЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЗАЩИТЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ОБВОДНЕНИЯ, СПЕЦИАЛЬНЫМ ГОРНЫМ РАБОТАМ, ГЕОМЕХАНИКЕ, ГЕОФИЗИКЕ, ГИДРОТЕХНИКЕ, ГЕОЛОГИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОМУ ДЕЛУ»**

Традиционно ОАО «ВИОГЕМ» выполняет научно-исследовательские работы, а также занимается их внедрением в практику горного производства по следующим основным направлениям:

- геомеханическое обеспечение безопасного ведения горных работ;
- разработка и внедрение современных горно-геологических систем;
- защита инженерных сооружений от подтопления и проектирование систем осушения;
- изготовление и поставка геофизических станций, буровых установок дренажного бурения.

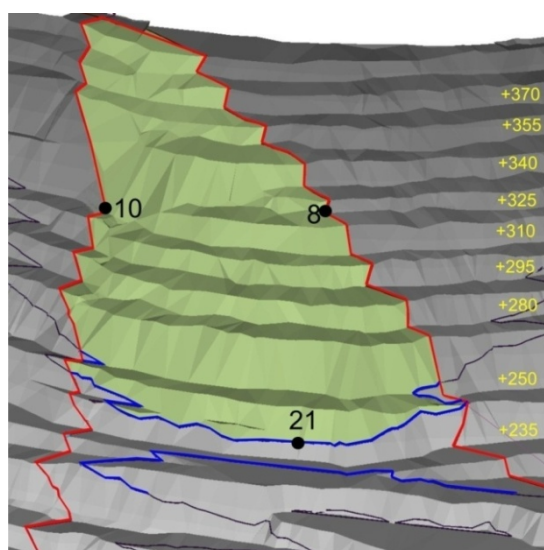
За прошедший год институт выполнил более 80 работ для ведущих горнодобывающих компаний России и Казахстана (Металлоинвест, ЕврОхим, Полюс Золото, Евраз, Донской ГОК, РУСАЛ, Новатэк и др.).

### **Наиболее крупные работы:**

#### ***Геомеханическое обеспечение безопасного ведения горных работ***

- ОАО «Лебединский ГОК». Развитие отвального хозяйства. Геомеханическое обоснование устойчивости основания и тела отвалов. Обоснование параметров отвалов.
- «Глубинный геодинамический и геомеханический мониторинг состояния устойчивости бортов карьера в рыхлых отложениях и отвалов для обеспечения промышленной безопасности ведения горных работ».
- «Обоснование предельного угла наклона борта карьера в отм. (+180) – (-30) м и параметров его конструктивных элементов на участке размещения объектов ДКК».
- «Научно-методическое сопровождение работ по прогнозу и предотвращению горных ударов при ведении горных работ на шахте им. Губкина».
- Инженерно-геологические исследования неокисленных железистых кварцитов глубоких (-125м/-250м) горизонтов южного замыкания юго-западной залежи Коробковского железорудного месторождения.
- Определение оптимальных параметров бортов карьера Богословского месторождения гранитоидов в Красненском районе Белгородской области.
- Разработка заключения об устойчивости южного борта карьера АО «Лебединский ГОК» в отм. (+201,8) – (-63,7) м и его уступов на участке проектируемого строительства подъемно-магистральных конвейеров №1 и №2».
- Определение параметров бортов карьера Центрального участка Костомукшского месторождения железистых кварцитов, обеспечивающих длительную устойчивость на предельном контуре.
- Исследование геодинамического состояния и разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости северного участка отвала скальной вскрыши.
- Определение состояния устойчивости участка борта Оленегорского карьера и разработка мероприятий по обеспечению безопасных условий эксплуатации элементов транспортной схемы прибортового массива и внутреннего отвала.
- «Мониторинг состояния целиков и кровли камер с проектными и увеличенными геометрическими параметрами, контроль смещений земной поверхности в зоне ведения горных работ».
- «Геомеханический мониторинг состояния массива гидрозакладки и изолирующих перекрышек на отработанных участках шахты им. Губкина».
- «Научно-методическое сопровождение работ по прогнозу и предотвращению горных ударов при ведении горных работ на дренажной шахте ПАО "Михайловский ГОК"».
- «Бурение, отбор и описание кернa, лабораторные исследования и описание физико-механических свойств вмещающих пород, богатых руд и железистых кварцитов для изучения геолого-структурных особенностей рудно-породного массива западного борта на проектном контуре карьера Михайловского ГОКа до абсолютной отметки -300м».
- «Геомеханическое обоснование устойчивости основания и тела отвала рыхлой вскрыши №6. Обоснование параметров откосов отвала в составе объекта проектирования ОАО "МГОК". Реконструкция отвала рыхлой вскрыши №6».
- Проведение натурных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием крепи и околоствольного массива пород в шахтных стволах, в сопряжениях стволов и горизонтальных выработках Гремяченского ГОКа в 2018г.
- Восстановление крепи и работоспособности шахтного ствола ВС-5 рудника «Таймырский» ЗФПАО ГМК «Норильский Никель». Дополнительное обследование существующей крепи ствола в интервале А.О. 0...-914 м. с целью определения фактического уровня НДС бетонной крепи шахтного ствола и прочностных свойств материала крепи. Заключение о состоянии крепи ствола. Определение участков крепи ствола подлежащих перекреплению.

Результатом указанных работ является оценка и прогноз устойчивости уступов (камер), разработка и обоснование решений по обеспечению геомеханической безопасности ведения горных работ (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Модель потенциальной призмы обрушения по поверхности борта карьера**

***Разработка и внедрение современных горно-геологических систем. Работы, связанные с ТЭО кондиций, подсчетом запасов, разработке проектов освоения месторождений***

- Пересчет запасов полезных ископаемых Лебединского железорудного месторождения.

- Разработка Дополнения № 1 к проектной документации «Технический проект на разработку Верхнеатамского месторождения керамзитовых глин».

- Рабочая, сметная документация с пояснительной запиской по объектам АО «ЛГОК» «Дробильно-сортировочная фабрика. Цех №1. Весы вагонные инв. №1702166» и АО «ЛГОК». Управление технического контроля. Лабораторный корпус (инв. №1120189). Грузовой лифт».

- Разработка РД на производство работ по образованию территории площадки строительства и котлованов сухих доков, «Геомеханического обоснования заложений откосов площадки строи-

тельства и параметров стен сухих доков. Разработка РД отвала рыхлой (сухой отвал) и скальной (мокрый отвал – отсыпка в море) вскрыши, производства маркшейдерских и буровзрывных работ», РД по инженерной защите территории промплощадки и водоотведению дренажных и паводковых вод по проекту "Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС) ».

- Формирование единой геологической 3D модели месторождения Донского ГОКа, верификации созданной модели, инженерно-геологическому районированию и созданию каркасной модели породного массива.

- Сопровождение программного обеспечения ГИС ГЕОМИКС.

- Обновление и восстановление баз данных программно-технологического комплекса ГИС ГЕОМИКС.

- Право использования программного обеспечения ГИС ГЕОМИКС.

- Внедрение и верификация ПО компьютерной модели прогнозирования формы развала и распределения компонентов, регламентирующих крупность и качество полезного ископаемого во взорванной горной массе в условиях карьера АО «Ковдорский ГОК».

- Исследование влияния горно-геологических и технологических параметров взрывных блоков на особенности формирования развала (моделирование распределение полезного компонента во взрывной горной массе).

- Исследование смещений горной массы при проведении взрывных работ на рудных горизонтах в приконтактных зонах карьеров ОГОК (рисунки 2 и 3).

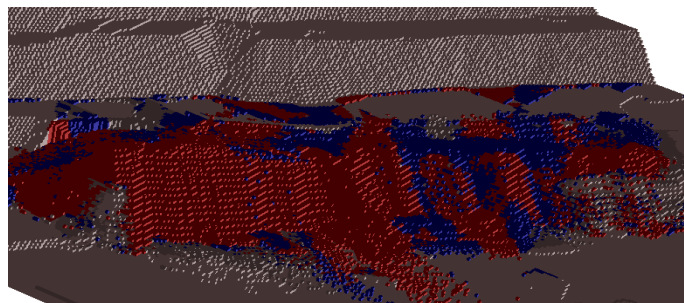
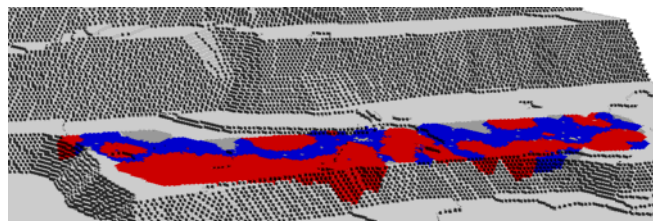
- Внедрение каркасной геолого-структурной модели породного комплекса месторождений МАВР и АШР.

- План развития горных работ по Зареченскому месторождению глинистого сырья для производства керамического кирпича в Чернянском районе Белгородской области на период 01.09.2018 – 12.12.2019 гг.

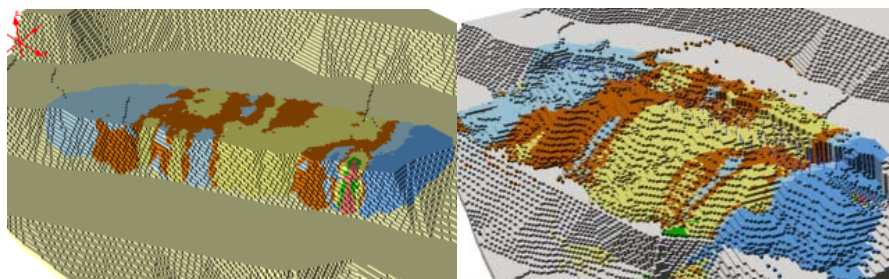
- Разработка шаблона системы планирования открытых (ОГР) и подземных (ПГР) горных работ с использованием программного обеспечения горно-геологической информационной системы ГИС ГЕОМИКС.

- Создание ресурсной модели шахты «Десятилетие независимости Казахстана».





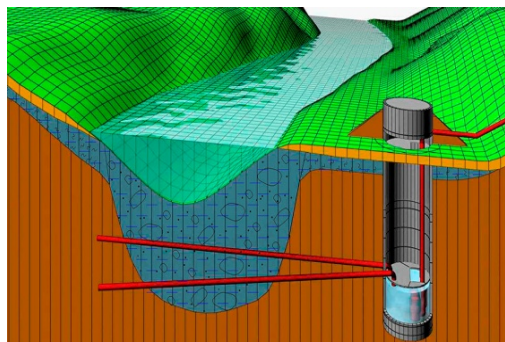
**Рисунок 2 – Блочная модель участка карьера до и после взрыва с распределением средних содержаний золота в развале**



**Рисунок 3 – Блочная модель участка карьера буровзрывного блока с распределением средних содержаний  $Fe_{\text{магн}}$**

Основные результаты работ по этому направлению связаны с автоматизацией и управлением информационных потоков на горном предприятии, созданию информационной достоверной основы для планирования и проектирования горных работ, строительства карьеров и шахт.

Работы по определению горной массы после взрыва и распределения в ней полезных компонентов предназначены для оперативного планирования, т.е. обеспечения фабрики сырьем требуемого качества. Разработанная институтом ВИОГЕМ компьютерная технология моделирования развала ворванной горной массы и распределения в ней полезных компонентов является уникальной, не имеющей аналогов в мире. С применением системы ГИС ГЕОМИКС институт выполняет работы по подсчету запасов, технико-экономическому обоснованию кондиций на минеральное сырье, проектированию и планированию горных работ, проектированию систем разработки и др.



**Рисунок 4**

***Защита инженерных сооружений от подтопления и проектирование систем осушения***

- «Разработка численной геофильтрационной модели Талнахского рудного узла».
- «Проектирование системы мониторинга подземных вод на территории АО «Ковдорский ГОК».
- «Корректировка РД "ГОК на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова. Пусковой комплекс производительностью 4,0 млн.тонн руды в год. Водопонижающие скважины».

- «Инженерные изыскания для определения технической возможности утилизации шахтной воды путем ее сброса в отработанные карьеры ПАО "Комбинат "Магнезит"».
- «Исследование состояния гидронаблюдательных скважин на полигоне твердых хозяйственно-бытовых отходов АО "Лебединский ГОК"».
- «Гидрогеологическое обоснование, разработка локальной геофильтрационной модели и технических решений по снижению обводненности бортов карьера "Благодатный"».
- «Оценка влияния гидрогеологических факторов для достоверности прогноза рисков обрушений уступов бортов. Этап 2 (2018 год): имитационное моделирование, прогноз положения уровней подземных вод в прибортовом массиве и выходов подземных вод на борта карьера в соответствии с планами развития горных работ и на предельном контуре карьера».
- «Заключение по оценке вариантов защиты разреза Восточный" ООО "Читауголь" от подземных вод и затопления при разливе реки Ингода».

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

В 2018 г. в институте «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) в рамках тематического плана НИР продолжалось проведение исследований, направленных на создание новых эффективных технологий в области открытых и подземных горных работ, обогащения и совершенствования обогатительных процессов, обеспечивающих снижение энергозатрат и эксплуатационных расходов.

### **Разработка норм технологического проектирования кимберлитовых карьеров в криолитозоне** *(руководитель работы д.т.н. Зырянов И.В.)*

В настоящее время горнодобывающие предприятия сталкиваются с прогрессирующим усложнением условий эксплуатации месторождений алмазов. Практически по всем действующим карьерам ведется их реконструкция до предельных глубин. Предлагаются технические решения, указывающие на возможность отработки некоторых месторождений алмазов открытым способом до глубины более 800м. Планируется к освоению ряд новых месторождений характеризующихся, как правило, более низкими качественными характеристиками и более сложными горно-геологическими условиями. Это требует значительных инвестиций в создание новых добывающих мощностей с более высокими эксплуатационными издержками, что является сложной технической и финансовой задачей. Тем не менее, решение такой задачи позволит повысить эффективность разработки месторождений алмазов в усложненных условиях путем применения новых экономических подходов, нестандартных технических, организационных и управленческих решений. Эти решения должны быть не только обоснованы, но и стать действующей нормой.

Практическая реализация возможностей современных технологий алмазодобычи во многом сдерживается несовершенством существующей нормативно-правовой базы, и в первую очередь норм технологического проектирования 30–40-летней давности, не отвечающих условиям рыночной экономики. В частности, это касается устаревших норм технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки ВНТП 35-86, разработанных в 1986 г.

В основу национального стандарта заложен большой опыт проектирования и ведения горных работ на всех этапах их развития – от строительства карьера до его ликвидации. При этом, использован значительный объем объективной информации на основе оценки фактического состояния бортов карьеров и по результатам внедрения в производство большого числа разработок, направленных на улучшение конструкции нерабочих бортов, схем вскрытия, порядка отработки и технологии горных работ в районах Крайнего Севера, где климатические и природные условия, относящиеся к разряду экстремальных, оказывают непосредственное влияние на параметры отработки месторождений.

При пересмотре норм были учтены произошедшие изменения в национальных стандартах и нормативной документации, регламентирующей составление проектов, а также достигнутый прогресс в области техники и технологии ведения открытых горных работ.

Стандарт не противоречит действующим в Российской Федерации стандартам и сводам правил, в том числе включенным в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального Закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Разработанный стандарт введен в действие 1 января 2019 г. и используется для проектирования кимберлитовых карьеров, а также может быть рекомендован горным предприятиям, проектным и научным организациям, ведущим разработку месторождения твердых полезных ископаемых в условиях криолитозоны для использования.

Стандарт устанавливает все необходимые современные требования к проектной документации на строительство, реконструкцию, расширение или техническое перевооружение алмазодобывающих предприятий с открытым способом разработки, основные мероприятия по охране окружающей природной среды, гражданской обороне, предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, мероприятия по противодействию терроризму (ПМ ГОЧС), обеспечению пожарной безопасности.

Стандарт разработан институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА (ПАО) с привлечением ведущих организаций страны, в том числе: Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, Институт горного дела Севера СО РАН, НИИ прикладной экологии Севера СВФУ им. М.К. Аммосова и др.

Разработанный в сотрудничестве с техническим комитетом по стандартизации «Геологическое изучение, использование и охрана недр» (ТК431) национальный стандарт ГОСТ Р 58148-2018 «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требования к проектированию» распространяется на коренные месторождения алмазов, а также отдельные объекты разработки в пределах одного месторождения и устанавливает требования к проектной документации и техническим проектам на строительство, реконструкцию, расширение или техническое перевооружение алмазодобывающих предприятий с открытым способом разработки, основные мероприятия по охране окружающей природной среды, гражданской обороне, предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, мероприятия по противодействию терроризму (ПМ ГОЧС), обеспечению пожарной безопасности, а также требования к предпроектной документации (рисунок 1).

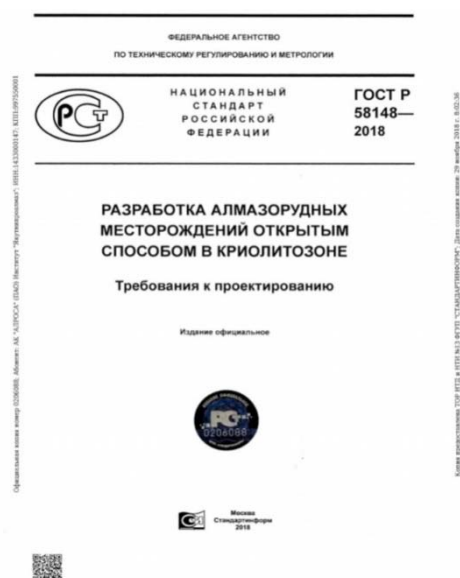
Стандарт разработан впервые и не имеет отечественных и зарубежных аналогов.

#### **Развитие комбинированных геотехнологий** (ответственный исполнитель к.т.н. Акишев А.Н.)

В настоящее время требует решения проблема доработки законтурных запасов руды ряда алмазородных месторождений, залегающих ниже предельных границ карьеров, где добывать традиционным открытым способом уже невозможно, а строить рудник экономически нецелесообразно.

Для эффективной выемки запасов глубоких горизонтов были начаты исследования по внедрению новой геотехнологии, основанной на комбинированном способе вскрытия с изменяемой геометрией борта на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова в Архангельской области.

При отработке глубоких горизонтов важное значение имеет угол наклона нижнего участка борта. При увеличении на 1 градус угла наклона борта объем вскрыши снижается на 4 %. На алмазородных карьерах угол наклона нижнего участка борта может достигать до 75° на высоту до 200 м. Формирование борта с таким углом погашения возможно за счет конструкции борта без транспортных берм. Это достигается за счет вскрытия глубоких горизонтов подземными транспортными съездами.

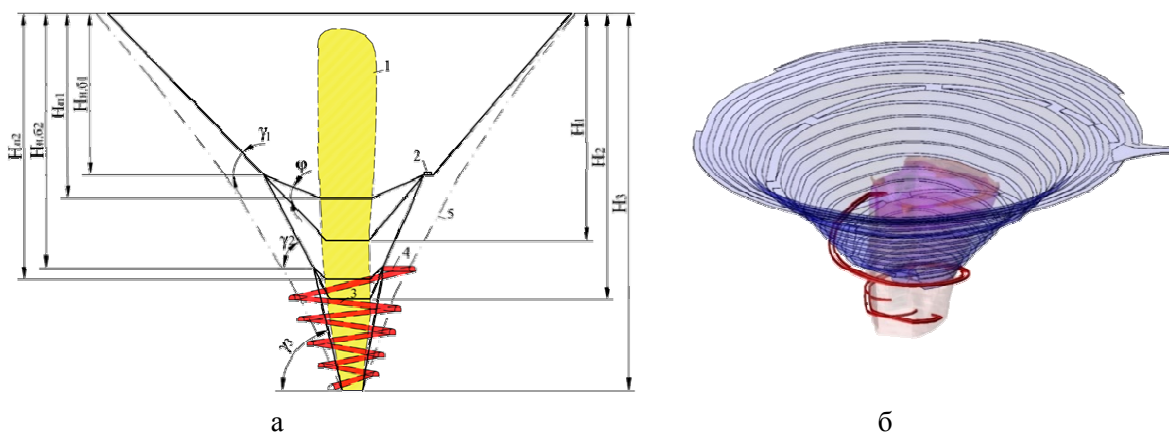


**Рисунок 1 – Титульный лист  
национального стандарта  
(ГОСТ 58148-2018)**

Соединение подземного автомобильного съезда с рабочими горизонтами осуществляется квершлагами, которые проходятся в нерабочих бортах и погашаются по мере понижения горных работ.

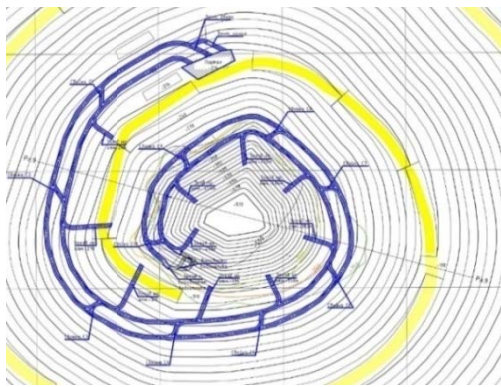
В этом случае угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия не зависит от ширины уклона транспортных коммуникаций, а определяется только условиями устойчивости. На нерабочем борту исключается размещение транспортных берм. Учитывая разницу значений расчетного и допустимого коэффициентов запаса устойчивости бортов, угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия может быть увеличен на 25–30%. Соответственно увеличивается глубина перехода на вскрытие крутонаклонными тоннельными автосъездами и сокращается объем разноса бортов карьера.

Тоннельное вскрытие обеспечивает снижение гидродинамического давления грунтовых вод на борт карьера, что также будет способствовать увеличению угла откоса нерабочего борта. Наличие тоннелей дает возможность размещать в пределах массива аппаратуру наблюдения за его состоянием. Кроме того, из тоннелей может быть установлено анкерное крепление, предотвращающее обрушение прибортового массива карьера (рисунок 2).

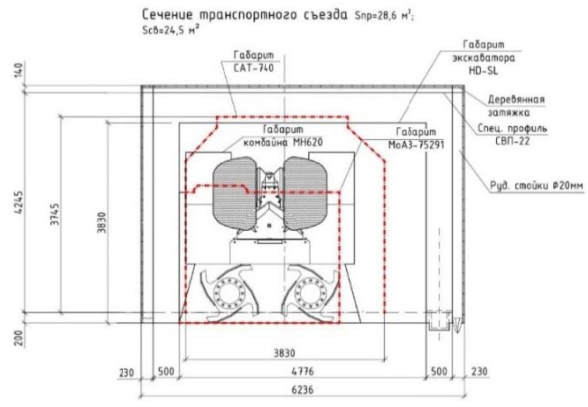


**Рисунок 2 – Принципиальная схема комбинированного вскрытия карьера (а); то же в 3D (б)**  
**1 – рудное тело; 2 – перегрузочный пункт; 3 – тоннельные автосъезды; 4 – квершлаг; 5 – граница зоны действия открытых горных работ (поверхность скольжения);  $H_1$  – конечная глубина карьера при традиционной схеме вскрытия с использованием автосамосвалов с колёсной формулой 4x2, м;  $H_2$  – конечная глубина карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами и использовании полноприводных автосамосвалов, м;  $H_3$  – конечная глубина карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;  $H_{п1}$  – глубина перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами, м;  $H_{п2}$  – глубина перехода на тоннельное вскрытие, м;  $H_{н.б.1}$  – высота нерабочего борта карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами, м;  $H_{н.б.2}$  – высота нерабочего борта карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;  $\Gamma_1$  – угол откоса нерабочего борта карьера при традиционной схеме вскрытия, град;  $\Gamma_2$  – угол откоса нерабочего борта карьера при вскрытии крутонаклонными съездами, град;  $\Gamma_3$  – угол откоса нерабочего борта карьера при тоннельном вскрытии, град;  $\varphi$  – угол откоса рабочего борта, град.**

Вскрытие нижней части карьера при известных отметках рекомендуется производить системой подземных спаренных наклонных съездов. Места выходов штолен в выработанное пространство карьера определяются графоаналитическим способом. Такая схема вскрытия двумя параллельными наклонными выработками с одной стороны обеспечивает наличие в любой момент проходки запасного выхода, с другой позволяет разделить порожнее и грузовое движение шахтных самосвалов. Трасса подземного вскрытия должна проходить за линией призмы сдвижения бортов карьера. Схема вскрытия карьера подземными выработками приведена на рисунке 3.



а



б

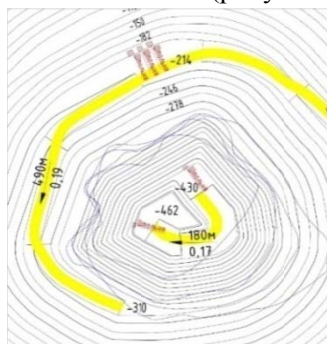
**Рисунок 3 – Схема вскрытия подземными выработками (а) и сечение выработки (б)**

Транспортный съезд № 1 будет являться вентиляционным, по которому будет осуществляться спуск-подъем людей и материалов. Транспортный съезд № 2 будет откаточным, по которому транспортируется горная масса до портала и производится проезд горной техники, применяемой для открытых горных работ. Доступ людей и техники к забою в карьере осуществляется через заезды с транспортных съездов.

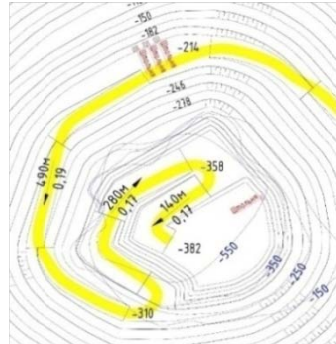
В качестве оборудования для проходки выработок будет использоваться комбайн МН620 фирмы Sandvik. Для транспортирования отбитой породы предлагается шахтный самосвал типа МоАЗ-75291, габариты которого позволяют обеспечивать его загрузку непосредственно с конвейера проходческого комбайна без применения ПДМ или дополнительных погрузочно-перегрузочных устройств.

Размеры сечений горных выработок определены в соответствии с габаритами применяемого горно-шахтного оборудования и требованиями ФНиП № 359 в части необходимых зазоров с пропускной способностью по расчетному количеству поступающего по выработкам воздуха.

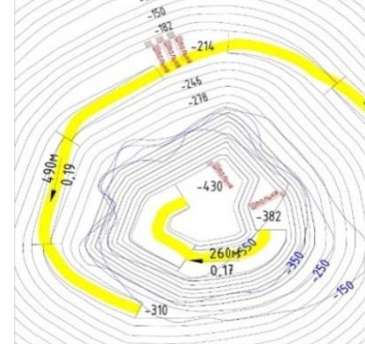
Проходка данных выработок будет осуществляться поэтапно, съезды через определенные интервалы проходки с помощью заездов будут выходить на борт карьера на разных высотных отметках (рисунок 4).



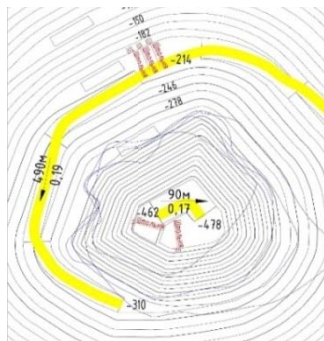
а



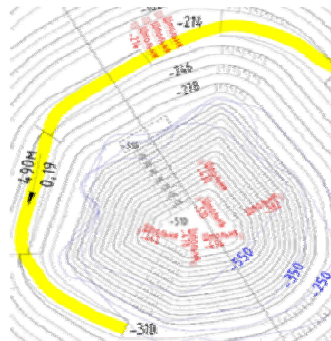
б



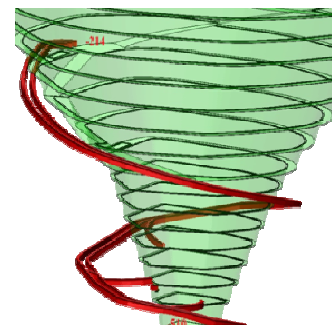
в



г



д



е

**Рисунок 4 – Этап формирования 1-й (а), 2-й (б), 3-й (в), 4-й (г) и 5-й (д) штольни и схема вскрытия в 3D (е)**

В условиях снижающейся с глубиной нарушенности и трещиноватости пород массивов, уменьшающихся параметров выемки (карьера), что резко снижает эффективные сдвигающие напряжения при возрастании напряжений сопротивления сдвигу, более глубоким зонам массива борта свойственна большая устойчивость.

Теоретически это доказано ранее проведенными исследованиями, а практически подтверждено опытом работы карьеров как за рубежом, СНГ, так и на некоторых отечественных карьерах. При этом углы откосов участков конструктивных бортов в этих зонах могут достигать 60-70°.

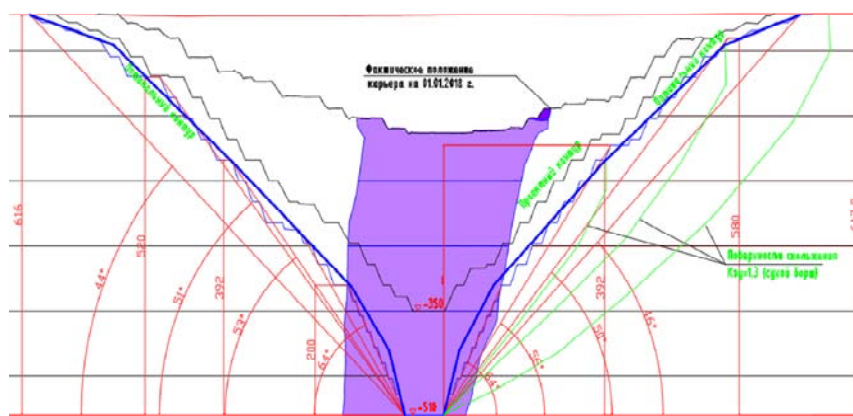
Однако, чтобы обеспечить разработку этих запасов и довести углы погашения нерабочих бортов карьеров до величин, близких к предельно устойчивым, необходимо решить следующие технологические задачи:

1. Изменить схему вскрытия рудных горизонтов, поскольку количество транспортных берм на нерабочих бортах могут быть уменьшены до минимума.

2. Разработать и обеспечить выполнение необходимых технологических мероприятий по повышению безопасности горных работ вблизи крутых бортов.

Внедрение комбинированного способа вскрытия позволяет исключить в конструкции нижней части карьера транспортные бермы (так называемая «безбермовая» конструкция борта), что увеличивает технологически достижимый угол наклона борта с 46 до 65°. Кроме того, формирование нижней части борта в руде (так называемая «конструкция композиционного борта»), имеющей по сравнению с вмещающими породами более высокие прочностные характеристики, позволяет иметь устойчивый борт с более крутыми значениями.

Таким образом, реализация безбермовой конструкции борта в нижней части с использованием композиционного равноустойчивого 4-гранного борта позволяет запроектировать оптимальный профиль. Рекомендуемый профиль борта приведен на рисунке 5.

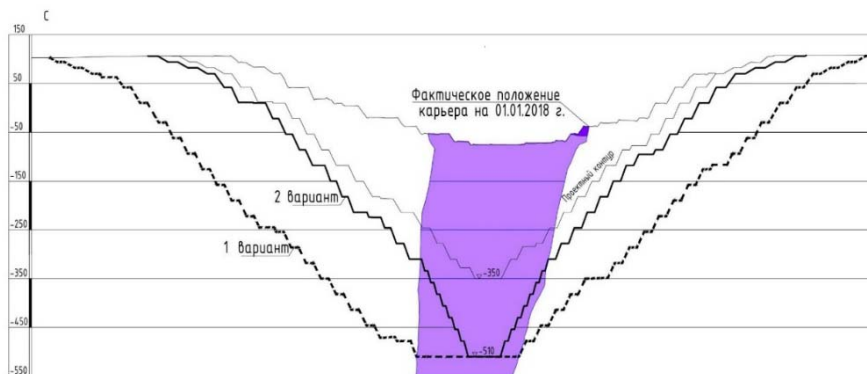


**Рисунок 5 – Рекомендуемый равноустойчивый профиль борта карьера тр. Архангельская\***

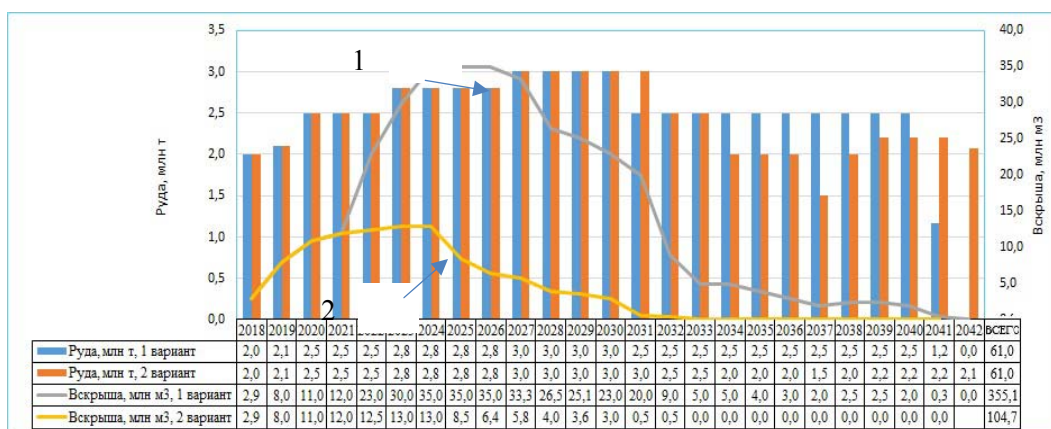
\* – оптимальная поверхность борта задавалась ломаной кривой, равной устойчивости с  $KЗУ=1,3$  с учетом поправки на кривизну борта

Выигрыш в угле наклона нижней части карьера в 200 при комбинированном вскрытии и отстройке борта без расположения на нем транспортных берм в сравнении с традиционной отстройкой борта с транспортными бермами обеспечивает резкое снижение объемов вскрышных работ в 3,5 раза. Сравнения вариантов по границе и календарному плану показаны на рисунках 6 и 7.

Конструкция борта (на борту отсутствуют транспортные бермы, а подземные транспортные съезды обеспечивают постоянную транспортную связь с гор. -214 м) позволяет вести добычу руды снизу-вверх очистными лентами с использованием проходческих комбайнов с последующей закладкой выработанного пространства и обратной засыпкой выработанного пространства карьера. Соответственно перемещается вверх по мере засыпки карьера и карьерный водоотлив. В результате к концу отработки рудных целиков дно карьера поднимется до гор. -310 м, что увеличивает устойчивость бортов карьера (рисунок 8).



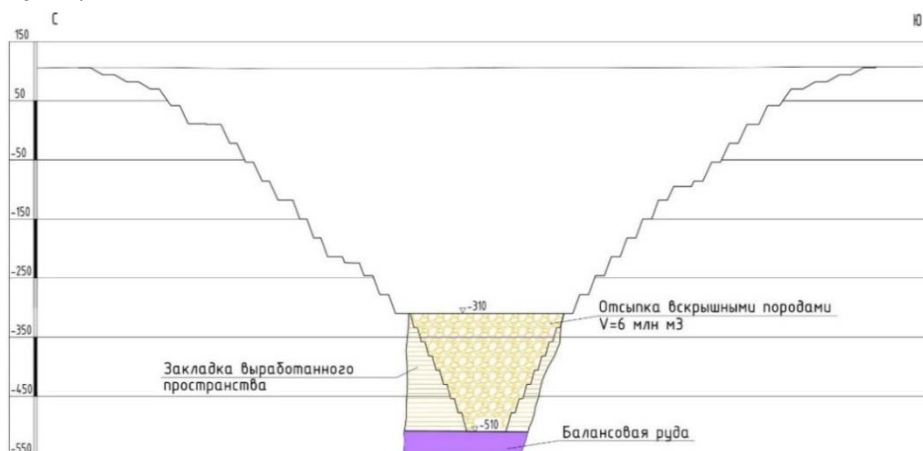
**Рисунок 6 – Контуры бортов карьера глубиной 620 м при его отстройке по традиционной технологии (1) и предлагаемой (2)**



**Рисунок 7 – Сравнительные объемы вскрышных работ при традиционной (1) и предлагаемой (2) технологии отработки**

В результате выполнения работы разработана новая эффективная геотехнология открытой разработки месторождений, адаптированная для геотехнологических условий месторождений алмазов им. М.В. Ломоносова.

Обоснован оптимальный равноустойчивый ( $K_{зу}=1,3$ ) четырехгранный выпуклый профиль борта карьера тр. Архангельская с крутой нижней частью. Под обоснованный оптимальный профиль разработана новая конструкция нерабочего борта карьера с изменяемой геометрией профиля, в основу которой положен принцип комбинированного вскрытия и «композиционного профиля борта», где нижняя часть отстраивается в руде под максимально возможным углом погашения, верхняя – во вскрышных и перекрывающих породах с расчетными углами погашения.



**Рисунок 8 – Принципиальная схема отработки прибортовых целиков**

Установлено, что изменение геометрии профиля борта карьера оптимально с глубины 420 м (абс. отм -310 м), при этом новая конструкция дает возможность эффективного увеличения глубины карьера тр. Архангельская с 460 до 620 м.

Рассмотрены вопросы возможной технологии доработки рудных целиков снизу-вверх с использованием проходческого оборудования системой выемочных лент с последующей закладкой выработанного пространства выемочных лент и обратной засыпкой выработанного пространства карьера в абс. отм. -510–350 м. Эволюция изменения технических и технологических решений отработки кимберлитовых трубок южной группы месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова приведена в таблице 1.

### **Технология формирования отрезной щели с помощью БВР в условиях добычных работ рудника «Удачный» (отв. исп., к.т.н. Бондаренко И.Ф., Никитин Р.Я.)**

В настоящее время в подземном руднике «Удачный» АК «АЛРОСА» добыча руды осуществляется буровзрывным способом с использованием восходящих скважин.

Одним из важных этапов буровзрывной отбойки руды с помощью восходящих скважин является формирование отрезной щели. При этом в переделе БВР на этапе формирования отрезной щели были встречены определенные проблемы со взрыванием и зарядкой восстающих скважин, в результате которых не обеспечивалась производительность рудника из-за необходимости проходки отрезной щели за несколько подходов.

В этой связи были проведены опытно-промышленные взрывы с применением различных параметров БВР, в результате которых была выбрана работающая технология формирования отрезной щели со взрыванием восстающих скважин на всю высоту обрабатываемого блока.

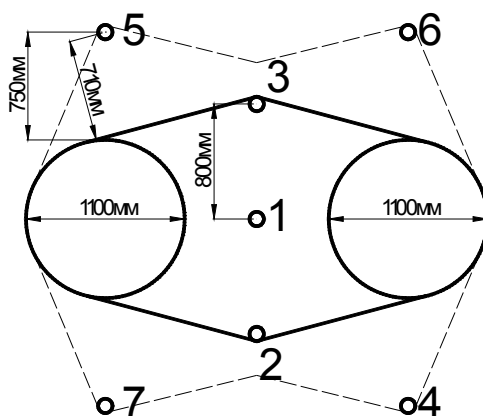
В соответствии с принятой технологией очистных работ для взрывания используются восстающие скважины длиной до 40 м. С целью обеспечения эффективной детонации ВВ по всей длине скважины требуется размещение нескольких промежуточных детонаторов через каждые 6–8 метров заряда. При этом инициирование патронов-боевиков осуществляется с помощью электронных систем инициирования с программированием замедлений таким образом, чтобы обеспечить поддержание постоянной максимальной скорости детонации в зависимости от взрывчатых характеристик основного ВВ.

Как показал опыт, наиболее эффективным способом формирования отрезной щели явилась двухэтапная схема проходки выработки.

На первом этапе производится проходка механическим путем восстающей компенсационной полости на всю длину обрабатываемого блока.

На втором этапе производится расширение при помощи БВР восстающей компенсационной полости до объемов, предусмотренных проектом для отрезной щели.

На рисунке 9 и таблице 2 приведены схемы бурения и инициирования восстающих скважин согласно принятой технологии проходки отрезной щели.



**Рисунок 9 – Схемы формирования отрезной щели на две компенсационных скважины**



Таблица 1

**Эволюция изменения технических и технологических решений отработки кимберлитовых трубок южной группы месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова**

№	Технические показатели	Проекты ОАО Гипроруда		Проекты «Якутнипроалмаз»			
		Большой карьер	Карьер I очереди	Карьер ОПУ (принятый)	Карьер I очереди (принятый)	Карьер II очереди (принятый)	Карьер III очереди (рекомендуемый)
1.	Глубина карьера, м	460*/460**/460**	423/304/108	100/0/0/	348/298/0	460/298/0	620/298/0
2.	Технические и технологические особенности проекта	Традиционная схема вскрытия скользящими автомобильными съездами с продольным уклоном 80 %					
2.	Объем руды в границах карьера, млн т	140	91,2	4,4	54,9	76,1	101,7
3	Вскрыша, млн м <sup>3</sup>	785,00%	306,3	21,3	107,7	209,4	241,4
4	Ср. коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	4,89	3,36	4,84	2,16	2,8	2,4
5.	Производительность по руде, млн т/год	5	5	1	4	4	4 (с 2030 г. 2,5)
6	Производительность по вскрыше, млн м <sup>3</sup> /год	23	23	1,5	9,5	15	4
7	Срок отработки, лет	35	24	8	17	28	40

*Примечание:*

\* Карьер на тр. Архангельская,

\*\* Карьер на тр. им Карпинского-1,

\*\*\* Карьер на тр. им. Карпинского-2.

**Очередность взрывания скважин № 1÷7 при оформлении отрезного восстающего на две «компенсации» диаметром 1100 мм**

Очередность взрывания	№ скважины	Интервал замедления, мс	Примечание
Группа замедлений №1	1	до 100	ЭСИ «Искра-Т»
	2	1000	
	3	2000	
Группа замедлений №2	4, 5, 6, 7	30-100	ЭСИ «Искра-Т» НСИ «Искра-Ш» при условии применения в одной скважине УВТ одной длины, при этом концы волноводов должны быть одной длины от места подсоединения к ним инициатора УРсБ

В результате проведенных опытно-промышленных взрывов была сформирована отрезная щель с гор. -365 м до гор. -320 м со следующими размерами: высота – 39 м, длина – 25 м, ширина – 2,6 м.

## 2.18. ООО «ИНСТИТУТ ГИПРОНИКЕЛЬ»

### Комплексные геомеханические исследования

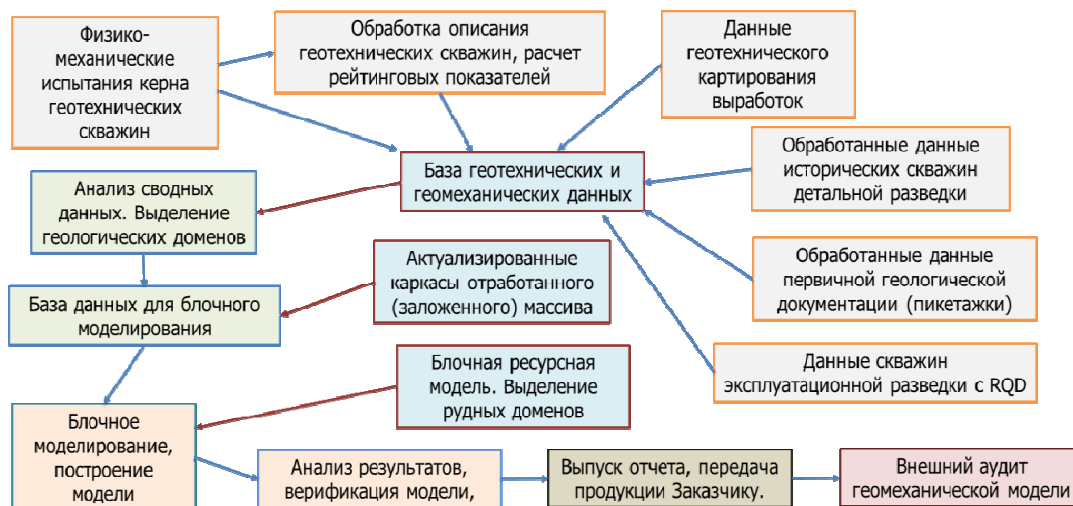
Институтом выполняются комплексные геомеханические исследования для снижения возможных рисков не прогнозированного обрушения выработок различного назначения, повышение безопасности и эффективности горных работ при отработке месторождений подземным способом. Основной задача — это определение геомеханических характеристик массива горных пород, слагающих поле рудников для последующего их использования на различных стадиях проектирования горных работ.

Методами достижения поставленной цели и выполнения задачи:

- Анализ геологоразведочных скважин, пробуренных с поверхности.
- Анализ геотехнической и геологической документации керна.
- Испытания образцов керна для определения физико-механических свойств.
- Анализ данных со скважин эксплоразведки.
- Обработка первичной геологической документации (пикетажки).
- Геотехническое картирование выработок.
- Полевые физико-механические испытания.
- Анализ данных сейсмического мониторинга.
- Анализ данных при прогнозе удароопасности.
- Блочное моделирование и внесение данных в геомеханическую модель.
- Геотехнические расчеты.
- Численное моделирование.

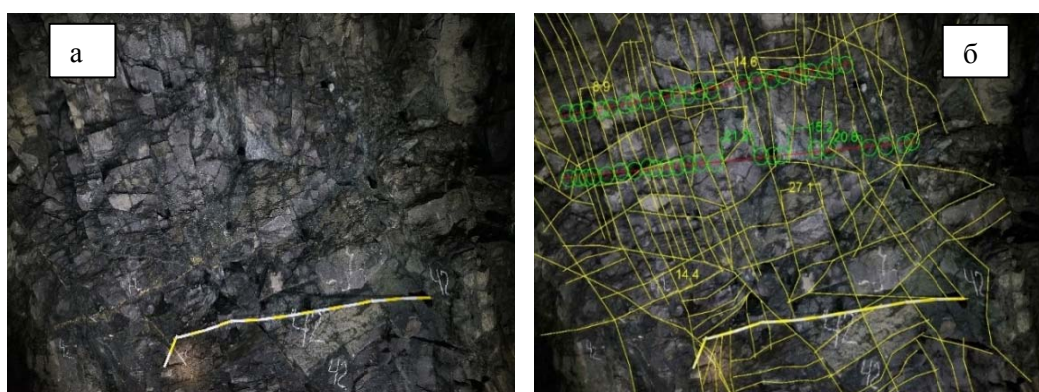
Геомеханическая модель месторождения является фундаментальной основой для обоснования проектных решений. Построения блочной геомеханической модели рудника предусматривает комплексные геомеханических исследования массива горных пород, исторических данных, геотехнического описания керна скважин, проведения физико-механических испытаний, расчета рейтингов RQD, Q', Q, RMR и разработки базы данных и непосредственное блочное моделирование.

Последовательность сбора информации для создания базы геотехнических данных с последующим построением геомеханической модели месторождения представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Этапы сбора данных**

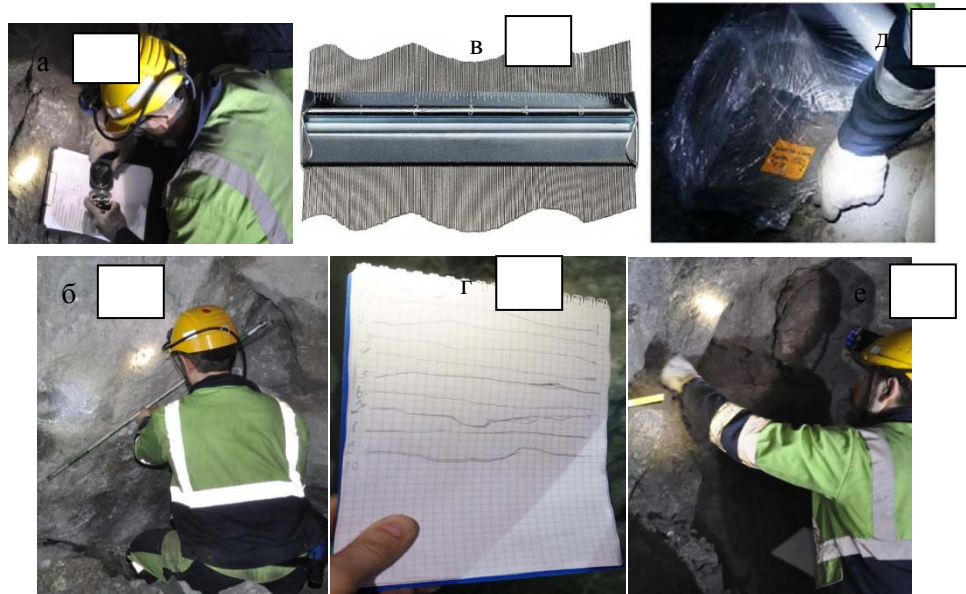
Первым этапом сбора информации является геотехническое картирование выработок. Картирование выработок производится на основе Регламента, устанавливающего требования и методологию оценки устойчивости массива горных пород по классификации Q Бартона или RMR Бенявского. Для определения показателя RQD осуществляется фотофиксация стенок выработок с установкой масштабной рейки (рисунок 2).



**Рисунок 2 – а – пример фотофиксации обнажения с масштабной рейкой, б – анализа RQD в AutoCAD**

Такие показатели, как  $\sigma_c$ ,  $\sigma_{cm}$ ,  $\sigma_{cm}^*$ ,  $J_c$ , азимут и угол падения трещин, оцениваются непосредственно во время проведения картирования выработки. Для каждой точки картирования строится стереограмма трещиноватости на основе измерений азимута и угла падения трещин горным компасом (рисунок 3).

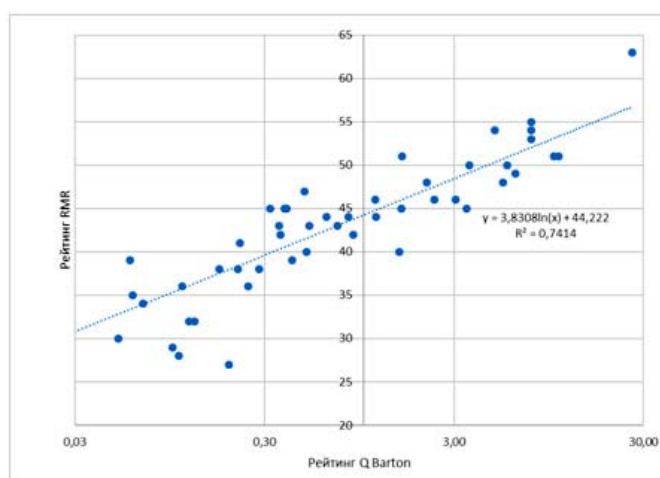
Производится фото фиксация сечения выработки с целью контроля и выявления характерных форм проявления горного давления для анализа влияния на значение SRF по методике Q Бартона. Выполняются механические испытания отобранных в ходе картирования образцов горных пород. В процессе камеральных работ определяется параметр качества массива RQD. На основании скоростей распространения продольных и поперечных волн с учетом плотностных характеристик образцов горных пород получены динамические модули упругости, на основании кадастра физико-механических свойств произведен перевод в статические модули упругости, аналогичным образом получены прочностные характеристики образцов горных пород, рассчитаны рейтинги массива по Бартону (Q) и Бенявскому (RMR).



**Рисунок 3 – а – измерения азимута одной из систем трещин, б – измерения волнистости трещины, в – игольчатый гребень для измерения шероховатости трещин, г – фиксация шероховатости трещин, д – упаковка отобранных образцов, е – измерение шероховатости игольчатым гребнем**

В результате обработки данных картирования получена эмпирическая зависимость для связи классификации Бартон и Бенявского для условий Норильского промышленного района (рисунок 4).

$$RMR = 3,83 \ln Q + 44,2 \quad (1)$$



**Рисунок 4 – Сопоставление данных картирования по классификации Q Бартон и RMR Бенявского**

Для получения актуальной геотехнической информации наивысшей степени достоверности производится бурение методом тройной колонковой трубы с ориентацией кернового материала и детальным геотехническим описанием кернового материала в соответствии со стандартом, разработанным в Компании (рисунок 5). Из всех геотехнических скважин отбирается керн для физико-механических испытаний (рисунок 6). По одному руднику выделяется порядка 2000 образцов для испытаний. По результатам пополняется Кадастр (создан Институтом в 2018 году) физико-механических свойств Норильского промышленного района (рисунок 7).

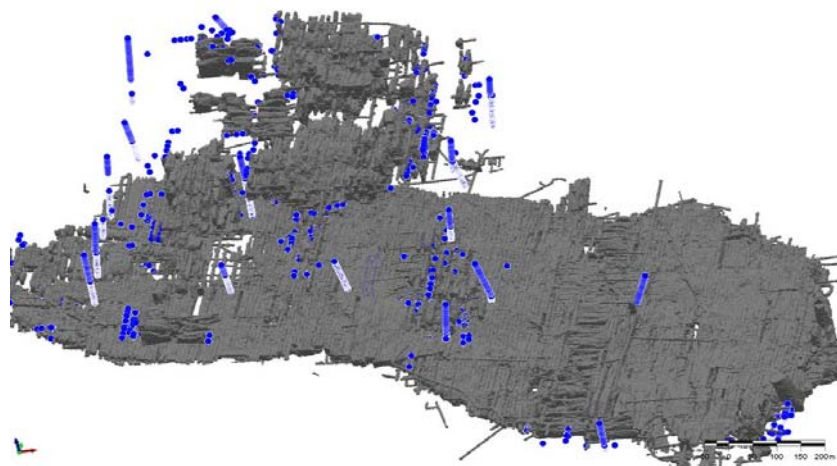


Рисунок 5 – Отработанное пространство рудника, места заложения скважин и точки картирования



Рисунок 6 – Проведение физико-механических испытаний образцов

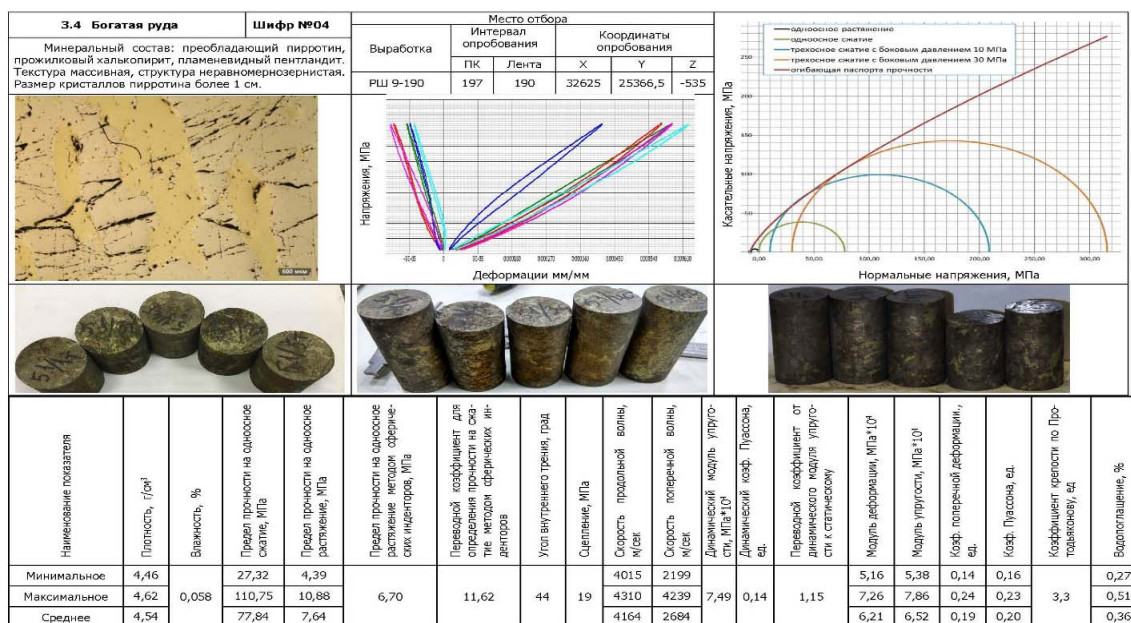
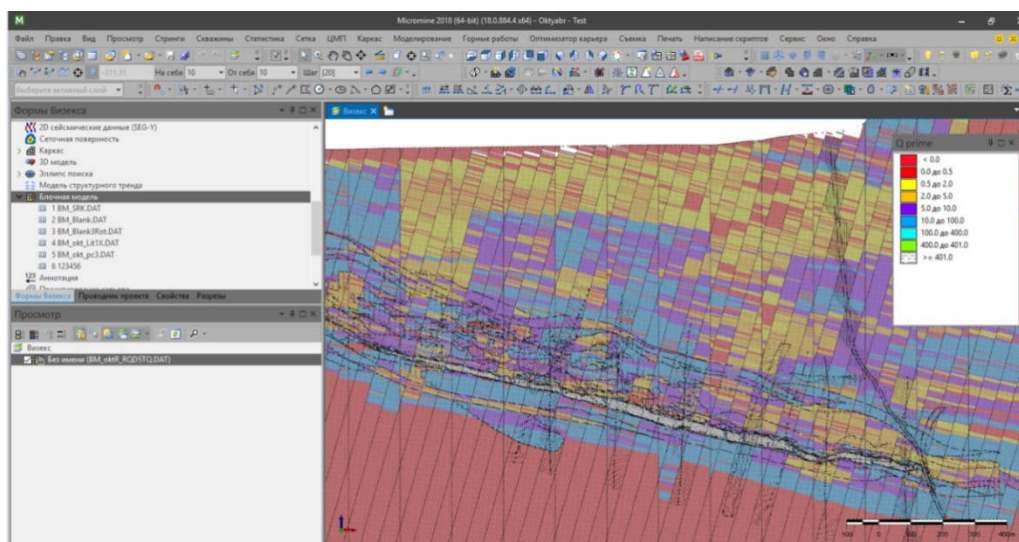


Рисунок 7 – Кадастр физико-механических свойств Норильского промышленного района

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  $Q_{rprime}$  (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Характерный разрез геомеханической модели рудника. Штриховка по рейтингу  $Q_{rprime}$**

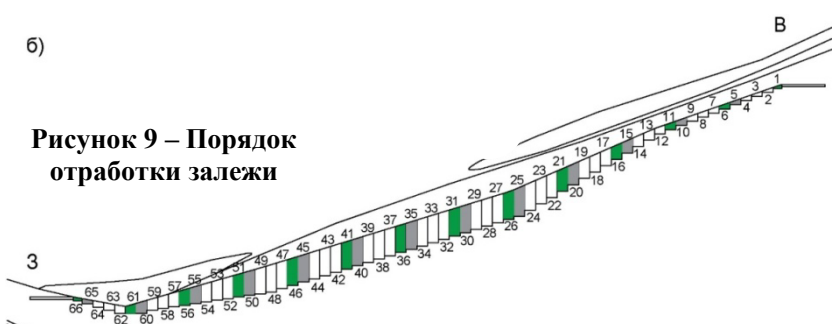
### Численное моделирование

На современном этапе развития численных расчетов принятие проектных решений без проведения предварительного моделирования приводит к снижению экономической эффективности и безопасности производства, а иногда невозможности полноценного извлечения запасов. Особенно это актуально для глубоких участков залежей, со сложным геологическим строением, что выражается в нехарактерном напряженно-деформированном состоянии массива горных пород и проявляется в виде критических деформаций выработок.

Численные методы широко используются в последние несколько десятилетий благодаря прогрессу в вычислительной мощности. В наших работах для анализа НДС массива горных пород применен метод конечных элементов (МКЭ) реализованный в программе CAEFidesys (русская разработка), т.к. он зарекомендовал себя, как надежный и доступный инструмент для осуществления моделирования подобных задач.

Пример численного моделирования. Для освоения части месторождения, залегающего в грабеноподобной зоне с одной стороны ограниченной мощным тектоническим нарушением, с другой стороны зоной, оперяющей трещиноватости, выполнено предварительное геомеханическое обоснование порядка отработки руд месторождения на основе конечно элементного моделирования (рисунок 9).

На основе моделирования: определены безопасные места разрезки шахтного поля и направления движения очистных фронтов с учётом тектонических нарушений (рисунок 10); даны рекомендации о необходимости создания защищённых зон и порядок, параметры и способ их создания; приведены предварительные рекомендации об очередности отработки сближенных рудных тел по вертикали и в горизонтальной плоскости; представлены заключения о пригодности слоевых и камерных систем разработки с закладкой для отработки данного участка месторождения (рисунок 11).



**Рисунок 9 – Порядок отработки залежи**

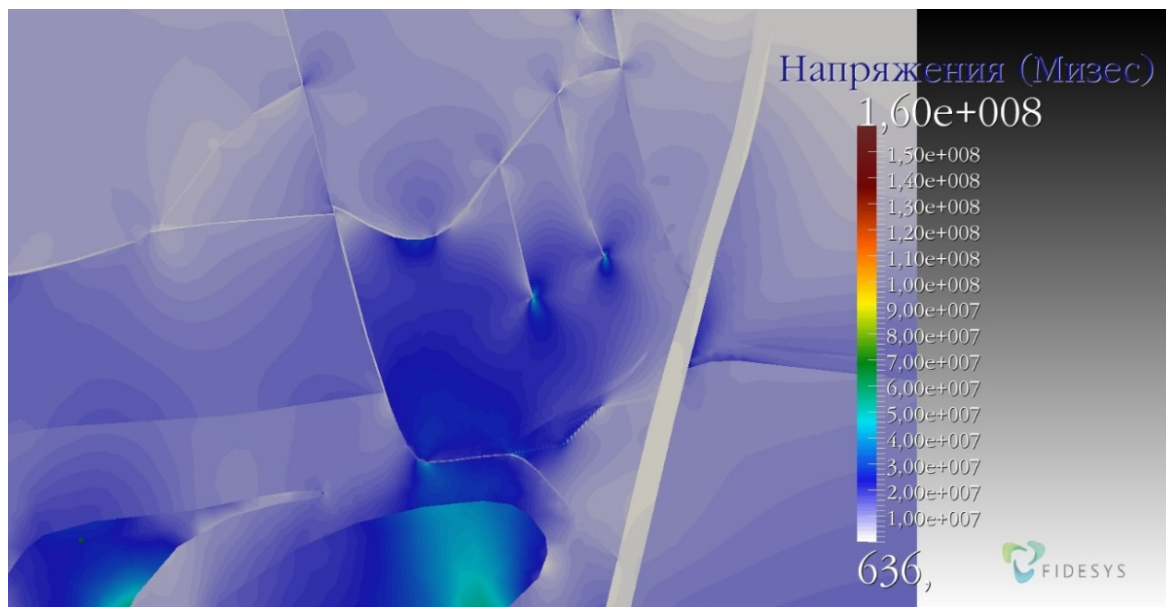


Рисунок 10 – Действие тектонических сил

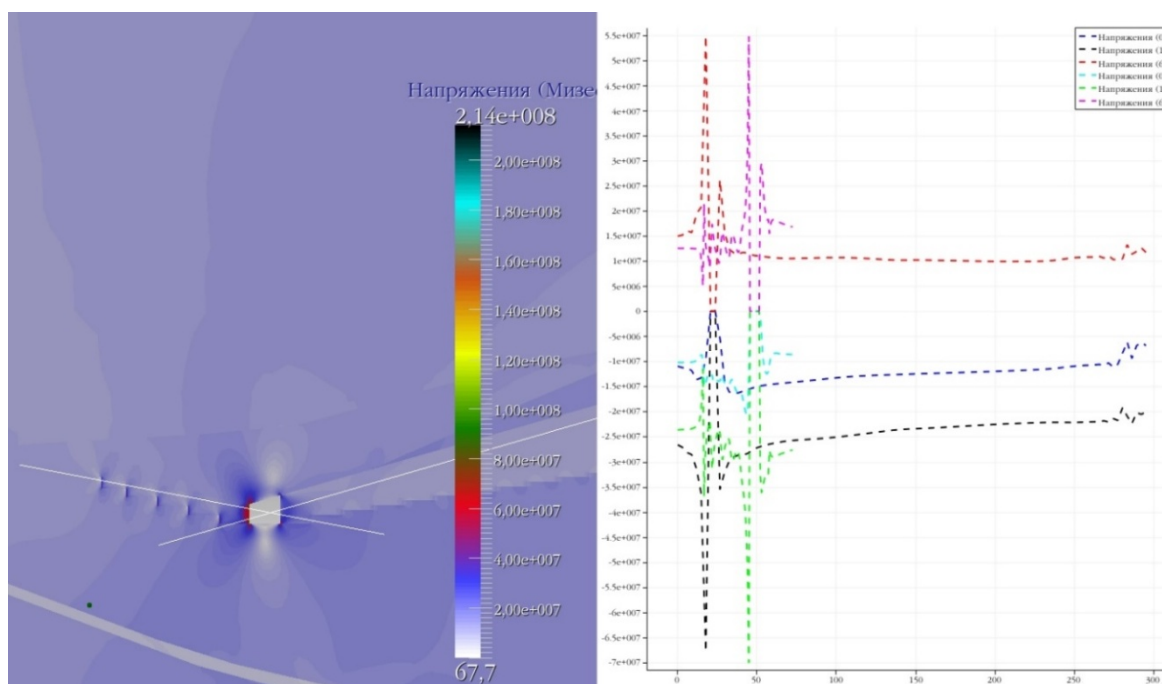
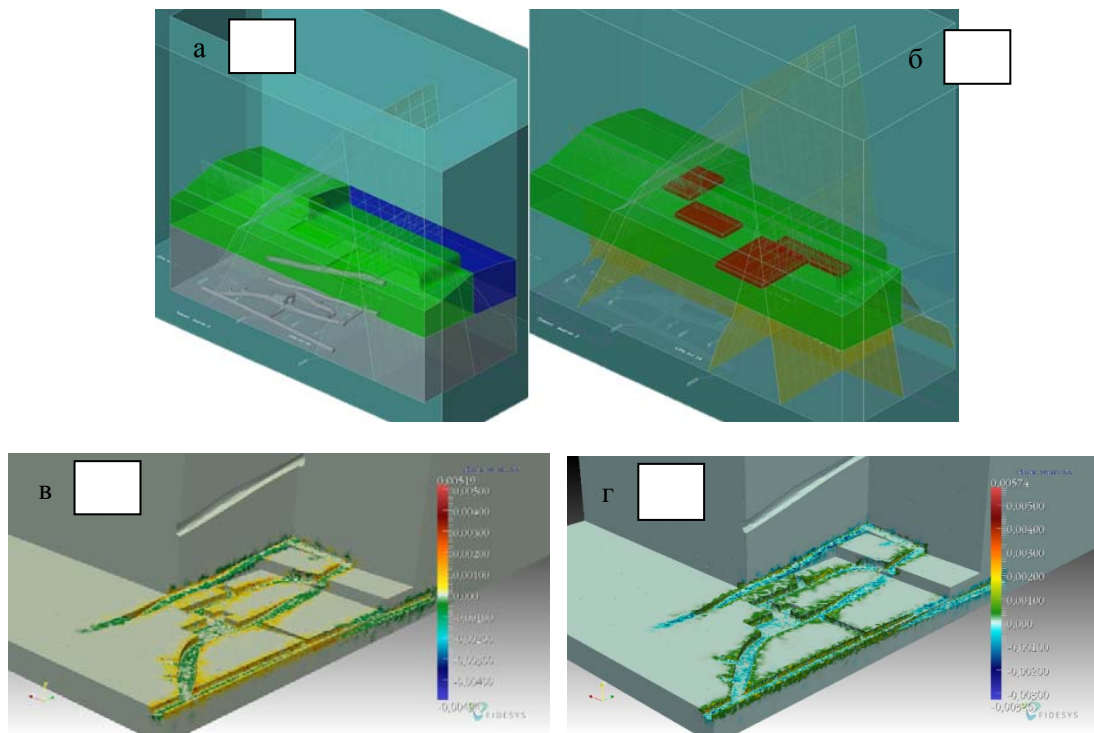


Рисунок 11 – Распределение напряжений при отработке и закладке камер

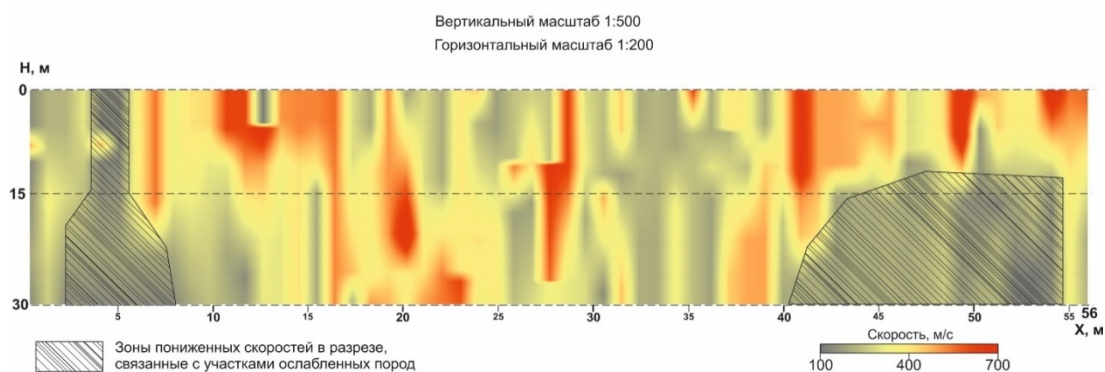
Рассмотрим применение численного моделирования в ситуации на основе подземного, капитального сооружения, расположенного на глубине более 1 км на которое оказывает влияние зона опорного давления от очистных работ. Смещения пород и нагрузка на крепь вызваны процессами образования вокруг выработок зоны неупругих деформаций. Поскольку в зоне неупругих деформаций напряжения в массиве пород понижены, на границе этой зоны напряжения повышены и под воздействием этого повышенного напряжения, а также за счет расширения трещин, происходит выдавливание пород в выработки (рисунок 12)



**Рисунок 12 – а- 3D модель выработок, б – 3D модель рудного тела, заложенного пространства и разгруженных зон, в – пластические деформации вдоль оси XX в выработках, г – пластические деформации вдоль оси XX в выработках, увеличенная разгрузка**

Весьма важным для численного моделирования является этап сбора исходных данных. Наполнение численной модели может базироваться на данных блочной геомеханической модели, а также по данным геофизических исследований. С целью получения исходных данных для моделирования о нарушенности массива на участке вентиляционно закладочного горизонта выполнено поверхностное сейсмопрофилирование по почве транспортного закладочного уклона телеметрической сейсморазведочной станцией ТЕЛЛС-3. Поле скоростей поперечных волн по почве транспортного закладочного уклона представлено на рисунке 13.

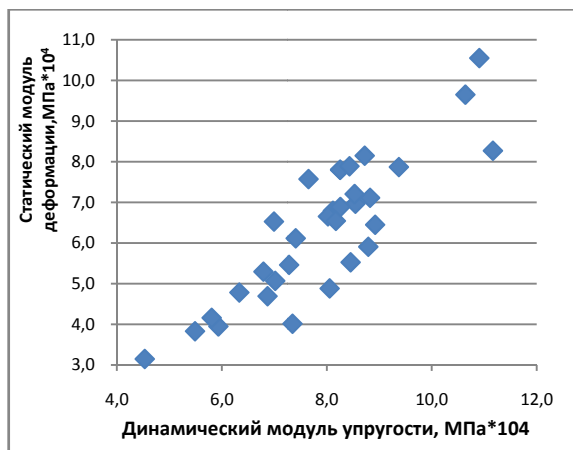
Скоростной разрез поперечных волн



**Рисунок 13 – Поле скоростей поперечных волн**

С целью моделирования упрочнения массива нарушенных участков исследований проведены лабораторные испытания. Основной целью лабораторных испытаний являлось подтверждение возможности укрепления разрушенной горной массы с помощью цементного молочка и установления связи между степенью укрепления (связностью), модулем деформации и скоростью распространения поперечных волн (рисунок 14).





**Рисунок 14. Корреляция между динамическими и статическими деформационными свойствами образцов горных пород Норильского промышленного района**

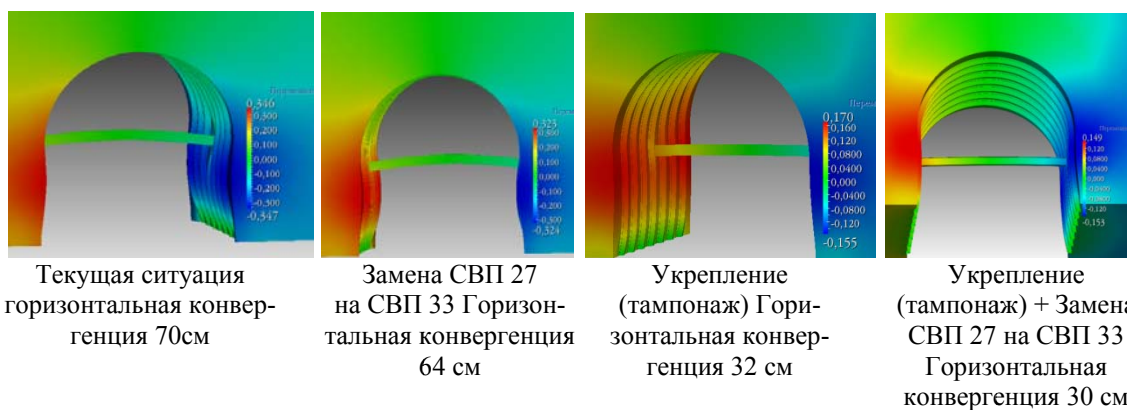
В результате сопоставления данных сейсмопрофилирования и лабораторных испытаний определены исходные данные для численной модели.

В ходе решения обратной задачи определено давление, которое необходимо оказывать на боковые грани модели для достижения необходимых деформаций крепи, соответствующих смещениям, наблюдаемым в выработке (рисунок 15). Стоит отметить, что полученная величина давления условно может считаться значением главного напряжения на данной площадке. С учетом глубины рассматриваемого участка выработки -950м полученное значение превосходит напряжения, обусловленные действием гравитационных сил ( $\gamma H$ ) почти в 4 раза, что свидетельствует о локальном влиянии тектонических компонент, обусловленных сложной геологической структурой, влиянием горных работ на горизонте «подсечки» и отработанной зоной, контактирующей с проблемным участком рудника.



**Рисунок 15 – Реальные смещения в выработке и результат моделирования**

Дополнительно был проведен расчет модели с физико-механическими характеристиками блока 3, получаемыми в результате укрепления горной массы за затяжкой, с учетом свойств полученных по результатам лабораторных испытаний. Аналогично были проведены расчеты для крепи СВП 33, которую технически возможно устанавливать вместо крепи СВП 27. Результаты представлены на рисунке 16.



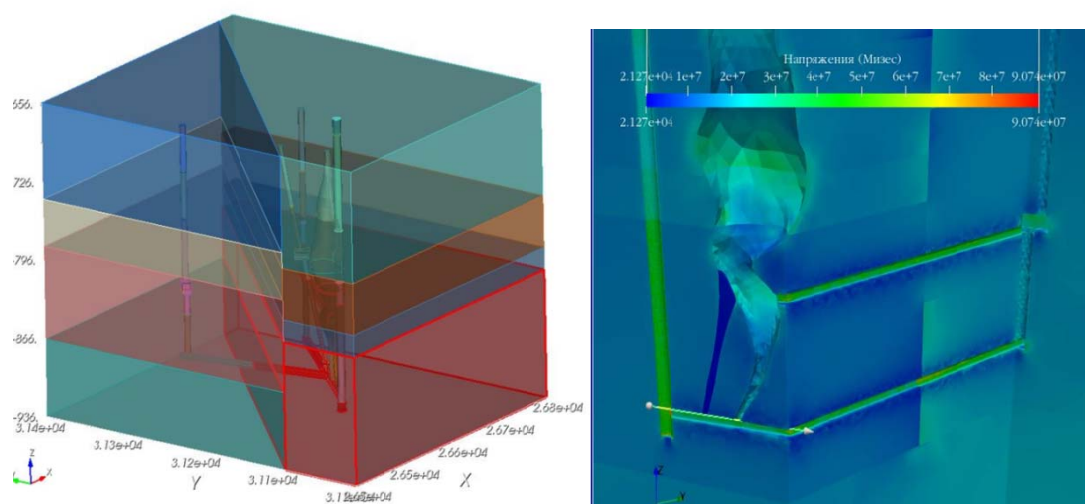
**Рисунок 16 – Результаты моделирования технических решений по укреплению выработок**

В процессе эксплуатации протяженных (глубоких) рудоспусков, расположенных на больших глубинах, в породах сильной нарушенности и низкими физико-механическими свойствами, зачастую происходит постепенное разрушение стенок и их расширение, в результате образовавшаяся полость оказывает негативное влияние на устойчивость стратегических капитальных выработок, расположенных рядом с ними. Подобные ситуации могут приводить к негативным последствиям, таким как: снижение экономической эффективности и безопасности производства, невозможности полноценного извлечения запасов.

В работе для моделирования вариантов размещения нового рудоспуска применен комплексный подход, в котором учитывались физико-механические свойства пород, слагающих массив, путём проведения испытаний кернов горных пород из геотехнических скважин, пробуренных в рассматриваемой области, параллельно с испытаниями проводилось детальное геотехническое описание массива и выделялись домены, которые принимались для моделирования в конечно-элементной постановке.

Моделирование напряженного состояния массива в 3D постановке в районе ствола, рудоспуска и проектируемого рудоспуска, выполнено в программном комплексе CAE Fidesys. Предварительно выполнено геотехническое бурение, физ.-мех. испытания, построена блочная геомеханическая модель и выделены домены (рисунок 17).

Модель разбивалась на домены и строилась конечно-элементная сетка, сгущающаяся от периферии к стволу и рудоспускам.



**Рисунок 17 – Модель в программе CAE Fidesys разделенная на домены и распределения напряжений в модели**

Применение численного моделирования вкпе с результатами геотехнических исследований массива, дает весьма большие возможности для оценки размещения подземного сооружения в том или ином домене с учетом большого числа переменных факторов массива.

### **Закладка выработанного пространства**

Совершенствование составов закладочных бетонов весьма актуально, т.к. в себестоимости добычи руды на долю закладочных работ приходится 20-25 % затрат. Снижение расходов на закладочные работы достигается применением различных типов безцементных вяжущих, вовлечением различного рода химических добавок и отходов промышленности. В рамках выполненных работ снижена себестоимость куба закладочного бетона производимых на рудниках Талнаха ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». При этом в постановке задачи были допустимы минимальные корректировки существующей технологии, рецептуры составов и производительности мельниц. Снижение себестоимости закладочного бетона достигается введением химической добавки лигносульфоната технического (ЛСТ), которая позволяет снизить водопотребность смесей на 40-60 литров на м<sup>3</sup> без изменения подвижности смеси и ухудшения рео-

логических характеристик. В свою очередь, более оптимальное водоцементное отношение позволяет повысить прочностные показатели или при снижении расхода, вяжущего выйти на регламентные показатели прочности. Выполнены лабораторные испытания, технологический аудит закладочных комплексов и опытно-промышленные испытания. Опытно-промышленными испытаниями достигнуты снижения расхода портландцемента на 25% в экспериментальных шлако-щебеночных составах и 10% в составах на основе ангидрита. На основе положительных результатов опытно-промышленных испытаний разработан технологический регламент на техническое перевооружение ПЗК рудников Талнаха ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» и рекомендованы рецептуры составов пластифицированного закладочного бетона. Внедрен ультразвуковой контроль прочности закладочного массива.

### **Методика расчета производительности самоходного оборудования и потребности в нем рудников ПАО «ГМК «Норильский никель»**

Разработанная Институтом Методика позволяет выполнить расчёт производительности и потребности в основном самоходном оборудовании, в технологическом и специальном вспомогательном самоходном оборудовании для действующего производства и при его оптимизации, для новых объектов Компании при проектировании и принятии предпроектных решений, а также обосновать оптимальные условия работы техники на основе учета ключевых факторов влияния на производительность СО.

Для разработки корректного расчета производительности самоходных буровых установок произведены видеохронометражи процесса бурения шпуров и скважин с отбором проб горных пород из обуриваемых забоев. На основе обработки данных видеохронометража получена чистая скорость бурения для различных диаметров и литологических типов горных пород. С целью получения корреляционных зависимостей между чистой скоростью бурения и комплексом прочностных и деформационных показателей проведены испытания горных пород и руд правильной и неправильной формы, отобранные на месте проведения видеохронометража. Базируясь на коэффициентах корреляции выделена зависимость условной объемной скорости бурения для шпуров и скважин от предела прочности на одноосное растяжение – установлено, что данный показатель наиболее точно характеризует буримость горных пород. Получены зависимости для определения чистой скорости бурения для шпуров и скважин с учетом диаметра коронки и мощности ударника. При определении скорости бурения скважин учитывается глубина бурения. В расчете технической производительности погрузочно-доставочных машин (далее ПДМ) учтены режимы работ в дистанционном и ручном управлении. Для определения скорости движения ПДМ и ШАС (шахтный автосамосвал) используются тяговые характеристики по моделям СО с учетом влияния уклонов и состояния трасс движения. Сменная производительность для основного СО определена с использованием оперативного времени работы техники т.е. чистого времени работы за вычетом из продолжительности смены регламентных простоев и времени на выполнения вспомогательных операций. Для расчета списочного количества СО учитывается чистое время доступности техники для выполнения производственных задач, путем использования значения планового значения коэффициента технической готовности оборудования (далее КТГ).

Представлен алгоритм расчета потребности в механизированных анкероустановщиках (далее МА) и мощных самоходных гидромолотах на базе ПДМ. Выполнен экономический расчет эффективности внедрения данного вида техники. Учитывая, что ключевой фактор, влияющий на производительность ПДМ и ШАС со стороны технологии горных работ является плечо откатки в рамках Методики разработан алгоритм определения её оптимальной величины. Действующие плечи откатки ПДМ на рудниках Компании находятся в диапазоне 300-500 метров. В редких случаях 250 м. Принятие решений об обоснованности применения вида техники при определенных технологических параметрах в данный момент очевидно базируются не на рациональных подходах по минимизации сводных затрат, а на наиболее простом решении с позиции достижения локальных производственных задач рудника и выражается как правило в увеличении количества единиц СО основного назначения. Сокращения плеча непосредственно связано с комплексным подходом к развитию сети участковых рудоспусков. Критерием оптимального значения плеча откатки является минимум суммы приведенных капитальных (строительство рудоспусков и подходных выработок) и эксплуатационных (эксплуатация ПДМ

и ШАС) приведенных затрат. Эксплуатационные затраты определены на основе анализа данных за 7 лет. Аналитическое решение оптимального плеча откатки (расстояния доставки) руды определяется путем дифференцирования формулы минимума суммы приведенных затрат и нахождения соответствующего экстремума с применением ЭВМ.

## 2.19. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ НИТУ «МИСиС»

В 2018г. научная деятельность Горного института НИТУ «МИСиС» представлена как традиционными сложившимися за столетнюю историю существования университета школами в области добычи и переработки полезных ископаемых, так и самыми современными направлениями. В последние несколько лет получили развитие разработки, касающиеся обоснования и совершенствования методов моделирования месторождений полезных ископаемых, цифровизации процессов добычи и первичной переработки минерального сырья, технологий освоения Крайнего Севера, освоения месторождений полезных ископаемых дна Мирового Океана и др.

В общем и целом, на сегодняшний день можно выделить следующие основные научные направления, реализуемые на кафедрах и в лабораториях института:

1. Обоснование методов и проектирование технических средств изучения свойств горных пород и техногенных отложений.
2. Разработка методов комплексного освоения недр.
3. Оценка блочных моделей рудных месторождений с применением нейронных сетей.
4. Гидрогеологическое и инженерно-геологическое обеспечение горных и строительных работ.
5. Технологии изготовления и ремонта горных машин.
6. Разработка способов борьбы с пылью на горных предприятиях.
7. Управление безопасностью труда.
8. Геоэкологическое обоснование освоения месторождений полезных ископаемых в условиях Крайнего Севера.
9. Решение фундаментальных и практических задач комплексной и глубокой переработки полезных ископаемых, а также отходов горно-металлургического производства для извлечения максимально возможного количества полезных компонентов.
10. Создание новых экологически безопасных технологических процессов комплексной переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения на основе комбинирования эффективных методов обогащения с пиро- и гидрометаллургией.
11. Проектирование систем комплексного мониторинга на горнодобывающих предприятиях.
12. Разработка автоматизированных систем сбора, обработки и анализа информации о состоянии горнотехнических объектов.
13. Моделирование напряженно-деформированного состояния горных пород.
14. Обоснование методов неразрушающего контроля.
15. Разработка научно обоснованных предложений по созданию интегрированных систем повышения энергоэффективности и энергосбережения угледобывающих производств.

В 2018 году начато формирование нового стратегического направления развития научной деятельности – «Цифровые технологии в добывающей отрасли». Это направление является трендом всего мирового производственного сектора экономики. Уже не только за рубежом, но и в России внедряются автоматизированные буровые станки, беспилотные летательные аппараты и даже транспорт. Сегодня практически каждое предприятие, разрабатывающее рудные месторождения, использует цифровые модели месторождений рудных тел для оперативного планирования горных работ с целью эффективного управления качеством минерального сырья. В связи с этим данное направление в ближайшие несколько лет получит еще большее развитие как в науке, так и непосредственно в производстве.

В 2018 году сотрудниками НИТУ «МИСиС» по вопросам добычи и переработке полезных ископаемых издано более сотни статей в журналах, входящих в базы Scopus и Web of Science.

### Основные публикации:

1. Bychkov A., Simonova V., Zarubin V., Cherepetskaya E., Karabutov A. The progress in photoacoustic and laser ultrasonic tomographic imaging for biomedicine and industry: A review // *Applied Sciences (Switzerland)*, 2018, V.8, p.10.
2. Galchenko Y., Eremenko V., Myaskov A., Kosyreva M. Solution of geocological problems in underground mining of deep iron ore deposits // *Eurasian Mining*, 2018, No.1, p. 35-40.
3. Geng Q., Tong X., Wenya G., Yang C., Wang J., Maloletnev A., Wang Z., Su X. Humate-assisted Synthesis of MoS<sub>2</sub>/C Nanocomposites via Co-Precipitation/Calcination Route for High Performance Lithium Ion Batteries // *Nanoscale Research Letters*, 2018, 13, p.129.
4. Kairbekov Z., Maloletnev A., Dzheldybaeva I., Sabitova A., Ermoldina E. Application of Mechanochemical Activation and  $\gamma$ -Radiation to Increase the Reactivity of Coal from the Shubarkol Deposit in Hydrogenation // *Solid Fuel Chemistry*, 2018, V.52, No.1, p.21-25.
5. A.M. Galperin, V.V. Moseekin & S.A. Punevsky Geomechanical aspects of the developing of man-made massives of tailing dams at the mining enterprises. Proc. of the 2018 EUROPEAN ROCK MECHANICS SYMPOSIUM (EUROCK 2018, SAINT PETERSBURG, RUSSIA, 22-26 MAY 2018). Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses – Litvinenko (Ed.) 2018 Taylor & Francis Group, London, UK. ISBN 978-1-138-61645-5 Vol. 2. P. 1149-1153.
6. Cheskidov. V.V. Lipina A.V., Melnichenko I.A. Integrated monitoring of engineering structures in mining (Scopus, WoS) Печатная EURASIAN MINING. 2018. №2 4с./2,5с.
7. Yu. O. Kuzmin, A. V. Deshcherevskii, E. A. Fattakhov, D. K. Kuzmin, A.A. Kazakov, D. V. Aman, Inclino-metric Observations at the Korchagin Deposit // *Atmospheric and Oceanic Physics*, 2018, Vol. 54, No. 8, pp. 932–940. DOI: 10.1134/S0001433818080066.
8. Yu. O. Kuzmin, Recent anomalous deformation of the ground surface in fault zones: shear or tensile faulting? // *Geodynamics & Tectonophysics* 9 (3), 967–987. DOI: 0.5800/GT-2018-9-3-0379.
9. Kravcov A., Shibaev I., Blokhin D., Bychkov A., Cherepetskaya E., Krapivnoi M., Zarubin V. Examination of structural members of aerial vehicles by laser ultrasonic structuroscopy // *International Journal of Engineering and Technology*, 2018, V.9, No.11, p.2258-2265.
10. Nikolenko P., Shkuratnik V., Chepur M., Koshelev A. Using the Kaiser Effect in Composites for Stressed Rock Mass Control // *Journal of Mining Science*, 2018, No.54, No.1, p.21-26.
11. Novikov E., Shkuratnik V., Zaytsev M., Oshkin R. Changes in properties and state of coal exposed to freeze-thaw weathering: Evidence from thermally induced acoustic emission // *Earth's Cryosphere*, 2018, V.22, No.4, p.76-85.
12. Potemkin F., Mareev E., Rumiantsev B., Bychkov A., Cherepetskaya E., Karabutov A., Makarov V. Two-dimensional photoacoustic imaging of femtosecond filament in water // *Proceedings – International Conference Laser Optics 2018, ICLO 2018*, p.315.
13. Shibaev I., Cherepetskaya E., Bychkov A., Zarubin V., Ivanov P. Evaluation of the internal structure of dolerite specimens using X-ray and laser ultrasonic tomography // *International Journal of Civil Engineering and Technology*, V.9, No.9, p.84-92.
14. Shkuratnik V.L., Nikolenko P.V. Spectral Characteristics of Acoustic Emission in Carbon Fiber-Reinforced Composite Materials Subjected to Cyclic Loading // *Advances in materials and engineering*, 2018, 1962679.
15. Zakharov V., Eremenko V., Fedorov E., Lagutin D. Geomechanical support of mine planning and design in the Iletsk rock salt field // *Gornyi Zhurnal*, 2018, V.47, No.1, p. 2-41.
16. Zarubin V., Bychkov A., Karabutov A., Simonova V., Cherepetskaya E. Laser-induced ultrasonic imaging for measurements of solid surfaces in optically opaque liquids [Invited] // *Applied Optics*, 2018, V.57, p.10.
17. Zarubin VP, Bychkov AS, Karabutov AA, Simonova VA, Kudinov IA, Cherepetskaya EB Real-Time Laser Ultrasound Tomography for Profilometry of Solids // *Moscow University Physics Bulletin*, V.73, No.1, p. 75-82/
18. Eremenko, V.A., Lushnikov, V.N. Procedure for selecting dynamic ground support for rock-bursting mining conditions // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2018 (12), pp. 5-12.
19. Gaysin, R.M., Tsarikov A.Y. Estimate of influence of dislocation position on anomalous signal intensity in underground electrical survey // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2018 (12), pp. 152-156.
20. Kulikova, E. Y. (2018). Estimation of Factors of Aggressive Influence and Corrosion Wear of Underground Structures. In *Materials Science Forum* (Vol. 931, pp. 385-390). Trans Tech Publications.

21. Pleshko, M., Kulikova, E., &Nasonov, A. (2018). Assessment of the technical condition of deep mine shafts. In MATEC Web of Conferences (Vol. 239, p. 01021). EDP Sciences.
22. Pleshko, M., Meskhi, B., &Pleshko, M. (2018). A new method for calculating the combined anchor-concrete support of underground structures. In MATEC Web of Conferences (Vol. 170, p. 03023). EDP Sciences.
23. Pankratenko, A., &Isaev, A. (2018). The Analysis of the Stress-Strain State of the System «Equipment Complex-Support-Rock Mass» in the Bottomhole Area of the Shaft. In E3S Web of Conferences (Vol. 41, p. 01038). EDP Sciences.
24. Vulfson, A. N., &Nikolaev, P. V. (2018). Linear Approximations of the Second Turbulent Moments of the Atmospheric Convective Surface Layer in a Forced-Convection Sublayer. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 54(5), 472-479.
25. Vulfson, A. N., &Nikolaev, P. V. (2018, January). An integral model of a convective jet with a pressure force and forms of vertical fluxes in the atmospheric surface layer. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 955, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.

В результате завершения в 2018 году проекта РНФ№ 16-17-10181 «Диагностика структуры и свойств горных пород различного метаморфизма на основе усовершенствованной лазерно-ультразвуковой томографии для создания ресурсосберегающих технологий их переработки» создана уникальная установка для трехмерной высокоскоростной лазерной ультразвуковой томографии кернов горных пород, состоящая из: Nd:YAG лазера QuantelUltra 50; системы доставки лазерного излучения, включающая многомодовое оптическое волокно и цилиндрические и полусферические линзы, с помощью которых происходит разведение пучка по всей поверхности оптико-акустического генератора; малозумящего комбинированного блока питания, обеспечивающего работу приемной антенны и усилителя принимаемых сигналов; системы сбора и первичной обработки экспериментальных данных на основе модульной архитектуры NI FlexRIO, состоящей из адаптерного модуля NI 5752B (32 аналоговых входа, 12 бит, частота оцифровки 50 МГц, программируемый переменный коэффициент усиления, 16 цифровых выходов и 2 цифровых входа), модуля с ПЛИС NI PXIe-7972R и реконфигурируемой PXI-системы NI PXIe-1071, предназначенной для оцифровки, сбора и высокоскоростной передачи данных на персональный компьютер. Для этого также использовалась шина PCI Express с пропускной способностью до 3 Гб/с. Проектирование систем NI FlexRIO было произведено в среде LabVIEW, скоростная система обработки экспериментальных данных создана на основе персонального компьютера с видеокартой GeForce GTX 970, поддерживающей программно-аппаратную платформу CUDA. Реализовано программное обеспечение, осуществляющее прием данных с многоканальной системы сбора информации. На языке C++ с использованием библиотек CUDA API и алгоритмов компьютерного зрения (выделение границ и преобразование Хафа) реализованы параллельные алгоритмы для фильтрации экспериментальных данных, построения лазерно-ультразвуковых томограмм геоматериалов, определения двумерного профиля поверхности и построения трехмерного профиля поверхности.

В 2018 году одним из крупнейших заказчиков научно-исследовательских работ стало Министерство энергетики Российской Федерации, для которого были реализованы следующие проекты:

- Разработка научно обоснованных предложений по управлению газовой выделением очистных и проходческих забоев угольных шахт на основе комплексного учета эффективности извлечения метана системами вентиляции и дегазации.
- Услуги по анализу и оценке состояния промышленной ‘ безопасности и охраны труда в организациях угольной промышленности России на основе обобщения статистических данных в 2016 году и по направлениям обеспечения снижения аварийности, производственного травматизма и профзаболеваний в отрасли.

Также были проведены работы по обоснованию применения инновационных технологий в отработке полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях Урегольского участка Урегольского каменноугольного месторождения и Восточного участка Колыванского месторождения.

В частности, разработаны предложения по совершенствованию продольно-углубочной однобортной системы разработки с применением экскаваторов типа ЭКГ-15; и 8ус, в комплексе с автотранспортом. Разработана технология отработки вскрыши горизонтальными ус-

тупами, наклонными слоями. Оптимизирована технология добычи наклонными слоями с использованием экскаваторов-мехлопат. Предложено и обосновано выполнение работ по разработке угольных пластов селективным способом. Разработан способ снижения проектных потерь, остающихся в торцах разрезов, для использования комплекса с глубокой разработкой пластов.

Компании-партнеры Горного института НИТУ «МИСиС»: АО «МХК «ЕвроХим», ГМК «Норильский никель», Сандвик, ФОСАГРО, ПАО «Северсталь», АО «Полиметалл», ПАО «Мечел», ПАО «ЕвразХолдинг», Навоийский ГМК, ГОК «Эрдэнэт», Корпорация «Казахмыс», «Казцинк», ОАО «Мосметрострой», «Мосинжпроект», ОАО «Лебединский ГОК», ОАО «Михайловский ГОК», ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат», ОАО «СУЭК», АК «АЛРОСА», ОАО «СУЭК-Хакасия», ОАО «СУЭК-Красноярск», ЗАО «Дальтрансуголь», ОАО «СУЭК-Кузбасс», ОАО «Ургалуголь», ОАО «Сургутнефтегаз», Micromine, Datamine, ESRI.

Разработанные учеными Горного института (НИТУ «МИСиС») методы, технологии и аппаратные средства используются при добыче всех видов полезных ископаемых: алмазов в Якутии, золота на Чукотке и Красноярском крае, угля на шахтах и разрезах Кузбасса и других регионах нашей страны, железных руд в Белгородской и Курской областях, строительных материалов в Московском регионе и других субъектах РФ.

## 2.20. РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

### Разрушение горных пород

Существующие методики расчета основных параметров буровзрывных работ, как правило, основываются на практическом опыте работы той или иной специализированной организации и при проектировании параметров БВР и в инженерных расчетах наблюдается существенный субъективизм в принятии исходных коэффициентов в расчетных формулах, а сами формулы не учитывают в полной мере влияние основных горнотехнических факторов на конечный результат расчета.

Величина перебура обычно составляет 10-20% от общей длины скважины, а количество взрывчатого вещества, размещаемого в нем, достигает 50% от массы заряда скважины. Следовательно, значительные части скважины и заряда находятся вне полезного объема уступа. Выбор оптимальной величины перебура скважины позволит сократить объем бурения, рационально разместить заряд по высоте уступа и избежать образования порогов по подошве уступа и чрезмерного разрушения верхней части нижележащего уступа.

С учетом анализа существующих формул для определения величины перебура при БВР по известным при проектировании формулам треста «Союзвзрывпром, техническим правилам в энергетическом строительстве, справочной литературе, по работе американских исследователей установлено, что зависимости на прямую не поддаются сравнению, из-за различия взглядов на факторы, влияющие на выбор величины перебура, основными из которых принято считать  $W$  – ЛНС,  $H$  – высота уступа,  $d$  – диаметр скважины. Формулы для длины перебура вышеназванных источников не учитывают основные горнотехнические факторы, а результаты расчетов по ним, в большинстве случаев, носят рекомендательный характер. Сравнительный анализ формул показывает, что расхождение в результатах расчета могут достигать 64%. Поэтому необходимо было найти зависимость, учитывающую все основные исходные параметры при расчете  $L_{пер}$  и соответствующую исходным положениям методики расчета БВР.

Принятое рядом исследователей положение о том, что эквивалентный сосредоточенный заряд находится на уровне подошвы уступа не верно, так как в этом случае действие заряда будет направлено не по линии сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), а по кратчайшему расстоянию к поверхности откоса уступа, т.е. по ЛНС и поэтому центр его тяжести должен находиться ниже подошвы уступа.

В результате теоретической обработки существующих формул для определения величины перебура была получена основная зависимость, устанавливающая закономерность влияния горнотехнических условий и параметров взрывных работ на длину перебура.

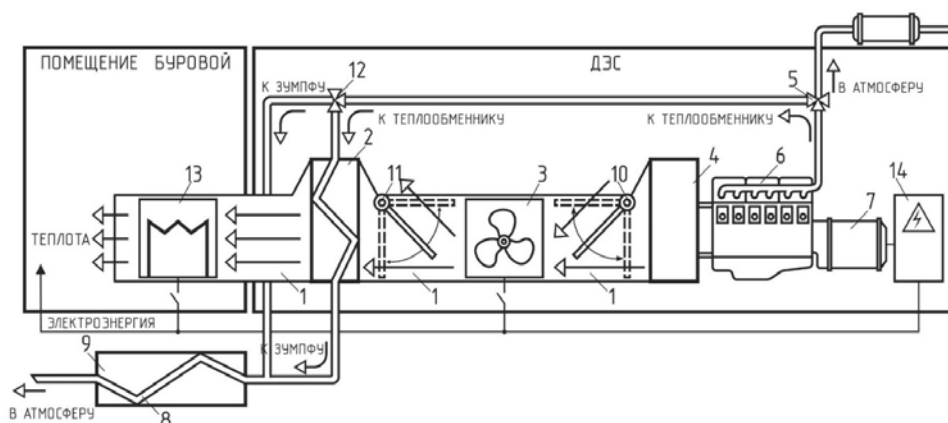
Проанализировано влияние высоты уступа, угла наклона, диаметра скважины, крепости взрывааемых пород, ЛСПП, условий размещения заряда в уступе на величину перебура. Для этого был собран фактический материал по 63 объектам с самыми разнообразными горнотехническими условиями ведения работ. При этом число рассматриваемых групп пород составило 8, диаметры скважин были представлены тремя группами: 110 мм (105-115 мм); 150 мм (145-165 мм) и 220 мм (до 250 мм).

В результате выполненного анализа окончательно была установлена зависимость для определения длины перебура. Коэффициент вариации наблюдаемых значений относительно расчетных составил 21.0%.

Приняты оптимизационные решения для модернизации установки утилизации теплоты (УУТ) передвижных ДЭС, обеспечивающие максимальную эффективность использования теплоты дизель-агрегата в интересах полного теплообеспечения буровой установки – от подогрева бурового раствора и получения технической воды из снега и льда до обогрева здания буровой и поддержания комфортного температурного режима в интересах создания и поддержания требуемых условий труда буровиков.

В результате выполненных теоретических расчётов и проведённых практических экспериментов удалось решить оптимизационную задачу посредством добавления в технологическую схему УУТ следующих элементов (рисунок 1):

- заслонок-регуляторов расхода воздуха (РРВ) в каналах вторичного теплоносителя (ТН)
- воздуха от радиатора охлаждения и через газо-воздушный теплообменник (ТО);
- трёхходовых кранов в тракте первичного ТН (выхлопных газов – ВГ);
- блока теплоэлектронагревателей (ТЭН) в воздуховоде после ТО.



**Рисунок 1 – Схема модернизированной УУТ**

- 1 – воздуховоды; 2 – газо-воздушный ТО; 3 – вентилятор; 4 – радиатор охлаждения дизель-агрегата; 5 – трехходовой кран атмосферный; 6 – дизель-агрегат; 7 – электрогенератор; 8 – ТО зумпфа; 9 – зумпф; 10 – РРВ радиатора охлаждения дизель-агрегата; 11 – РРВ ТО; 12 – трехходовой кран ТО; 13 – блок ТЭН; 14 – щит управления*

При этом достигнута независимость процесса тепло обеспечения от технологической нагрузки ДЭС и процесса поддержания рабочего температурного режима дизель-агрегата при их тесной взаимной связи.

Установлена необходимость применения автоматического регулирования работы, модернизированной УУТ. Определены задачи системы автоматического регулирования (САР) работы УУТ. Описаны и сведены в формализованную Матрицу состояний штатные положения (состояния) каждого из регулирующих и коммутирующих элементов УУТ, в совокупности которых отражается каждый из режимов работы всей системы. Эту Матрицу состояний в дальнейшем целесообразно использовать как базу для программирования автоматической регулировки. Предложена архитектура автоматического регулирования – контур регулирования по отклонению контролируемого параметра с обратной связью.



Предложена схема модернизированной УУТ с САР, описан принцип работы всех регулирующих элементов установки во всех возможных программируемых режимах работы – прогрев дизель-агрегата и ввод его под нагрузку, обогрев здания буровой установки, поддержание заданного температурного режима при меняющихся технологических нагрузках буровой, подогрев бурового раствора и при отсутствии потребности в теплообеспечении.

Приоритетное направление при ведении взрывных работ в горной промышленности в нашей стране и за рубежом имеет применение эмульсионных взрывчатых веществ для взрывания обводненных горных пород. Данные ВВ водоустойчивы, безопасны, позволяют в широких пределах варьировать их взрывчатые характеристики. Однако, при сенсбилизации эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) газовыми порами, происходит увеличение плотности взрывчатого вещества с увеличением глубины скважины, что снижает надежность их детонации и при определенных условиях приводит к отказу, что влечет за собой большие материальные потери. Для снижения себестоимости взрывной подготовки горной массы и решением вышеуказанных технических и экономических проблем, присущих удлиненным зарядам с ЭВВ, возможно в качестве сенсбилизатора ЭВВ использовать гранулы вспененного полистирола. Применение ЭВВ, сенсбилизированных вспененным полистиролом (Эмульпор), позволяет изменять плотность ЭВВ, а, значит, и объемную концентрацию энергии, в существенно более широком диапазоне (от 300 до 1150 кг/м<sup>3</sup>). Причем, детонационные свойства данного ЭВВ практически не зависят от гидростатического давления воды в скважине. Кроме того, низкая плотность заряжения и низкая объемная концентрация энергии позволяют применять такие ВВ для механизированного заряжения контурных скважин при постановке бортов карьеров в конечное положение (заоткоска) – альтернатива гирляндным зарядам и ручному труду. На основании результатов опытных взрывов при применении Эмульпоров для отбойки легко и средневзрываемых пород рекомендованы параметры взрывания скважинных зарядов, которые соответствуют ANFO и эмулану. Взрывание обводненных скважин (в которых создание воздушных промежутков невозможно) цельными зарядами из Эмульпора является экономически более эффективным по сравнению с цельными или комбинированными с ANFO зарядами из эмуланов и эмулитов.

При использовании ЭВВ, как на стадии проектирования, так и на стадии практического применения необходимо знать высоту колонки заряда в момент инициирования заряда. В настоящей работе приведены результаты расчетов величины усадки скважинного заряда газосенсбилизированного ЭВВ под действием собственного веса, внешнего давления и изменения температуры ЭВВ после помещения его в скважину. Расчеты выполнены для ЭВВ на монорастворе аммиачной селитры. Учет термоусадки скважинного заряда ЭВВ позволяет более точно рассчитать высоту колонки заряда.

В мировой практике взрывных работ в подземных выработках, широко используются эмульсионные взрывчатые вещества. Однако, полностью механизированное изготовление, на месте применения, в процессе заряжения восстающих взрывных скважин, горизонтальных и наклонных шпуров предохранительным (III-го класса) эмульсионным ВВ в условиях подземных горных выработок – АК «АЛРОСА» применяется впервые в мировой практике. Промышленное эмульсионное взрывчатое вещество (ПЭВВ) «НПГМ-ПР» III (третьего) класса для изготовления которого применяются эссенция «ПР» типов «Н» и «К», газогенерирующая добавка «ГГД». Авторами разработан технологический процесс механизированного заряжения зарядов камер промышленным ЭВВ в подземных условиях.

При изготовлении промышленных ВВ для взрывной отбойки на горнодобывающих предприятиях в силу ряда технологических, квалификационных и других особенностей сложно обеспечить постоянство качества изготавливаемых ВВ. Особенно это касается горнодобывающих предприятий в труднодоступных и малообжитых районах Полярного Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока. В исследованиях рассматривался метод оперативной оценки полноты тепловыделения при взрыве промышленных ВВ местного производства. Выполненные исследования показали, что при детонации промышленных ВВ, изготавливаемых на местах применения теплота фактического тепловыделения, ниже теоретически рассчитанного на 20-40 %. Разработана методика обработки экспериментальных данных для расчета полноты тепловыделения при взрыве зарядов ВВ.

## Геомеханика

В ходе анализа отечественных и зарубежных актуальных литературных источников исследованы возможности сейсморазведки, электроразведки и гравиразведки. Среди них выбраны методы, эффективно решающие большинство практических задач, возникающие при освоении месторождений полезных ископаемых — диагностика и предупреждение горных ударов, поиск скрытых заброшенных выработок, картирование оползней, поиск и прогнозирование зон подтоплений, уточнение параметров паспорта буровзрывных работ и др. Это — многокомпонентная регистрация микросейсмических колебаний, инженерная сейсморазведка на продольных и поверхностных (псевдорэлеевских) волнах, георадиолокационное сканирование. Кратко рассматриваются физические основы методов, элементы методики полевых работ и обработки данных, полученные геолого-геофизические результаты.

Сделаны выводы об абсолютных значениях амплитуд виброускорения и виброскорости микросейсм в горных выработках, преобладающих частотах микросейсмических колебаний, форме и абсолютных значениях спектров Накамуры. Прослеживается связь между параметрами микросейсм и ослабленными зонами горных выработок, представленными трещиноватыми и обводнёнными горными породами. Также анализируются геолого-геофизические данные, полученные при помощи инженерной сейсморазведки. По её результатам было установлено слоистое строение и физико-механические свойства вскрышных пород ряда наземных горных выработок, прослежена глубина зеркала грунтовых вод и поверхности скольжения оползня на бортах некоторых карьеров. Использование георадиолокации позволило установить контуры подтопления и выделить ряд подземных пустот в горных выработках.

Предлагаемый комплекс доказал свою эффективность, полноту и достоверность получаемых результатов на нескольких месторождениях полезных ископаемых. Каждый из методов, решая свои специфические задачи, внёс свой вклад в модель текущего состояния разрабатываемых месторождений. По данным геофизических исследований были выработаны рекомендации по безопасному и эффективному освоению месторождения с учётом его внутреннего строения и распределения механических свойств.

## Горная экология

Предложено практическое описание использования технологии автоматизации прогнозов, позволяющих определить риски для проживания населения на определенной территории. Данная технология может быть применена на предпроектной стадии при любом строительстве, а также может быть включена в информационную систему предприятия в части механизма поддержки принятия решений. Также представлена построенная модель устойчивости экосистем России.

До настоящего момента проведение экологического районирования было доступно только профессионалам высокого класса, что затрудняло ее широкое применение. Однако использование машинного обучения для обработки исходной информации на основе логики принятия решений позволяет автоматизировать эту процедуру и сделать ее более быстрой и доступной для широкого круга специалистов.

Рассмотрено прогнозирование природно-техногенных процессов при помощи машинного обучения, а также оценка уровней устойчивости экосистем при помощи анализа геофизических полей с использованием инструментов машинного обучения. Было показано, что применение автоматизированной технологии прогнозирования заболеваемости населения путем их анализа при использовании машинного обучения может давать достаточно достоверные результаты. Согласно представленной в исследованиях информации полученная компьютерная модель хорошо работает на тестовых данных. Показано, что такая модель является универсальной, поскольку описывает территории различных масштабов с хорошим результатом.

Полученная модель может быть использована для определения рисков для проживания населения и строительства жилых кварталов на качественном уровне. Также модель позволяет оперативно делать качественный анализ рисков, определять территории с их повышенными значениями для создания жилых районов и ведения других видов деятельности.

Применение машинного обучения при экологическом районировании позволяет выполнять оценку территории быстро и с использованием меньшего количества человеческих ресурсов, что делает этот метод прекрасным оперативным инструментом для рекогносцировки.

За последние годы на высокопроизводительных шахтах России происходили катастрофические взрывы метана и угольной пыли, сопровождавшиеся экзогенными пожарами, при этом аварии носили комплексный характер, т.е. в них реализовывалось несколько опасных факторов: газ, пыль, внезапные выбросы угля и газа, пожары, тогда как в системе профилактики взрывов основной акцент сделан на метан. Следовательно, профилактические меры различных опасных явлений также должны быть комплексными и взаимоувязанными.

В основу применяемых на шахтах методов борьбы с газовой и пылевой опасностью заложен принцип управления свойствами и состоянием угольного массива за счет гидродинамических способов воздействия на угольный массив, но эффективность этого метода остается недостаточно высокой из-за неравномерности распределения нагнетаемой жидкости в пласте и низкой смачиваемости угля.

Для повышения равномерности и эффективности увлажнения угольного массива предлагается использовать для нагнетания в массив газонаполненные растворы поверхностно-активных веществ. Способ включает бурение скважин, их герметизацию, растворение в воде газа, например, азота, с концентрацией от 0,3 до 1%, добавление в водогазонаполненный раствор (пенообразователя) поверхностно-активного вещества, например, «Неоласа», с концентрацией от 0,05 до 5% в объеме удельного расхода жидкости при предварительном увлажнении угольных пластов (от 10 до 30 л/т) и нагнетание в скважину полученной рабочей жидкости под давлением от 1,5 МПа до 30 МПа.

После насыщения в течение 24 – 96 ч массив разрушают, например, рабочим органом комбайна, и орошают водой (по типу форсунки), после чего высвобожденный газ и метан взаимодействуют с пенообразователем и образуют воздушно-механическую пену, которая изолирует отбитый уголь в объеме разрушенной горной массы, снижая пылегазовыделения в атмосферу горной выработки. Повышение интенсивности выемки угля приводит к возрастанию доли газовой выделению из отбитого угля. Использование газонаполненных растворов ПАВ позволяет блокировать выделение газа и пыли как с обнаженной поверхности разрабатываемого пласта, так и из отбитого угля.

Таким образом, для борьбы с пылевой и газовой опасностью в угольных шахтах, реализующихся, как правило, комплексно и синергетически (усиливающих друг друга), экспериментально обоснованы параметры комплексного способа увлажнения угольного массива газонаполненными растворами ПАВ, применение которых обеспечит существенное снижение взрывоопасности подземной добычи угля.

## **2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

Проведены шахтные исследования динамики запыленности на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», в результате которых были установлены места с наиболее высокой запыленностью и даны рекомендации по ее снижению;

Проведен анализ эффективности применяемых на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» методов, способов и средств обеспечения снижения запыленности, который показал, что заявленная эффективность пылеподавления при использовании смачивателя «Эльфор-М» 93-99% не достигается в реальных условиях;

Проведены исследования дисперсного состава пылевого аэрозоля и его динамики на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», в результате которых было установлено на каких шахтах пылевой аэрозоль исходя из содержания в нем респираторных и торакальных фракций наиболее вреден (в плане риска развития пылевых бронхитов и пневмокозиозов)

Предложена современная методика расчета пылевой нагрузки, использование которой позволит своевременно провести превентивные мероприятия по снижению риска развития пневмокозиозов и пылевых бронхитов у рабочих.

## Геомеханика

Выполнены исследования влияния компенсационного нагнетания при строительстве подземных сооружений различной конфигурации, сооружаемых закрытым способом работ, в условиях плотной городской застройки. Установлен положительный эффект от применения компенсационных мероприятий. Изучены основные положения проектирования системы компенсационного нагнетания. Установлены основные параметры, определяющие эффективность компенсационного нагнетания с точки зрения контроля за развитием деформаций земной поверхности. С учетом установленных контролирующих параметров выполнена постановка задачи и разработан ряд плоских и пространственных численных моделей с целью установления степени влияния контролирующих параметров на ожидаемые деформации земной поверхности. Выполнены расчеты оседания земной поверхности при различном сочетании контролирующих параметров. На основании выполненных исследований сформулированы основные теоретические положения расчета деформаций земной поверхности с учетом компенсационного нагнетания. Установлены отдельные закономерности формирования деформаций породного массива и оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений с применением компенсационного нагнетания. Разработанные численные модели позволяют учесть помимо основных параметров, контролирующих изменение напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности подземного сооружения (геометрические параметры подземного сооружения, принятый способ строительства, инженерно-геологические условия), дополнительные параметры, характеризующие механическое воздействие компенсационного нагнетания (фактическое положение участка нагнетания раствора, площадь непосредственного воздействия на породный массив, объем нагнетаемого раствора, момент выполнения компенсационного нагнетания).

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения устойчивости лба забоя тоннеля является изменение механических характеристик породного массива впереди лба забоя. В работе в качестве способа изменения механических характеристик породного массива предложено передовое крепление лба забоя тоннеля стеклопластиковыми анкерами или их аналогами, которые получили широкое распространение на практике. Новизна, представленная в работе, заключается в разработке методики определения параметров передового крепления лба забоя тоннеля анкерами как элемента малоосадочной технологии строительства подземных сооружений. В работе выполнена классификация параметров передового крепления, характеризующих его влияние на совокупную жесткость системы «породный массив – анкера». Разработан алгоритм выбора параметров передового крепления с целью обеспечения минимально допустимых продольных деформаций лба забоя. За контролирующей параметр на глобальном уровне приняты пластические составляющие деформаций в общей величине продольных деформаций лба забоя тоннеля, а на локальном уровне – возникновение локальных зон предельного состояния между анкерами, формирующими передовое крепление. Разработан алгоритм выбора оптимальной схемы размещения анкеров в поперечном сечении подземного сооружения. Расчетные положения предложенных алгоритмов выбора оптимальных параметров передового крепления по фактору развития продольных деформаций поверхности лба забоя реализованы в виде набора расчетных моделей, которые позволяют в явном виде задавать основные стадии строительства подземного сооружения, установку передовой анкерной крепи и постоянной обделки. Разработанная методика апробирована на примере строительства станционных тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена.

Создан набор методологических подходов и представлены практические рекомендации, позволяющие повысить достоверность прогноза развития геомеханических процессов при строительстве подземных сооружений под защитой компенсационного нагнетания и с предварительным армированием лба забоя передовым анкерным креплением.

## Горная экология

Определено защитное действие ингибиторов коррозии, произведены тестирование и адаптация реагентов для глушения скважин. Полученные результаты лабораторных физико-химических исследований позволят повысить эффективность эксплуатации систем поддержания пластового давления и нефтесбора, в условиях, осложненных процессами коррозии. Выяв-

лены зависимости реологических свойств нефти от температуры и фильтрационно-емкостные параметры образцов керна, позволяющие обосновать методы вовлечения в разработку трудно-извлекаемых запасов углеводородов месторождения Самарской области. Анализ полученных в работе результатов лабораторных экспериментальных исследований, проведенных для условий месторождений сверхвязкой нефти Самарской области, позволит повысить эффективность работы добывающих скважин, что в итоге обеспечит наиболее полное извлечение нефти из недр. Дополнительно проведены аналитические исследования проб сточных, пластовых вод и твердых отложений.

Проведены исследования состава и свойств наполнителей для фильтров тонкой очистки нефтесодержащих стоков в соответствии. В качестве объектов исследования выступали нефтесорбенты, которые предполагается использовать в качестве наполнителей для фильтров тонкой очистки нефтесодержащих вод месторождений ООО «Газпром нефть шельф». Цель работы заключалась в комплексном исследовании сорбентов для фильтров тонкой очистки современными методами анализа. К определяемым показателям были отнесены: прочность при истирании, насыпная плотность, адсорбируемость воды, адсорбция нефтепродуктов, адсорбционная активность, удельная площадь поверхности, общее содержание углерода, время насыщения до предельной величины (полное насыщение), удерживающая способность, плавучесть, рН водной вытяжки, влажность, твердость по шкале Мооса. Кроме этого, одной из поставленных задач стало моделирование процесса очистки нефтесодержащих стоков с использованием исследуемых сорбентов в лабораторных условиях. В результате исследований впервые был использован комплексный подход в изучении состава и свойств наполнителей для фильтров тонкой очистки нефтесодержащих вод отечественного производства. Полученные результаты на фоне расширения рынка потенциальных поставщиков ореховой скорлупы позволят улучшить качество подготовки воды за счет подбора эффективного наполнителя для фильтров.

Разработан новый способ рекультивации хвостохранилищ. Изобретение относится к области охраны окружающей среды и может быть использовано для изоляции поверхностей хвостохранилищ, слагающихся из токсичных отходов, с целью восстановления нарушенных земель. Способ включает проведение в первый год технического этапа рекультивации путем создания изоляционного дренажного слоя, нанесение искусственного субстрата, а на второй год после усадки искусственно-созданного грунта проводят биологический этап рекультивации, производят подсыпку искусственного субстрата и посев семян травосмеси многолетних низовых злаков. На техническом этапе формируют песчаногравийную прослойку, затем укладывают геосинтетический материал, наносят искусственно-созданный субстрат, изготовленный из плодородного грунта, включающий сапрпель, активный ил и старику, а биологический этап рекультивации осуществляют посевом семян травосмеси многолетних низовых злаков и вносят природную древесную мульчу методом гидропосева. Способ рекультивации хвостохранилищ помогает минимизировать ресурсные затраты на проведение работ и высокую эффективность данного способа, которая подтверждена результатами пылевых и лабораторных исследований.

Разработан уникальный способ очистки сточных вод и фильтр для его использования. Изобретение в металлургической и горнодобывающей промышленности для очистки сточных и шахтных вод от ионов молибдена. Для осуществления способа проводят обработку реагентом-отходом производства, в качестве которого используют железосодержащий суглинок с содержанием железа от 2 до 20% или отход металлообработки в виде стружки нелегированной стали с содержанием железа от 45 до 85%, предварительно обработанные серной кислотой с концентрацией от 0,01 до 0,1 Н в течение от 0,5 до 1 часов с последующим отстаиванием в течение от 16 до 24 часов. Полученную сорбционную пасту или сорбент вводят в сточную воду, постоянно перемешивают в течение 50 мин, затем отстаивают в течение от 3 до 5 часов и удаляют осадок. Изобретение позволяет с высокой степенью очистки: до 95-99% удалять из сточных вод ионы молибдена с использованием природных материалов и отходов производства с высоким содержанием железа. Фильтр для очистки сточных вод от ионов молибдена, состоящий из корпуса с входом и выходом, ограниченный двумя слоями фильтрующего материала. Корпус выполнен в виде цилиндрического резервуара и жестко закреплен на опоре, в нижней части резервуара сделаны технологические отверстия, через которые установлена труба из хими-

чески стойкого полиэтилена, например двухслойная гофрированная труба, на конце которой установлен универсальный переходник из химически стойкого полиэтилена низкого давления с резиновыми прокладками, в качестве фильтрующих материалов используются предварительно обработанные металлические отходы из нелегированной стали с удельной площадью поверхности от 20 до 50 см<sup>2</sup>/г, например, окисленная стружка нелегированной стали, и кварцевый песок с диаметром частиц от 1 до 2 мм в соотношении 1:2,5 по массе, на крышке цилиндрического резервуара закреплена подставка, на которую установлен при помощи болтовых соединений насос пескопромывателя, соединенный с резервуаром пескопромывателя и эрлифтом, расположенным в толще резервуара, снабженным воронкой с решеткой, а к пескопромывателю с обоих устройств.

### Геотехнология

Разработана технологическая схема формирования демонтажной камеры очистным механизированным комплексом. Проведен комплекс исследований, включающих: шахтные наблюдения за изменениями давления в гидростойках механизированной крепи с использованием аппаратуры Marco, численные исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестностях демонтажной камеры при ее различном расположении относительно трещины обрушения основной кровли, анализ эффективности применяемых технологических схем монтажно-демонтажных работ.

Реализация технологической схемы предусматривает следующую последовательность выполнения работ: определение рационального места расположения демонтажной камеры на основе данных о фактическом шаге обрушения основной кровли с использованием данных о давлении в гидростойках механизированной крепи (полученных, например, с применением аппаратуры фирмы Marco), прогнозирование места расположения демонтажной камеры непосредственно за трещиной обрушения основной кровли и формирование демонтажной камеры с учетом прогнозного места расположения с использованием полимерной сетки увеличенной длины, что обеспечивает условия для эффективного формирования демонтажной камеры за трещиной обрушения даже в случае несоответствия прогнозного и фактического шагов обрушения основной кровли.

Технологическая схема формирования демонтажных камер очистными механизированными комплексами обеспечивает повышение эффективности и безопасности ведения монтажно-демонтажных работ за счет сокращения сроков формирования демонтажной камеры, продолжительности проведения монтажно-демонтажных работ и исключения внеплановых простоев высокопроизводительного очистного оборудования, что достигается благодаря повышению устойчивости кровли и бортов демонтажной камеры.

Разработаны **технологические схемы интенсивной разработки свит газоносных угольных пластов**. Технологические схемы разработаны в результате проведения комплекса исследований, включающих: шахтные наблюдения за изменением газовыделения на выемочных участках при интенсивной отработке запасов газоносных угольных пластов, численные исследования аэрогазодинамических процессов с использованием разработанных трехмерных моделей выемочных участков, анализ технико-экономических показателей применения различных схем управления газовыделением и изменении их параметров.

Разработанные технологические схемы основаны на применении при разработке свит газоносных угольных пластов длинных очистных забоев, оснащенных современными высокопроизводительными очистными комплексами, комбинированной схемы проветривания выемочных участков с изолированным отводом метановоздушной смеси на заднюю вентиляционную сбойку с применением газоотсасывающих вентиляторов, и дегазации выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности.

Применение технологических схем интенсивной разработки свит газоносных угольных пластов обеспечивает повышение эффективности и безопасности горных работ при отработке запасов газоносных угольных пластов с рекордной для угледобывающей отрасли производительностью лавы благодаря частичному или полному снятию ограничений нагрузки на очистной забой по газовому фактору (целесообразность полного снятия ограничений определяется величиной затрат на управление газовыделением) за счет повышения эффективности дегазации

и изолированного отвода на основе применения рациональных параметров подготовки выемочных участков и изолированного отвода метановоздушных смесей (сокращения расстояния между вентиляционными сбоями) и рациональных параметров схем дегазации выработанного пространства с использованием дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности.

### **Экономика освоения ресурсов**

**Разработан метод оценки уровня повышения эффективности операционной деятельности газораспределительных организаций (ГРО) на основе инструментария бенчмаркинга.**

Выявлен новый вид риска – риск монопольного регулирования, в условиях которого функционируют ГРО; определены регулируемые параметры, источники, виды и значимость.

Модифицирована группировка факторов, отрицательно влияющих на повышение эффективности деятельности ГРО, с выделением следующих групп: финансовых, технологических и эксплуатационных, организационных, мотивационных, природноклиматических, информационных и институциональных.

Сформулированы три группы принципов стимулирующего регулирования субъектов естественных монополий: принципы устойчивого развития; принципы экономической эффективности и принципы защиты интересов всех субъектов внутреннего рынка газа, в частности, газораспределения.

Предложен алгоритм внедрения механизма стимулирующего регулирования деятельности ГРО, включающего инструментарий бенчмаркинга и эконометрическое моделирование. Разработана модель оценки операционных затрат ГРО с использованием параметрических методов для повышения эффективности государственного регулирования.

**Разработан методический подход к обоснованию управленческих решений по повышению эффективности геологоразведочных работ в золоторудных компаниях с учетом динамической оценки инвестиций.**

Уточнены категории «минеральный актив» и «минерально-сырьевой потенциал», и выявлена их взаимосвязь с показателями инвестиционной привлекательности горной компании.

Определены и систематизированы факторы геологического риска, выявлены его взаимосвязи с другими проектными рисками и разработана схема учета геологического риска в оценке стоимости горного проекта.

Предложен вариант применения интервального метода для учета геологических рисков горного проекта, позволяющий избежать дискретности значений при сценарной оценке проектов данного типа, снизить практическую сложность моделирования, а также оперировать величиной остаточного риска проекта.

Разработана концепция оптимизации планирования, организации и финансирования ГРП по этапам и стадиям, основанная на теории управления информационными потоками предприятия.

Предложена модель последовательных приближений к оптимальному объему инвестирования в ГРП с использованием критериев «минимум прироста затрат на ГРП» и «минимум остаточного риска», основанная на инструментах предельного анализа.

**Усовершенствованы методы оценки рисков при обосновании экономической эффективности золоторудных инвестиционных проектов в условиях специфических факторов.**

Сформирован реестр проектных рисков в золотодобывающей отрасли на различных стадиях реализации инвестиционных проектов с уточнением предпосылок и возможных последствий проявления рисков.

Предложен и обоснован комплексный подход к оценке проектных рисков в золотодобывающей отрасли, предполагающий сочетание методов имитационного моделирования и корректировки ставки дисконта в зависимости от характера влияния риск-факторов на показатели золоторудного проекта

Разработан методический подход к расчету надбавки за риск, при корректировке ставки дисконта, для случаев косвенного влияния риск-факторов на результирующие показатели проекта.

Предложен инструментарий учета корреляционных связей между риск-факторами и технико-экономическими показателями инвестиционного проекта, позволяющий повысить достоверность результатов применения метода имитационного моделирования (Монте-Карло).

**Разработан методический подход к формированию рыночного механизма использования возобновляемых энергетических ресурсов в горнопромышленном комплексе в условиях институциональных изменений, направленных на сокращение эмиссии парниковых газов.**

Систематизированы факторы, условия и предпосылки, обосновывающие возможность и экономическую целесообразность применения возобновляемых энергетических ресурсов в регионах России, обладающих высоким потенциалом использования альтернативной энергетики и значительной концентрацией предприятий горнопромышленного комплекса.

Предложен рыночный механизм регулирования углеродного рынка, как базовая часть экономического механизма использования возобновляемых энергетических ресурсов, обосновывающий варианты налоговых сборов за выбросы парниковых газов, и разработан алгоритм ускоренного перехода предприятий к низкоуглеродной энергетике, стимулирующий, в том числе, развитие возобновляемой энергетики.

Разработана технико-экономическая модель оценки целесообразности использования возобновляемых энергетических ресурсов в горнопромышленном комплексе на основе сценарного подхода, предполагающего введение налога на углекислый газ и изменений прогнозных параметров величины капитальных и эксплуатационных затрат внедрения систем альтернативной энергетики.

На основе анализа мирового опыта углеродного регулирования, посредством введения налога на CO<sub>2</sub>, выявлена преимущественно устойчивая тенденция роста доли установленной мощности возобновляемых источников энергии в энергетических балансах анализируемых стран.

Предложен комплекс технико-экономических показателей, специфичных для реализации проектов по энергообеспечению удаленных предприятий горнопромышленного комплекса с использованием возобновляемых энергетических ресурсов, и определены их критические значения.

## **2.22. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДФУ)**

**Геомеханика.** Продолжены теоретические и экспериментальные исследования в области разработки теории геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов.

Лаборатория «Геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов» Инженерной Школы ДВФУ, созданная совместно с ИПМ ДВО РАН, получила первые результаты:

1. Выигран Международный Грант по направлению прикладных исследований в области снижения рисков катастрофических последствий геодинамических явлений Программы ФЦПР БРИКС.

2. Опубликованы 6 статей в высокорейтинговых рецензируемых журналах (базы WebofScience&Scopus).

3. Защищена 1 диссертация к.т.н. (Голосов А.М.)

4. Новыми членами Международных Научных Организаций стали 2 человека: Общество Механики Горных Пород и Геотехники (ISRM).

Основные результаты исследований сводятся к следующему. Разработана математическая модель сильно сжатых горных пород и массивов, отличающаяся учетом условий несовместности деформаций и иерархичности процессов разрушения блочной геосреды. Разработаны методы и подходы постановки и решения задач механики сплошных сред с дефектами о деформировании сильно сжатых горных пород в образце и массиве, заключающиеся в том, что горная порода в состоянии сильного сжатия моделируется сплошной средой с неевклидовой метрикой, а параметры модели определяются в процессе специальных экспериментов, соответствующих условиям формирования и развития мезотрещинных структур каждого иерархического уровня геосреды. Показано, что результаты моделирования имеют место полное качественное и удовлетворительное количественное соответствие данным натурных и лабораторных



экспериментальных исследований. Разработан многоканальный деформационно-геоакустический метод надежного обнаружения очаговых областей подготовки геодинамических явлений.

Сформулированы предмет, метод и принципы геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов, а также сделаны доклады на Международной конференции по этой проблеме в г. Хабаровск.

**Строительство подземных сооружений.** 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.

**Подземная газификация угля.** Научной группой ДВФУ (Белов А. В., Гребенюк И. В., Андреев А. В.) продолжаются теоретические исследования в области подземной газификации угля (ПГУ). Актуализированы исследования подземной газификации углей на современном этапе. В рамках создания геоэкологических основ создания ресурсосберегающей технологии ПГУ выполнена актуализация теоретического обоснования применения пульсирующего дутья в технологии ПГУ в едином комплексе с утилизацией избыточного тепла в газоотводящих скважинах. Выполнено теоретическое обоснование использования подземных газогенераторов в качестве пролонгированных реакторов по утилизации твердых бытовых отходов, а также отходов углеобогачительных фабрик.

**Обогащение и глубокая переработка георесурсов.** Продолжилось проведение исследований бурых углей и торфа в качестве основных исходных материалов экстракции для получения угольных и торфяных гуматов.

Исследования проводились на основе бурых углей и торфов Юга Приморья в качестве основных исходных материалов экстракции.

По результатам испытаний выявлено, что более предпочтительными для производства органоминеральных удобрений являются торфяные гуматы, благодаря более высокому выходу гуминовых веществ и меньшему расходу щелочных реагентов. Такие гуматы способствуя лучшему усвоению элементов питания почвы сельскохозяйственными культурами, повышают устойчивость их к неблагоприятным условиям произрастания, особенно в начальный период развития растений.

Полученные результаты испытаний угольных и торфяных гуматов, в том числе с биологическими добавками показали, что торфяные гуматы показали более высокие результаты роста, энергии роста, массы и другие параметров, таких, как сопротивляемость болезням (инфицирование листьев растений бактериями, грибами и тлей).

Эксперименты проводились на базе тепличных крестьянских хозяйств Юга Приморья по выращиванию огурцов в защищённом грунте.

Полученные результаты опубликованы в специальных выпусках ГИАБ в конце 2018 года.

## **2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### ***Кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений***

В 2018 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».

За кафедрой закреплено 26 аспирантов очной и заочной формы обучения и 1 докторант. Руководство аспирантурой осуществляют 6 докторов наук. Подготовка кадров высшей квалификации на кафедре ведется по четырем направлениям и пяти профилям: направление 05.06.01 «Науки о земле», профиль 25.00.36 «Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 15.06.01 «Машиностроение», профиль 05.05.06 «Горные машины»; направ-

ление 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 2018 году при поддержке Стратегической программы развития инжиниринговых центров Минобрнауки РФ в Тульском государственном университете создан Инжиниринговый центр «Машины и оборудование для горнодобывающей отрасли» как структурное подразделение ТулГУ. Численность штатных сотрудников в количестве 22 человек, в том числе инженерно-технического персонала в количестве 13 человек, а также численность сотрудников в возрасте до 35 лет достигнута в отчетном году. Численность сотрудников, для которых центр является основным местом работы, в настоящее время составляет 12 человек.

При достижении текущих значений ключевых показателей реализации проекта в рамках Инжинирингового центра ТулГУ, а также при выполнении ряда хозяйственных и госбюджетных тематик и подготовке диссертационных работ были проведены комплексные исследования, общие результаты которых сводятся к следующему.

1. Натурное обследование крепи стволов Усть-Яйвинского рудника, лабораторные исследования чугуна тюбингов и бетона бетонной крепи с податливым слоем в соляном пласте, анализ и обобщение базы данных по проекту, по конструкциям стволов и технологии их проведения, а также математическое моделирование напряженно-деформированного состояния крепи позволили уточнить закономерности проявления горного давления и обосновать условия замены разрушенных тюбингов скипового ствола №1 и клетьевого ствола №2. Моделирование выполнено аналитическим и численным методом. Объектом моделирования являлось тюбинговое кольцо №166 клетьевого ствола №2, где необходимо провести замену разрушенных тюбингов в первую очередь. Получены прогнозные оценки горного давления, проведена оценка физико-механических свойств существующей крепи и конструкции крепи стволов.

2. Обоснованы параметры гидравлического разрушения пластов угля слоевой структуры на основе установленных зависимостей отжима угля и производительности гидромониторной выемки от природных и горнотехнических факторов, имеющих существенное значение для повышения производительности и безопасности добычи угля.

3. Установлены новые и уточнены известные закономерности фильтрационного и диффузионного переноса газов в горных массивах, низкотемпературного окисления полезного ископаемого, турбулентной диффузии газообразных примесей в атмосфере угольных шахт и рудников, а также вертикальной миграции газов выработанных пространств после ликвидации шахт, для прогнозирования газовых ситуаций, достоверного расчета количества воздуха и разработки технологических решений, обеспечивающих безопасность горных работ.

4. Уточнены закономерности диффузионного переноса загрязняющих веществ в шахтных водах при их движении в фильтрах-дезинфектантах, что позволяет повысить эффективность очистки шахтных вод в системах шахтного водоотлива на территориях действующих и ликвидированных шахт.

Исследования по пункту 1 относятся к области *строительной геотехнологии и геомеханики*. Основные выводы заключаются в следующем.

1.1. Технологические и конструктивные особенности скипового ствола №1 и клетьевого ствола №2 Усть-Яйвинского рудника обусловлены тем, что при сооружении этих стволов должна обеспечиваться полная гидроизоляция соляного массива от водоносных горизонтов, что достигается использованием комплекса специальных технических мероприятий.

1.2. Вскрытие калийных пластов на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей осуществляется проходкой вертикальных стволов с замораживанием пород водоносных горизонтов, тщательным тампонажем пространства между крепью и массивом пород, устройством специальных гидроизолирующих замков (кейлькранцев), использованием на участке залегания водоносных горизонтов чугунной тюбинговой крепи с герметизацией всех соединений и рядом других мер.

1.3. Бетонный слой чугунно-бетонной крепи, по проекту должен быть выполнен из бетона марки В35. Под нагрузкой бетон ведет себя иначе, чем другие упругие материалы. Конгломератная структура бетона определяет его поведение при возрастающей нагрузке осевого сжатия. Область условно упругой работы бетона – от начала нагружения до напряжения сжатия, при котором по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины.

1.4. Опыты подтвердили, что при небольших напряжениях и кратковременном воздействии для бетона характерна упругая деформация, подобная деформации пружины. Модуль упругости бетона возрастает при увеличении прочности и зависит от пористости. Увеличение пористости бетона сопровождается снижением модуля упругости;

1.5. Обоснованы математические модели движения и уравнение равновесия деформируемых горных пород, бетона или чугуна.

1.6. Теоретическое обоснование оценки критических деформаций и нормальных тангенциальных напряжений в бетонной крепи стволов Усть-Яйвинского рудника ПАО «Уралкалий» при замене разрушенных тюбингов реализовано при следующих допущениях: все элементы конструкции соединены неразрывно; до наступления разрушения бетон представляет собой квазиплоскую однородную среду; разрушение бетона приводит к образованию блочной системы, которая под внешними воздействиями деформируется как целое структурное образование, т.е. разрушенный материал находится в консолидированном состоянии. Для описания процесса разрушения хрупких материалов, таких как бетон, целесообразно использовать модели прочности Вилама-Варнке и Базанта.

1.7. Коэффициент запаса прочности для бетона класса В20 составляет 1,61 в кольце №166 при наличии тюбингов. Марка чугуна тюбингов влияет на величину коэффициента запаса прочности и с увеличением предела прочности чугуна увеличивается коэффициент запаса прочности. Однако влияние марки чугуна тюбингов оказывается не настолько существенным, чтобы обеспечить сохранение несущей способности тюбингов при нарушении технологии искусственного размораживания ледопородного ограждения.

1.8. Обнажение бетонного слоя чугунно-бетонной крепи существенно снижает коэффициент запаса прочности бетонной крепи. При этом коэффициент запаса прочности обнаженной бетонной крепи всегда меньше 1, а, следовательно, будет происходить процесс разрушения бетона в форме трещинообразования. Так, при демонтаже одного тюбинга он снижается до 0,44; при демонтаже двух тюбингов он снижается до 0,23; при демонтаже трех тюбингов снижается до 0,11; при демонтаже четырех тюбингов снижение составляет до 0,07; при демонтаже сразу пяти тюбингов снижение происходит до 0,06.

При демонтаже одного тюбинга примерно через 60 часов после начала демонтажа тюбинга в бетонном слое начинается трещинообразование. Через 65 часов после начала демонтажа трещинообразование становится интенсивным. Через 75 часов после начала демонтажа тюбинга начинается разрушение бетонного слоя на внутреннем контуре.

При демонтаже двух тюбингов примерно через 29-30 часов после начала демонтажа тюбинга в бетонном слое начинается трещинообразование. Через 31 час после начала демонтажа трещинообразование становится интенсивным. Через 34 часа после начала демонтажа тюбинга начинается разрушение бетонного слоя на внутреннем контуре.

При демонтаже трех тюбингов примерно через 27-28 часов после начала демонтажа тюбинга в бетонном слое начинается трещинообразование. Через 30 часов после начала демонтажа трещинообразование становится интенсивным. Через 35 часов после начала демонтажа тюбинга начинается разрушение бетонного слоя на внутреннем контуре.

При демонтаже четырех тюбингов примерно через 26-27 часов после начала демонтажа тюбинга в бетонном слое начинается трещинообразование. Через 31 час после начала демонтажа трещинообразование становится интенсивным. Через 35 часов после начала демонтажа тюбинга начинается разрушение бетонного слоя на внутреннем контуре.

Длительность безопасного технологического периода при замене одного тюбинга составляет 60 ч, при одновременной замене двух тюбингов 29 ч, при одновременной замене трех тюбингов 27 ч, при одновременной замене четырех тюбингов 26 ч, при одновременной замене пяти тюбингов 25 ч.

1.9. Результаты вычислительных экспериментов показывают, что максимальные значения нормальных тангенциальных напряжений в бетонной крепи имеют место по периметру

внутреннего контура. Напряжения в бетонном слое крепи значительно зависят от класса бетона. Так, при классе бетона В35 нормальные тангенциальные напряжения в бетонном слое составляют 13,33 МПа, а при классе бетона В20 – 18,28 МПа.

1.10. Трещинообразование и разрушение бетонного слоя крепи целесообразно представлять в виде индикаторных диаграмм, отражающих процессы, протекающие в бетонном слое в различные периоды времени. Индикаторные диаграммы следует использовать при мониторинге динамики деформаций и нормальных тангенциальных напряжений в бетонной крепи клетчатого и скипового стволов Усть-Яйвинского рудника ПАО «Уралкалий» при замене разрушенных тюбингов для определения критического периода времени, обеспечивающего безаварийную замену тюбинговых сегментов. Мониторинг сводится к определению фактического времени существования поверхности обнажения для рассматриваемой бетонной крепи и сравнению его значения с критическим периодом времени, обеспечивающий безаварийную замену тюбинговых сегментов. Критический период времени, обеспечивающий безаварийную замену тюбинговых сегментов, зависит от количества одновременно снимаемых тюбинговых сегментов. Рекомендуемая система мониторинга должна войти в проект производства работ. Очевидно, что мониторинг критического периода времени, обеспечивающего безаварийную замену тюбинговых сегментов, является главным элементом системы, а другие системы контроля будут носить вспомогательный характер. Для оперативной передачи информации целесообразно использовать персональные мобильные системы. Количество одновременно заменяемых тюбинговых сегментов определяется проектом производства работ, но наиболее безопасной будет технология последовательной замены по одному тюбинговому сегменту.

Исследования по пункту 2 относятся к области *подземной геотехнологии, геомеханики и разрушения горных пород*. Основные выводы заключаются в следующем.

2.1. Установлено, что теоретическая производительность гидравлического разрушения для мощных и наклонных угольных пластов слоевой структуры с пологим и крутым залеганием отклоняется от фактической в 1,5-3,5 раз и более, что связано с отжимом пород горного массива и формированием негабаритов, а коэффициент негабаритов зависит от ширины желоба и мощности пласта и находится в диапазоне для пологих пластов  $K_n = 0,03-0,07$  при  $\alpha = 10-18^\circ$  и  $m = 1,8-2,5$  м и для крутых  $K_n = 0,30-0,65$  при  $\alpha = 60-80^\circ$  и  $m = 4,0-20,0$  м.

2.2. Исследования процесса отжима пород горного массива показали наличие первой и второй зон отжима, развитие и размеры которых нелинейно зависят от объема пустот в отжатом слое, между крепью и горным массивом, давления и расхода воды, прочности породных прослоек угольного пласта, предела прочности крепи и коэффициента слоевой структуры, влияющих на производительность гидравлического разрушения.

2.3. Модели процесса формирования первой и второй зон отжима горных пород, размеры которых колеблются в широких пределах, позволили обосновать зависимости: коэффициента деформации крепи от текущего опорного горного давления и объемов пустот в отжатом слое, между крепью и горным массивом; коэффициента деформации крепи от горного давления экспериментального коэффициента деформации крепи; размеров зон отжима от координат объемов пустот; коэффициента сжатия отжатых пород и их прочности от текущего опорного давления; приведенного объема отжатого угля по периметру подэтажного штрека в зоне выемочного участка с развитым горным давлением от приведенного объема пустот между поверхностью деревянной рамной крепи и поверхностью угольного массива.

2.4. Методика расчета параметров производительности гидравлического разрушения учитывает размеры первой и второй зон отжима горных пород, наличие и отработку межблокового целика и позволяет обосновывать рациональные параметры технологической схемы выемки угля.

Исследования по пункту 3 относятся к области *рудничной аэрогазодинамики* и обеспечения *аэрологической безопасности* при *подземной геотехнологии*. Основные выводы заключаются в следующем.

3.1. Натурные наблюдения и вычислительные эксперименты наглядно свидетельствуют о том, что именно содержание газовых примесей в шахтном воздухе является главным показателем газовой опасности, а прогнозная оценка аэрологической безопасности основывается на

определении среднего содержания рассматриваемых газовых примесей в вентиляционных струях.

3.2. Процесс движения газа в горном массиве, состоящим из пористых сорбирующих пород, описывается обобщенным законом фильтрации, поэтому выделения метана с поверхности обнажения угольного пласта адекватно моделируются линейаризованным дифференциальным уравнением гиперболического типа.

3.3. Установлено, что полиномиальная аппроксимация безразмерных значений выделения метана с поверхности обнажения угольного пласта обеспечивает значение корректирующего отношения, близкое к единице, для периодов времени, соответствующих технологическим периодам проведения подготовительных выработок.

3.4. Содержание взрывчатых и токсичных газов, а также концентрация кислорода в рудничной атмосфере представляют собой нестационарные поля скалярных величин, которые стремятся к установившемуся продольному профилю средней концентрации, характеризующему пространственное распределение максимального содержания взрывчатых и токсичных газовых примесей, и минимального содержания кислорода. Следовательно, динамический метод расчета количества воздуха основывается на решениях уравнений стационарной конвективно-турбулентной диффузии с источником, характеризующим наиболее опасные режимы газообмена в горных выработках.

3.5. Разработан алгоритм моделирования режима функционирования для вентиляторов местного проветривания, который основывается на расчетных значениях аэродинамического сопротивления сети с учетом утечек воздуха и высокоточной аппроксимации рабочих характеристик вентиляторов алгебраическими функциями. Этот метод может использоваться и для вентиляторов главного проветривания шахт и рудников.

3.6. Газообмен породных блоков и фильтрационных транспортных трещин в зоне беспорядочного обрушения выработанного пространства очистного участка учитывается смешанной производной третьего порядка от давления метана в трещинах, поэтому выделение метана при подработке горного массива может иметь экстремальные значения на начальном интервале выделения метана из вмещающих пород.

3.7. Выделение метана из пластов-спутников обусловлено геомеханическим воздействием очистных работ на все вмещающие породы выемочного столба и происходит менее динамично по сравнению с выделением метана из вмещающих пород.

3.8. Угольные пласты Подмосковского угольного бассейна и их вмещающие породы могут содержать уран в высоких концентрациях, а подземные воды могут содержать большое количество растворенного радона, поэтому и угольные пласты, и вмещающие породы, и подземные воды являются источниками выделения радона в горные выработки шахт. Для геологических условий юго-западной части Подмосковского угольного бассейна наибольшее количество воздуха для проветривания очистных и подготовительных участков соответствует радонному фактору.

3.9. Доказано, что аэрологическая безопасность при подземной добыче полезных ископаемых основывается на ситуационном моделировании и прогнозных оценках нестационарных и установившихся полей концентраций для взрывчатых и токсичных примесей, а также содержания кислорода в шахтном воздухе. При этом взрывобезопасное и безвредное состояния рудничной атмосферы обеспечиваются подачей воздуха, количество которого определяют динамическим методом на основе уравнений стационарного конвективно-диффузионного переноса рассматриваемых примесей и кислорода.

3.10. Процессы газообмена горного массива с рудничной атмосферой в очистных камерах рудников удовлетворительно моделируются на основе решений линейаризованных уравнений фильтрационно-диффузионного переноса с источником, отражающим динамику сорбционного обмена между веществом горного массива и рассматриваемыми газовыми компонентами.

3.11. В периоды экстренного газовыделения из выработанных пространств в углекислообильных шахтах, обусловленного резким снижением статического давления воздуха в шахтах, необходимо подавать дополнительное количество воздуха на подготовительные и очистные участки, примыкающие к выработанному пространству. Дополнительное количество воз-

духа может достигать 90 % от расчетного значения при стабильном статическом давлении воздуха в шахте.

3.12. После закрытия шахт продолжаются аэрогазодинамические процессы, оказывающие отрицательное воздействие породных отвалов и выработанных пространств на атмосферу, водные ресурсы и почву. Разработана принципиальная схема информационной технологии обмена информацией по прогнозу последствий, обусловленных аэрогазодинамическими и теплофизическими процессами после ликвидации нерентабельных шахт, которая связана с конкретными технологиями управления в технологической системе добычи угля и ликвидации шахты.

Исследования по пункту 4 относятся к области *геоэкологии (в горно-перерабатывающей промышленности)*. Основные выводы заключаются в следующем.

4.1. Разработана математическая модель диффузионного переноса загрязнений при прохождении шахтной воды через фильтр очистки. Получены результаты вычислительного эксперимента, определяющие наличие зависимости эффекта очистки от константы скорости сорбции загрязнений и протяженности рабочего тела фильтрующего грузочного материала.

4.2. Вычислительный эксперимент для определения динамики плотности популяции, основанный на решении дифференциального уравнения логистического типа, показывает, что через определенное время наступает динамическое равновесие, при котором плотность популяции близка к емкости среды, зависящей от комплекса биотических и абиотических факторов. При этом для эффективного обеззараживания необходимо выполнение условия, при котором отношение емкости среды к начальной плотности популяции менее единицы.

4.3. Обосновано применение фильтрования и обеззараживания в одном инженерном устройстве – фильтре-дезинфектанте. На основе экспериментальных данных для определенных фильтрующих материалов найдены эмпирические формулы, с помощью которых устанавливается остаточная концентрация взвешенных веществ и величина биохимического потребления кислорода в фильтрате в зависимости от скорости фильтрования.

4.4. Кривые зависимостей концентраций загрязнений от скорости фильтрования показывают, что на выходе концентрация взвешенных веществ превышает величину биохимического потребления кислорода, что свидетельствует о вторичном повышении минерализации во время проведения дезинфекции в контактной камере. Это доказывает протекание процесса окисления органических загрязнений до минеральных в фильтре-дезинфектанте.

4.5. Для разработки экологически рациональных технологий очистки шахтных вод на базе существующих технологических схем предложена схема очистки с применением фильтров-дезинфектантов. Разработан алгоритм решения инженерных задач для определения основных технических параметров фильтра-дезинфектанта с учетом исходной и требуемой концентрации взвешенных веществ.

4.6. Получен патент на фильтр-озонатор, разработанный на основе фильтра-дезинфектанта. Устройство отличается тем, что контактная камера для обеззараживания шахтных вод расположена между верхним и нижним отделениями фильтрующей загрузки. Конструктивное решение способствует увеличению времени контакта озона с шахтной водой и повышает эффективность его использования.

Получены следующие научно-технические результаты:

- совместно с НП «Молодежный форум лидеров горного дела» и Фондом «Надежная смена» проведен отборочный тур 6-го Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» (Лига по горному делу); в отборочном туре приняли участие 5 команд из студентов кафедры; команда «Из недр Земли» кафедры ГиСПСТулГУ в финале Чемпионата (г. Москва) завоевала второе место, получены серебряные медали и дипломы, также командой были получены диплом в специальной номинации «ТОП-6 Лучших решений инженерного кейса» финала VI Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» и диплом Финансового университета при Правительстве Российской Федерации для финалиста VI Международного чемпионата «CASE-IN» в номинации «Лучшее финансово-экономическое решение Кейса»;

- проведена 4-я Международная конференция по проблемам рационального природопользования «Проблемы создания экологически рациональных и ресурсосберегающих технологий добычи полезных ископаемых и переработки отходов горного производства», 18-20 июня 2018 г.;
- изданы 8 монографий общим объемом 135,7 условно-печатных листов, 2 учебных пособия (27,6 усл.-печ. листов) и 5 сборников трудов объемом 211,6 усл.-печ. л. (4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о земле» и 1 сборник по результатам конференции); издание «Известия ТулГУ. Науки о Земле» включено в международную базу цитирования WebofScience;
- публикационная активность (исходя из рекомендованных рейтинговых показателей): количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus – 19 (по итогам последних двух лет); количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования WebofScience – 53 (по итогам последних двух лет); количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования РИНЦ – 90 (по итогам последних двух лет); количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования РИНЦ – 1215 (без учета самоцитирования); количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования Scopus – 480; количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования WebofScience – 276;
- подготовлены и защищены 1 докторская и 1 кандидатская диссертации;
- по результатам обучения в аспирантуре по направлениям 05.06.01 «Науки о Земле» и 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» подготовлены 4 аспиранта, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь»: 20 студентов кафедры приняли участие в Международных и Российских конкурсах и конференциях; получены 16 дипломов призеров конкурсов; опубликована 1 научная работа.

## **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 2018 году Уральским государственным горным университетом научно-исследовательские работы преимущественно относятся к отмеченным направлениям.

Структура финансирования выполненных работ: 65 % – по хозяйственным договорам с российскими предприятиями (увеличение на 17 % в сравнении с 2017 г.), 8 % – с зарубежными предприятиями; 2 % – по государственному заданию; 18 % – 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 пла-

новый 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 О-40-XXIX (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 О-40-XXIX (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 «Методология создания унифицированного ряда программно-технических средств регистрации сейсмических и аэрогазовых параметров горного массива в процессе ведения подготовительных и добычных работ»**

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**

Разработка технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Научно-методические и прикладные основы построения системы из унифицированного ряда программно-технических средств регистрации сейсмических и аэрогазовых параметров горного массива в процессе ведения подготовительных и добычных работ, предназначенной для решения задач контроля и расчета соотношения характерных параметров напряженно-деформированного состояния массива в так называемых «активном» и «пассивном» режимах. Опытнo-промышленный образец системы испытан в реальных условиях угольных шахт.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Результаты НИР планируется использовать при выполнении проектных работ по техническому перевооружению горных предприятий для внедрения сейсмических систем опережающего контроля текущего состояния устойчивости горного массива, контроля и прогноза внезапных выбросов и горных ударов.

### **3. Проект «Проведение инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий в рамках проекта «ПАО «Гайский ГОК»**

Тематика работ по данному проекту соответствует Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Рациональное природопользование».

Выполнение изысканий и проектных работ обеспечено членством ФГБОУ ВО «УГГУ» в СРО в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, а также



аккредитованными лабораториями физико-механических свойств и физико-химических методов анализа.

#### **Целевое назначение работ**

Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Выполнены инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-экологические и инженерно-гидрометеорологические изыскания.

Подготовлена проектная документация для строительства площадки под открытый склад для размещения продукта сгущения хвостов производственного цикла обогащения обогатительной фабрики ПАО «Гайский ГОК» и ограждающих дамб, установки насосной и пульпонасосной станций и других промышленных сооружений.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Полученные результаты проекта используются в качестве необходимой и достаточной информации о природных и техногенных условиях с детальностью, достаточной для разработки проектных решений.

### **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 «Технико-экономическая оценка применения циклично-поточной технологии при разработке угольного разреза и перспектива ее развития»**

Тематика работ по данному проекту соответствует Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Рациональное природопользование».

Объектом исследования являлся комплекс циклично-поточной технологии действующего крупного угольного разреза.

### **Целевое назначение работ**

Технико-экономическая оценка применения циклично-поточной технологии на промышленном угольном разрезе и варианты ее дальнейшего развития.

### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Проведен анализ опыта эксплуатации комплексов циклично-поточной технологии открытых горных работ на отечественных и зарубежных карьерах и перспектив их дальнейшего развития.

Рассмотрены проектные решения по комплексу циклично-поточной технологии вскрышных работ на угольном разрезе, а также выполнен анализ фактических показателей эксплуатации комплекса за 2010-2017 г.г. Выявлены недостатки проектных решений и основные причины снижения эффективности эксплуатации комплекса, связанные с надежностью работы оборудования, в первую очередь, дробильно-перегрузочной установки. Рассмотрены варианты дальнейшей эксплуатации комплекса ЦПТ при транспортировании вскрыши в отвал.

### **Предполагаемое использование результатов**

Предложенные по итогам исследований технологические решения планируется использовать при строительстве нового комплекса ЦПТ на одном из бортов разреза. Разработанные решения включают обоснование расположения и состава комплекса, а также конструкцию дробильно-перегрузочного узла.

## **2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Г.И. НОСОВА»**

### ***ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА и ТРАНСПОРТА***

#### ***Геотехнология***

1. Выполнены исследования определения оптимальной схемы вскрытия месторождения строительного камня с позиции минимизации затрат на производство вскрышных и добычных работ. Исследование выполнено на примере Круторожинского месторождения, которое расположено в Оренбургской области и обрабатывается ОАО «Орское карьероуправление». В связи с усложнением горных работ, вызванного увеличением глубины действующего карьера, руководством предприятия было принято решение рассмотреть возможность отработки нового, Северо-Круторожинского участка. Данный участок примыкает к северо-восточному борту действующего карьера и образует с ним единое карьерное поле.

Задача по выбору оптимального варианта вскрытия участка усложнялась наличием ограничивающих факторов: недостаточной вместимостью существующего отвала вскрышных пород и возможностью его использования только в течение первых трех лет отработки нового участка, а также требованием применять имеющийся парк техники, коммуникации и инфраструктуру. Для моделирования возможных схем вскрытия были рассмотрены три базовых варианта, которые в дальнейшем были разбиты на подварианты, отличающиеся направлением подвигания фронта горных работ, расположением транспортных коммуникаций и, как следствие, различной величиной затрат на реализацию. С целью приближения к реальным условиям реализации проекта было принято решение наращивать объем производства с 500 тыс. т в первый год до 1000 тыс. т в последующие.

Выбор приоритетного варианта осуществлялся по технико-экономическим показателям, полученным по укрупненным показателям предприятий-аналогов. Временной фактор был учтен дисконтированием всех, принятых в расчет денежных потоков со ставкой дисконта равной среднему уровню инфляции в РФ за последние 10 лет. Результаты расчетов показали, что для карьеров по добыче строительного камня наиболее выгодным является вариант с наименьшей длиной транспортирования горной массы. Коэффициент вскрыши оказал меньшее влияние на технико-экономические показатели, чем предыдущий фактор.

2. Выполнены исследования по оптимизации системы вскрытия карьерного поля при открыто-подземном способе разработки месторождения. Исследования выполнялись применительно к месторождению «Юбилейное». Анализ исходных данных и визуальное обследование участка западного и северного борта карьера «Юбилейный», на котором предполагается размещение транспортной бермы показал, что данные участки борта имеют достаточно сложный профиль, характеризующийся отсутствием сплошных предохранительных берм, а лишь их отдельными участками, невыдержанными параметрами нерабочих уступов по высоте и углу откоса, наличие зоны влияния подземных горных работ, наличие участков борта с деформационными проявлениями в виде осыпей.

Исходя из этого, были приняты основные факторы и ограничения, которые учитывались при разработке вариантов размещения транспортной бермы:

- предельно допустимый уклон съездов составляет 150%;
- ширина транспортной бермы должна соответствовать условиям для одностороннего движения автосамосвала Volvo A40D;
- для отсыпаемых участков трассы рассмотреть возможность использования вскрышных пород от проходки подземных выработок и разноса борта карьера;
- рассмотреть возможность использования участков ранее пройденных участков трассы, а также участков предохранительных берм;
- не располагать транспортную берму на участках борта карьера, на которых происходят деформационные процессы в виде осыпания горных пород.

На основе этого были рассмотрены 7 вариантов трассы, отличающихся направлением развития трассы, горизонтами расположения поворотных площадок и расположением отдельных участков трассы относительно друг друга. На данных вариантах участки транспортной бермы, проходящие в местах размещения откосов уступов, предполагалось формировать на насыпи.

Проектирование вариантов трассы осуществлялось пошагово. Первоначально рассматривалась возможность размещения транспортной бермы только на западном борту карьера, таким образом было рассмотрено 5 вариантов таких трасс. Однако наличие неустойчивых участков уступов не позволяет долговременно эксплуатировать трассу на данном борту. Поэтому были рассмотрены дополнительно 2 варианта с развитием отдельных участков по северному борту.

При рассмотрении всех вариантов, для того чтобы отсыпаемые участки транспортной бермы не пересыпали дно карьера, в котором собираются карьерные воды, угол откоса отсыпаемых пород должен быть не менее 45°. В тоже время анализ исходных данных показал, что угол естественного откоса при отсыпке вскрышных пород на предприятии изменяется от 29 до 37° в зависимости от того какие породы отсыпаются в отвал. Наименьший угол откоса характерен для пород от разноски верхней части борта карьера, то не позволяет использовать их для формирования отсыпаемых участков. На некоторых предварительно рассмотренных вариантах, даже участки большой протяженности, отсыпаемые под углом 37°, не позволяют исключить пересыпание дна карьера.

В варианте 6 предусматривается использование существующего участка трассы на северном борту практически без изменений до петлевого поворота, в дальнейшем для формирования нижней части трассы необходимо два участка выполнить с отсыпкой. В варианте 7 существующий участок трассы, расположенный на северном борту карьера углубляется до уклона трассы в 150%, при этом в нижней части только один участок отсыпается вскрышными породами. Реализация предложенного варианта позволит отказаться от разноса восточного борта карьера, при этом объем вскрышных работ снизится более чем на 3,5 млн. м<sup>3</sup>.

### ***Обогащение полезных ископаемых***

Изучен вещественный состава отсева магнитной сепарации металлургических шлаков ООО «Троицкий металлургический завод». Выявлено, что рудные минералы представлены ларнитом, монтичеллитом, минеральными фазами группы мелилита и ранкинитом; рудная часть, представляющая интерес как техногенное минеральное сырье для дополнительной переработки с целью получения железа, – браунмиллеритом, ожелезнённым периклазом с магнезиовюститом, магнезиоферритом, ферритами кальция и металлическим железом (в сумме 60 %).

Установлено, что разновидности флюорита Суранского месторождения обладают различной флотационной активностью, что связано с прочностью закрепления собирателя на поверхности частиц. Различная прочность закрепления карбоксильного собирателя на разновидностях флюорита зависит от величины произведения растворимости образующихся олеатов металлов. Флотация сланцев в начале технологического цикла позволяет практически полностью удалить углистые слюдисто-кварцево-карбонатные сланцы и исключить загрязнение флюоритового концентрата.

В результате проведенного исследования установлены основные технологические особенности применения дополнительного собирателя марки БТФ в композиции с бутиловым ксантогенатом калия при флотации шлака. Установлено, что композиция сульфгидрильных собирателей на основе сильного собирателя бутилового ксантогената калия и более слабого, но селективного собирателя из класса диалкилдитиофосфатов обеспечивает интенсификацию флотационного извлечения меди из техногенного сырья – медных шлаков. Наилучшие результаты достигнуты при использовании реагента модификации БТФ-1614 в качестве дополнительного собирателя в комбинации с бутиловым ксантогенатом калия при трехкратном превышении содержания ксантогената. Использование композиции собирателей предпочтительнее при флотации шлака, измельченного в слабокислой среде. В этом случае получены достаточно высокие показатели извлечения меди и благородных металлов в концентрат. Использование композиции собирателей БКК и БТФ-1614 в соотношении 3:1 при флотации шлака, измельченного в слабокислой среде (рН изм.=6,5–6,8, рН флот.=5,5–6,0) при суммарном расходе собирателей 200 г/т. позволяет получить следующие технологические показатели: извлечения меди (85,13%), золота (60,25%) и серебра (72,92%) в концентрат.

Проведено совершенствование процесса отбора и подготовки проб, предназначенных для определения гранулометрического состава продуктов обогащения. Используемые методы: лабораторные и промышленные испытания, сравнение результатов определения гранулометрического состава по пробам, отобранными различными способами. К элементам новизны относится использование комбинированного способа отбора и подготовки проб, позволяющего исключать влияние вероятной систематической погрешности на результаты гранулометрического состава опробуемого продукта. Для получения достоверных результатов контроля гранулометрического состава продуктов обогащения и объективной оценки результатов внедрения новых технологий рудоподготовки необходимо учитывать вероятную систематическую погрешность результата опробования путем своевременного отражения в отобранных пробах всех возможных локальных изменений гранулометрического состава. Показано, что внедрение в практику опробования нового оборудования, реализующего комбинированный способ отбора и подготовки проб, обеспечивающего повышение объективности оценки влияния гранулометрического состава на показатели рудоподготовки и последующего обогащения.

#### *Изданы:*

##### **Монографии**

1. Подболотов С.В. Повышение энергоэффективности работы центробежных насосов и вентиляторов на металлургических предприятиях. // Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2018. – 73 с.
2. Рыльникова М.В., Пыталев И.А., Трушина И.А., Струков К.И. Проектное финансирование совокупного использования природных и техногенных ресурсов. // М.: ИПКОН РАН, 2018. – 164 с.
3. Великанов В.С. Развитие научно-методологических основ совершенствования карьерных экскаваторов на базе нечетко-множественного подхода. // Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2018. – 217 с.
4. Мажитов А.М., Волков П.В. Обрушение руды и вмещающих пород при разработке полных месторождений. // Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2018. – 178 с.

##### **Сборники научных трудов**

1. Добыча, обработка и применение природного камня. Вып.18. Сб. науч. тр. / под ред. проф. Першина Г.Д. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. – 271 с.

## Журналы

1. Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2018. №2 (6). 60 с.
2. Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2018. №1 (5). 48 с.

## **2.26. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ)**

В 2018 году Центр «Горы» Северокавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (СКГМИ (ГТУ)) провел ряд работ и участвовал в реализации нескольких программ и проектов. Ниже дана краткая информация по ним.

### **1. Научные форумы**

#### **1.1. Международный семинар, посвящённый вопросам подготовки, организации и проведения IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития»**

В мае 2018 года в конференц-зале Научного центра СКГМИ (ГТУ) (Владикавказ, ул. Николаева, 44, Республика Северная Осетия-Алания, Россия), состоялся Международный семинар, посвящённый вопросам подготовки, организации и проведения IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития».

В рамках семинара было проведено заседание секции «Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики», где были заслушаны и обсуждены доклады по такой важной теме, как повышение эффективности в энергетике.

Результаты семинара:

- подведены итоги прошедших в 2016-2017 гг. мероприятий, проведённых в рамках подготовки IX МНПК «Горные территории: приоритетные направления развития»;
- доработана предварительная Программа IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития»;
- рассмотрен План подготовки и проведения IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития»;
- уточнен круг участников конференции;
- определены научные руководители, учёные секретари и модераторы секций, круглых столов и семинаров предстоящей конференции.

#### **1.2. Научно-практический семинар «Природные опасности и инженерная защита»**

В рамках подготовки к IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития» в СКГМИ (ГТУ) прошло ещё одно мероприятие с участием ППС и обучающихся университета, а также сотрудников ведомств и учреждений, деятельность которых связана с теми или иными видами и формами проявления опасных природных процессов, а также ликвидацией их проявлений и негативных последствий (МЧС, администрации МСП и горных районов, турфирмы и т.д.).

Модератором семинара был доктор геолого-минералогических наук, профессор И.М. Васьков, который выступил с докладом «Селевая опасность в долине реки Сказдон, Цейское ущелье, Северная Осетия. Методы инженерной защиты». После доклада прошло заинтересованное обсуждение, были заданы вопросы, на которые докладчик дал исчерпывающие ответы.

### **1.3. Иногородние и международные научные форумы**

Кроме научных форумов, которые организовали и провели в СКГМИ (ГТУ) сотрудники Центра «Горы» приняли участие в следующих всероссийских и международных форумах:

- XIII Международная ландшафтная конференция, посвященная столетию со дня рождения Ф.Н. Милькова «Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов», г. Воронеж, февраль 2018г.
- Международный форум и школа молодых специалистов стран СНГ «Природа без границ». Международный форум «Алтай – трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии», г. Горно-Алтайск, сентябрь 2018г.
- Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Устойчивое развитие горных территорий: история и предпосылки оптимизации природопользования», г. Грозный, сентябрь 2018г.
- Международная конференция «Современные проблемы геологии и географии», посвящённая 100-летию Ереванского государственного университета, г. Ереван, сентябрь 2018г.
- VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» г. Ессентуки, октябрь 2018г.

### **2. О работе очередной V Северокавказской комплексной экспедиции (V СККЭ) по исследованию динамики изменения природных процессов и комплексов и систем природопользования в условиях горных территорий**

В августе 2018 года работала V Северокавказская комплексная экспедиция в составе ученых, преподавателей, аспирантов и студентов из Москвы, Ставрополя, Владикавказа, Нальчика и Грозного. Экспедиция затронула исследованиями горные регионы Карачаево-Черкессии и Чеченской Республики. Возглавлял ее заведующий кафедрой СКФУ доктор географических наук, профессор Алексей Владимирович Лысенко.

Экспедиция проходила в 2 этапа. В ходе первого этапа на территории Карачаево-Черкесской Республики были обследованы верховья долины р. Кубань и, в особенности, урочище Махар.

Второй этап экспедиции проходил на территории Чеченской республики. В задачи экспедиции входило исследование ландшафтов и физико-географических границ.

Результаты проведённых исследований в рамках V Северокавказской комплексной экспедиции обрабатываются.

### **3. Северокавказское Научное Сотрудничество (СКНС)**

Северокавказское Научное Сотрудничество (СКНС) было создано по инициативе сотрудников Горной группы Программы ЮНЕСКО МАБ-6 (Институт географии Российской Академии наук) и университетов СКФО. В настоящее время штаб-квартира СКНС находится в центре «Горы» СКГМИ (ГТУ).

Основная цель СКНС – это всемерное содействие научному сотрудничеству в области реализации концепции ООН Устойчивое развитие и Программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера».

Сайт регулярно пополняется новостями, ведутся постоянные работы над его улучшением. На внутреннем ресурсе сайта размещено сотни библиографических ссылок на публикации участников СКНС. Помимо этого, представлена информация на различные информационные ресурсы, в том числе на электронные журналы и другие издания по экологии, устойчивому развитию, горным территориям, а также сведения 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.

#### 4. Проекты и программы научных исследований

Приведены основные проекты и программы научных и научно-прикладных исследований устойчивого развития горных территорий.

Проект *«Актуальные проблемы и тенденции развития горных и предгорных территорий на муниципальном уровне»*.

В 2018 году была разработана программа исследований и начались работы по их реализации в рамках второго этапа проекта.

Проект *«Пропаганда и апробация методов и методик природопользования национальных парков в горных регионах»*.

Совместно с Национальным парком «Алания» были продолжены исследования в рамках совместного проекта по пропаганде, апробации и обкатке методик, соответствующих особому виду природопользования, присущих национальным паркам. Исследования подтверждают идею авторов, что режим природопользования в Национальном парке «Алания» является наиболее благоприятным с точки зрения сохранения легко ранимых природных экосистем, к которым ООН относит и горные территории.

Проект *«Разработка индикаторов устойчивого развития горных муниципальных образований»*.

В прошедшем году сотрудники центра продолжили работы по адаптации известных и утверждённых в международной практике индикаторов развития к условиям горных территорий, а также по проблеме классификации известных индикаторов, взяв за основу (или «центр притяжения») исследуемых процессов и всей системы – человека, его компетенции и потребности для определения стабильности и потенциала развития.

Проект *«Основные проблемы горных территорий с предприятиями недропользователями»*.

В отчётный период были продолжены исследования экологических, экономических и социальных последствий деятельности горно-геологических, горнодобывающих и горно-перерабатывающих производств (среднего\_ и крупного масштаба).

#### 5. Научные публикации

Выборка части публикаций, которые выполнены в рамках проводимых исследований сотрудниками Центра «Горы» как самостоятельно, так и совместно с коллегами из других учреждений и волонтерами были подготовлены статьи и доклады, часть из которых опубликованы, остальные находятся в стадии доработки и подготовки к публикации:

1. Васьков И.М. Крупномасштабные обвалы: Геодинамика и прогноз. Научная монография [электронный ресурс]. – Москва: Изд-во «Триумф», 2018. – 365с.;

2. Гуня А.Н., Гагаева З.Ш., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Лысенко А.В., Петрушина М.Н. Ландшафтные факторы освоения территории Чеченской Республики // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: материалы XIII Международной ландшафтной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.Н.Милькова, Воронеж, 14- 17 мая, 2018 г.: в 2 т. / ред.: В.Б. Михно [и др.]. – Воронеж: ИСТОКИ, 2018. – Т. 1. – С.330-332;

3. Караев Ю.И. Общественно-научное движение «Устойчивое развитие горных территорий» на Кавказе.// Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2018. – № 3 (40).- С.46-53;

4. Хосаев Х.С., Караев Ю.И., Розовенко В.В., Хасиев К.Т. Международный туризм и трансграничное сотрудничество на Алтае и Кавказе // Алтай – трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии: Материалы Международной научно-практической конференции (20 октября 2018 года)./ Отв. ред. В.Г. Бабин. – Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2018. – С.110-114;

5. Гуня А.Н., Петрушина М.Н., Лысенко А.В., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш., Караев Ю.И. Физико-географическая дифференциация территории Чеченской Республики.// Contemporary issues of Geography and Geology (Dedicated to the 100th Anniversary of the Yerevan State University, International Conference Proceedings). Yerevan. 2018. PP.69-75;

6. Дегтярева Т.В., Лиховид А.А., Лысенко А.В., Караев Ю.И. Региональные структуры миграции химических элементов в ландшафтах Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т.10.- № 4. – С.493-504;

7. Хосаев Х.С., Караев Ю.И., Розовенко В.В., Хасиев К.Т. Экологические проблемы заброшенных горных производств в горах // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2018. – № 4(12).

## 6. Международный научный журнал «Устойчивое развитие горных территорий»

В 2018 гг. вышло четыре номера Международного научного журнала «Устойчивое развитие горных территорий», который входит в список изданий, рекомендуемых ВАК, а также в международную систему цитирования Scopus.

## 2.27. 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.

В Институте природопользования НАН Беларуси ведутся научные исследования по углубленному изучению строения земной коры и литосферы, геодинамики, тектоники, региональной геологии, геоэкологии. Значительное место занимают вопросы развития геотехнологий.

Изучено глубинное геологическое строение земной коры Припятского прогиба (Беларусь) и Днепровско-Донецкой впадины (Украина) по региональному международному профилю Георифт-2013.

1. По проекту «Создание геолого-геофизической модели глубинного строения земной коры и верхней мантии Припятского и Днепровского палеорифтовых нефтегазоносных бассейнов, определяющей направление минерагенических исследований и геологоразведочных работ» впервые установлена продольная геолого-геофизическая структура земной коры и верхней мантии Припятского и Днепровского бассейнов, наиболее глубоких структур рифтового типа в Европе (рисунок 1).

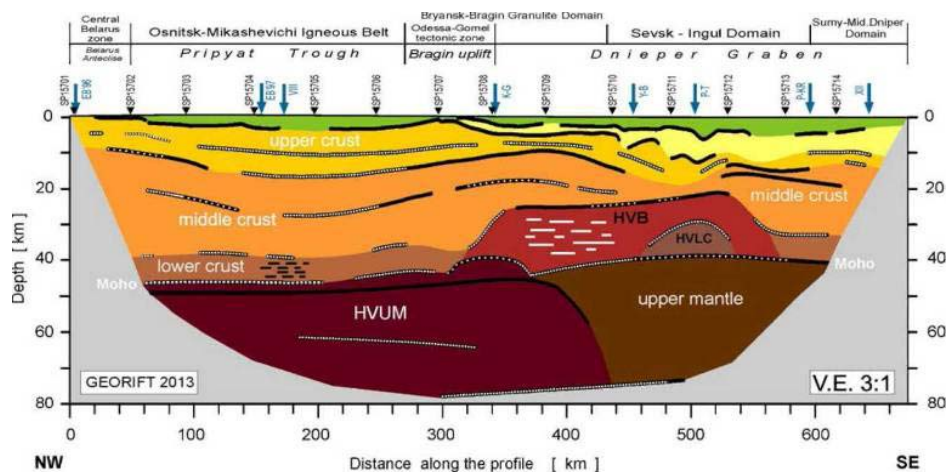


Рисунок 1 – Упрощенная структура литосферы вдоль профиля глубинного сейсмического зондирования Георифт-2013

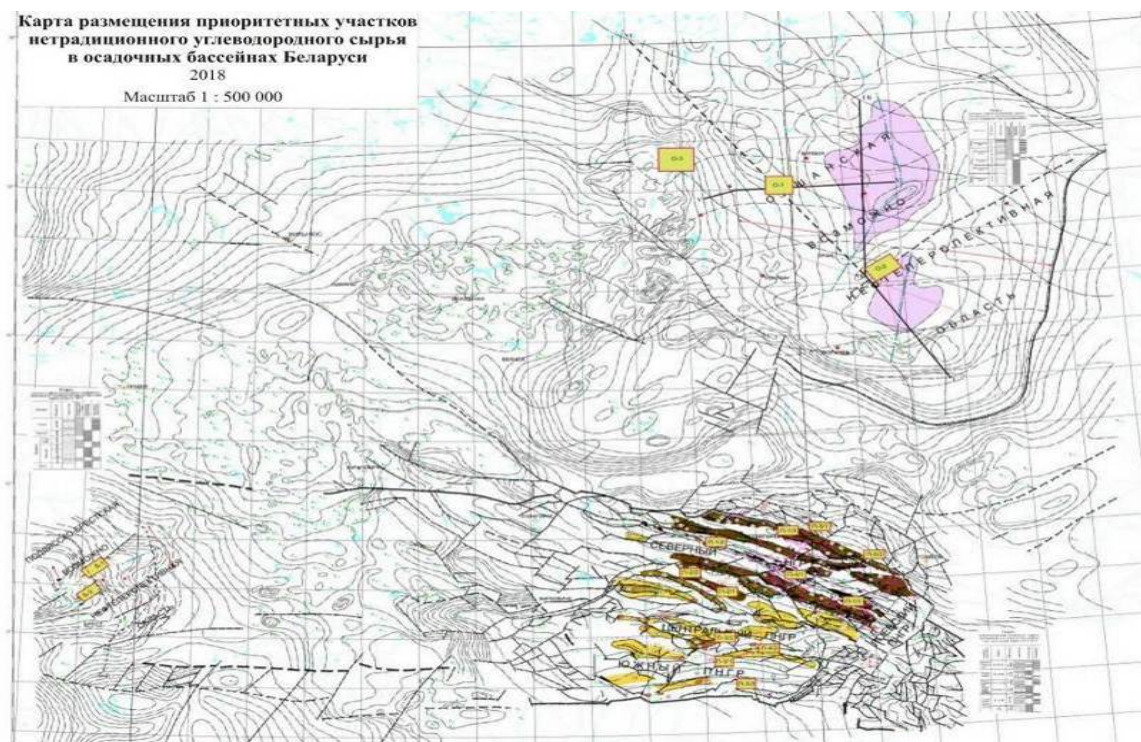
Новые данные позволяют реконструировать палеогеодинамические условия формирования этих палеорифтовых структур, контролирующего размещение месторождений углеводородного сырья, калийных и каменных солей, углей и сланцев, промышленных рассолов и др. Проведенные исследования, которые базируются на результатах глубинных сейсмических зондирований по международному проекту «Георифт-2013», позволяют обосновать в восточном регионе Беларуси перспективы поисков полезных ископаемых, генезис которых связан с нижними слоями литосферы и подлитосферной верхней мантией.



Геолого-геофизические и палеогеодинамические исследования в пределах изученных бассейнов дали основания авторам: Айзбергу Ромма Ефимовичу, Гарецкому Радиму Гавриловичу, Каратаеву Герману Ивановичу, Грибику Ярославу Гавриловичу (Институт природопользования НАН Беларуси) – вместе с коллегами из Украины, Польши, Финляндии и Дании:

- **выявить** сейсмический разрез до глубины 80-90 км;
- **установить** значительные различия в структуре земной коры, верхней мантии и коромантийной границы под Припятским и Днепровским бассейнами;
- **открыть** новую региональную нижнекоровую структуру протяженностью 230 км (от Брагинско-Лоевской зоны до района г.Полтава) и амплитудой 18 км – Западно-Днепровскую «рифтовую подушку» (riftpillow);
- **определить** глубинные субвертикальные границы раздела между Припятским и Днепровским сегментами, отраженные в строении поверхностей Мохо, субМохо, гравитационных и магнитных аномалий, уровнем и характером залегания основных слоев земной коры. Указанные данные позволяют существенно развить теоретические представления о рифтогенезе и представляют собой геолого-геофизическую базу для нового направления минерагенических исследований в палеорифтах древних платформ, в том числе – в восточном регионе Беларуси. Материалы опубликованы в [1, 2, 3].

2. Для Припятского нефтегазоносного, Оршанского и Подляско-Брестского осадочных бассейнов разработаны геолого-геофизические модели оценки их углеводородного потенциала (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Карта размещения приоритетных участков нетрадиционного углеводородного сырья в осадочных бассейнах Беларуси. Масштаб 1:500 000**

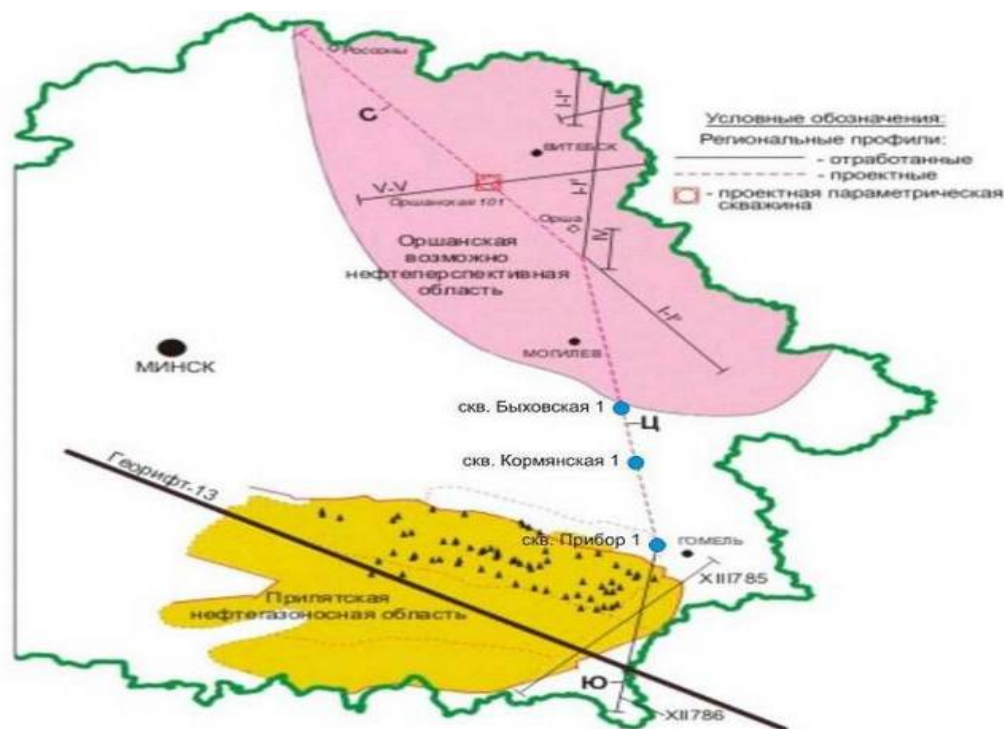
Впервые определен потенциал «сланцевых» нетрадиционных источников углеводородов и обоснованы рекомендации по приоритетным направлениям геологоразведочных работ на их поиски на основе создания полигонов отработки технологий геологического изучения перспектив нефтегазоносности. Материалы работы в настоящее время используются геологоразведочными организациями для планирования работ.

На основе анализа геолого-геофизических и геохимических данных разработано обоснование для заложения параметрической скважины в Витебской мульде Оршанской впадины для оценки геологического строения и перспектив газоносности верхнепротерозойского разреза платформенного чехла и верхней части фундамента.

Полученные результаты определяют направление геологоразведочных работ на нетрадиционное углеводородное сырье на среднесрочную и дальнюю перспективу Республики Беларусь.

3. В соответствии с Государственной программой и пунктом подпрограммы «**Изучение недр и развитие минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2016-2020 гг.**» Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды начаты работы по пункту 6, которым предусмотрено: *Создание сети опорных геолого-геофизических профилей и параметрических скважин для прогнозирования возможности выявления месторождений полезных ископаемых, в пределах слабо изученных участков недр, а также для корреляции геологической информации о глубинном строении недр с соседними государствами.*

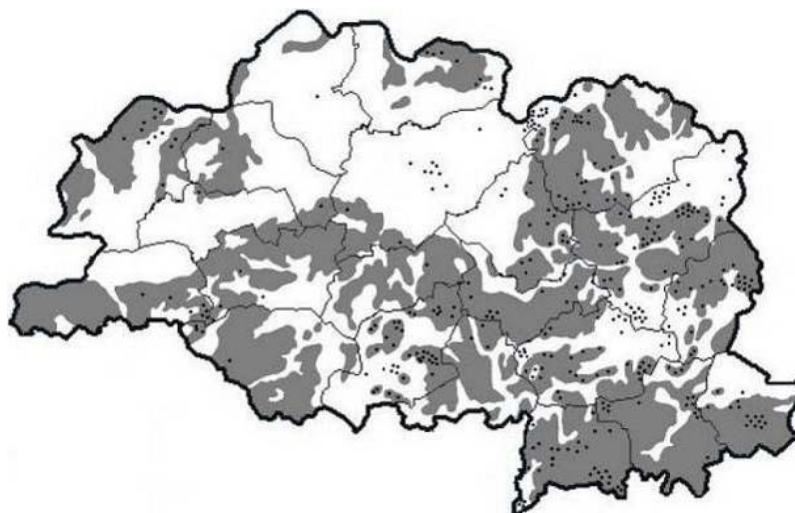
С учетом этого направления подготовлено обоснование регионального изучения восточной части Беларуси, в частности, Оршанской впадины по региональному профилю «Восточный» (рисунок 3). Проектируется бурение параметрической скважины Оршанская 101 с проектной глубиной 1350 м и вскрытием на 300 м верхней части фундамента для изучения минералогического и углеводородного потенциала.



**Рисунок 3 – Схема регионального геолого-геофизического профиля «Восточный»**

4. Создана база данных по ресурсам торфа в малых по площади торфяных месторождениях Витебской области, включающая данные по горно-геологическим параметрам 345 объектов. В пределах Поозерского оледенения (Витебская область) установлена закономерность приуроченности самых малых торфяных месторождений размером до 10 га к площадям с распространением моренных отложений. Из 345 малых торфяных месторождений, размещенных на данной территории, 260 объектов или 75 % сосредоточено на повышенных отметках рельефа в пределах моренных ландшафтов, которые способствуют изолированности котловин и хорошей их сохранности.

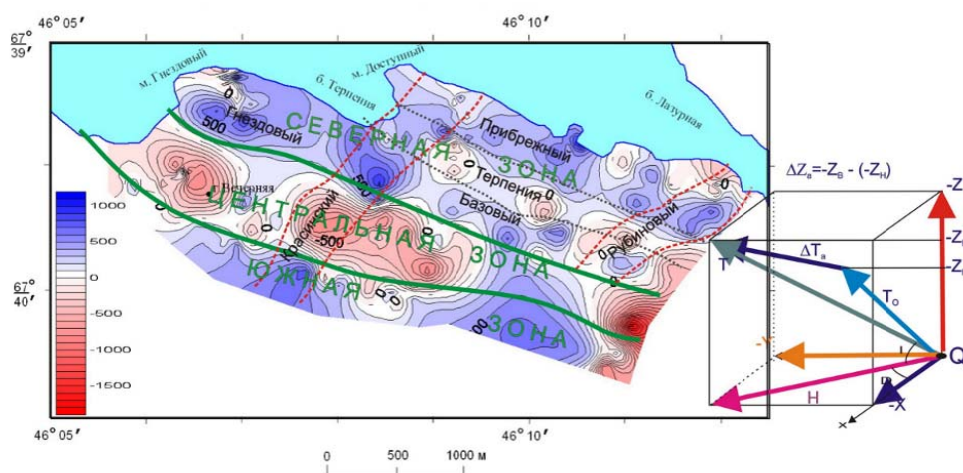
Установлено, что в границах административных районов Витебской области относительное количество очень малых торфяных месторождений площадью до 10 га тесно коррелирует с относительной площадью распространения моренных покровных отложений (рисунок 4). Коэффициент корреляции между данными параметрами составляет 0,63. В Шарковщинском, Миорском, Докшицком, Ушачском, Чашникском, Бешенковичском и Оршанском районах все самые малые по площади торфяные месторождения сосредоточены только в пределах распространения моренных покровных пород.



**Рисунок 4 – Распределение по территории Витебской области малых торфяных месторождений площадью до 10 га относительно участков моренных покровных пород (темные участки)**

Результаты позволяют прогнозировать площади повышенной концентрации малых торфяных месторождений, что может быть использовано для определения целесообразности их освоения либо обоснования мероприятий по охране.

5. В период 10-ой антарктической экспедиции (2018 г.) на Вечернегорской площади выполнены геомагнитные площадные в масштабе 1:25 000 и детальные измерения на трех перспективных участках, а также отобраны образцы горных пород на перспективных участках. Построена карта магнитных аномалий  $Z$ , выполнено ее геолого-магнитное районирование, дана геологическая интерпретация магнитных аномалий в сопоставлении с лабораторными данными о петромагнитных свойствах пород, отобранных на Вечернегорской площади. Намечены четыре локальных участка, перспективных на прогноз полезных ископаемых (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Карта районирования аномального магнитного поля  $Z$  Вечернегорской площади**

## Литература

1. V. Starostenko, T. Janik, T. Yegorova, W. Czuba, P. Sroda, D. Lysynchuk, **R. Aizberg, R. Gartsky, G. Karataev, Y. Gribik**, L. Farfuliak, K. Kolomiyets, V. Omelchenko, K. Komminaho, T. Tiira, D. Gryn, A. Guterch, O. Legostaeva, H. Thybo and A. Tolkunov/ Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). // **Geophysical Journal International**. – 2018. – Vol. 212, number 3. – P.1932–1982.

2. **Айзберг Р.Е., Грибик Я.Г.** Особенности глубинного строения и синрифтовой геодинамики Припятского и Днепровского сегментов земной коры. // Доклады НАН Беларуси. – 2018. – № 4. – Том 62. – С.473-479.

3. **Гарецкий Р.Г., Леонов М.Г.** «Структуры омота» – новая категория зон взаимодействия литосферных плито-потоков. // Доклады Российской академии наук. – 2018. – № 5. -Том 478. – С.546-550.

### **2.28. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д. А. КУНАЕВА»**

В 2018 году в Институте горного дела им. Д. А. Кунаева (далее – Институт) выполнялись фундаментальные и 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.).

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.).

**по подприоритету: Информационные системы и базы данных**

3. Разработка программно-технического комплекса системы высокоточного спутникового позиционирования для месторождения АО «ССГПО». (Руководитель: канд. техн. наук Гулебаев К.К.).

**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.).

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., координатор – д-р техн. наук, профессор Лисенков А.А.).

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.).

Проект по договору с АО «Национальное агентство по технологическому развитию», выполненный Институтом в 2018 году:

*по приоритету: «Прогрессивные технологии поиска, добычи, транспортировки и переработки минерального и углеводородного сырья»: по договору №211 от 14.10.2016 года: «Создать конкурентноспособный образец электромагнитного молота для безвзрывной технологии добычи твердых полезных ископаемых»* (Руководитель: д.т.н. Едыгенов Е.К.).

Проекты по договору с РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», выполненные Институтом в 2018 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.)

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.)

**За 2018 год проведенные исследования позволили получить следующие основные научные результаты:**

По проекту «Создание устройств и технологии поточной отбойки горных пород гиперзвуковыми выбросами гидрозарядов»:

Выполнено теоретическое обоснование преимуществ гидроимпульсного способа разрушения: годовая производительность по разрушению крепких пород гидроимпульсным способом с гидроимпульсной пушкой может достигать 250 тыс. м<sup>3</sup>; достигается полная экологическая и производственная безопасность в угольных шахтах, опасных по взрывам метана и пыли. Выполнена опытно-конструкторская разработка механизма автоматического выпускного клапана гидропушки на рабочее давление 2000 атм. в 4-х модификациях с широкой областью своего практического использования и патентной защитой.

По проекту «Проектирование автоматизированной системы позиционирования и связи для мониторинга горнотранспортных процессов и принятия оперативных управленческих решений при открыто-подземных способах разработки месторождений полезных ископаемых»:

Разработана концептуальная структура, структура базы данных и дизайн автоматизированной системы позиционирования и связи для системы управления геотехнологическим комплексом.

По проекту «Разработка программно-технического комплекса системы высокоточного спутникового позиционирования для месторождения АО «ССГПО»:

Разработан технический проект на опорную геодезическую сеть и конструкцию одного геодезического пункта, эскизный проект на базовую станцию дифференциальной коррекции. Выполнена оценка надежности базовой станции, технических средств и программно-математического обеспечения.

По проекту «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»:

Исследовано влияние очистных работ на устойчивость горизонта выпуска системы с самообрушением руды на глубоких горизонтах шахт «ДНК». Предложена технологическая схема: комбинированная геотехнология подземной разработки в условиях сильнотрещиноватых и неустойчивых рудных залежей на больших глубинах шахт ДонГОКа; способ создания искусственного днища блока с устойчивоопорной железобетонной платформой при системе самообрушением руды на глубоких горизонтах шахт ДонГОКа.

По теме ПЦФ «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике»:

1. Обзор предыстории и современного состояния проблемы поддержания баланса интересов государства, бизнеса и общества в системе подтвердил актуальность, большую сложность и незавершенность ее решения. Приведены доказательства разбалансированности существующей системы управления сферой недропользования в Казахстане.

2. Разработан научный подход к менеджменту технологических процессов на основе календарного планирования и гибкого нормирования. Нормы должны быть гибкими, научно и технически обоснованными, способствовать выявлению и более полному использованию резервов роста производительности труда, повышению эффективности производства; основываться на действующих нормативах, а также обеспечивать минимальные затраты времени на их разработку.

3. Применение метода календарного планирования технологических процессов на карьерах с учетом гибкого нормирования позволяет значительно сократить удельные текущие затраты на добычу и транспортировку горной массы, создает предпосылки к установлению реальных норм и плановых показателей по основным элементам системы на основе учета фактических технологических возможностей и экономически эффективной работы горно-транспортного комплекса в целом.

4. Поскольку для обеспечения безопасной и эффективной отработки месторождений открытым способом необходимо решать задачи геомеханического обоснования устойчивости бортов карьера, на примере Сарбайского месторождения построена цифровая 3D модель и проведено районирование бортов карьера по критерию устойчивости, которое позволило выявить их ослабленные участки.

5. Определены основные перспективные направления по автоматизации процесса проектирования ГТР. В основе динамического проектирования ГТР эффективен подход с применением динамического имитационного моделирования проектируемых процессов, обеспечивающего возможность адекватного учета всех факторов, влияющих на горно-транспортный процесс. Разработана методика динамического проектирования, включающая методику оценки эффективности рассматриваемых вариантов, а также порядок учета основных влияющих факторов.

6. Разработана концепция построения высокоадаптивных сетей передачи, обработки и хранения данных для подземных условий, выбраны методика и способ определения координат персонала в условиях подземных горных выработок.

7. Разработаны эффективные и безопасные способы отработки наклонных залежей средней и малой мощности с использованием искусственных селевых водо-каменных потоков, обеспечивающих доставку руды в различных условиях отработки. Дальнейшая цифровизация основных технологических процессов предлагаемых способов отработки позволит повысить интенсивность и эффективность очистных работ.

8. Разработаны эскизные проекты на: ударную машину с электромагнитными двигателями, автоматизированным управлением энергией единичного удара; модернизированный ковш экскаватора, в котором в качестве активизатора зубьев ковша применены электромагнитные ударные узлы.

9. Разработана функциональная схема технологии выщелачивания ценных компонентов из отходов медеплавильного производства, обеспечивающая впоследствии экологически безопасную и экономически эффективную отработку техногенных минеральных образований.

10. Анализ качественно-количественных характеристик и параметров золошлаковых отходов АО «ССГПО» позволил определить приоритетные направления использования золошлаков: в качестве компонентов для основания дорог, производства обжигового кирпича и в качестве добавок для бетонных смесей, и при производстве железобетонных изделий.

11. Разработка и использование технологий переработки ТМО приведет к восстановлению экологического равновесия окружающей среды. Цифровизация этих технологий позволит качественно обрабатывать информацию и эффективно управлять процессами производства продукции, переработки отходов и экомониторинга.

12. По результатам выполненной программы были разработаны и включены в отчет АО «КИРИ» для МИР РК предложения по «Разработке мер и рекомендаций по внедрению комплексных информационно-технологических подходов к извлечению твердых полезных ископаемых».

По проекту «Создать конкурентноспособный образец электромагнитного молота для безвзрывной технологии добычи твердых полезных ископаемых»:

Изготовлены основные узлы экспериментального промышленного образца электромагнитного молота (ЭММ), проведена сборка механических и электрических узлов двигателя ЭММ и установочного стенда. Проведены испытания экспериментального промышленного образца ЭММ.

По проекту «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.)»:

Разработана конструктивная схема солнечной батареи в формате 3D. Обоснованы параметры установки фотоэлементов, эффективность солнечной батареи с учетом вклада различных длин солнечной радиации. Изготовлены голографические концентраторы и детали.

По проекту «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»:

Обоснованы рациональные параметры ВЭС, разработана конструкторская документация на изготовление ВЭС выходной мощностью 5 кВт, разработана детализировка парусных лопастей. Закуплены материалы, приобретены аэродинамические лопасти, изготовлены каркасы четырех парусных лопастей.

### **Практическая деятельность**

На основе 17 хозяйственных работ Институт в 2018 году выполнял работы на сумму 432 948 тыс. тенге для 7 горнодобывающих предприятий Казахстана: АО «ССГПО», ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», ТОО «Восход-Oriel», автономный кластерный фонд «Парк инновационных технологий», ТОО «АтыгайГолдМайнинг», АО «Горно-металлургический концерн Казахалтын», ТОО «Жетісу Вольфрамы».

### **Патентно-лицензионная деятельность**

С целью патентно-правовой защиты выполняемых разработок в 2018 году подано 4 заявки, в том числе: о выдаче патентов РК на изобретение – 2; о выдаче патента РК на полезную модель – 2; о регистрации прав на произведения.

С целью коммерческой реализации объектов промышленной собственности осуществлялось поддержание действия 2 охранных документов, в том числе: 2 патентов РК.

В отчетном году получено 2 заключения о выдаче охранных документов на объекты промышленной собственности, опубликовано 7 охранных документов, в том числе патент на изобретение – 2, патент РК на полезную модель – 4, зарубежных – 1.

### **Издательская деятельность**

За 2018 год опубликовано всего **40 публикаций**, в том числе:

– **27 научных докладов**, из них:

1. республиканского уровня – 0;
2. международного уровня – 27, в том числе:
  - в РК – 16;
  - за рубежом – 11;
  - с импакт-фактором – 3.

– 13 научных статей, из них:

1. в казахстанских изданиях – 8, в том числе в журналах, рекомендованных ККСОН – 8;
2. в зарубежных изданиях – 5, в том числе в журналах с импакт-фактором – 3.

Сотрудники приняли участие в 11 международных научно-технических мероприятиях.

### Организация и проведение 25 Всемирного горного конгресса

19-22 июня 2018 г. впервые на территории стран СНГ в г. Астана был проведен 25 Всемирный горный конгресс (далее – ВГК) – главный научно-технический форум в области горного дела в мире.

Институтом были успешно проведены 4 ведущих сессии ВГК:

- Открытые горные работы.
- Подземные горные работы. Руда.
- Подземные горные работы. Уголь.
- Геомеханика.



Участники 25 Всемирного горного конгресса

Всего на вышеуказанных сессиях выступило 96 докладчиков из 25 стран мира. На сессии «Открытые горные работы» выступило 35 докладчиков, всего в работе сессии приняло участие более 200 участников. На сессии «Подземные горные работы. Руда» было заслушано 25 докладов, всего в сессии приняло участие более 150 участников. На сессии «Подземные горные работы. Уголь» выступил 21 докладчик, всего в сессии приняло участие более 120 участников. На сессии «Геомеханика» было заслушано 15 докладов, всего в сессии приняло участие более 60 участников.

С докладами на конгрессе выступили видные ученые из Казахстана и стран ближнего и дальнего зарубежья: академик НАН РК Б.Р. Ракишев, ректор КРСУ им. Б.Н. Ельцина, академик НАН КР В.И. Нифадьев, директор ИГД УрО РАН С.В. Корнилков, директор Института геомеханики и освоения недр НАН Кыргызской Республики, чл.-корр. НАН КР К.Ч. Кожогулов, зав.каф. Белорусского госуниверситета М.А. Журавков, директор ИПКОН РАН им. Н.В. Мельникова, чл.-корр. РАН В.Н. Захаров, директор Пекинского Генерального научно-исследовательского института горного дела и металлургии G. Lijie, проф. Университета Вуллонгонг N. Aziz (Австралия), исполнительный директор Палаты по горному делу и геологии Болгарии I. Mitev, асс. проф. Университета Витватерсранда V. Genc (ЮАР), Вице-президент Thyssenkrupp, Dr. W. Franz (Германия), директор NMDC LTD P.K. Sathpathy (Индия), зам. директора Центрального горного института Z. Lubosik (Польша), асс. проф., доктор G. Mogi, Университет Токио (Япония) и многие другие.

### Образовательная деятельность

В 2018 году работа по подготовке кадров осуществлялась в рамках реализации следующих договоров Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» с другими организациями:

1. Договор о сотрудничестве и научном обмене с АО «Алматинский университет энергетики и связи».



2. Договор о сотрудничестве по обеспечению подготовки магистров и докторов PhD РГКП с Карагандинским государственным техническим университетом.

3. Договор на проведение научно-исследовательской практики магистрантов специальности «6M090300 – Землеустройство» Казахского Национального Университета имени аль-Фараби.

4. Договор на проведение производственной и преддипломной практики студентов, магистрантов и докторантов Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева по специальности 050701- Биотехнология.

5. Генеральный договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

6. Договор на проведение исследовательской практики магистрантов «Казахского национального университета имени аль-Фараби» с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

7. Договор по организации и проведению профессиональной (производственной/преддипломной/ исследовательской) практики АО «Новый экономический университет им. Т.Рыскулова».

8. Договор о совместной работе по развитию научных исследований, внедрению результатов научно-исследовательских работ, экспертизе научных проектов и программ, подготовке научных кадров Республиканского общественного объединения «Национальная академия наук Республики Казахстан».

В 2018 году в магистратуре обучались 8 сотрудников Института, в PhD-докторантуре обучались 6 сотрудников по специальностям «Горное дело», «Геодезия» и «Вычислительная техника и программное обеспечение». 1 молодой ученый Института защитил *PhD-докторскую диссертацию* по специальности «Горное дело».

## **2.29. ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. К.И. САТПАЕВА**

По научно-технической программе № BR05235618 «Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан» (научный руководитель, д-р техн.наук, профессор, академик НАН РК Ракишев Б.Р.) в 2018 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-р техн.наук, профессор, академик НАН РК Ракишев Б.Р.)

Этап 1. *Изучение и анализ горно-геологических, горно-технологических особенностей разрабатываемых месторождений РК, применяемых взрывчатых веществ (ВВ). Разработка программно-технических модулей «Гранулометрический состав взрываемого блока уступа», «Размеры зоны активного дробления взрываемого блока», «Рациональные параметры БВР», основанные на закономерностях распространения трещин от взрывной полости и принципе рационального размещения заряда ВВ во взрываемом блоке*

Проведены замеры блочности массивов пород по откосам уступов путем их фотографирования с использованием высокоточного объектива. Изучены и проанализированы горно-геологические, горно-технологические особенности типичных разрабатываемых месторождений РК и применяемые взрывчатые вещества (ВВ). Создано программное обеспечение «Гранулометрический состав взрываемого блока уступа» на базе SCADA-системы для автоматизированного определения гранулометрического состава естественных отделимых частей в массиве пород. Созданы программно-технические модули «Размеры зоны активного дробления взрываемого блока» и «Рациональные параметры БВР» на базе SCADA-системы, основанные на закономерностях распространения трещин от взрывной полости и принципе рационального размещения заряда ВВ во взрываемом блоке.

Проект 2. *Создание методологии проектирования процесса перехода на циклично-поточную технологию (ЦПТ) в глубоких карьерах с автомобильно-железнодорожным транспортом* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Молдабаев С.К.)

Этап 1. *Обоснование оптимального горизонта перегрузки с конвейера на железнодорожный транспорт*

Разработан динамический метод обоснования целесообразности перехода на комбинированный автомобильно-конвейерно-железнодорожный транспорт и алгоритм его реализации в *Excel*, позволяющий установить срок окупаемости инвестиций на приобретение крутонаклонных конвейеров за счет сокращения расстояния транспортирования горной массы автосамосвалами. Разработана транспортная установка для доработки приконтурных запасов руды под целиками железнодорожных путей, по сравнению с известными конструкциями обеспечивающая ее перемещение без демонтажа при расконсервации временно нерабочего борта с одновременной установкой на нем комплекса ЦПТ в условиях увеличения результирующего угла наклона бортов карьера. Перемещение комплекса в пределах зоны доработки целиков достигается за счет гидростоек, регулирующих высоту его опор.

Проект 3. *Разработка и внедрение технологии, систем и средств активного крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния массива приконтурных пород* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Демин В.Ф.)

Этап 1. *Мониторинг и шахтные промышленные комплексные наблюдения, анализ, оценка устойчивости и дефектности горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна. Компьютерное моделирование геомеханических процессов во вмещающем угле-породном массиве. Проведение комплексных научно-прикладных исследований по оценке влияющих факторов на условия поддержания горных выработок*

Осуществлен мониторинг и проведены исследования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород шахт Карагандинского угольного бассейна (им. Костенко, «Шахтинская» и «Абайская») в зависимости от мощности слоя разрушающихся пород при разной длине закрепления, которые позволили установить характер поведения боковых пород по зонам их расположения. Выполнено численное моделирование параметров горного давления в породах вблизи горных выработок при пересечении с нарушениями для выявления особенностей напряженно-деформированного состояния массива. Выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния угля породных массивов (смещений, напряжений, зон трещинообразования) в зависимости от основных горно-геологических и горнотехнических факторов позволят в конкретных условиях эксплуатации устанавливать оптимальные параметры крепления для повышения устойчивости подготовительных горных выработок. Проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания силикатной (органоминеральной) смолы «БлокСИЛ В» (производства ООО «ДСИ Техно» (г. Кемерово, Россия), показавшие высокую эффективность при ее применении для закрепления разрушенных углей.

Проект 4. *Разработка технологии выемки и извлечения золота из бедных рудных жил* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Юсупов Х.А.)

Этап 1. *Изучение химического и минералогического состава руды, исследования по созданию предварительного напряженного состояния в массиве*

Изучен химический и минералогический состав бедной золотосодержащей руды участка «Белая Горка» месторождения Родниковое ВКО. Проведены исследования по созданию предварительного начального напряжения в массиве. Предложена технология отбойки с созданием дополнительного ряда скважин, причем эти скважины взрываются первыми. Созданная упругая волна при распространении не разрушает горную породу, а создает начальное напряжение. Причем, взрыв первого ряда скважин от уступа должен быть произведен в момент, когда упругая волна от взрыва дополнительных скважин для создания начального напряжения пройдет первый ряд взрывных скважин. Полученный при одновременном взрывании эффект обеспечит интерференцию волн напряжения, что облегчит его действие и увеличит эффект разрушения. Создана лабораторная установка для активации выщелачивающего раствора и разработана методика проведения лабораторных работ.

Проект 5. *Разработка и внедрение геоинформационной системы управления рисками в условиях повышенной интенсивности освоения месторождения* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Байгурин Ж.Д)

*Этап 1. Разработка технологии радиолокационной интерферометрии для решения задачи выявления аномальных участков исследуемых территорий месторождений*

Разработана эффективная технология космической радиолокационной интерферометрии для мониторинга ослабленных участков месторождений. Проведен анализ физико-географических и геологических условий Орловского месторождения ВКО. Для отработки технологии космической радиолокационной интерферометрии (КРИ) и проверки работоспособности всех элементов системы по архивным радиолокационным данным дистанционного зондирования выбрана тандемная пара и космический аппарат двухпроводной съемки, генерирована интерферограмма, построены цифровая модель рельефа и карта смещения поверхности тестовой территории. Проведена верификация полученных данных КРИ с результатами высокоточного нивелирования тестовой территории, показавшая высокую степень коллереции.

Проект 6. *Совершенствование нормирования вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке месторождений полезных ископаемых* (научный руководитель канд.техн.наук, доцент Рысбеков К.Б.)

*Этап 1. Изучение нормирования вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке месторождений открытым и подземным способом в различных горнотехнических и горно-геологических условиях в республике*

Изучено влияние нормирования вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способом в различных условиях. Изучено влияние неравномерности производства горных работ и подготовленности запасов на производительность горных предприятий и качественный состав руды. Приведены рациональные нормативы вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке месторождений минерального сырья в республике, которые требуют обоснования из-за значительного расхождения нормативов на конкретных горных предприятиях.

Проект 7. *Совершенствование технологии открытых горных работ путем создания временных внутренних отвалов* (научный руководитель канд.техн.наук, профессор Кузьмин С.Л.)

*Этап 1. Исследование существующих технологий регулирования режима горных работ. Разработка и обоснование графиков режима горных работ с применением временных внутренних отвалов*

Сформулированы новые требования к технологии временных внутренних отвалов на открытых горных работах, которые позволяют перейти к разработке новых технологических схем ведения горных работ. Технические решения по организации временных отвалов не могут быть предусмотрены проектами в силу неполной определенности условий работы карьеров на стадии проектирования. При эксплуатации карьера по утвержденному проекту они должны приниматься на основе текущего состояния горных работ и планируемого режима горных работ на период существования временного отвала с учетом фактора времени и определением срока окупаемости дополнительных затрат, обусловленных перегрузкой вскрыши. На основании проведенного горно-геометрического анализа выявлены объемы вскрыши, которые можно разместить во временных отвалах для ряда горнодобывающих предприятий Республики Казахстан.

Проект 8. *Разработка технологии изготовления малообъемных конструкций из фибробетонов* (научный руководитель канд.техн.наук, доцент Елемесов К.К.)

*Этап 1. Разработка и согласование ТЗ на технологию изготовления корпусных деталей из фибробетонов*

Проведены лабораторные экспериментальные испытания образцов деталей из фибробетона на изгиб и сжатие. Испытания на изгибную прочность показали и подтвердили предположения, что составы фибробетонов с использованием стальной анкерной фибры наиболее прочные. Предел прочности на изгиб у образцов из стальной фибры в 2-3 раза превышает этот же

предел в 15-20 раз предел прочности на сжатие. Разработано и согласовано техническое задание на технологию литья деталей из фибробетонов, согласованное с представителем АО «АЗТМ»

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 канд.техн.наук, профессор Шаутенов М.Р.)

Этап 1. *Изучение физико-химических свойств, определение технологических параметров обогащения хвостов обогащения бывшей Жамбылской ОФ. Разработка компоновочного решения обогатительного комплекса*

Изучены свойства и установлены технологические параметры обогащения вольфрамсодержащих хвостов Жамбылской обогатительной фабрики. Проведённые исследования показали принципиальную возможность переработки хвостов обогащения Жамбылской обогатительной фабрики по гравитационно-флотационно-гравитационной схеме с получением товарной продукции. Приведены экспериментальные исследования по циркуляционной концентрации пробы вольфрамсодержащих хвостов для предварительной концентрации тяжелых минералов, позволяющие сбросить в голову процесса более 98 % хвостов с массовой долей трёхоксида вольфрама 0,3 %. Приведены экспериментальные исследования электрохимической хлоринации при выделении меди из коллективного медно-молибденового концентрата. Извлечение меди в раствор составило 68,5 %. В кеке получен кондиционный молибденовый концентрат с массовой долей молибдена 50,5 %.

Проект 10. *Внедрение промышленной биотехнологической установки для интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана* (научный руководитель канд.техн.наук, профессор Турысбекова Г.С.)

Этап 1. *Произвести монтаж и подключение в систему ПСВ урана при подаче раствора в закачные скважины объемом до 3 м<sup>3</sup>*

Наработана биомасса штаммов железooksисляющих бактерий *A.Ferrooxidans*. Получено разрешение на использование установки бактериального окисления железа (УБОЖ) от РГП «Комитет индустриального развития и промышленной безопасности». Осуществлен запуск в работу пилотной биотехнологической установки, и она включена в сеть подземного скважинного выщелачивания урана на одном из блоков уранового рудника. Определены оптимальные условия применения бактериального окисления железа. Требования по рН и температуре соответствуют производственным условиям.

Проект 11. *Разработка технологии переработки отработанного активированного угля с получением золотосодержащего продукта на золотоизвлекательных фабриках* (научный руководитель канд.техн.наук, Бектай Е.К.)

Этап 1. *Монтаж специализированной установки для получения золотосодержащего продукта из отработанного активированного угля*

Произведен монтаж специализированной установки для получения золотосодержащего продукта из отработанного активированного угля. Проведено ее тестирование. Осуществлен запуск в работу установки для получения золотосодержащего продукта из отработанного тонкоизмельченного активированного угля и определены оптимальные условия процесса, уточнены технические параметры установки. Определен объем подаваемого специализированного реагента для эффективного отделения остаточного активированного угля из отходов. При оптимальных режимах количество остаточного угля составило менее 1%. С использованием комплекса физико-химических методов анализа (РФА и химической обработки) изучен вещественный отход тонкоизмельченного активированного угля. Данные анализа показывают, что на указанных пробах применима технология для доизвлечения золота.

По результатам проведенных работ по ПЦФ №BR0523561 в 2018 году опубликованы 4 монографии, 22 статьи, в том числе 7 статей в научных изданиях, индексируемых базами данных WebofSciences и Scopus, 15 докладов на международных конференциях; получено патента Республики Казахстан, поданы 3 заявки на изобретение.

**По грантому финансированию научных исследований в 2018 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-р техн.наук, профессор, академик НАН РК Ракишев Б.Р.)

*Краткие выводы по результатам НИИР:* собраны и обработаны геологические материалы месторождений Сырдарьинской урановой провинции, изучены геотехнологические параметры руд и вмещающих пород продуктивных горизонтов, изучены и проанализированы горно-геологические особенности месторождений урана. В результате исследования было установлено, что особенностью месторождений является повышенное содержание глинистых до 20% и карбонатных до 2% минералов в рудах и вмещающих породах, проведены физико-химические исследования по изучению их количественно-качественного состава. Установлена структура осадкообразований, свидетельствующая о наличии карбонатов в осадках, составляющих основу образований, достигающих от 29 до 69% от общей массы. Произведен отбор проб kernового материала и проведены исследования минералогического и гранулометрического состава проб керна, а также микроскопические исследования руд и вмещающих пород. В результате установлены количественно-качественные параметры руд и вмещающих пород, состав алевритоглинистых частиц в пробе достигает до 25% от массы пробы, характеристики распределения урановой минерализации в рудных песках. Рассчитаны основные геотехнологические параметры отработки эксплуатационных блоков методом скважинной добычи, определены основные факторы, влияющие на степень кольматации продуктивного горизонта в зависимости от физико-химических характеристик рудовмещающих пород, и определены оптимальные расходы серной кислоты на различных стадиях отработки эксплуатационных блоком методом скважинной добычи.

*Результаты оценки технико-экономической эффективности разработки:* подробное изучение горно-геологических параметров руд и вмещающих пород, структуры и количественно-качественных характеристик kernового материала и осадкообразований позволяет установить причины снижения проницаемости продуктивного горизонта и снижения эффективности скважинной добычи урана. Эти данные позволят подобрать эффективные методы воздействия для разрушения, восстановления проницаемости продуктивного горизонта и предотвращения осадкообразований при скважинной добычи урана.

Проект 2. *Модернизация горно-металлургического оборудования с использованием инновационных материалов и компоновок приводов – AP05131236* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Крупник Л.А)

*Краткие выводы по результатам НИИР:*

- определен перечень корпусных деталей для изготовления в полимербетоне и подобрана оптимальная технология литья;
- определен перечень оборудования и технические условия под установку УПМ;
- подобрана рецептура и разработаны технические условия для работы с полимербетонами;
- создана и обоснована концепция УПМ;
- изготовлены пробники из полимербетона для корпусных деталей, которые показали, что их прочность в 8-10 раз выше приведенных в литературных источниках;
- изготовлена действующая модель УПМ на основе разработанной концепции и расчетного обоснования геометрических и технических параметров;
- выбран состав полимербетона, отвечающий заявленным требованиям: бутовый щебень – 51%, кварцевый песок – 25,5%, кварцевая мука – 11%, связующая эпоксидная смола 10,6%, отвердитель 2%;
- подтверждены работоспособность концепта УПМ и заложены конструктивные параметры. При стендовых испытаниях УПМ показал частоту вращения  $1,5 \text{ мин}^{-1}$  при крутящем моменте 4,24 кН·м.

*Результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения.* Технико-экономическая оценка эффективности разработок будет осуществлена в результате дальнейших исследований. Прогнозируемый экономический эффект от реализации разработки: себестоимость 1 кг годного литья по данным российских производителей 112,17 руб по курсу 5,0 за 1 рубль это составит 5560,83 тг. Себестоимость 1 кг литья из полимербетона – наполнитель + смола не более 15 + 250 = 265 тг с учетом затрат на изготовление литейных форм из того же полимербетона при безотходной технологии не более 1,0 тыс.тг. Прогнозируемая относительно низкая экономическая эффективность пневмокамерного привода из-за пусть невысокой стоимости, но большого расхода компримированного воздуха с лихвой будет компенсирована простотой конструктивного исполнения и эксплуатационной надежностью.

Проект 3. *Разработка бесцианидной технологии извлечения золота из труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья – АР05133041* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Бегалинов А)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- установлен верхний и нижний предел крупности дробления, позволяющий последовательное раскрытие минеральных зерен при соответствующих методах обогащения данного класса крупности;
- на основании ситового анализа установлено распределение золота по классам крупности;
- определено изменение гранулометрического состава руды от продолжительности измельчения;
- методом «Бокса-Уилсона» получены уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь основных факторов, влияющих на процесс флотации труднообогатимых золотосодержащих руд коры выветривания;
- переработкой руды по схеме гравитационное обогащение (винтовой сепаратор) получен гравитационный концентрат с содержанием золота – 21,5 г/т, извлечением 13,39 %;
- по гравитационные обогащения золотосодержащей руды месторождения «Кварцитовые Горки» установлено, что данная руда гравитационными методами плохо обогащается (извлечение 5,16-10,78 %). Преобладает связанное тонкодисперсное золото, заключенное в пирите, арсенопирите;
- переработка руды по схеме гравитационное обогащение (отсадка и перечистка концентрата отсадки на концентрационном столе) – флотация хвостов гравитации получено суммарное извлечение золота в концентраты 59,8 %. Содержание золота в концентратах составило: гравиконоцентрат – 15,65 г/т, флотоконцентрат – 42,07 г/т. В хвостах обогащения содержание золота составило 1,55 г/т;
- проведены укрупненные лабораторные исследования по сульфит-тиосульфатному выщелачиванию коллективных углистых золотомышьяковых концентратов месторождения Бакырчик. Определены основные оптимальные параметры окисления и выщелачивания концентрата: время выщелачивания 4 часа, температура 60°C, отношение Т: Ж 1:5, рН=9,0-9,5, концентрация сульфит-иона 75-80 г/л, тиосульфата натрия 10 г/л, сульфата меди 1 г/л;
- получены высокие показатели извлечения золота (96-98%) в раствор при менее жестких условиях ведения процессов окисления и выщелачивания концентрата, в сравнении с цианиднымредокс-процессом: давление в автоклаве снижено с 16-20 атмосфер до 5 атмосфер; температура снижена с 290-300°C до 60°C; в качестве окислителя вместо кислорода – использован воздух, что исключает необходимость сооружения кислородной станции.

*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 (96-98%) в раствор при менее жестких условиях ведения процессов окисления и выщелачивания концентрата, в сравнении с цианиднымредокс-процессом.

Проект 4. *Совершенствование управления технического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель на открытых горных работах – АР05131591* (научный руководитель канд. техн. наук, доцент Рысбеков К.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- изучено состояние техногенно нарушенных земель при освоении месторождений открытым способом за рубежом и в республике. В настоящее время в стране насчитывается 248,3 тыс. гектаров земель, нарушенных в ходе строительства промышленных объектов, линейных сооружений и других предприятий. В региональном плане наибольшее количество нарушенных земель находится в трех областях, в Мангистауской – 78,6 тыс. га, в Карагандинской – 45,3 тыс. га и в Костанайской – 37,8 тыс. га. Всего в республике числится 3346 предприятий и организаций, имеющих на своей территории нарушенные земли;
- исследовано состояние и направление рекультивации нарушенных земель с использованием наземного лазерного сканирования и проведено полевое почвенное обследование нарушенных земель на открытых горных работах республики;
- изучено состояние фитоценозов на нарушенных землях и получены результаты геоботанических исследований фитоценозов на техногенных ландшафтах открытых разработок республики;
- в результате полевых исследований выявлено преобладание злаков над разнотравьем на территории промышленных объектов ССПО. На отвалах характерно развитие зарослей кустарников. По склонам восточной и юго-восточной экспозиции отвала сформировались житняково-разнотравно-злаковые и житняково-мятликово-разнотравные сообщества;
- лабораторные исследования почв в почвогрунтах отвалов месторождения Родниковое показало активную аккумуляцию тяжелых металлов: Pb – 0,7625 мг/кг, Cd – 0,01878±0,73 мг/кг, Zn – 4,3376 мг/кг, Cu – 0,2729 мг/кг, Fe – 11,40±1,42 мг/кг;
- обоснованы принципы создания искусственного растительного покрова на техногенно нарушенных землях горных предприятий республики. Этап биологической рекультивации должен проводиться с учетом рекомендаций по зональной агротехнике. Необходимо проведение дополнительных мероприятий, направленных на улучшение физических свойств рекультивационного слоя. К таким мероприятиям относится внесение минеральных удобрений.

*Результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения.* Обеспечение социально-экономического эффекта при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом за счет обоснования направления биологического восстановления нарушенных земель и совмещения технического и биологического этапов рекультивации.

Проект 5. *Комплектация, оптимальное размещение и высокопроизводительное использование комплексов циклично-поточной технологии при доработке глубоких железорудных карьеров – АР05133548* (научный руководитель д-р техн. наук, профессор Молдабаев С.К.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- разработан инновационный сквозной пункт разгрузки автосамосвалов на крутонаклонный конвейер, отличающийся от известных тем, что после проезда поворотного моста, соединенного шарнирами (опорными подшипниками скольжения) с перпендикулярно расположенными к ним балкам, по которым они движутся, они разгружаются и за счет веса горной массы раскрываются. Вес противовесов возвращает мосты в исходное горизонтальное положение;
- предложено усовершенствованное устройство для перегрузки скальных пород из конвейера в железнодорожный транспорт, отличающееся от известных тем, что в конструкцию перегрузочного устройства входит наклонная часть конвейера реверсивного перегружателя, межступенный конвейерный перегружатель, а также штабель на вышележащем горизонте. При взаимодействии составных частей реверсивного перегружателя происходит загрузка думпкаров, а при ожидании очередного порожнего локомотивосостава скальные породы разгружаются в штабель на площадке вышерасположенного уступа, отгрузка которого осуществляется дополнительным одноковшовым экскаватором;

- разработана транспортная установка для доработки приконтурных запасов руды под целиками железнодорожных путей, по сравнению с известными конструкциями обеспечивающая ее перемещение без демонтажа при расконсервации временно нерабочего борта с одновременной установкой на нем комплекса ЦПТ в условиях увеличения результирующего угла наклона бортов карьера. Перемещение комплекса в пределах зоны доработки целиков достигается за счет гидростоек, регулирующих высоту его опор;
- предложена систематизация подъемно-транспортного оборудования комплексов ЦПТ для использования на крутых бортах глубоких карьеров, которая основана на видах и типах оборудования, конструктивных параметрах, потребляемой ими мощности, производительности, условиях применения и в которой приведены основные заводы-изготовители и сочетание с оборудованием смежных процессов;

*Результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения.* Полученные результаты проекта позволят на стадии комплектования комплексов оборудования ЦПТ гарантировать освоение проектной мощности дорогостоящих крутонаклонных конвейеров и располагать перегрузочные площадки в стесненных условиях глубоких карьеров без дополнительного затратного разноса их бортов.

Проект 6. *Разработка технического задания и изготовление опытного образца противопесочного клапана – АР05134561* (научный руководитель канд. техн. наук, Мырзахметов Б.А.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- проведены предпроектные исследования по обоснованию конструкции и конструктивных параметров установки, включающие в себя сбор информации и обобщение материалов с анализом мирового опыта по борьбе с пескопроявлениями на месторождениях;
- проведен обзор и анализ конструкций противопесочных устройств для выбора прототипа и обоснованию концепции по разработке собственной конструкции;
- разработана общая компоновка элементов конструкции противопесочного клапана и проведено расчетное моделирование режимов работы ГНО для определения условий работы изделия в скважинных условиях;
- проведено обоснование конструктивных параметров противопесочного клапана и разработаны рабочие чертежи к конструкторско-технологической документации;
- составлено техническое задание и разработаны маршрутные карты на изготовление деталей и узлов опытного образца изделия;
- проведена работа по размещению заказа на изготовление деталей и узлов опытного изделия на заводах. В связи с уникальностью конструкции устройства и во избежание промышленного плагиата, изготовление отдельных деталей и узлов проведено на разных заводах;
- разработан проект и изготовлен испытательный стенд с комплектом КИП со станцией управления и регистрации параметров для оценки работоспособности и регулировки параметра активации противопесочных клапанов для штанговых и бесштанговых насосных установок;
- проведена сборка и подготовка опытного изделия для проведения стендовых испытаний;
- проведены предварительные стендовые испытания опытного изделия, подтвердившие, в целом, его работоспособность.

Проект 7. *Разработка системы прогноза и методов мониторинга за смещением горного массива на опасных участках земной поверхности при освоении недр на основе инновационных методов ГИС – технологии – АР05133929* (научный руководитель д-р техн. наук, профессор Байгурин Ж.Д.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- выполнен сбор и анализ горногеологических и горнотехнических факторов и их влияние на напряженно-деформированное состояние горного массива. Мощность рудных тел изменяется в широких пределах от 1,5м до 25м и более, падения углов – пологое от 20<sup>0</sup> до 60<sup>0</sup> и более. Крепость пород 10–16, крепость руды, вмещающих пород 6–8;



- усовершенствован метод зонного районирования поверхности месторождения по степени провалоопасности. По результатам теоретического расчета установлены составляющие напряжения в зависимости от петрографических особенностей, физико-механических свойств горных пород;
- предложен метод зонного районирования земной поверхности месторождения по степени проблемности, с учетом трещиноватости горных пород и распределения горного давления во взаимосвязи с рельефом местности;
- произведена верификация результатов анализа ранее выполненных методов и теоретических положений по обоснованию анизотропии плотности горного массива;
- предложен метод определения напряженно-деформированного состояния горного массива через разность геоэнергии между состоянием устойчивого и неустойчивого равновесия элемента массива;
- разработаны новые правила деления исследуемой территории на зоны и их классификация по уровню опасности с идентификацией внутренних точек зоны по эквипотенциальным линиям геоэнергии;
- установлено, что в нетронутым положении массива горных пород, т.е. не производились подземные горные работы, состояние толщи горного массива и его напряженное состояние определяется силой тяжести вышележащей толщи пород с поправкой на неоднородность физико-механических свойств породного массива;
- показано, что составляющие механического напряжения зависят от петрографических особенностей и физико-механических свойств горных пород, геолого-структурной приуроченности изучаемого массива, степени и вида трещиноватостей, являющихся главным признаком начала возможных деформационных процессов;
- установлено, что тектоническая природа поля напряжений в котором на некоторых участках месторождения одна из горизонтальных составляющих в несколько раз превышает вертикальную, что в совокупности с определенными физико-механическими свойствами слогающих массив пород может привести к динамическим проявлениям горного давления;
- показана перспективность использования многоцелевого программного обеспечения LeicaGeoMoS для создания автоматической системы мониторинга, на основе объединения геодезических (тахеометры), геотехнических и спутниковых GNSS датчиков контроля за деформацией, на примере мониторинга рискованных участков месторождения.

*Результаты оценки технико-экономической эффективности разработки обусловлены применением разработанных методов по зонному районированию провалоопасных участков, с учетом степени трещиноватости горных пород и распределением разности потенциальной энергии между состоянием устойчивого и неустойчивого равновесия элемента горного массива.*

*Проект 8. Отработка технологии флотационного обогащения свинцово-цинковых руд месторождения Шалкия с использованием предварительного процесса гравитационного обогащения – AP05133980 (научный руководитель д-р техн. наук, профессор Телков Ш.А.)*

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- выполнены работы по подготовке пробы руды к проведению исследований по определению гранулометрического и фракционного состава (дробленной до крупности 40–50 мм);
- выполнены исследования по изучению вещественного и химического состава пробы исследуемой руды;
- выполнен фазовый анализ свинца и цинка;
- определено, что минералы свинца и цинка представлены преимущественно в сульфидной форме: доля свинца в сульфидах составляет 90,15 % от общей массы элемента, доля цинка 96,76 % от общей массы элемента;
- рудная минерализация в пробах руды представлена сульфидами железа (пирит, пирротин), сфалеритом и галенитом. В незначительном количестве отмечаются окисленные минералы свинца и цинка, а также сульфиды меди;
- определен гранулометрический состав исходной руды, дробленной до 50 мм;

- определен характер распределения цинка, свинца, диоксида кремния, оксида кальция и углерода по классам крупности;
- выход суммарного класса крупностью 50 – 8,0 мм составил 64,78 %. Извлечение свинца и цинка в данный класс крупности составило 57,48 % и 55,09 % соответственно. Извлечение диоксида кремния, оксида кальция и углерода составило 64,65 %, 71,48 % и 63,58 %.

Полученные результаты исследований позволяют отнести данную руду с точки зрения гравитационной обогатимости к категории труднообогатимых руд.

- определено, что в результате гравитационного предобогащения дробленной руды месторождения Шалкия возможно выделение легкой фракции в количестве не более 20 % от руды, при этом потери свинца и цинка составят не более 10 % по каждому металлу;
- предварительное гравитационное обогащение, необходимо осуществлять с использованием процесса обогащения в тяжелых суспензиях. Это объясняется тем, что при разделении в тяжелых суспензиях можно практически точно выдерживать необходимую плотность разделения и получать легкую фракцию с минимально возможным содержанием цинка и свинца.

Выделение данного количества легкой фракции в свою очередь позволит удалить из руды диоксида кремния 25–30 %, оксида кальция 8–10 % и углерода на 10–12 %, тем самым улучшить условия флотационного обогащения, снизить расход флотационных реагентов и повысить качество получаемых концентратов, а также уменьшить общую нагрузку на измельчительное и флотационное оборудование.

Проект 9. *Разработка технологии извлечения золота из золошлаковых отходов – АР05133341* (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Шаутенов М.Р.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- изучены гранулометрический состав и распределения золота и железа в отобранной пробе золошлакового отхода Степногорской ТЭЦ. Главными минералами большей части золошлаковых отходов являются муллит, магнетит, кварц с примесью гематита, кристобалита, кальцита, гипса. В химическом составе преобладает алюминий, кремний, железо, кальций. В качестве примеси выявлены титан, марганец, хром;
- проведенный гранулометрический анализ с изучением минерального и химического составов с применением прецизионных методов исследований позволили выделить золото и железо содержащие классы крупности в зернистой части материала золосодержащих отходов;
- повышение содержания золота отмечается в немагнитной фракции, иногда превышение составляет 10 раз по сравнению с магнитной;
- оптической микроскопией не удалось выявить в продуктах обогащения свободное самородное золото. Содержание общего золота независимо от размерности золошлаковых образований примерно одинаковые – 0,2 – 0,4 г/т, что указывает на тонкодисперсный характер золота;
- методом эмиссионного спектрального анализа твердофазных дисперсных проб исследуемой золы во всех ее фракциях удалось установить частицы не только тонкодисперсного золота, но и платины;
- магнитной сепарацией продуктов гравитационного обогащения из класса крупности - 0,044 + 0 мм в немагнитный продукт выделено золото содержанием 5,50 г/т с извлечением до 90,84%;
- изучено распределение золота и железа по фракциям крупности золошлаковых отходов рентгенодифрактометрическим методом;
- установлено, что практически все золото (90,77%) сосредоточено в крупных, мелких и тонких фракциях, в этих же фракциях находится практически все железо.

Проект 10. *Обоснование технологии применения комбинированных насосных установок при добыче продуктивных растворов. Разработка конструкции модели струйного насоса для моделирования совместных с электроцентробежным насосом режимов работы – АР05131363* (научный руководитель канд. техн.наук, Мырзахметов Б.А)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- проведен сбор, анализ и обобщение материалов по практическому применению тандемных насосных установок в нефтяной и химической отраслях;
- проведено обоснование режимов работы комбинированной насосной установки в откачных скважинах при подземном скважинном выщелачивании урана по месторождениям Казахстана;
- проведен анализ существующих методик расчета и проектирования струйных насосных установок;
- произведен выбор и обоснование исходных параметров и методики расчета основных элементов и узлов для моделирования работы струйного насоса в комбинации с электроцентробежным;
- разработаны виртуальные модели откачной скважины и комбинированной насосной установки (СН+ ЭЦН);
- проведены расчетно-экспериментальные исследования режимов работы виртуальной модели комбинированной насосной установки, по результатам которой получены теоретически обоснованные исходные конструктивные параметры для проектирования и изготовления действующего лабораторного образца струйного насоса.

## **2.30. КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

***НИР № AP05135535 Разработка контурной технологии крепления выработок с управлением техногенным состоянием углепородного горного массива вмещающих пород***  
(Грантовое финансирование научных исследований МОН РК на 2018-2020 гг.)

Научный руководитель – проф. кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» докт. техн. наук Демин В.Ф.

В соответствии с основным направлением работы по разработке технологических схем, способов и средств проведения выработок с контурным и многоцелевым креплением на основе установления закономерностей проявлений напряженно-деформированного состояния углепородного массива во вмещающих горных породах при численном моделировании и на основе натуральных экспериментальных замеров в шахтных условиях для обеспечения устойчивой системы взаимодействия крепь – вмещающие породы горного массива вокруг выработок для поддержания их контуров **произведена оценка состояния проблемы и существующих конструкций систем контурного и многоцелевого заложения при креплении горных выработок на угольных и рудных шахтах с управлением техногенным состоянием приконтурного углепородного горного массива.**

*Цель работы*

Формирование прогрессивных технологических схем многоконтурного крепления выработок с управлением техногенным состоянием углепородного горного массива вмещающих пород на основе выявленных закономерностей проявлений горного давления.

*Результаты работы*

**Произведена оценка состояния проблемы и существующих конструкций систем контурного и многоцелевого заложения для крепления горных выработок. Выполнено обоснование качественных и количественных параметров систем контурного крепления горных выработок с учетом геомеханики углепородного вмещающего массива. Разработаны технологические подходы для создания безопасных условий и эффективности труда в высокопроизводительных очистных и подготовительных забоях.**

Проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания силикатной (органоминеральной) смолы «БлокПУР С» (производства ООО «ДСИ Техно» (г. Кемерово, Россия), которые показали эффективность их использования для крепления и стабилизации неустойчивых горных пород и разрушенного горного массива на сопряжениях с примыкающими выработками с очистными забоями.

*Научная новизна выполненных работ* обусловлена разработкой ресурсосберегающих методов, систем и технологий упрочнения и стабилизации контуров выработок различного назначения, исключая случаи обрушения их кровли и боков в зонах повышенного горного давления; созданием эффективной технологии крепления выработок в различных горнотехнических условиях эксплуатации с учетом напряженно-деформированного состояния вмещающих горных пород вокруг выработок.

*Основные конструктивные, технологические и технико-экономические характеристики*

По результатам экспериментальных исследований, аналитического моделирования, конструкторских проработок будут сформированы прогрессивные инновационные решения (на уровне патентов РК) по конструктивным (по длине, размерам, комплектности составляющих элементов, плотности установки), технологические (местоположения относительно контуров выработок и элементов залегания угольного пласта, влияния осложняющих факторов и схем развития горных работ и параметров крепления) и технико-экономические характеристики (снижение металл- и трудоемкости работ) по креплению выработок для повышения темпов их проведения и устойчивости.

*Экономическая эффективность или значимость работы*

Будет достигнута за счет разработки и внедрения прогрессивных конструкций жестких, гибких и составных средств многоцелевого контурного заложения обеспечить упрочняющее воздействие на угле-породный массив вокруг выработки, для предотвращения потери устойчивости горного массива и снижения дефектности контуров выработок с установлением оптимальных параметров в зависимости от горнотехнических условий эксплуатации и степени влияния осложняющих факторов при проведении горных выработок.

*Прогнозные предположения о развитии объекта исследований*

Разработка технологии проведения, крепления и поддержания горных выработок на основе цифрового моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и схем упрочняющего воздействия. Технико-экономическая оценка технических и технологических решений. Изготовление промышленных партий систем и средств крепления и испытания их шахтных условиях.

Научно-прикладные работы по конструкторско-проектной разработке (проектно-конструкторская документация) прогрессивной конструкции контурного и многоцелевого заложения для крепления горных выработок.

Изготовление партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок и сертификационная оценка их технических параметров (сертификат качества и безопасности) и их внедрение в промышленных условиях

Создание эффективных технологических схем проведения горных выработок при подземной добыче угольных пластов, прогрессивных, эффективных и безопасных способов ведения очистных и подготовительных работ; определение оптимальных параметров горно-подготовительных работ по фактору обеспечения минимальной себестоимости их ведения, области применения и экономической эффективности разработанных технологических решений.

*Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы*

Несмотря на значительный рост уровня механизации производственных процессов, угольная и горнорудная промышленности остаются одними из наиболее трудоемких отраслей.

Применение технологии предусматривается преимущественно, на шахтах и рудниках крепь горных выработок в зонах повышенного давления, где контуры выработок усиливают с помощью гидравлических стоек, канатных анкеров, а на сопряжениях с лавой используется механизированная крепь сопряжения.

**В настоящее время, в большинстве угольных и рудных шахт традиционно для усиления крепи широких горных выработок и их сопряжений используется стоечная, смешанная и рамная крепь.** В сравнении с ними средства контурного и глубокого многоцелевого заложения кровли, боков и почвы при креплении горного массива обладают следующими преимуществами: низкие материальные затраты и металлоёмкость; низкая трудоёмкость при доставке и установке; не препятствует проходу людей и транспортировке оборудования; не требует ремонта крепи при установке оборудования в выработке.

### *Обоснование необходимости проведения НИР*

Контурная технология крепления вмещающих пород вокруг горных выработок предназначена для использования в угольной и рудной отраслях горнодобывающей промышленности для усиления крепи подготовительных горных выработок; для крепления монтажных камер; поддержания подготовительных выработок позади очистного забоя; снижения дефектности и повышения устойчивости капитальных и подготовительных горных выработок; проведения выработок по нарушенным пластам с неустойчивыми вмещающими породами, выбросоопасным пластам. Разработанная прогрессивная технология для контурного крепления горных выработок с закреплением вмещающих пород позволяет значительно снизить себестоимость проведения выработок и обеспечить безопасность ведения горных работ.

### *Актуальность*

**Контурное крепление выработок и сопряжений позволяет добиться следующих положительных результатов: экономия материальных затрат; низкая трудоемкость при доставке и установке крепи; беспрепятственный проход людей и транспортировка оборудования; повышение безопасности работ при монтаже механизированного комплекса в монтажных камерах.**

На шахтах Угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау» ежегодно требуется – до 100 тыс. единиц средств контурного крепления и до 10–15 тыс. единиц средств крепления многоцелевого заложения.

Таким образом, проведение исследований по установлению основных влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов, разработке контурной технологии крепления выработок с управлением техногенным состоянием угле-породного горного массива вмещающих пород и совершенствованию технологических схем по повышению эффективности и обеспечению безопасности разработки угольных пластов является актуальной задачей горных работ.

### *Новизна темы*

**Новизна проекта заключается в разработке технологических схем ведения горно-подготовительных работ, основанных на применении геотехнологических методов контурного, целенаправленного воздействия на угле-породный массив для предотвращения газодинамических явлений, потери устойчивости горного массива путем увеличения зоны эффективного воздействия на нарушенные и выбросоопасные зоны. По результатам исследований получены пять решений о выдаче патентов РК.**

### *Цели и задачи исследований, их место в выполнении НИР в целом*

Разработка технологических схем, способов крепления горных выработок с созданием контурных средств крепления. Защита интеллектуальных прав на созданную продукцию. Разработка контурной технологии проведения, крепления и поддержания горных выработок на основе цифрового моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и схем упрочняющего воздействия. Технико-экономическая оценка технологических решений. Изготовление промышленных партий контурных систем и средств крепления и испытания их шахтных условиях.

*Задачи проекта:* разработка схем крепления выработок с использованием технологии контурного крепления на базе обоснованных закономерностей проявлений напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горных пород; создание условий для расширения области применения технологии контурного крепления.

### *Выводы*

Произведена оценка технологических схем возведения контурной крепи в выработках угольных и рудных шахт с учетом геомеханического состояния вмещающих пород в условиях рудника Нурказган «ТОО Корпорация «Казахмыс» крепями: набрызг-бетонной или торкрет-бетонной, анкерной, комбинированной, усиленной комбинированной; металлической рамной (арочной), монолитной железобетонной крепью. Также проведен анализ технологических схем контурного крепления горных выработок на рудниках Жезказганского месторождения, в условиях Южно-Жезказганского рудника ПО «Жезказганцветмет» крепями: армокаркасной, анкерной, расширяющимися анкерами. Анализ крепления выработок на рудниках позволил рекомендовать следующие мероприятия по совершенствованию технологии: диаметр шнура не должен превышать диаметр анкера более чем на 11мм; обязателен контроль за поведением

массива с принятием оперативных мер по усилению выработок, проведение экстензометрического контроля путём установки двухуровневых датчиков–реперных станций; по полученным результатам выявлять отказы в элементах анкерной крепи и соответствие анкеров, ампул стандартным требованиям; необходимо устанавливать анкера с предварительным натяжением стержня (использовать ампулы с ускоренным и медленным временем твердения) и обязательно с проклейкой его по всей длине; при отслоении пород на высоту равную длине анкера и устанавливать канатные анкера.

Внедрение рекомендаций приведет к созданию породной грузонесущей балки, способной эффективно поддерживать кровлю выработок, будет достигнуто недопущение заколов и отслоений пород кровли, что обеспечит снижение затрат на крепление и поддержании горных выработок в различных горно-геологических условиях.

Рассмотрена технология, виды и способы крепления горных выработок на угольных шахтах. Произведена оценка горно-геологических, горнотехнических и эксплуатационных параметров горно-подготовительных работ на угольных шахтах. Выявлено влияния факторов, обусловленных применением контурного крепления в выработках, в технологических условиях применения анкерной крепи в странах с развитой угольной промышленностью. Приведены технологические схемы крепления выработок с неустойчивыми контурами.

Произведена спецификация материалов крепления горных выработок (при одно- и многоуровневой установке), контурного и многоцелевого заложения:

- анкера и их элементы: металлический жесткий, стеклопластиковый, канатный, предназначенный для крепления горных выработок путем глубинного анкерования окружающих пород; опорная сферическая шайба (опорная демпфирующая плитка); гайка со сферой; полосовой анкерный подхват (штрипс); нагнетательная трубка с функцией анкера («Ирма») с функцией анкера; инъекционный анкерный болт FiReP® POWERTHREAD; самонарезающий анкер SPINMAX для временного или постоянного применения в горной промышленности; Виборекс бурильно-нагнетательная система; анкерная бурильно-нагнетательная система Виборекс для упрочнения зон нарушений при ведении подготовительных и очистных работ, заполнения трещин полимерными составами в нарушенном массиве; ПУР-патроны для упрочнения угольного массива в подготовительных выработках; затяжки: металлическая сетчатая, сетка-затяжка с соединительными звеньями для перезатяжки боков горных выработок;
- химические смолы: полиуретановая Беведол-Беведан; двухкомпонентная полиуретановая БлокПУР для стабилизации неустойчивого и нарушенного горного массива: БлокПУР С;
- для сухих пород; БлокПУР В (БлокСИЛ В);
- для влажных пород; БлокПУР ВИ;
- для гидроизоляции; КарбоФИЛ;
- фенольная смола для заполнения пустот и куполов, трещин в нарушенном массиве, упрочнение сильно нарушенных горных пород; двухкомпонентная фенольная вспенивающаяся БлокФИЛ для заполнения вывалов и куполов; двухкомпонентная органоминеральная (силикатная) БлокСИЛ для стабилизации слабого и сильно нарушенного горного массива, укрепление угля в проходческих забоях и лавах в зонах горно-геологических нарушений.

**Выполнено обоснование качественных и количественных параметров систем контурного крепления горных выработок с учетом геомеханики вмещающего массива с учетом схем развития горных работ при разработке угольных пластов.**

Произведена разработка технологических подходов для создания безопасных условий и эффективности труда в высокопроизводительных очистных и подготовительных забоях: напряженно-деформированного состояния массива горных пород при креплении выработок в зоне опорного давления очистного забоя; влияние технологических факторов на условия поддержания контуров горных выработок; угла наклона контурных анкеров на напряженно-деформированное состояние массива горных пород; расположение контурной крепи относительно напластования слоев горных пород; контурного крепления сопряжений горных выработок; определение параметров контурного одноуровневого анкерного крепления; расположение

контурного крепления относительно элементов выработки при пучении пород почвы; при создании крепежной контурной балки над выработкой; влияние прочности вмещающих пород на величину напряжений и величины расслоений контурных пород; тектонических нарушений на параметры крепления горных выработок с контурным креплением; оценки деформаций при различной степени нарушенности горного массива

Исследован механизм деформирования, сдвижения и обрушения пород в структурно нарушенном неоднородном горном массиве с применением аналитического моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг горных выработок с помощью программ ANSYS и Flac2D вокруг горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна. Определены параметры эксплуатации контурной крепи на шахтах для закрепления штанг в выработках в целях обеспечения безопасности ведения горных работ зонах геологических нарушений.

Научная новизна выполненных работ обусловлена разработкой безотходных и ресурсосберегающих методов, систем и технологий упрочнения выработок различного назначения, исключающих случаи обрушения кровли в зонах повышенного горного давления; создания эффективной технологии крепления выработок для различных горнотехнических условий эксплуатации с учетом напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горных пород вокруг выработок. По результатам проведенных исследований получены положительные заключения о выдаче 5-ти патентов РК.

Проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания двухкомпонентной полиуретановой смолы «БлокПУР С» (производства ООО «ДСИ Техно» (г. Кемерово, Россия).

Проведенные лабораторные и опытно-промышленные испытания двухкомпонентной полиуретановой смолы «БлокПУР С» показали эффективность их использования для крепления и стабилизации неустойчивых горных пород и разрушенного горного массива на сопряжениях с примыкающими выработками с очистными забоями.

Все выполненные теоретические расчеты, компьютерное моделирование поведения вмещающих пород в зависимости от влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов, лабораторные и промышленные испытания средств и способов воздействия на горный массив направлены на создание эффективной контурной технологии закрепления пород вокруг выработок для повышения их устойчивости и снижения затрат на их эксплуатацию.

***НИР АР05135203 «Разработка интеллектуальных информационных систем для расчета технологических параметров процессов горного производства»***

(Грантовое финансирование научных исследований МОН РК на 2018-2020 гг.)

Научный руководитель – проф. кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» докт. техн. наук Исабек Т.К.

Научно-прикладные исследования направлены на создание автоматизированных интеллектуальных геоинформационных систем для расчета технологических параметров процессов горного производства: определения напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки при изменении горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации для обоснования качественных и количественных параметров крепления горного массива вокруг выработок; выбора оптимальной технологической схемы ведения горных работ; расчета параметров поддержания горных выработок; расчета нагрузки на очистной забой по горно-геологическим факторам и условиям проветривания; проявлений горного давления; определения области применения различных способов крепления вмещающих пород массива выработок, что позволит принимать обоснованные технологические решения при разработке месторождений полезных ископаемых. Формирование прикладных программ для предприятий горнодобывающей промышленности с использованием цифровой экономики на базе разработанных математических моделей производственных процессов в зоне ведения добычных проходческих работ и процессов их обеспечения в различных горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации угольных пластов является актуальной задачей для горнодобывающей промышленности Республики Казахстан. Применение конкурентоспособных компьютерных технологий и продуктов для горнодобывающих пред-

приятий обуславливается возможность производства многовариантных расчетов с выбором оптимальных решений; снижения затрат на проведение расчетов для установления рациональной технологической схемы горного производства для повышения его рентабельности; полученные с помощью компьютерных расчетов обоснованные количественные параметры позволят повысить эффективность и безопасность труда работающих в угольной и горнорудной промышленности при выполнении технологических процессов, что позволит создавать инновационных технико-технологических горные решения для решения конкретных задач производственных предприятий в подземных горно-шахтных условиях и обеспечивать научно-техническое сопровождение работ по проектировании технологии подготовки и добыче угольных пластов.

#### *Цель работы*

Создание конкурентоспособных программных продуктов для горнодобывающих предприятий для обоснования параметров и способов проведения и охраны горных выработок, обеспечивающих надежную и малозатратную эксплуатацию горных выработок и безопасность работ, снижение себестоимости добываемого угля за счет оптимизации параметров ведения горных работ. Разработанные программные продукты обеспечивают научно-техническое сопровождение работ по технологии подготовки и системам разработки, что снизит затраты по добыче угольных пластов.

#### *Результаты работы*

Разработаны интеллектуальные информационные системы для расчета технологических параметров процессов горного производства. Произведен анализ технологических способов, систем расчета параметров горных работ для повышения эффективности и безопасности очистных работ. Разработаны модели программных продуктов производственных процессов для формирования новых технологических решений, способствующих полному устранению или минимизации проявления негативных факторов в шахтах. Созданы модели программных интерфейсных научно-исследовательских модулей интеллектуальных подсистем угольных шахт по моделированию проявлений горного давления; выбору оптимальных звеньев подсистем угольной шахты; определению оптимальных параметров технологических схем очистных и подготовительных работ в сложных горно-геологических условиях.

*Научная новизна* выполненных работ обусловлена тем, что созданы автоматизированные геоинформационные системы по расчету параметров горных работ, направленные на формирование надежных способов охраны и поддержания горных выработок при наличии осложняющих факторов, способствующие разработке эффективных технологических схем горных работ при подземной добыче угольных пластов, созданию прогрессивных и безопасных способов ведения очистных и подготовительных работ, определению оптимальных параметров производственных процессов работ с приемлемой себестоимостью их ведения, области применения и экономической эффекта от разработанных технологических решений.

#### *Основные конструктивные, технологические и технико-экономические характеристики*

По результатам теоретических, экспериментальных исследований и аналитического моделирования будут сформированы инновационные решения (на уровне патентов РК и объектов интеллектуальной собственности) по определению проявлений горного давления; выбору оптимальных звеньев подсистем угольной шахты; определению оптимальных параметров технологических схем очистных и подготовительных работ; расчету параметров поддержания горных выработок и нагрузки на очистной забой.

#### *Экономическая эффективность или значимость работы*

Будет достигнута при применении прогрессивной технологии ведения проходческих работ; разработки и внедрении прогрессивных технологических решений для предотвращения потери устойчивости горного массива и снижения дефектности контуров выработок. Создаваемая продукция будет включать в себя конструкцию средств крепления горных выработок. Основной социально-экономический эффект – повышение эффективности и безопасности ведения горных работ будет достигнут за счет установления оптимальных параметров в зависимости от горнотехнических условий эксплуатации и степени влияния осложняющих факторов при проведении горных выработок.



### *Актуальность*

Создание автоматизированных геоинформационных систем: для определения напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки при изменении горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации для обоснования качественных и количественных параметров крепления горного массива; выбора оптимальной технологической схемы ведения горных работ; расчета параметров поддержания горных выработок; расчета нагрузки на очистной забой по горно-геологическим факторам и условиям проветривания, а также расчет проявлений горного давления; определения области применения различных способов крепления вмещающих пород массива выработок позволит принимать обоснованные технологические решения. Создание прикладных программных средств для предприятий горной промышленности на основе разработки математических моделей производственных процессов инновационной технологии очистных и подготовительных работ в сложных горно-геологических условиях отработки угольных пластов, что является актуальной задачей горнодобывающей промышленности с достижением высокого экономического эффекта и повышения безопасности горных работ.

### *Новизна темы*

Состоит в том, что обуславливается возможность производства многовариантных расчетов с выбором оптимальных решений; снижения затрат на проведение расчетов для установления оптимальной технологической схемы горного производства для повышения его рентабельности; полученные с помощью компьютерных расчетов обоснованные количественные параметры позволяют повысить эффективность и безопасность труда шахтеров при выполнении технологических процессов. С созданием инновационных технико-технологических горных решений, готовых для внедрения в производство. Получен патент РК и положительное заключение о выдаче патента РК.

### *Цели и задачи исследований*

Создание конкурентоспособных программных продуктов для горнодобывающих предприятий для обоснования параметров и способов проведения и охраны горных выработок, обеспечивающих эффективную эксплуатацию горных выработок и безопасность работ, снижение себестоимости добываемого угля за счет оптимизации параметров ведения горных работ. Разработанные программные продукты обеспечивают научно-техническое сопровождение работ по технологии подготовки и системам разработки, что снизит затраты по добыче угольных пластов.

*Задачи проекта:* создание конкурентоспособных программных продуктов на основе алгоритмов для определения оптимальных параметров процессов очистных и проходческих работ. Разработка автоматизированных геоинформационных систем для определения напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки; выбора оптимальной технологической схемы ведения горных работ; расчета параметров поддержания горных выработок и нагрузки на очистной забой.

Выполненные научно-прикладные исследования направлены на создание автоматизированных интеллектуальных геоинформационных систем для расчета технологических параметров процессов горного производства: определения напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки при изменении горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации для обоснования качественных и количественных параметров крепления горного массива вокруг выработок; выбора оптимальной технологической схемы ведения горных работ; расчета параметров поддержания горных выработок; расчета нагрузки на очистной забой по горно-геологическим факторам и условиям проветривания; проявлений горного давления; определения области применения различных способов крепления вмещающих пород массива выработок, что позволит принимать обоснованные технологические решения при разработке месторождений полезных ископаемых.

Произведен анализ технологических способов, технико-экономические показатели по угольным шахтам в индустриально развитых странах и СНГ.

Выполнен анализ систем расчета параметров горных работ для повышения эффективности и безопасности очистных работ. Разработаны модели алгоритмов программных продуктов производственных процессов для формирования прогрессивных и инновационных технологических решений, способствующих полному устранению или минимизации проявления негативных факторов в шахтах с разработкой модулей интеллектуальных информационных систем (автоматизированной системы расчета) для определения нагрузки на очистной забой (лава) по горно-геологическим факторам и условиям проветривания; подсистем угольных шахт по уста-

новлению проявлений горного давления; выбору оптимальных звеньев подсистем угольной шахты; определению оптимальных параметров технологических схем очистных и подготовительных работ.

Применением программного обеспечения обуславливается возможность производства многовариантных расчетов с выбором оптимальных технологических и технических решений; снижение затрат на проведение расчетов для установления оптимальной технологической схемы горного производства для повышения его рентабельности; полученные с помощью компьютерных расчетов обоснованные качественные и количественные параметры позволяют повысить эффективность и безопасность труда при выполнении технологических процессов с созданием инновационных технико-технологических горных решений, готовых для внедрения в производство.

***ИРН №АР05134048 «Разработка, подготовка производства и сертификация прибора «CoalAwakeningBeast» для прогноза внезапных выбросов метана и поиска утечек через перемычки на угольных шахтах».***

Научный руководитель – проф. кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» докт.техн.наук Дрижд Н.А.

Выполнен анализ и выбор признаков (маркеров) проявляемых главных опасностей подземного производства с углублением и интенсификаций горного производства: внезапных выбросов угля и газа и эндогенных пожаров.

Подтверждены прогрессивные направления создания портативной аппаратуры для оперативного получения апробированных параметров с приемлемой погрешностью.

Разработана схематехника на современной элементной базе, сконструирована рабочая документация для изготовления опытной партии прибора, изготовлены печатные платы, корпусные детали шахтного прибора с совмещенным датчиком расхода метана для текущего прогноза выбросоопасности и поиска утечек с регистрацией результатов измерений, привязкой к реальному времени, месту измерений, глубине контрольных шпуров и сопутствующих параметров – температуры потока газа или воздуха, количеству штыба при углублении шпура на 1 м, возможность просмотра динамики газовыделения по временному графику, сравнению графиков по углублению шпура. Приобретено базовое испытательное оборудование по расходу воздуха и газа.

Применение прибора «CoalAwakeningBeast» после испытаний по безопасности и сертификации по метрологии в 2019-2020 гг позволит повысить достоверность текущего прогноза выбросоопасности благодаря сниженному более, чем на порядок сопротивлению газового потока, исключаящему загрязнение капилляров напоромеров, применяемых до сих пор, что исключает существенное искажение результатов измерения начального газовыделения от засорения пылью и штыбом, обеспечивает объективную регистрацию и представление результатов измерения, возможность сопоставления групп результатов измерения по глубине и соседних контрольных шпуров, возможность ввода параметров массива от дополнительных устройств контроля свойств нарушенного пласта, а также возможность оценки распределения малых потоков воздуха по скоростям и температуре при поиске утечек на пожароопасных пластах.

### **2.31. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

В 2018 году деятельность Института в области фундаментальных и прикладных исследований была направлена на решение задач по следующим приоритетным научным исследованиям:

- геомеханика массива горных пород (оценка свойств, напряженного состояния горных пород и массивов, методы и средства их определения, математическое моделирование);
- технология освоения недр (горно-экономическая оценка месторождений и технология разработки полезных ископаемых);
- оценка, прогнозирование и предотвращение последствий природно-техногенных катастроф (оценка и прогноз природно-техногенных катастроф, устойчивость горных склонов, откосов дорог и гидротехнических сооружений, геоэкология горнопромышленных районов, оценка экологических рисков, создание приборов и аппаратуры, устойчивость дамб хвостохранилищ).

## Важнейшие результаты исследований по проектам в 2018 году

Проект 1. Геомеханическое и технологическое обеспечение рационального освоения месторождений полезных ископаемых Кыргызской Республики.

Проведено экспериментальное изучение ползучести глинистого грунта угольного карьера Кара-Кече, определены его физико-механические свойства и реологические параметры: скорости установившейся ползучести, коэффициенты эффективной вязкости.

Выявлены качественные и количественные особенности деформирования во времени глинистого грунта при плоском сдвиге

Определены фильтрационные свойства глинистого грунта карьера Кара-Кече и влияние атмосферных осадков на процессы инфильтрации.



**Обнажение серой глины. Западный участок угольного карьера Кара-Кече**

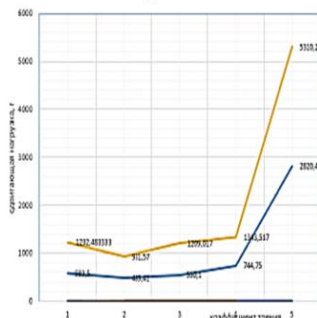


**Кривые ступенчатой ползучести серой глины при постоянных сдвигающих напряжениях от 0,02МПа до 0,10 Мпа**

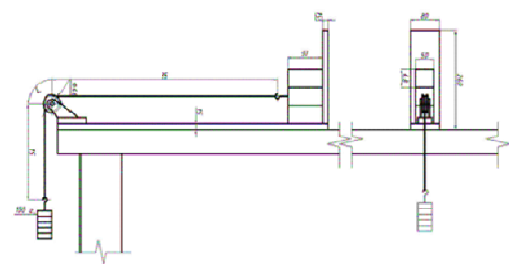
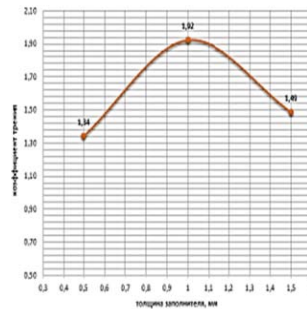
Выполнен аналитический обзор научной литературы по моделированию породных массивов блочного строения и обоснованы основные параметры моделирования блочного массива.

Установлено, что сопротивление сдвигу по контактам блоков зависит от угла внутреннего трения заполнителя, который в свою очередь зависит от его состава.

Проведены тестовые лабораторные эксперименты по оценке влияния контактных условий между блоками на сопротивление сдвигу и установлено, что процесс деформирования и разрушения по контактам блоков определяется составом заполнителя между блоками и не зависит от прочностных характеристик пород прибортового массива



**Влияние состава и мощности заполнителя между блоками на сопротивление сдвигу**



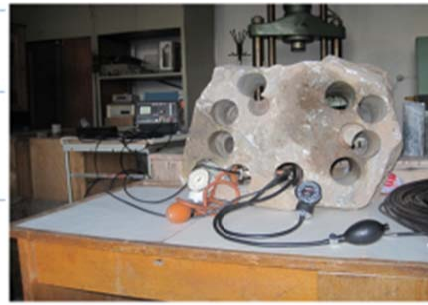
**Принцип работы разработанной установки по исследованию контактных условий между блоками**

Определены механические свойства и остаточные напряжения горных пород рудных месторождений КР;

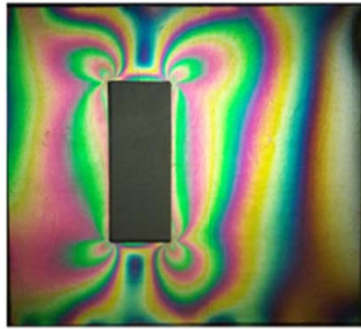
Разработан «Способ определения характеристик упругости твердых материалов» (Патент на изобретение КР № 2044, от 20.03.2018 г.);



**Нагружение и прозвучание  
призматического образца**



**Определение деформационных характеристик  
и напряжений горной породы по новому  
ультразвуковому методу**



**а**



**б**

**Распределение напряжений в модели вокруг камеры под действием:  
*а – вертикальных сил; б – вертикальных и горизонтальных сил***

Разработан поляризационно-акустический метод определения остаточных и действующих напряжений в горных породах.

Выявлены особенности распределения напряжений вокруг камеры в плоской модели.

Разработана математическая модель напряженного состояния массива горных пород с учетом гористого рельефа.

Установлены качественные и количественные показатели, имеющихся техногенных образований на территории Кыргызской Республики: отвалы предприятий угольной промышленности, отвалы цветной металлургии, отвалы радиоактивных отходов, отвалы предприятий стройматериалов и камнедобычи, хвостохранилище радиоактивных отходов, хвостохранилища предприятий цветной металлургии, накопители промстоков.

Определено, что представленных КОК отходах обогащения на хвостохранилище рудника «Кумтор» заскладировано более 90 тонн золота, 150 тонн серебра, более 4000 тонн меди.

Доказано, что при переработке техногенных золотосодержащих минеральных ресурсов себестоимость на производство 1 унции золота может в 1,5-2 раза быть ниже, по сравнению со стандартными технологиями.



**Отвалы рудника Кумтор**

Произведена оценка возможности транспортирования угля из месторождения Кара-Кече с помощью конвейерного и гидравлического способов.

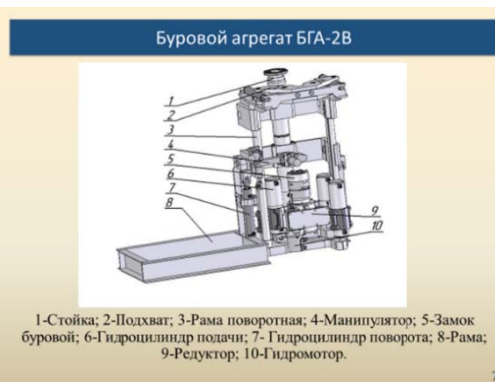
Произведена оценка пригодности месторождений Кавакского бурогоугольного бассейна к освоению с помощью современных технологий подземной газификации угля.

Обоснована возможность применения закладки из отходов производства на золоторудных месторождениях Кыргызстана.



Доказана эффективность применения технологии безвзрывной добычи руды на жильных месторождениях Кыргызстана.

Горно-геологическая характеристика жильных месторождений Кыргызстана							
№ п/п	Название месторождений	Угол падения рудных жил, град.	Мощность жил, м	Размер рудного тела по протяжению, м	Размер рудного тела по падению, м	Объемный вес руды, т/м <sup>3</sup>	Объемный вес породы, т/м <sup>3</sup>
1	Жамгыр	60-85	1,8-2,7	464	190	2,65	2,6
2	Курашжайлуу	34-52	0,5-1,6	290	206	3	2,6
3	Иштамберды	60-70	0,2-2,5	580	150	2,65	2,6
4	Терексай	70-80	1-6,7	300	180	2,65	2,65
5	Первенец	60-70	0,3-0,8	175	70	2,67	2,7
6	Трузовое	65-80	0,3-1,5	1100	560	3	2,8

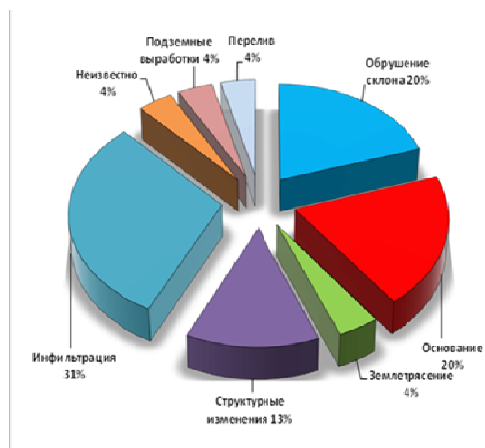


Проект 2. Оценка, мониторинг и прогнозирование опасных природно-техногенных процессов и геоэкологических рисков в горнопромышленных районах и на гидротехнических объектах Кыргызстана

Выявлены причины возникновения неопределенностей и маловероятных рисков с катастрофическими последствиями на участках размещения накопителей горно-промышленных отходов и возможные методы преодоления неопределенностей при оценках рисков;



Дамба верхнего направления



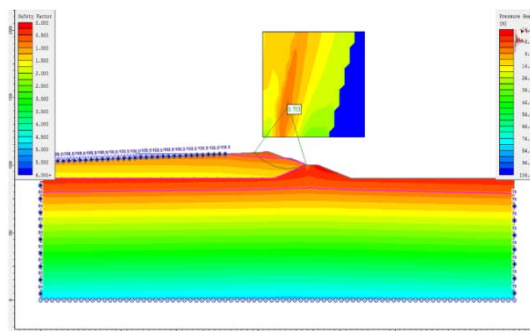
Другие виды дамб

Выполнена оценка современного состояния вопросов изучения последствий гидродинамических аварий на гидротехнических объектах, зон поражения и факторов риска при этих событиях;

Изучены проблемы сейсмической устойчивости дамб хвостохранилищ построенных по технологии «верхнего бьефа», и даны числовые оценки показателей риска их разрушения (на примере хвостохранилища Иштамберды);

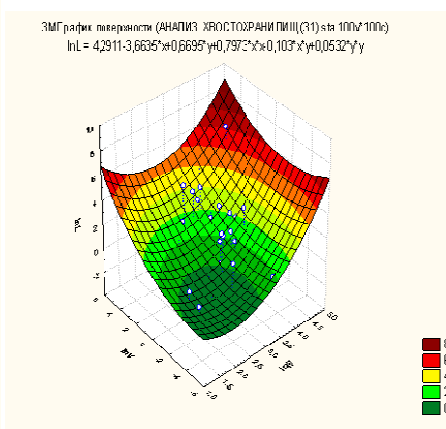
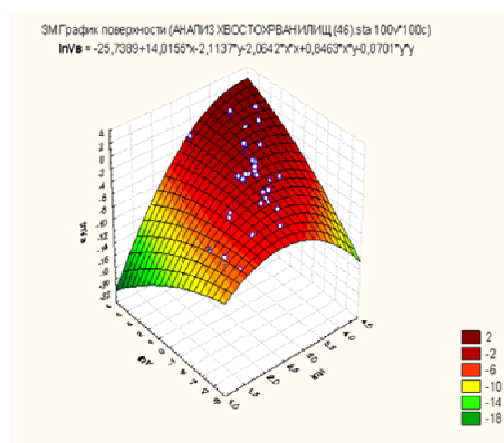


Последствия возможного прорыва дамбы



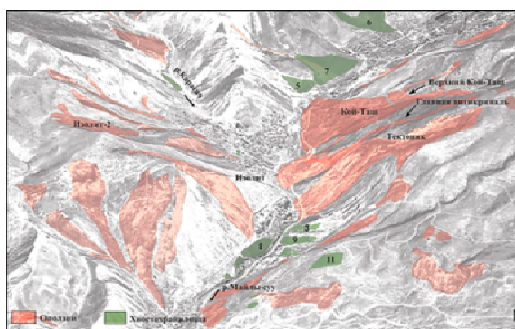
Расчет устойчивости дамбы хвостохранилища Иштамберды

Разработаны научно-технические основы создания методики оценки риска в зоне поражения при прорыве дамб хвостохранилищ на основе минимальной априорной информации, получены аналитические выражения оценок риска и их достоверности;

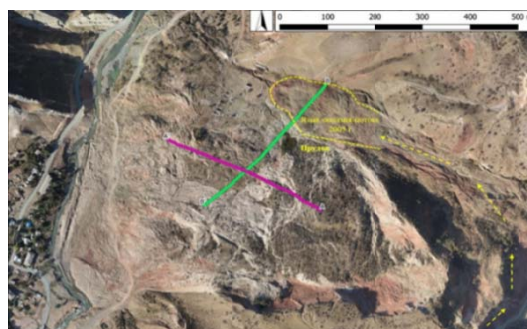


Аналитические выражения оценок риска прорыве дамб хвостохранилищ и их достоверности

Выполнено рекогносцировочно-маршрутное обследование оползней «Изолит», «Кой-Таш» и «Тектоник» в районе урановых хвостохранилищ, расположенных в долине р. Майлы-Суу. По результатам обследования 2018 г., и мониторинга подготовлен отчет о современном состоянии кластера оползней с оценками оползневого риска для урановых отвалов и хвостохранилищ.



Оползни «Изолит» и «Тектоник»

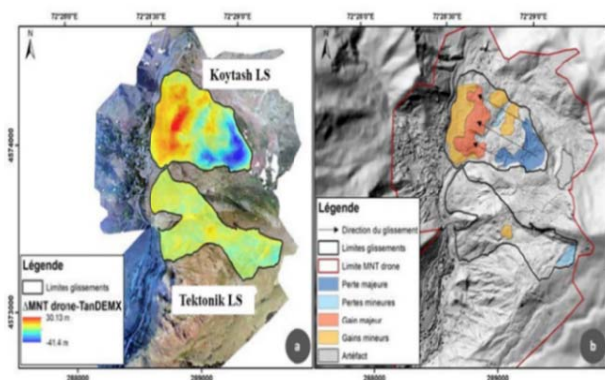


Оползневой слон «Кой-Таш»

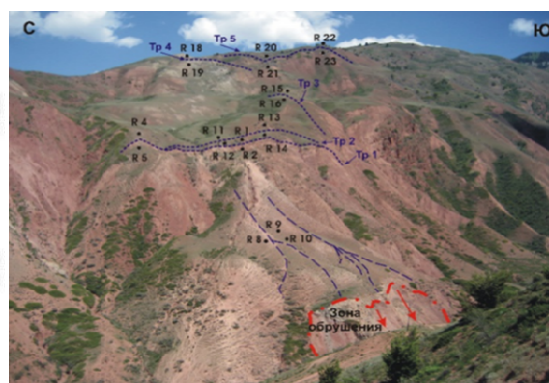
Подготовлено научно-техническое обоснование к проекту «Организации системы мониторинга оползней в г. Майлуу-Суу», включающее выбор приоритетных оползней, представляющих угрозу для объектов уранового наследия.

Выполнены геофизические исследования оползня «Кой-Таш» для оценки объема оползневых отложений, сошедших в 2017 г. и разработки технических предложений по предотвращению и/или снижению риска дальнейшего воздействия оползня «Кой-Таш» на крупные урановые хвостохранилища №№5,7.

Продолжен мониторинг оползневых смещений на оползне «Туюк-Суу» в районе одноименного хвостохранилища в Мин-Куше.

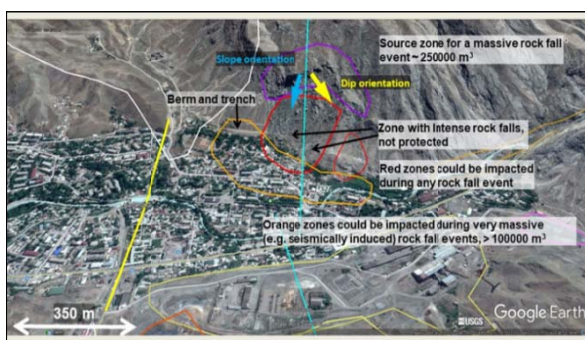


Район оползня «Кой-Таш»



Оползень «Туюк-Суу»

Выполнены полевые экспедиционные исследования в Кадамжайском и Хайдарканском горнопромышленных районах для оценки рисков, связанных воздействием опасных геологических процессов на хранилища отходов добычи и переработки сурьмы и ртути.



Кадамжайский и Хайдарканский горнопромышленные районы

### Основные результаты прикладных исследований

1. По договору с ОсОО «ЕТІВАКІРТерексай» выполнена хозяйственные работы «Исследование физико-механических свойств руды и вмещающих пород и оценка устойчивости бортов карьера и горных выработок месторождения «Тереккан».
2. По договору с ОсОО «КГ Сервис» выполнена работа «Определение морозостойкости рванного камня Агалатасского месторождения с. Карасу, Республики Казахстан».
3. По контракту с компанией WISUTEC в рамках проекта «Проведение комплексной оценки воздействия на окружающую среду и технико-экономическое обоснование управления

и рекультивации бывшего уранового комплекса Майлуу-Суу» выполнены геоэлектрические исследования оползневых отложений на участке Кой-Таш в г Майлуу-Суу для оценки объема оползневых отложений и разработки мероприятий по защите урановых хвостохранилищ от оползневых подвижек и блокирования русла р. Майлы-Суу.

4. По договору с Каскадом Токтогульских ГЭС были выполнены работы «Мониторинг потенциально неустойчивых массивов на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС».

### **2.32. РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

1. Разработана аналитическая модель формирования и эволюции напряженно-деформированного состояния массива горных пород при отработке свиты пластов, позволяющая учитывать деформационные и реологические свойства пород.

Предложена модель формирования зоны необратимых деформаций вокруг горных выработок, в рамках строгого подхода к понятию устойчивости, которая адекватно на численном уровне описывает механизм потери устойчивости вмещающего массива. Установлены новые фундаментальные механизмы потери устойчивости массива, вмещающего горные выработки.

Получены новые закономерности сдвижения и деформирования горного массива в современных условиях ведения горных работ.

Установлены базовые закономерности и особенности влияния процессов сдвижения и деформирования массива горных пород на состояние подземных сооружений;

Разработаны принципы управления состоянием и свойствами горного массива с целью обеспечения устойчивости подземных сооружений в зоне влияния горных работ.

2. Разработано специализированное программное обеспечение для автоматизации обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива в сложных горно-геологических условиях, предназначенное для решения задач обработки сейсмических данных и прогноза геологических нарушений угольных пластов методами отраженных волн, проходящих волн, сейсмической локации впереди забоя, а также с использованием дифрагированных волн. Программное обеспечение предназначено для решения задач обработки сейсмических данных и прогноза геологических нарушений угольных пластов геофизическими партиями, специализированными организациями, а также геолого-маркшейдерскими службами шахт.

3. Создана высокопроизводительная технология оперативного создания цифровых моделей рельефа, основанная на цифровой обработке спутниковых снимков, позволяющая существенно повысить точность прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях с выраженным мезорельефом.

4. Разработана математическая модель и соответствующее программное обеспечение для прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности с учетом движения очистной выработки, что позволяет повысить эффективность мер защиты подрабатываемых объектов земной поверхности.

5. Выполнены исследования геомеханических особенностей разработки смежных угольных пластов с целью совершенствования инженерных методов расчета дальности защитного действия. По результатам этих исследований были усовершенствованы инженерные методы расчета дальности защитного действия и влияния повышенного горного давления, позволившие при разработке выбросоопасных угольных пластов на глубинах 1000 и более метров без снижения уровня безопасности: увеличить дальность защиты при надработке – в 2 раза и при подработке – в 1,5 раза; увеличить ширину целиков, являющихся источниками формирования зон ПГД, в два раза; значительно (в ряде случаев до нуля) уменьшить дальность влияния ПГД при условии их подработки или надработки смежными пластами.



**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

-

2018

· · · , · · ·

---

ffice».	-	13.06.2019	·	60 84 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> .	«	ga Copy
			·	24,25	· ·	100
						· 252.

---

111020, , ,4.

, 111020, , ,4.