

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 2020 ГОДУ**

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

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

МОСКВА 2021

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 2020 году. Составители: акад. К.Н.Трубецкой, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2021. – 232 с.

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2020 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.
I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА	5
II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН).....	10
2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВСКОГО РАН	17
2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕ- ВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН	41
2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН	47
2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ СО РАН)	54
2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК». ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В. ЧЕРСКОГО СО РАН.....	62
2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН)	68
2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН)	71
2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УРО РАН. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН).....	83
2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНО- ГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ГоИ КНЦ РАН)	92
2.11. ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННО- ГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙ- СКОЙ АКАДЕМИИ НАУК». ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКО- ЛОГИИ СЕВЕРА – (ИППЭС КНЦ РАН).....	100
2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН).....	103
2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ- ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН.....	111
2.14. ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ.....	112

2.15.	НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА».....	119
2.16.	ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ»	128
2.17.	ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ НИТУ «МИСИС»	136
2.18.	РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ	145
2.19.	ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ	146
2.20.	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕН- НЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».....	148
2.21.	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕН- НЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»	154
2.22.	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТ- ВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».....	157
2.23.	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАР- СТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Г.И. НОСОВА». ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА.....	160
2.24.	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ)	161
2.25.	ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.....	173
2.26.	КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА	185
2.27.	ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТ- КЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д. А. КУНАЕВА»	195
2.28.	КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ..	198
2.29.	ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКА- ДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....	210
2.30.	РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕО- МЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ	212
2.31.	ООО «ГЕОСЕРВИС» (Республика Армения, г. Ереван).....	223

I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА

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

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

По традиции Научный совет РАН по проблемам горных наук был одним из организаторов и активным участником проведения совместно с Горным институтом НИТУ «МИСиС» 28–31 января 2020г. в г. Москве XXVIII Международного научного симпозиума «**Неделя горняка – 2020**». В организационный комитет научного симпозиума «**Неделя горняка – 2020**» вошли члены Научного совета РАН по проблемам горных наук: председатель Научного совета РАН по проблемам горных наук акад. РАН *К.Н.Трубецкой*, чл.-корр. РАН *В.Н.Захаров*, чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплунов*, акад. РАН *Л.А.Вайсберг*, акад. РАН *Ю.Н.Малышев*, чл.-корр. РАН *Л.А.Пучков*, акад. РАН *В.А.Чантурия*, проф., д.т.н. *С.Д.Викторов*, докт.экон.наук *А.А.Черникова*, докт.экон.наук *А.В.Мясков*, проф., докт.экон.наук *Г.Л.Краснянский*, канд.техн.наук *А.Г.Красавин*.

С докладами на пленарном заседании научного симпозиума «**Неделя горняка – 2020**» выступили:

- **Черникова Алевтина Анатольевна**, ректор НИТУ «МИСиС», Приветственное слово.
- **Яновский Анатолий Борисович**, заместитель Министра энергетики Российской Федерации. Доклад «*Развитие угольной отрасли в Энергетической стратегии России до 2035 года*».
- **Панов Андрей Анатольевич**, заместитель губернатора Кузбасса (по промышленности, транспорту и экологии). Доклад «*Зеленый стандарт Кузбасса*».
- **Каледин Олег Сергеевич**, технический директор THYSSSEN SCHACHTBAU GMBH. Доклад «*Инженерные и научные перспективы создания современных сверхглубоких объектов в арктической зоне*».
- **Юрген Кречман**, президент университета (высшей технической школы) Георгия Агримколы, президент всемирного общества горных профессоров. Доклад «*Горное дело 4.0*».

I. В рамках программы научного симпозиума 31 января 2020 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.

Присутствовали: акад. *К.Н.Трубецкой* (председатель НС РАН по проблемам горных наук, советник Президиума РАН), чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплунов* (зам. председателя НС РАН по проблемам горных наук, г.н.с. ИПКОН РАН), чл.-корр. РАН *В.Н.Захаров* (директор ИПКОН РАН), к.т.н. *А.Г.Красавин* (ученый секретарь НС РАН, с.н.с. ИПКОН РАН), акад. РАН *А.А.Барях* (директор ГИ УрО РАН), акад. РАН *Л.А.Вайсберг* (научный руководитель «Механобр-техника»), акад. РАН *Ю.Н.Малышев* (научный руководитель Геологического музея им. В.И.Вернадского РАН), проф., д.т.н. *С.Д.Викторов* (зам. директора по научной работе, ИПКОН РАН), проф., д.э.н. *А.А.Черникова* (ректор НИТУ «МИСиС»), проф., д.э.н. *А.В.Мясков*

(директор Горного института НИТУ «МИСиС»), *чл.-корр. РАН И.Ю.Расказов* (научный руководитель ИГД ДВО РАН), *чл.-корр. РАН Л.А.Пучков* (руководитель ЦСИ ГИ НИТУ «МИСиС»), *д.т.н. Г.В.Калабин* (в.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. А.С.Кондратенко* (директор ИГД СО РАН), *к.т.н. Д.Я.Владимиров* (зам. ген. директора ООО «ЦИФРА»), *к.т.н. А.Ф.Клебанов* (зам. ген. директора АО «ВИСТ Групп»), *д.т.н. И.Ф.Жариков* (в.н.с. ИПКОН РАН), *д.т.н. Г.Х.Хчеян* (РАЕН), *д.т.н. В.Н.Королева* (зам. директора ИМЦ НИТУ «МИСиС»), *д.т.н. А.А.Грабский* (зав. кафедрой ГД МГРИ), *проф., д.т.н. А.А.Еременко* (зам. директора ИГД СО РАН), *к.т.н. Ческидов В.В.* (зам. директора Горного института НИТУ «МИСиС»), *акад. НАН РК Б.Р.Ракишев* (советник ректора КазНИТУ), *д.т.н. В.М.Закалинский* (в.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. В.И.Склянов* (зав. кафедрой Норильского гос. индустриального института), *Б.М.Гучек* (нач. отдела НТЦ УГК ОАО БЕЛАЗ), *к.т.н. А.Г.Журавлев* (зав. лабораторией ИГД УрО РАН), *к.т.н. Дм.А.Клебанов* (управляющий директор «ВИСТ Роботикс»), *к.т.н. Г.Ф.Алексеев* (ген. директор АО ХК «СДС-Уголь»), *д.т.н. Ефимов* (зам. ген. директора АО ХК «СДС-Уголь»), *к.т.н. А.В.Шляпин* (зав. отделом ИПКОН РАН), *проф., д.т.н. М.А.Иофис* (г.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. Н.Н.Ефремовцев* (с.н.с. ИПКОН РАН), *проф., д.т.н. Ю.П.Галченко* (в.н.с. ИПКОН РАН), *д.т.н. В.А.Бобин* (зав. отделом ИПКОН РАН), *к.т.н. А.А.Вареничев* (зав. отделом ВИНТИ РАН), *к.т.н. С.Л.Остапенко* (в.н.с. ГИ КНЦ РАН), *д.т.н. О.Н.Малинникова* (зав. лабораторией ИПКОН РАН).

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад заместителя генерального директора АО «ВИСТ Групп» канд. техн. наук **Алексея Феликсовича Клебанова** на тему: **«Перспективы применения безлюдных технологий на открытых горных работах».**

Докладчиком по докладу были сделаны выводы:

1. Создание безлюдных технологий открытой добычи полезных ископаемых является мировым трендом и современным этапом цифровой трансформации горнодобывающей отрасли промышленности.

2. Переход к роботизированным производственным комплексам на горных предприятиях открытой добычи полезных ископаемых – это важная государственная задача, стимулирующая развитие инновационных технологий стратегической отрасли промышленности России.

3. Перспективы ближайшего, в течение 5-10 лет, перехода к безлюдным технологиям на открытых горных работах определяются успехами в промышленной реализации технико-технологических решений.

4. Быстрое развитие отечественных технологий, связанных с роботизацией и дистанционным управлением горной техники, невозможно без отработки механизмов государственно-частного партнерства по развитию инноваций в горнодобывающей отрасли и без создания испытательных полигонов на базе действующих горных предприятий.

По докладу были заданы вопросы *акад. Вайсбергом Л.А., чл.-корр. РАН Захаровым В.Н., д.т.н. Ефимовым В.И., проф., д.э.н. Мясковым А.В., чл.-корр. Пучковым Л.А., чл.-корр. РАН Каплуновым Д.Р., акад. Баряхом А.А., акад. Трубецким К.Н.*

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

По докладу А.Ф. Клебанова «Перспективы применения безлюдных технологий на открытых горных работах» были сделаны следующие выводы и решения Научного совета РАН по проблемам горных наук:

– Решающим фактором сохранения рентабельности и конкурентоспособности для подавляющего числа горнодобывающих предприятий России остается проведение технической модернизации на основе новейших инновационных технологий, которая позволит решить задачи повышения производительности труда, экологической и промышленной безопасности, а также целый ряд социальных проблем горнодобывающей отрасли – нехватку квалифицированных кадров, возможность добычи и разработки месторождений в труднодоступных по природным и климатическим условиям местах.

– Развитие инноваций в горнодобывающей промышленности, в частности, переход к новым технологиям управления, связанных с развитием роботизированных технологий добычи полезных ископаемых (проект «Интеллектуальный карьер»), является современным этапом цифровой трансформации и технической модернизации горнодобывающих предприятий.

– В условиях все возрастающей конкуренции на мировых рынках и введению санкций на поставку в Россию современных промышленных технологий и оборудования, чрезвычайно важным представляется реализация инновационных проектов, в частности, внедрение безлюдных роботизированных технологий добычи полезных ископаемых на базе российских разработок.

– Перспективы ближайшего, в течение 5-10 лет, перехода к безлюдным технологиям на открытых горных работах определяются успехами в промышленной реализации технико-технологических решений проекта «Интеллектуальный карьер». Такая быстрая реализация невозможна без всестороннего привлечения механизмов государственно-частного партнерства по развитию инноваций в горнодобывающей отрасли, стимулирующих проведение научно-технических разработок по созданию новых отечественных технологических решений и образцов карьерной техники и организацию испытательных полигонов на базе действующих горных предприятий для проведения испытания новых технологий.

– Научный совет РАН по проблемам горных наук считает необходимым обратиться от лица Российской академии наук в государственные органы власти для рассмотрения и скорейшего решения вопросов, связанных с предоставлением льгот или иных преференций частным горнодобывающим компаниям, поддерживающим развитие инновационных решений по безлюдной добыче полезных ископаемых, в рамках государственно-частного партнерства в целях инновационного развития страны и повышения эффективности стратегической отрасли промышленности России.

– Поддержка горных компаний со стороны государства позитивно скажется и на развитии научных исследований, проводимых отраслевыми и академическими институтами в области создания отечественных роботизированных технологий, систем навигации и беспроводной связи, геотехнологий безлюдной добычи полезных ископаемых и новых правил безопасности и норм проектирования горных предприятий.

II. 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 16-20 ноября 2020 г. провели в здании ИП-КОН РАН 4 конференцию Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого **«Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»** при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований №20-05-22039 «Научные мероприятия» и информационной поддержке научно-технических и производственных журналов «Маркшейдерия и недропользование» и «Маркшейдерский вестник».

Основные направления работы школы:

1. Проблемы геомеханики и разрушения горных пород.
2. Совершенствование методов освоения месторождений полезных ископаемых.
3. Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр.
4. Цифровизация и робототехника в горнодобывающем секторе.
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.

На 4-ю конференцию Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого **«Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»** были представлены 157 докладов участников – руководителей, ученых и специалистов академических, отраслевых и учебных институтов, предприятий горной промышленности России из городов Москвы, Екатеринбурга, Хабаровска, Сочи, Томска, Тулы, Мирного, Перми, Красноярска, Кемерово, Новосибирска, Архангельска, Апатит, Челябинска, Якутска, Читы, Петрозаводска. Иностранные участники представляли научные организации Казахстана, Армении, Беларуси, Донецкой

Народной Республики, Украины, Монголии, Вьетнама, США; из городов Алматы, Еревана, Минска, Донецка, Макеевки, Днепра, Улан-Батора, Ханоя, Мичиганского технологического университета. Материалы конференции научной школы акад. К.Н.Трубецкого опубликованы в сборнике конференции в ноябре 2020 г.

По секции «Проблемы геомеханики и разрушения горных пород» заявлено 50 докладов, заслушано 14; «Совершенствование методов освоения месторождений полезных ископаемых» – заявлено 37 докладов, заслушано 9; «Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр» – заявлено 15 докладов, заслушано 3; «Цифровизация и робототехника в горнодобывающем секторе» – заявлено 15 докладов, заслушано 8; «Экологическая и промышленная безопасность горных работ, газодинамика и рудничная аэрология» – заявлено 23 доклада, заслушано 3; «Природоподобные технологии для эффективного освоения недр» – заявлено 8 докладов, заслушано – 5.

Участники конференции решили:

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

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

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

– отметить, что предложенные идеи и представленные разработки 4-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 возможность прохождения производственной и преддипломных практик с заключением договоров между вузами горного и геологического профиля и предприятиями минерально-сырьевого комплекса;

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

– планировать подготовку и проведение 5-й конференции Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» в ноябре 2022 года;

– просить редакции «Горного журнала», «Маркшейдерского вестника», «Маркшейдерии и недропользования» об опубликовании отчетных материалов о проведении 4-й конференции Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого на страницах указанных изданий.

В целях укрепления научного и образовательного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов в 2020 году Научным советом РАН по проблемам горных наук был подготовлен и опубликован *Отчет о научной деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук и краткие результаты научно-исследовательских работ учреждений и организаций горного профиля РФ и стран СНГ в 2019 году*, в который были включены краткие результаты важнейших результатов научно-исследовательских работ **13-ти НИИ РАН, 5-ти отраслевых институтов, 9-ти вузов горно-геологического профиля России и 8-ми институтов и университетов СНГ (Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Республика Беларусь, Донецкая Народная Республика, Республика Армения)**. Отчеты готовы к рассылке в 2020 г. почтой во все организации, предоставившие важнейшие результаты своих научно-исследовательских работ, проведенных в 2019 году.

За большой вклад в развитие науки и многолетнюю плодотворную деятельность член Научного совета РАН по проблемам горных наук академик **Чантурия В.А.** награжден орденом *«За заслуги перед Отечеством» III степени* (Указ Президента РФ №271 от 16 апреля 2020 года). За большой вклад в развитие науки и многолетнюю плодотворную деятельность заместитель председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук чл.-корр. РАН **Каплунов Д.Р.** награжден орденом *Александра Невского* (Указ Президента РФ №552 от 10 сентября 2020 года).

II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

1. Авторы: докт. техн. наук Кубрин С.С., докт. техн. наук Кудряшов В.В., докт. техн. наук Закоршменный И.М., канд. техн. наук Кобылкин А.С., канд. техн. наук Блохин Д.И., вед. инж. Соловьева Е.А., канд. техн. наук Закоршменный А.И., вед. инж. Дегтерев В.В., ИПКОН РАН

Тема базового бюджетного финансирования: 0138-2019-0004

На основе полномасштабных натуральных экспериментов, современных методов лазерного дифракционного анализа, с применением программных комплексов ANSYS CFD исследован массоперенос частиц пыли на выемочном участке при использовании схемы проветривания с отводом метановоздушной смеси через дренажную выработку и выработанное пространство, применяемую на длиннолавных выемочных столбах. Выявлены особенности пылераспределения, возникающие вследствие разделения исходящего потока воздуха из лавы осложнённые наличием местных сопротивлений от технологического оборудования, заключающиеся в уменьшении запыленности и пылеотложения в вентиляционной выработке, что снижает пылевзрывоопасность выемочного участка и в увеличении объемов угольной аэрозоли в выработанном пространстве и в газоотводящих горных выработках, что увеличивает риски возникновения эндогенного пожара. Интенсивность перераспределения частиц пыли в горной выработке (рисунки 1, 2) зависит от размера частиц. Для мелких фракций (до 10 мкм) этот эффект более явный (рисунок 1 б) чем для крупных (от 50 мкм) (рисунок 2 б). Пылевые частицы размером 10 мкм будут занимать около 90% поперечного сечения вентиляционной выработки в месте сопряжения с лавой, и подниматься на всю её высоту. Для частиц 50 мкм данный показатель составит приблизительно 60 %, высота витания пыли достигает 3х метров, при высоте выработки 4 метра.

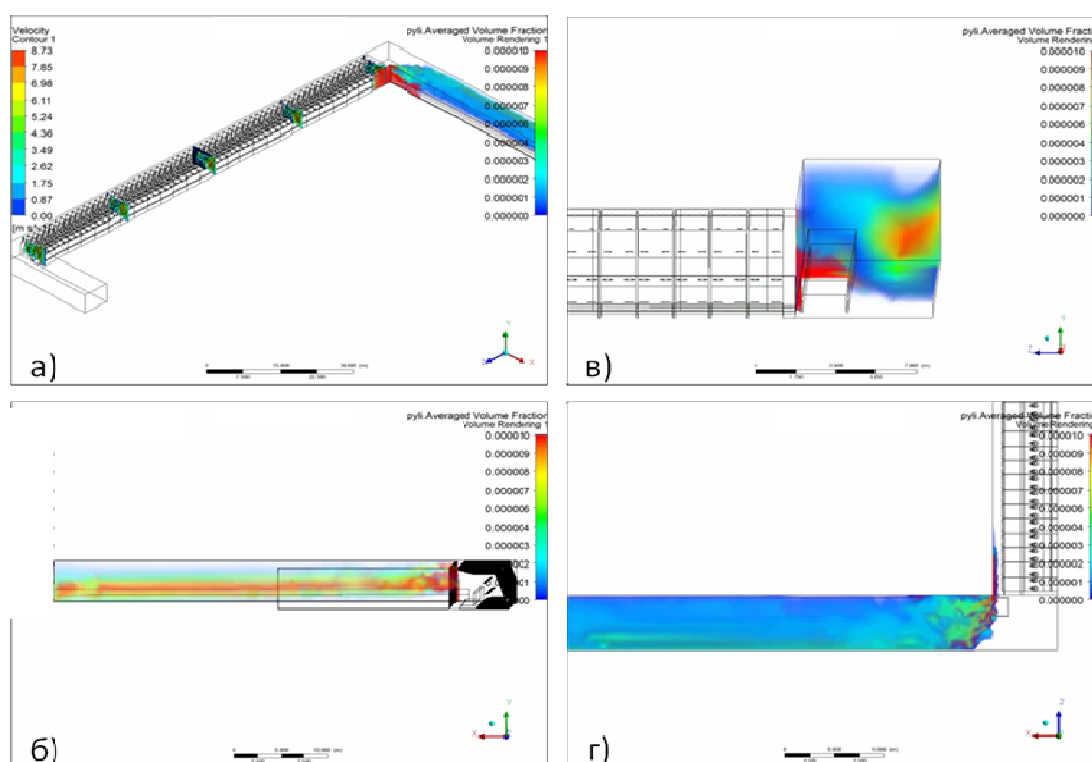


Рисунок 1 – Перераспределение пыли размером 10 мкм при переходе потока в вентиляционную горную выработку, а) вид на лаву, б) вид на лаву со стороны вентиляционной выработки, в) вентиляционная горная выработка, вид спереди, г) вентиляционная горная выработка, вид сверху

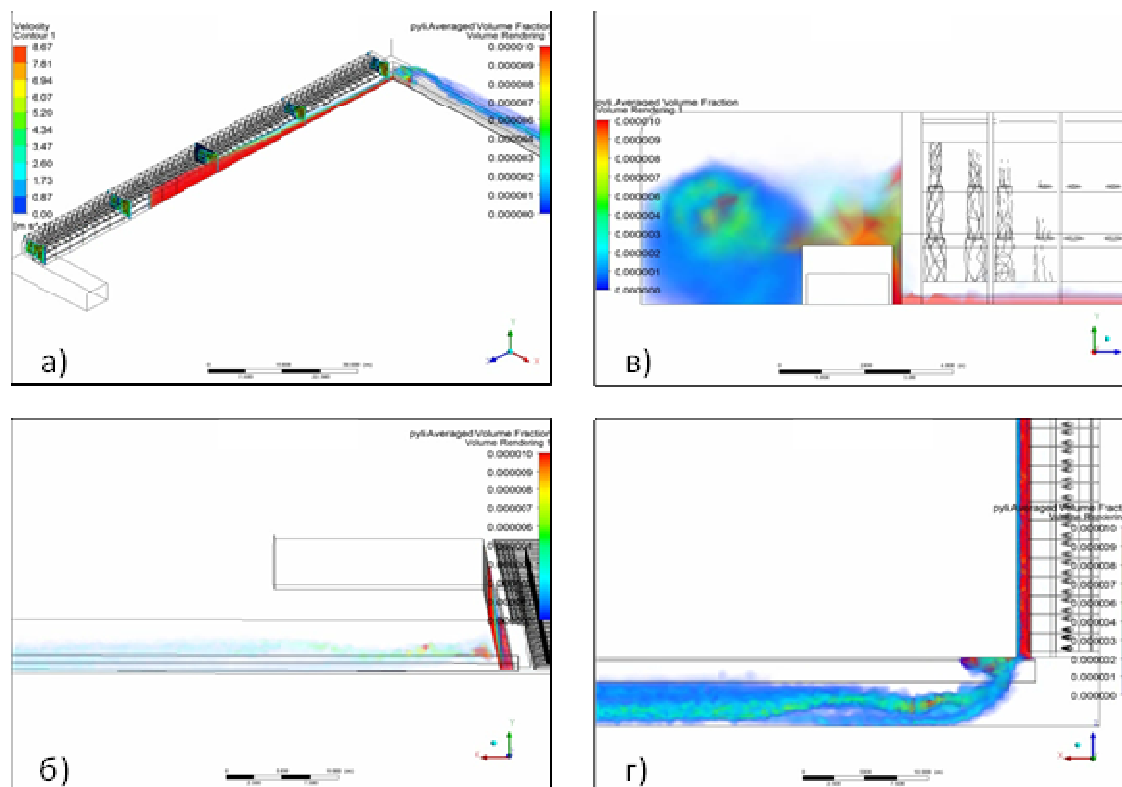


Рисунок 2 – Перераспределение пыли размером 50 мкм при переходе потока в вентиляционную горную выработку, а) вид на лаву, б) вид на лаву со стороны вентиляционной выработки, в) вентиляционная горная выработка, вид спереди, г) вентиляционная горная выработка, вид сверху

Полученные закономерности состояния рудничной атмосферы в горных выработках и выработанном пространстве при высокоинтенсивной отработке угольных пластов позволяют осуществлять достоверный и надежный контроль метана, диоксида и оксида углерода, запыленности и уровня осаждаемой пыли за счет определения оптимального количества точек контроля и мест их размещения, тем самым повышается безопасность горных работ и оперативность управления режимами проветривания угольных шахт.

Публикации:

1. Исследования пылераспределения в очистном забое у комбайна, Кобылкин А.С. Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 65–73. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-65-73.

2. Проблемы пылевого контроля в угольных шахтах, Кудряшов В.В., Кубрин С.С., Костеренко В.Н., Терешкин А.И., Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 1. С. 89-98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-89-98.

2. Авторы: академик В.А. Чантурия, докт. техн. наук Т.Н. Матвеева, канд. техн. наук В.В. Гетман, научн. сотр.: Н.К. Громова, А.Ю. Каркешкина, Л.Б. Ланцова, ИПКОН РАН
Тема базового бюджетного финансирования: 0138-2019-0002

На основе комплекса современных методов UV и IR спектроскопии, SLM и ASEM микроскопии научно обоснован и экспериментально подтвержден механизм сорбции новых комплексобразующих реагентов группы пиразолов (ДТМ) и дитиокарбаматов (МДТК), обеспечивающих селективную гидрофобизацию золотосодержащих сульфидов и эффективное извлечение микро- и наноразмерного золота из труднообогатимых руд. Применение данных реагентов позволяет повысить содержание золота в концентрате более, чем в 2 раза при повышении извлечения на 8-10 % в условиях флотации руды Олимпиадинского месторождения.

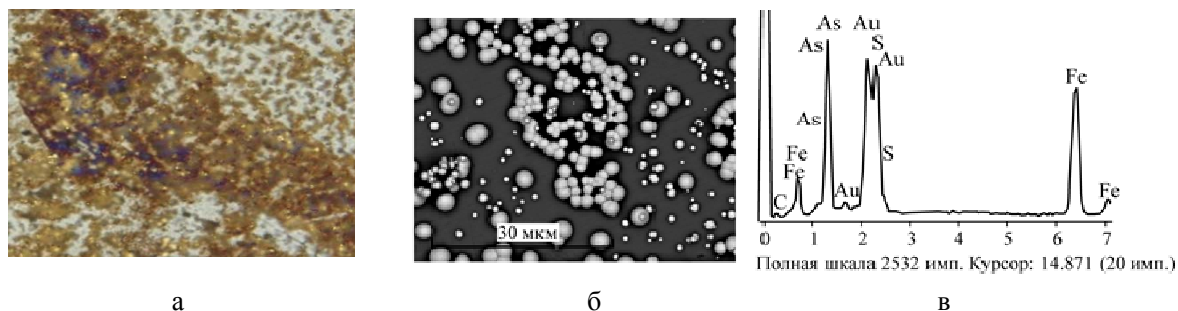


Рисунок 3 – LSM (а), ASEM (б) и XR спектр (в) – фрагмент образования химического соединения реагента ДТМ с золотом на золотосодержащем арсенопирите. Метка 30 мкм. Технологические показатели флотации руды Олимпиадинского месторождения

Технологические показатели флотации руды Олимпиадинского месторождения

Реагентный режим	Продукт	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
Базовый	Концентрат	20.97	8.80	73.55
	Хвосты	79.03	0.84	26.45
	Исходное	100.00	2.51	100.00
ДТМ	Концентрат	7.13	28.35	82.85
	Хвосты	92.87	0.45	17.15
	Исходное	100.00	2.44	100.00

В настоящее время при использовании традиционных реагентов в процессе флотации золотосодержащих пирит-арсенопиритовых руд извлекают в концентраты как чистые сульфиды, так и золотосодержащие, составляющие не более 10-15% от общей массы сульфидов, что не позволяет получать высококачественные по золоту концентраты при оптимальном выходе готового продукта. Данный факт приводит к высоким энергетическим затратам и значительным экологическим последствиям при последующей пиро- и гидрометаллургической переработке концентрата для получения золота.

Публикации:

1. T.N. Matveeva, N.K. Gromova, and L.B. Lantsova. Analysis of Complexing and Adsorption Properties of Dithiocarbamates Based on Cyclic and Aliphatic Amines for Gold Ore Flotation. *Journal of Mining Science*. 2020. (56) 2:268–274. WoS Q2
2. Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю. Исследование адсорбционных и флотационных характеристик реагента дитиопирилметана для извлечения золота из упорных золотомышьяковых руд. *ФТПРПИ*. 2020. 4:137-163. ВАК РФ
3. T.N. Matveeva, V.A. Chanturiya, V.V. Getman. Thermo-sensitive polymers and modified reagents for flocculation and flotation of Au and Pt in the processing of complex ores. *Proc. XXX IMPC – 2020. Cape-Town*.

3. Авторы: докт. техн. наук Калабин Г.В., докт. техн. наук Галченко Ю.П.

Тема базового бюджетного финансирования: 0138-2019-0001

Создана серия электронных макроэкологических карто-схем экологической устойчивости исследованных территорий размещения предприятий горнопромышленного комплекса России по добыче и переработке твердых полезных ископаемых, включающая 7 различных карто-схем для трех видов взаимодействия производства с окружающей средой, ранжированные по степени устойчивости экосистем к техногенным нагрузкам:

- искусственной (техногенные агломерации);
- квазиприродной (сельскохозяйственные агломерации);
- природно-равновесной (техногенный узлы (районы) и отдельные объекты).

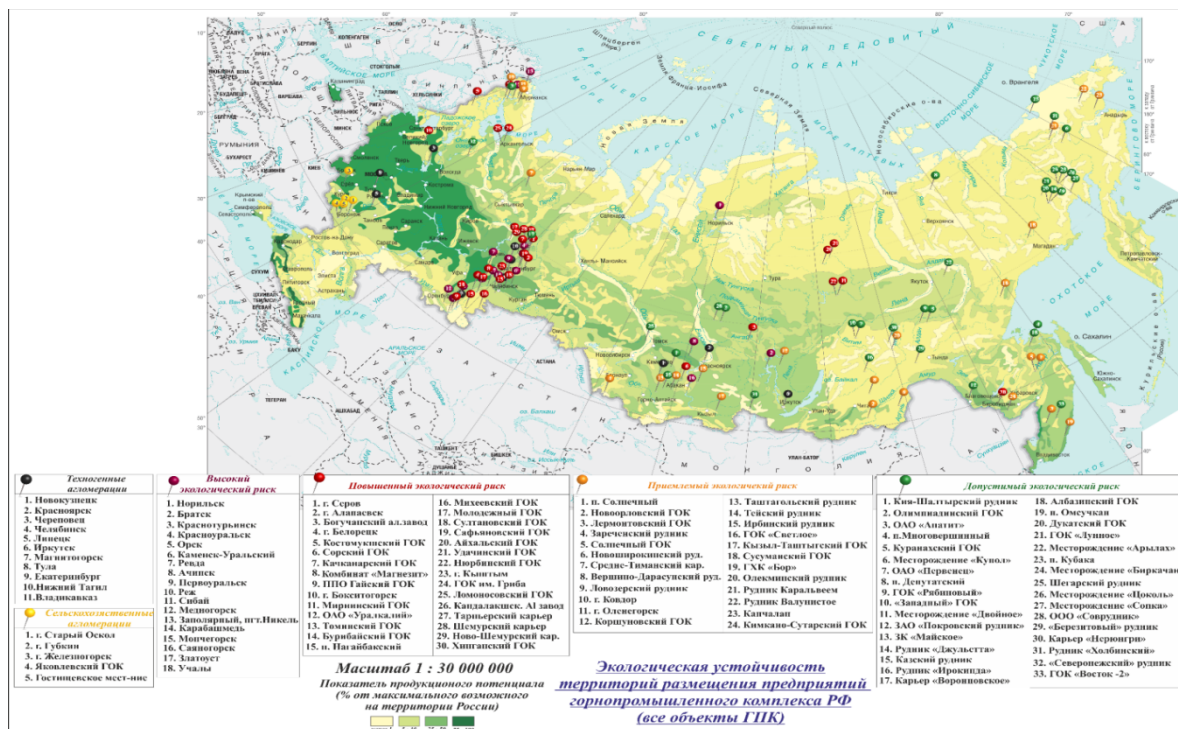


Рисунок 4

При сохранении тенденции развития технологического уклада добычи руд можно с высокой степенью вероятности прогнозировать, что природно-равновесные экосистемы, в перспективе, могут утратить устойчивость до уровня, когда самовосстановление биоты станет невозможной.

Сведения об опубликовании:

1. Галченко Ю.П., Калабин Г.В., Озарян Ю.А. Методика геоинформационного мониторинга природно-технических систем на основе данных дистанционного зондирования //Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 68-78. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-68-78 (Web of Science)

2. Калабин Г.В. Индикаторы экологической устойчивости территорий размещения предприятий горнопромышленного комплекса РФ // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. №3. С.175-183. DOI: 10.15372/FTPRI20200317.

Переводная версия статьи (Web of Science): Kalabin G.V. Ecological stability indicators of the mining industry areas in Russia //Journal of Mining Science. Т. 56. 2020.

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

Номер и наименование направления фундаментальных исследований:

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

Сведения о результатах фундаментальных научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук в 2020 году

Научный руководитель: гл. научн. сотр., академик РАН К.Н. Трубецкой, гл. научн. сотр., чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунов

– разработана методика обоснования оптимальных динамично изменяющихся производственных мощностей горнодобывающих и перерабатывающих производств в едином горно-

обогащительном комплексе горнодобывающего предприятия, а также режима развития горных работ на различных этапах освоения месторождения с учетом распределения содержания ценных компонентов в массиве месторождения при варьировании кондиций по среднему и бортовому содержанию и оперативному контролю этих параметров для достижения наиболее полного и экономически эффективного освоения недр;

– выявлены новые механизмы и установлены пространственные закономерности развития процессов деформирования, сдвижения и разрушения массивов руд и пород при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ вблизи поверхностных и подземных водных объектов, в том числе высоконапорных. Показана необходимость и предложены механизмы комплексного учета структурного состояния массива, предварительного техногенного воздействия, влияния осложняющих горно-геологических и гидрогеологических факторов при обосновании параметров опасных зон, предохранительных и барьерных целиков различного назначения;

– впервые для сверхглубоких подземных рудников разработана горнотехническая система разработки совместно залегающих разнородных руд с применением камерной системы разработки на всю мощность рудоносной интрузии, позволяющая осуществлять предконцентрацию более бедных вкрапленных руд за счет сепарации горной массы под землей и использования отходов производства при выщелачивании в подземных условиях и в закладке выработанного пространства, что повышает технико-экономическую эффективность добычи до 20% и обеспечивает безопасность ведения горных работ.

Научный руководитель: гл. научн. сотр., академик РАН В.А. Чантурия

– научно обоснован и экспериментально подтвержден механизм сорбции новых комплексобразующих реагентов группы пиразолов (ДТМ) и дитиокарбаматов (МДТК), обеспечивающих селективную гидрофобизацию золотосодержащих сульфидов и эффективное извлечение микро- и наноразмерного золота из труднообогатимых руд;

– разработан комплекс методов атомно-силовой микроскопии AFM и AFS для исследования механизма сорбции ксантогената в минеральной суспензии на поверхности галенита и халькопирита, фиксации и оценки тонких изменений на их поверхности;

– создана экспериментальная установка (генератор и разрядная ячейка), и обоснованы основные электрофизические параметры импульсов, инициирующих диэлектрический барьерный разряд (ДБР) в воздухе при атмосферном давлении, для модифицирования структурных и физико-химических свойств минералов. Показаны преимущества применения кратковременных ($t_{обр.} = 10 - 30$ с) энергетических воздействий для структурно-химического модифицирования поверхности, физико-химических свойств ильменита с целью повышения эффективности процессов переработки комплексных титановых руд;

– вскрыт механизм интенсификации химико-электрохимического выщелачивания упорного золотосодержащего концентрата при ультразвуковых воздействиях, заключающемся в удалении окисленных пленок, интенсивном растворении частиц арсенопирита за счет образования на их поверхности многочисленных микропор и зон травления. Разработаны методические рекомендации по применению комбинированных энергетических воздействий для интенсификации выщелачивания золота из упорного минерального сырья;

– с применением методов ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) и молекулярного моделирования обоснован механизм активации сульфидов сурьмы сочетанием катионов металлов ($Cu^{2+}Zn^{2+}$) и ($Cd^{2+}Ag^{+}$) за счет уменьшения степени миграции катионов вглубь решетки минерала. При флотации сурьмяной руды с использованием смеси активаторов получен концентрат с содержанием сурьмы 48,7% при извлечении 95,8;

– обоснован и разработан новый класс сорбентов из сапонитсодержащих продуктов Ломоносовского алмазоносного месторождения с высокой сорбционной способностью. Укрупненными лабораторными испытаниями совместно с ИППЭС КНЦ РАН подтверждена высокая эффективность сорбентов на основе модифицированного сапонита для очистки оборотных вод Ковдорского ГОКа до ПДК для рыбохозяйственных водоемов;

– дано новое решение повышения эффективности тяжелосредной сепарации (ТСС) алмазосодержащего материала за счет модифицирования поверхности ферросилициевых гранул азо-

тированным слоем, что позволит снизить потери дорогостоящего ферросилиция, используемого в процессах ТСС. Создан экспериментальный образец ферросилиция для алмазоизвлекающих фабрик АК «АЛРОСА», отличающийся высокими антикоррозионными свойствами и повышенной износостойкостью.

Научный руководитель: гл. научн. сотр., проф., д.т.н. С.Д. Викторов

– методом численного компьютерного моделирования получены результаты решения горнотехнических задач, одна из которых составила основу разработки метода нейтрализации влияния аномалий состояния массива на горные разработки взрывом децентрированных зарядов. В результате анализа данных компьютерного моделирования установлен факт отклонения в одних и тех же точках и в одно и то же время параметров напряженно-деформированного состояния (НДС), создаваемого действием пучков зарядов неравномерных форм взрывной волны, по сравнению с одиночным зарядом с его равномерно распространяющейся взрывной волной круговой формы. Полученные результаты свидетельствуют о возможности физического воздействия на определенные конструктивные элементы систем разработки методами управляемого пучками различной конфигурации и форм взрывного воздействия в зависимости от существующих *in situ* тектонических напряжений и динамических явлений в массивах горных пород;

– исследованы микроструктурные изменения в горных породах (уголь, песчаник, гранит) при высокоэнергетическом электромагнитном нанопульсном воздействии (МЭМИ) с применением растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновской компьютерной микротомографии (РКМТ). Эффективность влияния наносекундных импульсов высокого напряжения на процесс образования микротрещин в рассмотренных горных породах в наибольшей степени проявилась для угля, причем, для образцов, отобранных из выбросоопасных пластов. Установлено образование микротрещин для образцов углей, определены их параметры и структурные особенности при МЭМИ. Результаты исследований имеют практическое значение для уточнения механизма опасных газодинамических явлений на шахтах в плане их прогнозирования, что обеспечивает безопасность ведения горных работ, а также важны для совершенствования технологий отбойки, обогащения полезных ископаемых;

– разработан программный комплекс исследования видеоизображений, полученных при видеоконтроле (видеоэндоскопии) скважин и иных подземных выработок. Математическая основа программного комплекса – реконструкция изображения методом заполнения недостающей пространственной «информации» на основе имеющейся статистики (стохастических реконструкций).

Научный руководитель: чл.-корр. РАН В.Н. Захаров

– разработано математическое описание анализа, прогноза и оценки рисков инцидентов, аварийных происшествий и аварий на горном предприятии, основанное на использовании среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения данных, представленных временными рядами изменения параметров рудничной атмосферы, метановоздушной смеси в дегазационных трубопроводах угольных шахт. Примеры обработки временных рядов параметров рудничной атмосферы и метановоздушной смеси в дегазационных трубопроводах для шахт им. С.М. Кирова, Распадская и Распадская – Коксовая показали робастность разработанного математического описания и реализующих алгоритмов;

– для моделирования характерных особенностей внезапного выброса угля и газа применена концепция энергонасыщенного материала. В начальный момент времени производится подрыв шпурового заряда в выработке. Далее действие генерируемых при взрыве волн сжатия инициирует через определенное время активацию энергонасыщенного пласта, что приводит в итоге к интенсивному выбросу материала пласта с образованием полости. Разработан вычислительный алгоритм в рамках SPH подхода на основе комбинированного применения эйлерова решателя совместно с лагранжевым представлением массива горной породы. Вариации свойств пласта и параметров энергонасыщенности позволяют получить величины, характеризующие выброс, близкие к значениям, наблюдаемым на практике;

– разработан численный алгоритм расчета возможного обрушения пород кровли выработанного пространства по мере его развития при отработке пластовой залежи. Выявлены особен-

ности деформирования и разрушения пород кровли залежи с возможным выходом разрушения на дневную поверхность;

– исследованы геомеханические особенности разрушения метанонасыщенного угольного пласта. Развитие зон разрушения пласта для активации дегазационных процессов рассматривается как последовательное действие двух факторов: действие взрывной волны; действие на пласт газообразных продуктов взрыва. Установлено, что взрывное воздействие в изначально слабо проницаемом пласте угля может сформировать перколяционный кластер наведенных фильтрационных каналов, определяющий эффективность дегазации пласта;

– рассмотрен процесс развития магистральной трещины в метанонасыщенном угле. Процесс описывается двумя моделями. Для начальной стадии используется механика трещин Гриффитса-Ирвина. Нагрузка определяется изменяющимся давлением газообразных продуктов взрыва. Установлено, что трещина неизбежно должна остановиться вследствие падения давления газа ниже критического. Вторая стадия процесса описывается оригинальной моделью развития трещины в метанонасыщенном угле, учитывающей переход метана на берегах трещины из растворенного состояния в угле в свободное состояние в трещине;

– экспериментальные и аналитические исследования показали, что перспективным направлением повышения эффективности дегазации углеметановых пластов являются динамические воздействия на угольный пласт. В динамических процессах имеет место одновременно воздействие на метан, растворенный в угольном веществе, воздействие на структурные объекты (трещинопоры), содержащие свободный метан, и образование новых каналов для транспортировки молекул метана. К новым динамическим методам можно отнести и взрывное воздействие на пласт в виде «мягкого» взрыва. «Мягкое» взрывное воздействие на горную породу является особым видом взрывного воздействия. В этом случае генерация и распространение волны динамического напряжения в породе должны оказывать слабое воздействие на породу, главный фактор разрушения должен определяться действием газообразных продуктов взрыва с характерным временем действия порядка нескольких секунд;

– разработана модель взаимодействия анкера с закрепляемым массивом горных пород, учитывающая свойства пород массива, конструкцию анкера и технологические особенности его установки. Разработан численный алгоритм расчета нагруженности анкеров на основе конечно-элементного пакета ANSYS. Проведена оценка работоспособности анкеров, установленных в массив, изменяющий свои свойства во времени (текучесть пород);

– исследован механизм колебания углепородного массива при вибровоздействии на поверхность угля горных комбайнов. Математическое моделирование показывает, что колебания локализованы преимущественно в угольном пласте, причем тангенциальная составляющая силового воздействия на поверхность угля оказывает большее влияние на весь углепородный массив, чем нормальная составляющая этого воздействия. Амплитуда колебаний в пласте приблизительно в 4 раза превосходит амплитуду колебаний в кровле пласта. Причем в призабойной зоне пласта эффект накопления энергии выражен сильнее. Оценка неоднородности микроструктуры угля показала, что пласты с меньшими значениями газоносности призабойной зоны (в среднем $1.3\text{--}3.7\text{ м}^3/\text{т}$) обладают более упорядоченной структурой на микроуровне, тогда как микроструктура углей с более высокой газоносностью (в среднем $11\text{--}12\text{ м}^3/\text{т}$) является значительно менее упорядоченной. Это объясняется тем, что неоднородность микроструктуры угля связана с разрывом химических связей и образованием не скомпенсированных групп (свободных радикалов), увеличение которых, видимо, и позволяет удерживаться большему количеству метана в угле. В случае сочетания максимального значения FWHM G с низкой концентрацией парамагнитных центров N структура угля состоит из длинных цепочечносопряженных фрагментов и, вследствие этого, содержит наименьшее количество оборванных связей. В этом случае структура угля хорошо упакована (по аналогу с полимером) и остается мало не скомпенсированных групп, способных участвовать в образовании и удержании метана; – оценка неоднородности микроструктуры угля с помощью диаграмм «энтропия – сложность», рассчитанных по цифровым снимкам поверхности углей с различной газоносностью, показала, что микроструктура инертинита практически не отличается для углей с высокой и низкой газоносностью. Угли с преобладанием витринитовых составляющих, показали заметно более высокую неоднородность микроструктуры у углей с высокой газоносностью (с значениями энтропии $0,68\text{--}0,72$), и четкое отличие от более упорядоченной

структуры углей с небольшой газоносностью призабойной зоны пласта и значениями энтропии от $\approx 0,62$ до $0,65$. Микроструктура инертинита практически не отличается для углей с высокой и низкой газоносностью, средние значения энтропии колеблются в пределах $0,5-0,6$ отн.ед. Таким образом, установлено, что витриниты в большей степени отражают изменения микроструктуры, связанные со способностью угля к накоплению и удержанию метана, поэтому для определения корреляций свойств угля со структурными неоднородностями достаточно исследовать только блестящую, витринитовую составляющую угля.

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

В 2020 г. научно-исследовательские работы горной направленности велись в ИДГ РАН по следующим темам государственного задания:

- Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях.
- Определение интенсивности сейсмического действия крупных техногенных источников (например, карьерных взрывов) на территории России. Классификация территории Центральной части России по степени сейсмического риска на основе данных о расположении техногенных сейсмических источников.
- Разработка методов сейсмического мониторинга районов расположения особо ответственных объектов на этапах их проектирования, строительства и эксплуатации на базе проведения режимных наблюдений на площадках строящихся АЭС. Локальный сейсмический мониторинг с целью прогнозирования возникновения катастрофических процессов на объекте.

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

- Разработка новых принципов снижения риска возникновения сильных техногенных землетрясений и изучение антропогенного влияния на сейсмичность в платформенных районах.
 - Пылегазовое загрязнение среды обитания и связанные с ним вариации геофизических полей.
 - Определение возможности использования результатов регистрации параметров низкочастотного сейсмического фона для оценки напряженно-деформированного состояния разломной зоны.
 - Геомеханика процесса скольжения по разломам в массиве горных пород – зарождение, распространение и остановка разрыва.
 - Экспериментальное исследование эволюционного механизма разрушения геоматериала на основе комплексной сейсмоакустической и электромагнитной информации.
 - Механизм деформирования флюидонасыщенного коллектора при сейсмическом воздействии по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод.
 - Динамическое деформирование флюидонасыщенных коллекторов при сейсмическом воздействии.
 - Определение структурных и механических характеристик нарушений сплошности массивов горных пород по результатам анализа параметров сейсмоакустических колебаний.
 - Деформирование разломов с гетерогенной структурой интерфейса.
- Кроме того, проводились работы в рамках хозяйственных договоров с различными предприятиями горнодобывающей отрасли.

Ниже кратко изложены некоторые результаты исследований по темам.

«Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры» и «Пылегазовое загрязнение среды обитания и связанные с ним вариации геофизических полей»

Аннотация

При проведении сейсмического мониторинга «in situ» впервые зарегистрирован рой инициированных массовым взрывом микроземлетрясений с низкой скоростью распространения разрыва. Это доказывает, что разные формы реализации энергии характерны не только для крупнейших деформационных событий в зонах субдукции, но и для слабых явлений, индуцированных техногенной деятельностью. При этом излучаемые сейсмоакустические события могут быть дифференцированы по своей форме на сигналы с резким вступлением и на тремороподобные сигналы (около 45 % всех событий).

Судя по полученным данным, источником инициированной сейсмичности являются динамические подвижки амплитудой в 3–30 мкм по трещинам протяженностью от 1 м до 10–15 м. Для этих событий характерны низкие значения приведенной сейсмической энергии, что может быть связано с малой глубиной разработки. Наблюдаемые на Коробковском месторождении проявления индуцированной сейсмичности во времени и пространстве соответствуют известным закономерностям для более крупных сейсмических событий, инициируемых удаленными землетрясениями. Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод о невысокой вероятности серьезных геодинамических проявлений при разработке Коробковского месторождения.

Рассмотрен ряд задач, связанных с оценками выбросов микрочастиц в атмосферу от открытых горных работ, основанных как на экспериментальных данных, так и результатах численного моделирования. На основе данных о пылевыведении при различных технологических процессах, применяемых при добыче твердых полезных ископаемых, их общего объема получены оценки выбросов твердых частиц в приземный слой атмосферы на примере добычи угля открытым способом. Полученные оценки выбросов микрочастиц при добыче угля в мире следует учитывать при анализе общего аэрозольного баланса атмосферы в разделе техногенные источники, поскольку эти оценки очень близки к массе выбросов от автотранспорта и превосходят выбросы авиационного и морского флота. Динамика оценок выбросов твердых частиц при добыче угля в мире за период с 2010 года по 2019 год показывает, что выбросы увеличились примерно на 12% по отношению к 2010 году – это также соответствует росту мировой добычи угля открытым способом.

Разработана оригинальная теоретическая модель развития пылегазового облака крупномасштабных промышленных взрывов, позволяющая численно моделировать газодинамические процессы от момента подрыва ВВ до стадии его зависания в стратифицированной атмосфере для одиночных взрывов с эквивалентной массой 1-1000 т. Полученные результаты важны для расчета последующей дисперсии пыли в поле ветра и оценки загрязнения приземных слоев атмосферы в окрестности карьеров.

Раздел 1. Исследование параметров источников для роя микросейсмических событий, инициированных взрывом на Коробковском железнорудном месторождении

Введение

Около 40% всех ощущаемых землетрясений, в той или иной мере обусловленных человеческой деятельностью, связано с извлечением твердых полезных ископаемых, а еще 15% – с добычей нефти и газа [Foulger et al., 2018]. В результате существенного увеличения плотности и качества инструментальных наблюдений, на сегодняшний день *in situ* регистрируется множество сейсмических событий, вплоть до столь малых магнитуд, как $M_w = -4.1$ [Kwiatek et al., 2011]. Параметры микро- и наносейсмичности изучаются во многих исследованиях, связанных, прежде всего, с горными работами [Gibowicz, Kijko, 1994; Oye et al., 2005; Yamada et al., 2007; Wesseloo, 2018; Ma et al., 2018 и многие другие].

Анализ очаговых параметров землетрясений, инициированных горными работами, обычно проводится на основе подходов, развитых в «большой» сейсмологии. При этом остается открытым вопрос, насколько изучение параметров слабой сейсмичности помогает интерпретировать данные, получаемые при регистрации средних и крупных коровых землетрясений. В рамках предположения о том, что процесс разрыва самоподобен, такие параметры очага, как

приведенная сейсмическая энергия $e = \frac{E_s}{M_0}$ (E_s – энергия, излученная при землетрясении, M_0 –

сейсмический момент) и кажущееся напряжение σ_a должны быть одинаковы для землетрясений любого размера. Хотя исследованиями закономерностей сейсмического масштабирования занимались и занимаются многие исследовательские группы, геофизическое сообщество пока не пришло к единому мнению [Walter et al., 2006]. Анализ экспериментальных данных демонстрирует очень большой разброс рассчитываемых величин e . Так, например, [Кочарян и др., 2016] был проанализирован большой объем наблюдательных данных – более 1500 событий в диапазоне моментных магнитуд от $M_w = -3.5$ до $M_w = 9.2$. Анализ был ограничен землетрясениями, очаг которых располагался на глубине не более 50 км. Анализ составленной базы данных показал, что при изменении сейсмического момента на 19 порядков — в диапазоне от 10^3 до 10^{22} Н·м — подавляющее большинство значений параметра e лежит в диапазоне $e \sim 10^{-6} - 10^{-3}$, а среднее значение составляет $e = 2.82 \cdot 10^5$. При рассмотрении всего комплекса данных явной зависимости отношения от масштаба землетрясения не обнаруживается: дисперсия очень велика и вариация приведенной энергии при одном и том же значении сейсмического момента превышает 3 порядка.

Несмотря на большое количество данных, до настоящего момента нет единого мнения и о причинах большого разброса значений отношения E_s / M_0 . Хотя, как правило, величина приведенной излученной энергии для индуцированных землетрясений лежит в диапазоне, характерном для «нормальных» природных землетрясений $10^{-6} < e < 10^{-4}$, в некоторых случаях зарегистрированные величины попадают в диапазон $E_s / M_0 < 10^{-6}$, т.е. эффективность подвижки, как источника сейсмических колебаний оказывается крайне низкой [Oye, 2005; Маловичко, Маловичко, 2010; Kwiatek et al., 2011]. Между тем ущерб, наносимый землетрясением, определяется именно величиной излученной энергии, так что важно изучать причины наблюдаемых эффектов. В этом исследовании мы рассматриваем результаты инструментальных наблюдений слабых сейсмических событий, индуцированных взрывами, проводимыми при разработке месторождения очень прочных кварцитов (Коробковское железорудное месторождение) в тектонически стабильном районе Восточно-Европейской платформы. Особенности обследуемого участка являются наличие крупной разломной зоны и существенное превышение величины горизонтальных напряжений над вертикальными, несмотря на небольшую глубину выработки около 300 м от свободной поверхности. Работы проводятся с целью оценки геодинамической активности массива, в связи с планами разработки более глубоких горизонтов месторождения.

Данные и методы

Коробковское железорудное месторождение

Коробковское железорудное месторождение сложено из 8 крутопадающих залежей железистых кварцитов длиной 380-3500 м и горизонтальной мощностью 50-1050 м. Согласно результатам измерений, горизонтальные напряжения на глубине 300 м от поверхности составляют 13-15 МПа, превышая примерно в 1.5 раза вертикальные [Адушкин и др., 2017б; Кочарян и др., 2018]. Существенное превышение величины горизонтальных напряжений над вертикальными стало основанием для того, чтобы надзорные органы объявили массив удароопасным, хотя до настоящего времени горных ударов здесь не наблюдалось. Поскольку для небольших глубин, на которых разрабатывается Коробковское месторождение, уровень напряжений достаточно высок, было решено организовать временные сейсмические наблюдения на участке, который считается наиболее опасным при проведении горных работ.

Средние значения физико-механических характеристик разрабатываемых кварцитов (плотность ρ , модуль Юнга E , коэффициент Пуассона ν , модуль сдвига μ и скорость распространения продольных и поперечных волн C_α и C_β соответственно), отобранных в горных выработках Коробковского месторождения, приведены в таблице 1 [Кочарян и др., 2018].

Таблица 1

Физико-механические характеристики разрабатываемых кварцитов

ρ , кг/м ³	E , ГПа	ν	μ , ГПа	C_α , м/с	C_β , м/с
3400-3700	0.65-1.16	0.13 – 0.33	29-48	4400-6300	2900-3600

На шахте применяется этажно-камерная система разработки. Камеры находятся на глубине 245–285 м от дневной поверхности. При подготовке взрывов участок породы шириной 10-15 м внутри камеры разбурируется рядами вертикальных скважин длиной 50–55 м и диаметром 105 мм. Применяется короткозамедленное взрывание, так что на одну ступень замедления приходится 0.5–1.5 тонны ВВ. Суммарная масса ВВ в камере составляет, в среднем, 10–20 тонн. При каждом взрыве с интервалом 30–50 секунд взрывается 3–4 камеры, расположенные на расстоянии около 1 км друг от друга. Пример записи вертикальной скорости смещения грунта на свободной поверхности непосредственно над одной из камер показан на рисунке 1.1.

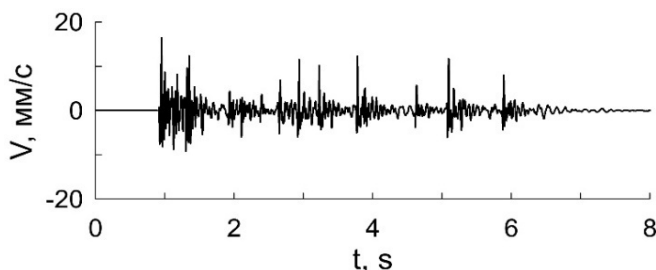


Рисунок 1.1. – Запись вертикальной скорости смещения грунта на свободной поверхности непосредственно над одной из камер

Величина максимальной массовой скорости (PGV) при короткозамедленном взрыве определяется суммарным весом заряда в группе замедления, расстоянием до взрыва, а на малых расстояниях еще и геометрией заряда. На достаточно большом удалении от взрыва для оценки воздействия на массив можно воспользоваться эмпирической зависимостью, построенной нами для короткозамедленных взрывов на шахте имени Губкина комбината КМАруда [Кочарян и др., 2019]

Величина максимальной массовой скорости (PGV) при короткозамедленном

взрыве определяется суммарным весом заряда в группе замедления, расстоянием до взрыва, а на малых расстояниях еще и геометрией заряда. На достаточно большом удалении от взрыва для оценки воздействия на массив можно воспользоваться эмпирической зависимостью, построенной нами для короткозамедленных взрывов на шахте имени Губкина комбината КМАруда [Кочарян и др., 2019]

$$V = 4110 \cdot \left(\frac{q}{R}\right)^{1.73}, \quad (1)$$

где V_m – измеряется в мм/с, R – эпицентрального расстояние в метрах, а максимальное количество ВВ в одной ступени q – в кг.

На малых расстояниях, сопоставимых с длиной скважин, где сказывается геометрия заряда, величина PGV лежит заметно ниже соотношения (1).

Целью проводимых наблюдений являлось изучение сейсмоакустической реакции напряженного массива на воздействие промышленного взрыва. Для Коробковского месторождения это первый опыт многоканальной регистрации с помощью сейсмических станций, организованных по принципу малоапертурной группы. Предварительно в течение года проводились измерения с одной и двумя измерительными точками.

Измерения проводились 06.07.2019 в течение 16 часов в период прекращения горных и строительного-монтажных работ, которые останавливаются примерно за 2 часа до проведения взрыва и возобновляются в полной мере через сутки. Параметры взрывов приведены в табл. 2. Сейсмическая группа с апертурой ~130 м, состоящая из 4-х акселерометров Bruel&Kjaer 8306 (рабочая полоса частот 0.08 Гц – 1 кГц), была установлена на глубине около 300 м от поверхности. Три датчика Т₁-Т₃ были установлены по профилю вдоль одного орта, четвертый датчик Т₄ располагался в соседнем орте (рис. 1.2). Акселерометры устанавливались на вертикальной стенке выработки. Регистрация велась на 14-разрядное АЦП E14-440 L-Card с частотой опроса 10 кГц. Чувствительность измерительного канала составляла 7.8 (мкм/с²)/отсчет. Дополнительно на отдельный канал велась запись временной метки для контроля частоты опроса АЦП.

Расположение группы было выбрано в окрестности зоны смыкания Главной и Стретенской залежей [Адушкин и др., 2017], которая характеризуется как зона тектонических нарушений общей мощностью около 100 м. В строении участка выделяются четыре зоны дробления с видимой мощностью 13, 34, 3, и 4 м.

Таблица 2

Параметры взрывов 06.07.2019

№ взрыва	1		2	3
№ камеры	1.1	1.2	2	3
Масса ВВ в камере Q , кг	10353	2081	5222	4838
Масса ВВ в ступени замедления q , кг	1200	552	864	800
Число ступеней	17	5	6	6
Продолжительность детонации, мс	450	100	125	125
Расстояние до точки $T_3(0,0)$, м	310	100	4380	2500

Использовалась система координат с началом в точке расположения датчика T_3 и направлением оси ординат на север. Основные зоны разломов показаны на рисунке 1.2.

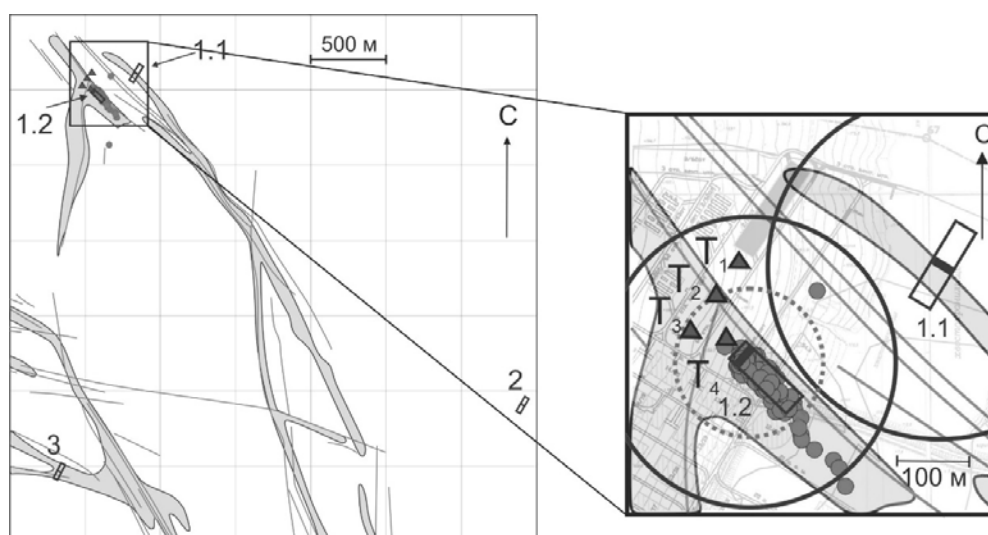


Рисунок 1.2. – Схема Коробковского месторождения в зоне смыкания Главной и Стретенской залежей рудных полей и более подробная схема части исследуемой области, оборудованной акселерометрами T_1 - T_4 (треугольники) в разломной зоне шахты. Сплошные линии соответствуют зонам тектонических нарушений. Серым цветом выделены рудные поля.

Цифры – номера разрабатываемых камер, подорванных 06.07.2019 г., а их положение показано соответствующими прямоугольниками. Жирные линии внутри прямоугольников соответствуют зонам взрыва. Цифры соответствуют номерам камер в табл. 2. Серые точки – сейсмические события, зарегистрированные после взрывов. Начало координат (0,0) соответствует измерительной точке T_3 . Ось Y направлена на север. Большие круги (сплошная линия) соответствуют динамическим деформациям порядка 10^{-6} от соответствующего взрыва. Маленький круг (пунктирная линия) соответствует динамической деформации примерно $3 \cdot 10^{-6}$.

1. Обработка данных и локация событий

Сразу после проведения короткозамедленных взрывов, в течение нескольких часов фиксировались волны от множества сейсмических событий разной магнитуды, вне всякого сомнения, индуцированных взрывами. Предварительная обработка исходных рядов данных состояла в удалении низкочастотной компоненты и высокочастотных резонансных пиков с помощью полосо-

вого фильтра Баттерворта 2-го порядка в диапазоне частот 10 Гц – 1 кГц. Обнаружение сигналов проводилось по каждому каналу отдельно. С помощью быстрого преобразования Фурье в скользящем окне длительностью 0.05 с и перекрытием 0.025 с рассчитывались спектральные характеристики исследуемого временного интервала. Обнаружение событий производилось по превышению выбранным параметром порогового значения, в качестве которого была выбрана сумма спектров ускорения в скользящем окне в заданном диапазоне частот $\sum_{f_1}^{f_2} |A(f)|$, где $A(f)$ – ускорение, рассчитанное в скользящем окне 0.05 с, а f_1 и f_2 – частоты, определяющие границы частотного диапазона при обнаружении сигнала. Для измерительных каналов Т₁-Т₃ $f_1=10$ Гц, $f_2=1$ кГц. На канале датчика Т₄ присутствуют стационарные помехи на частотах 580-740 Гц, так что этот диапазон частот был исключен из анализа; обнаружение сигнала проводилось по параметру $\sum_{f_1}^{f_3} |A(f)| + \sum_{f_4}^{f_2} |A(f)|$, где $f_1=10$ Гц, $f_2=1$ кГц, $f_3=560$ Гц, $f_4=740$ Гц.

Для каждого обнаруженного сигнала определялось время прихода волны на станцию. Локация сейсмических событий проводилась с помощью метода засечек по 4 станциям. На рисунке 1.3 в качестве примера показаны волновые формы одного из выделенных сигналов, зарегистрированных измерительными точками Т₁ – Т₄. Пунктирная линия соответствует временам первых вступлений. В финальную выборку вошли 94 из 130 событий с эпицентрными расстояниями 25–400 м. Для остальных событий сильная зашумленность одного и/или более каналов не позволила провести локацию.

При локации событий методом засечек было определено время в очаге, что позволило оценить скорость распространения продольных волн на участке измерений в предположении однородности среды $C_\alpha = 5570 \pm 630$ м/с. С учетом коэффициента Пуассона $\nu = 0.27$ была рассчитана скорость распространения поперечных волн, которая составила $C_\beta = 3130 \pm 630$ м/с. Полученные значения скоростей C_α и C_β находятся в хорошем соответствии со значениями, полученными при оценке свойств отобранных образцов (таблица 1).

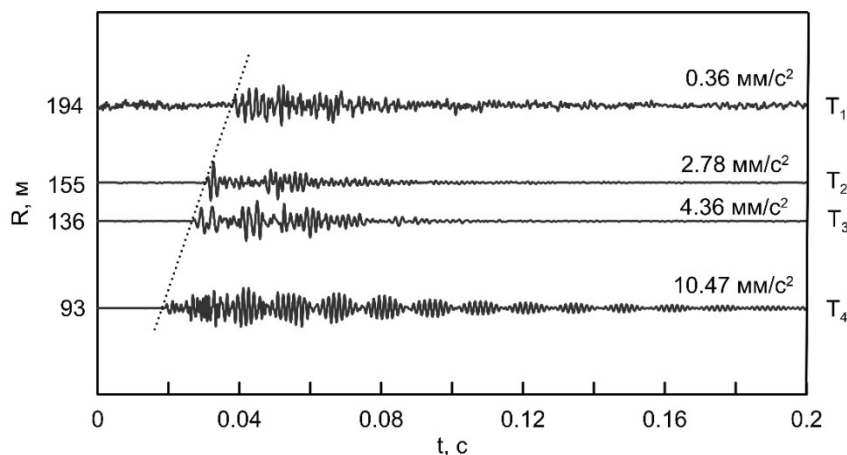


Рисунок 1.3. – Волновая форма события № 43 (табл. 2), записанная всеми сейсмическими станциями. Пунктирная линия соответствует первому вступлению сейсмической волны. Максимальные амплитуды для каждой станции указаны над волновой формой в единицах мм/с², тогда как на рисунке приведены сейсмограммы, нормированные на максимальную амплитуду

2. Определение параметров источника

Оценка очаговых параметров источника проводилась по результатам анализа параметров низкочастотной области спектра сейсмических колебаний. Для оценки величины скалярного сейсмического момента использовалось соотношение :

$$M_0 = \frac{4\pi\rho C^3 R\Omega_0}{F_c R_c S_c}, \quad (2)$$

где ρ — плотность массива (при расчетах $c = 3400$ кг/м³); C — скорость распространения волн; R — расстояние от источника до точки наблюдения; Ω_0 — амплитуда «полки» в низкочастотной части спектра смещения, которая оценивается при помощи аппроксимации зарегистрированного спектра одним из модельных; F_c — коэффициент, учитывающий направленность излучения; R_c — коэффициент, определяемый углом выхода луча на свободную поверхность; S_c — стационарная поправка. Для большинства событий на малых эпицентральных расстояниях объемные волны не разделяются, поэтому расчет очаговых параметров проводился по всей волновой записи сейсмического сигнала. При этом оценка сейсмического момента производится по среднеквадратичному значению коэффициента, учитывающего направленность излучения, рассчитанному исходя из сферической формы источника, используя значения $F_\alpha = 0.52$ and $F_\beta = 0.63$ [Boore, Boatwright, 1984]. Следуя [Gibowicz, Kijko, 1994], можно пренебречь стационарной поправкой и коэффициентом, который учитывает угол выхода луча на свободную поверхность ($R_c = 1$), для датчиков, расположенных в подземных выработках.

Для аппроксимации низкочастотной части спектра смещения использовалась модель Брюна [Brune, 1970], для которой спектр смещения описывается функцией:

$$\Psi(f) = \frac{\Omega_0}{1 + f^2 / f_0^2}, \quad (3)$$

где f_0 — угловая частота излучения источника. Построение аппроксимирующего спектра согласно модели производилось при минимуме среднеквадратичных отклонений от исходных данных амплитудного спектра смещения. По значениям сейсмического момента оценивается моментная магнитуда:

$$M_w = 2 / 3(\lg M_0 - 9.1). \quad (4)$$

Расчет излученной сейсмической энергии проводился путем интегрирования спектра скорости:

$$E_S = 4\pi\rho C \langle F_c \rangle^2 \frac{\sum_n J_{c_n} R_n^2}{\sum F_{c_n}^2}, \quad (5)$$

где n — количество точек измерения, J_{c_n} — поток энергии, R_n — расстояние между источником до n -ой измерительной станции. Поток энергии определяется как

$$J_n = 3 \cdot 2 \int_{f_1}^{f_2} |V(f)|^2 df, \quad (6)$$

где $f_1 = 10$ Гц, $f_2 = 1$ кГц, $|V(f)|$ — модуль спектра скорости; поскольку система измерений однокомпонентная, использовался множитель «3». Если механизм очага неизвестен, то коэффициент, учитывающий направленность излучения $\frac{\sum F_{c_n}^2}{4\pi \langle F_c \rangle^2}$ из (5), становится равным $\frac{n}{4\pi}$, и соотношение (5) упрощается:

$$E_s = 4\pi\rho C \frac{\sum_n J_{c_n} R_n^2}{n} . \quad (7)$$

При расчете излученной энергии использовались значения потока J с учетом потерь энергии за счет ограниченного частотного диапазона измерительной аппаратуры. Как показано в [Ide, Veroza, 2001], в тех случаях, когда полоса регистрации обрезана сверху частотой f_M , отношение зарегистрированной энергии E_{reg} к излученной E_s определяется выражением

$$R = \frac{E_{reg}}{E_s} = \frac{2}{\pi} [\text{arctg}(f_M / f_0) - (f_M / f_0) / (1 + f_M / f_0)^2]. \quad (8)$$

где f_0 – угловая частота спектра излученного сигнала. Для используемой измерительной сети частота f_M равна 1 кГц для всех датчиков. Данные измерительной точки Т₄, на которой присутствуют стационарные помехи, были исключены из рассмотрения, чтобы не вносить дополнительных инструментальных ошибок.

Для оценки величины сброса напряжения в массиве использовалось соотношение для модели кругового разлома R. Madariaga [Madariaga, 1976]:

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} M_0 \left(\frac{2\pi f_0}{K C_\beta} \right)^3, \quad (9)$$

где K принимает значения $K_\alpha = 2.01$ и $K_\beta = 1.32$ для Р- и S- волн соответственно. Полученные оценки дают хорошую сходимость с результатами наблюдений в шахтах [Gibowicz, Kijko, 1994]. Если механизм очага не определен, то могут быть использованы средние значения коэффициентов K_α и K_β .

Кажущееся напряжение оценивалось по известному соотношению:

$$\sigma_a = \mu \frac{E_s}{M_0}, \quad (10)$$

где модуль сдвига среды принимался $\mu \approx 33$ ГПа.

Исследования по определению добротности исследуемой области ранее не проводились. Нами были рассмотрены две модели среды с добротностью Q равной 200 и 400 путем введения множителя $\exp(-\frac{\pi R f}{QC})$. Выполненные расчеты показали, что эффекты введения затухания скажутся только на высоких частотах, поэтому далее все расчеты проводились для модели среды без учета затухания.

Результаты

Кумулятивное число зарегистрированных событий в зависимости от времени после взрыва показано на рисунке 1.4а. Три события, которые были зарегистрированы до проведения короткозамедленных взрывов, были удалены из рассмотрения, и не входили в последующий анализ, поскольку, как отмечалось выше, они представляли собой технологические взрывы малой мощности.

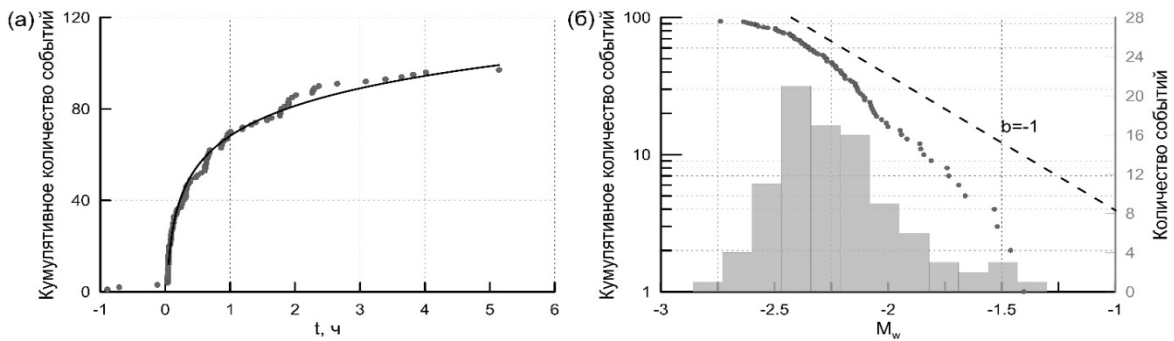


Рисунок 1.4. – (а) Кумулятивное количество событий, обнаруженных до и после взрыва; нулевая точка соответствует времени взрыва; сплошная линия – логарифмическое приближение (11); (б) взаимосвязь между количеством событий, магнитудой M_w и плотностью вероятности распределения количества событий по магнитуде (гистограмма, серый цвет). Пунктирная линия соответствует параметру b -value, равному 1.

После проведения взрывов наблюдался резкий всплеск сейсмической активности. Количество событий, индуцированных за первые 10-15 секунд после прохождения сейсмических волн от взрыва, неизвестно, поскольку они происходят на фоне колебаний взрыва. Нарастание кумулятивного числа событий со временем хорошо аппроксимируется логарифмической зависимостью

$$N = 18 \ln(t + t_0) + 68, \quad (11)$$

с коэффициентом детерминации 0.99, где $t_0 = 0.037$ ч – время, через которое были выделены первые сейсмические события после подрывов в камерах шахты (рисунок 1.4а). Зависимость кумулятивного числа событий от магнитуды M_w и плотность вероятности распределения количества событий по магнитуде показаны на рисунок 1.4б. Большинство событий зарегистрировано в диапазоне магнитуд от -2.5 до -2.0. Как видно, наблюдается резкий спад количества событий с магнитудами больше -2.0.

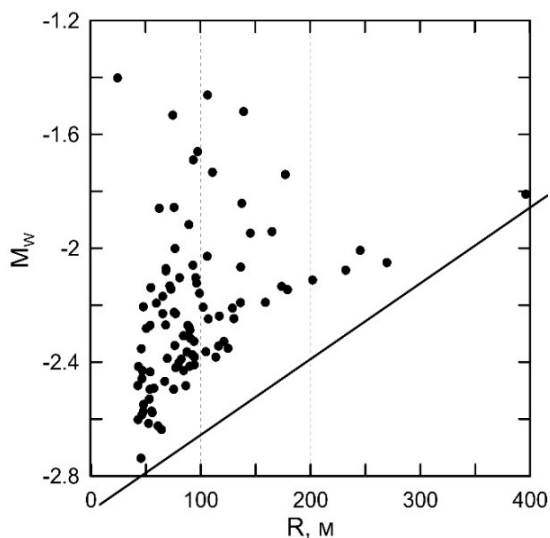


Рисунок 1.5. – Магнитуды зарегистрированных событий в зависимости от расстояния до точки T_3 . Прямая линия – оценка порога чувствительности сейсмической сети

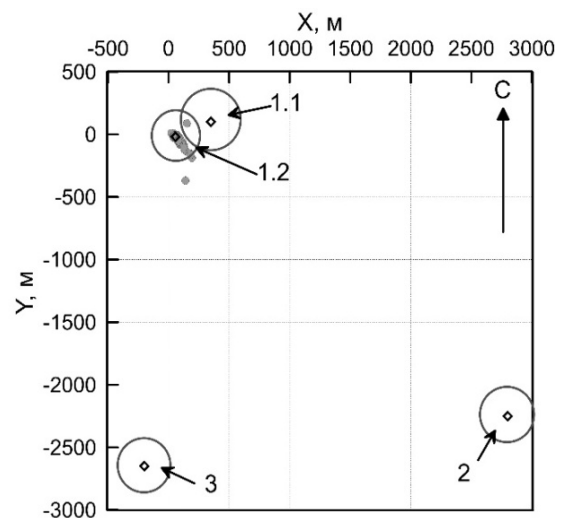


Рисунок 1.6. – Схема проведения наблюдений. Серые точки – эпицентры зарегистрированных сейсмических событий, квадраты – взрывы, круги – уровень динамических деформаций 10^{-6} от соответствующего взрыва

На рисунке 1.5 приведена зависимость магнитуд зарегистрированных событий от расстояния. Линия определяет приблизительный порог чувствительности сейсмической группы. Это означает, что все зарегистрированные события были инициированы, в основном, взрывом в камере 1.2 и, возможно в камере 1.1. Динамические деформации от взрывов в камерах №2 и №3 были значительно меньше по амплитуде (рисунок 1.6).

Для модели ω^2 проведена оценка моментных магнитуд M_w выделенных событий в диапазоне от -2.7 до -1.4 с угловой частотой от 120 до 760 Гц. Полученные значения магнитуд и угловых частот соответствуют, согласно модели [Madariaga, 1976], радиусам очага в первые метры. Величина сброса напряжения варьируется от 0.002 до 0.25 МПа (рисунок. 1.7). Величина рассчитанной сейсмической энергии варьируется от 10^{-3} Дж до 1 Дж при изменении сейсмического момента примерно на два порядка от 10^5 до 10^7 Н м, что соответствует вариации кажущегося напряжения от 0.0003 до 0.017 МПа (рисунок 1.9а). Несмотря на значительный разброс, можно отметить близкий к линейному тренд роста средней величины приведенной энергии E_s / M_0 примерно на порядок в диапазоне изменения момента от $1.5 \cdot 10^5$ до $1.5 \cdot 10^6$ Н·м (рисунок 1.8б). При этом в диапазоне M_0 (10^6 – 10^7) такой тенденции не отмечено.

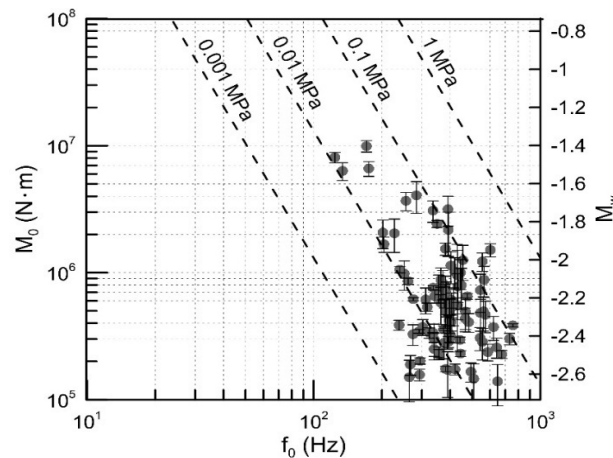


Рисунок 1.7. – Соотношение между скалярным сейсмическим моментом M_0 и угловой частотой источника f_0 для зарегистрированных слабых сейсмических событий. Значения постоянного сброса напряжения рассчитаны для модели источника [Madariaga, 1976]

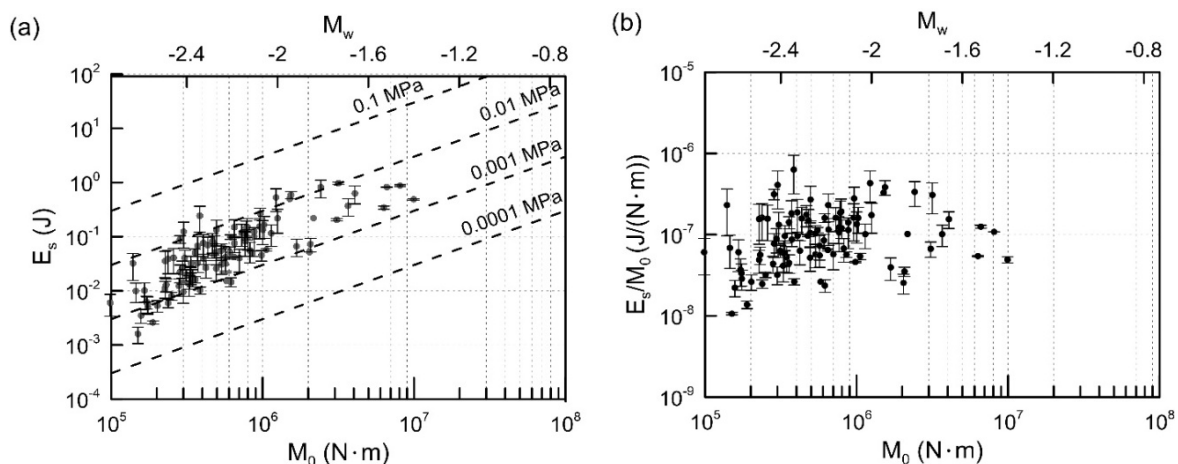


Рисунок 1.8. – (а) Излученная сейсмическая энергия E_s в зависимости от скалярного сейсмического момента M_0 (моментной магнитуды M_w) (б) Приведенная сейсмическая энергия E_s/M_0 в зависимости от скалярного сейсмического момента M_0 . Уровни постоянного кажущегося напряжения σ_a показаны пунктирными линиями с учетом модуля сдвига 33 ГПа

Отношение кажущегося напряжения σ_a к величине сброса напряжения $\Delta\sigma$ можно использовать для оценки скорости распространения разрыва V_r через параметр излучательной эффективности.

$$\eta_R = \frac{E_s}{E_s + E_G} = 2 \frac{\sigma_a}{\Delta\sigma}, \quad (12)$$

где E_G – величина энергии, идущей на разрушение контакта (трещинообразование), а E_s – излученная сейсмическая энергия (рисунок 1.9). Для моды II (продольный сдвиг) и моды III (поперечный сдвиг) трещины справедливы соотношения [Кочарян, 2016]:

$$\eta_R = 1 - \frac{1 - V_r / C_R}{\sqrt{1 - V_r / C_S}} \quad (13)$$

и

$$\eta_R = 1 - \sqrt{\frac{1 - V_r / C_S}{1 + V_r / C_S}} \quad (14)$$

соответственно. Откуда, с учетом $\nu = 0.27$, имеем для скорости Рэлеевских волн $C_R = 0.92C_S$ и, учитывая, что η_R изменяется от 0.04 до 0.6, получаем для сдвиговых мод $V_r = (0.1 \div 0.7)C_S$. Полученные значения скорости распространения разрыва V_r меньше стандартных $V_r = 0.9C_S$ для большинства событий.

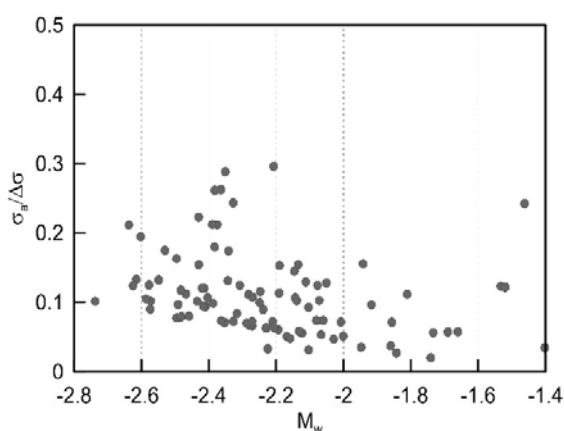


Рисунок 1.9. – Соотношение между моментной магнитудой и $\sigma_a / \Delta\sigma$ со средним значением, равным 0.11

Обсуждение результатов

Расположение очагов зарегистрированных событий показано на рисунке 1.10. Можно видеть, что практически все точки находятся внутри зоны, в которой уровень динамических деформаций от взрывов достигает величины 10^{-6} . Судя по тому, что до воздействия активность практически отсутствует, все эти события инициированы взрывом. Большая часть очагов приурочена к зоне разгрузки вокруг разрабатываемой камеры (схематически показана прямоугольником на рисунке 1.10).

Результаты мониторинга участка разломной зоны Коробковского месторождения говорят о том, что в массиве наблюдаются только события, связанные с поствзрывной активностью. С учетом предыдущих работ по оценке напряженно-деформированного состояния массива [Кочарян и др., 2018] и по мониторингу сейсмической активности [Besedina et al., 2018], это свидетельствует о спокойной геодинамической обстановке в пределах рудного поля.

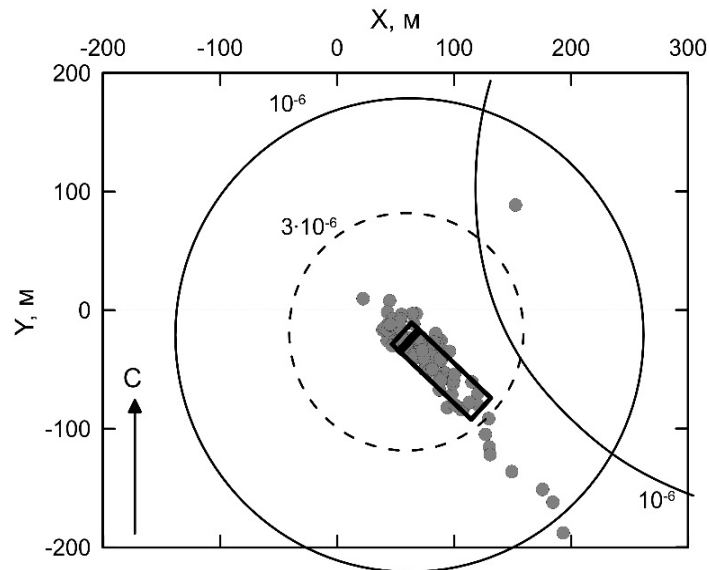


Рисунок 1.10. – Расположение очагов зарегистрированных событий.

Серые точки – сейсмические события, зарегистрированные после взрывов. Точка (0,0) соответствует измерительной точке Т₃. Прямоугольник – взрывная камера; толстая линия внутри прямоугольника – зона взрывных скважин. Большие круги (сплошная линия) соответствуют уровню динамических деформаций 10^{-6} от взрыва, маленький круг (пунктирная линия) – динамической деформации $3 \cdot 10^{-6}$.

Как отмечалось выше, совместное рассмотрение большого количества рядов данных, относящихся к разным участкам, создает видимость постоянства величины средней приведенной энергии [Walter et al., 2006; Kwiatek et al., 2011; Кочарян и др., 2016]. Однако наклон регрессионных зависимостей $E_s(M_0)$ для отдельных рядов наблюдений индуцированной сейсмичности иногда сильно отличается от единицы. Например, на месторождении в Канаде (события с магнитудами от -2.2 до -0.4) [Urbancic, Young, 1993] и при мониторинге наведенной сейсмичности в Китае (магнитуды 0.1–4.2) [Hua et al., 2013] получены одинаково сильные зависимости для масштабных соотношений $E_s / M_0 \sim M_0^{0.63}$. Обработка результатов наблюдений за микросейсмичностью (155 событий магнитудой от -3.6 до -1.9), проводившихся при проходке участка шахты в граните [Gibowicz et al., 1991], дает соотношение $E_s / M_0 \sim M_0^{0.33}$. В Германии, при анализе индуцированных сейсмических событий с магнитудами от -2 до 0 получены зависимости приведенной энергии от масштаба $E_s / M_0 \sim M_0^{0.90}$ [Jost et al., 1998]. При этом разброс данных, как правило, весьма велик, так, что регрессии отражают лишь общий тренд для каждого ряда. На рисунке 1.11 сопоставлены результаты, полученные нами на Коробковском месторождении, с некоторыми мировыми данными по регистрации слабой сейсмичности.

Некоторые возможные причины отклонения от закона подобия подробно описаны, например [Беседина и др., 2013], где, наряду с влиянием ограниченной частотной характеристики регистрирующей аппаратуры, рассматривается эффект, связанный с поглощением и рассеянием высоких частот при распространении колебаний. Эти причины отклонения от закона подобия не связаны с физикой очага динамического события и не отражают эффективность последнего как источника сейсмических колебаний.

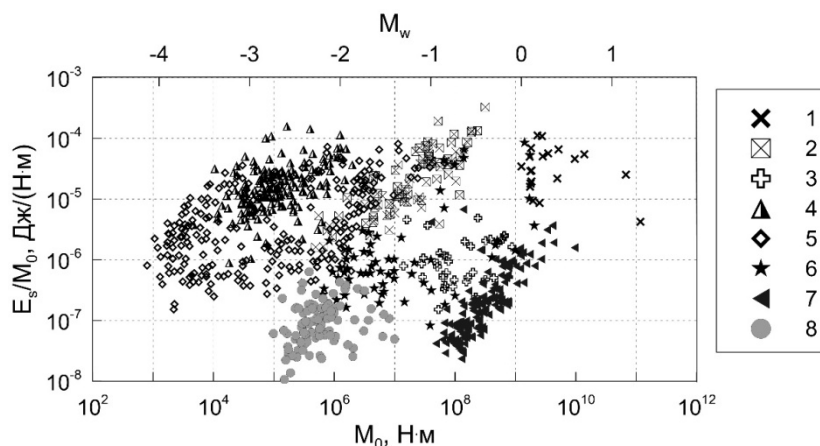


Рисунок 1.11 – Зависимость приведенной сейсмической энергии E_s/M_0 от сейсмического момента M_0 : 1 – [Yamada et al., 2007]; 2 – [Urbancic, Young, 1993]; 3 – [Oye et al., 2005]; 4 – [Gibowicz et al., 1991]; 5 – [Kwiatek et al., 2011]; 6 – [Маловичко, Маловичко, 2010]; 7 – [Jost et al., 1998]; 8 – Коробковское месторождение.

Отклонения от закона подобия могут быть связаны и с зависимостью от масштаба модуля деформации массива горных пород и жесткости нарушений сплошности. Это следует из рассмотрения баланса энергии при динамической подвижке по трещине. Рассматривая баланс энергии (рисунок 1.12а), предположим для простоты линейный закон фрикционного разупрочнения, т.е. постоянную скорость снижения сопротивления сдвигу в процессе перемещения

$\left| \frac{d\sigma}{dD} \right| = k_f = const$, где k_f – сдвиговая жесткость разгрузки (скорость снижения сопротивления сдвигу) разломной зоны, D – относительное перемещение берегов, σ – сдвиговое напряжение.

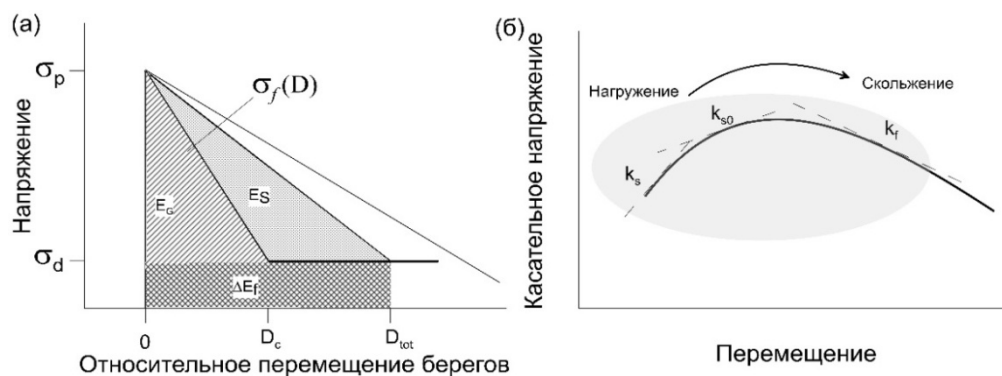


Рисунок 1.12. – а) Баланс энергии при динамической подвижке по трещине: E_G – энергия, затраченная на трещинообразование, E_s – энергия, излученная сейсмическими волнами, ΔE_f – энергия, диссипированная в процессе скольжения. б) Трансформация жесткости разломной зоны в окрестности предела прочности

Тогда удельная энергия (на единицу площади), затраченная на трещинообразование в процессе подвижки по трещине, определяется выражением:

$$E_G = \frac{1}{2} \frac{(\Delta\sigma)^2}{k_f}, \quad (15)$$

а энергия, излученная сейсмическими волнами

$$E_s = \frac{1}{2} \frac{(\Delta\sigma)^2}{\mu/L} - \frac{1}{2} \frac{(\Delta\sigma)^2}{k_f}, \quad (16)$$

где μ – эффективный модуль сдвига массива, L – длина разрыва, а $\Delta\sigma$ – сброс напряжения. Соответственно, $K = \mu/L$ – жесткость вмещающего массива.

Соответственно излучательная эффективность подвижки определяется выражением:

$$\eta_R = \frac{E_s}{E_s + E_G} = 1 - \frac{\mu}{L \cdot k_f}. \quad (17)$$

И модуль сдвига, и скорость снижения сопротивления сдвигу могут меняться в довольно широких пределах даже внутри одного участка массива, тем более – в зоне влияния выработки и в окрестности крупной разломной зоны, где и расположено большинство эпицентров.

Одним из условий формирования динамического срыва по существующему разлому является соотношение [Кочарян, 2016]

$$k_f > \frac{\mu}{L}, \quad (18)$$

аналогичное энергетическому критерию развития трещины Гриффитса, т.е. скорость динамического выделения энергии должна быть не меньше удельной энергии разрушения. Если это условие не выполняется, то реализуется условие стабильного скольжения. Таким образом, для динамических срывов величина излучательной эффективности η_R всегда оказывается положительной.

Оценить величину скорости снижения сопротивления сдвигу без проведения специальных измерений можно лишь опосредованно, используя результаты лабораторных и *in situ* экспериментальных определений «динамической» жесткости трещин и разломов по параметрам сейсмических волн, прошедших через нарушение сплошности. В [Кочарян, 2016] приводится эмпирическое выражение для оценки сдвиговой жесткости природных трещин и небольших разломов длиной L менее 500-1000 м *in situ*:

$$k_s^{dyn} = 1.5 \cdot 10^5 / L, \quad (19)$$

где L измеряется в м, а k_s в МПа/м.

Соотношение (19) демонстрирует тот же закон масштабирования, что и многочисленные данные экспериментального определения статической сдвиговой жесткости, согласно которым жесткость обратно пропорциональна размерам образца [Barton, 2007]. При этом, судя по данным лабораторных опытов, динамическая жесткость по крайней мере в несколько раз выше соответствующей величины сдвиговой жесткости при статическом нагружении [Barton, 2007]. Так что для оценок можно полагать, что статическая жесткость для нарушения сплошности исследуемого диапазона описывается соотношением

$$k_s = 5 \cdot 10^4 / L. \quad (20)$$

Очевидно, что если определяемая в эксперименте величина $k_s = \frac{d\sigma}{dD}$ относится к восходящей ветви зависимости $\sigma(D)$, то скорость снижения сопротивления сдвигу k_f при скольжении представляет собой абсолютную величину производной на запредельном участке зависимости $\sigma(D)$ после достижения предела прочности (рисунок 1.12б). При этом по мере приближения к пределу прочности величина жесткости заметно снижается [Johnson, Xia, 2005; Кочарян и др., 2018]. Опираясь на многочисленные данные лабораторных экспериментов, можно заключить,

что в окрестности экстремума форма зависимости $\sigma(D)$ часто близка к симметричной, так что в грубом приближении $k_f \approx k_{s_0} < k_s$.

В соответствии с (20) можно принять

$$k_f = 10^4 \div 5 \cdot 10^4 / L. \quad (21)$$

Соотношение (21) дает разумную оценку величины сброса напряжения. В самом деле:

$$k_f \cdot L = \Delta\sigma \frac{L}{D_{tot}} \approx 10^4 \Delta\sigma. \quad (22)$$

Соответственно из (21) и (22) имеем $\Delta\sigma \sim 1 \div 5$ МПа.

Преобразуя (17) и (21), имеем

$$\eta_R = 1 - (0.2 \div 1) \cdot 10^{-4} \cdot \mu, \quad (23)$$

где μ в МПа. Таким образом, величина излучательной эффективности напрямую зависит от величины модуля сдвига участка горной породы, прилегающего к разлому или трещине.

В тех случаях, когда мелкие события связаны с образованием новых трещин, можно считать справедливым приближение Кейлиса-Борока-Эшелби [Keilis-Borok, 1959], согласно которому скачок напряжений при смещении по круговой трещине пропорционален амплитуде смещения Δu и обратно пропорционален радиусу r трещины, что приводит к независимости величины приведенной сейсмической энергии от масштаба при постоянстве упругих характеристик среды.

Наблюдаемая на шахте имени Губкина комбината КМАруда и на многих других горных предприятиях тенденция к росту среднего значения e (см. рисунок 1.11) с увеличением размера события, возможно, связана с эффектом снижения значения модуля сдвига породы при увеличении характерного размера задачи. Хорошо известно, что на относительно небольших глубинах результаты измерения скорости распространения колебаний *in situ* неизменно зависят от базы измерений. Так, например, результаты измерений скорости распространения поперечных волн в массиве кварцита на глубине около 1000 м демонстрируют устойчивое снижение этого параметра от значения, характерного для измерений на образцах $C_\beta \approx 3000$ м/с, до величины $C_\beta \approx 2600$ м/с, полученной при измерениях на базах 100–500 м [Кочарян, 2016]. В механике горных пород хорошо известен эффект снижения прочностных характеристик и деформационных модулей массива горных пород по сравнению с характеристиками образца, причем эта разница возрастает в зонах влияния выработки и в разломных зонах [Barton, 2007]. Так, по данным [Barton, 1999] на глубине 300 м эффективный модуль деформации ненарушенной породы достигает величины $E \sim 80$ ГПа, модуль горной породы в окрестности мелких разломов $E \sim 20$ ГПа, а в зоне влияния крупного разлома $E \sim 10$ ГПа.

Гипоцентры большинства индуцированных событий, зарегистрированных на шахте Губкина, расположены либо в зоне влияния разрабатываемой камеры, либо в зоне влияния крупного разлома. Чем больше масштаб события (и, соответственно, длина разрыва), тем выше вероятность того, что очаг, либо его значительная часть, расположен на участке с относительно низким эффективным модулем, и, следовательно, эффективность сейсмического источника будет достаточно высокой. Заметим, что при проведении наблюдений в глубоких шахтах ($H \sim 3.5$ км) эффекта увеличения кажущихся напряжений с ростом масштаба обнаружено не было [Kwiitek et al., 2011]. Возможно, из-за большого литостатического давления величина μ *in situ* достигает значений, близких к наблюдаемым в образцах.

Обращают внимание полученные крайне низкие значения величины приведенной сейсмической энергии $E_s / M_0 \sim 10^8 \div 5 \cdot 10^7$. Это позволяет отнести деформационные события в массиве Коробковского месторождения к категории медленных землетрясений [Кочарян, 2016], что подтверждается и приведенной выше оценкой скорости распространения разрыва $V_R \cong (0.1 \div 0.7) C_s$.

Выводы к разделу 1

Рассмотрены результаты мониторинга индуцированной взрывом сейсмичности на Коробковском месторождении Курской магнитной аномалии. Зарегистрированные события с моментными магнитудами от -2.7 до -1.4 оказались сгруппированы вокруг разрабатываемой камеры и в окрестности крупной разломной зоны. Очаги практически всех зарегистрированных событий находятся внутри области с уровнем динамических деформаций от взрывов более 10^{-6} .

Для зарегистрированных событий были определены очаговые параметры и установлены эмпирические корреляционные зависимости между скалярным сейсмическим моментом и излученной энергией. Отмечается близкий к линейному тренд роста средней величины приведенной энергии E_s / M_0 : примерно на порядок в диапазоне изменения момента от $1.5 \cdot 10^5$ до $1.5 \cdot 10^6$ Н·м. При этом в диапазоне M_0 ($10^6 \div 10^7$ Н·м) такой тенденции не отмечено. Можно предположить, что этот эффект связан с тенденцией снижения модуля сдвига породы при увеличении размера сейсмического события.

Крайне низкие значения величины приведенной сейсмической энергии $E_s / M_0 \sim 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}$ и, соответственно, скорости распространения разрыва позволяют предполагать, что промышленный взрыв инициировал рой медленных микроземлетрясений.

Раздел 2. Пылегазовое загрязнение среды обитания и связанные с ним вариации геофизических полей

Введение

В рамках темы (руководитель академик В.В. Адушкин) проводились исследования связанные с оценками вклада открытых горных работ в общий аэрозольный баланс атмосферы, оценками выноса микрочастиц в атмосферу от отдельных открытых карьеров. В процессе выполнения работ проводились как экспериментальные, так и теоретические исследования.

Значительный интерес в настоящее время представляет изучение тенденций загрязнения окружающей среды, связанных с выбросами микрочастиц от техногенных источников в процессе извлечения минерального сырья и топлива из литосферы. Анализ данных свидетельствует о том, что за последние десятилетия происходит существенное увеличение объемов добычи полезных ископаемых. По оценкам из литосферы ежегодно добывается от сотни миллиардов до триллиона тонн твердого вещества, при этом значительная доля переработанной горной массы приходится на добычу полезных ископаемых открытым способом [Викторов, 2015; Трубецкой, Галченко, 2015]. При добыче полезных ископаемых на открытых карьерах в результате разрушения горной породы практически все технологические процессы сопровождаются образованием микрочастиц в широком диапазоне размеров и потенциально являются одними из основных источников выбросов микрочастиц в приземный слой атмосферы [Адушкин и др., 2020].

Статистические данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу в нашей стране можно найти в ежегодных Государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» Минприроды России. В ряде докладов представлены статистические данные о выбросах твердых веществ по отдельным видам деятельности в разделе «Добыча полезных ископаемых». Однако данные носят фрагментарный характер и приводятся не для каждого календарного года. Так данные, приведенные в [Государственный доклад, 2012], показывают, что по итогам 2010 г. при добыче угля выбросы твердых веществ увеличились на 3.3% по отношению к предыдущему году. Количественные данные о выбросах твердых веществ при добыче угля за ряд лет содержатся в [Государственный доклад, 2018]: в 2008 г. они составили 55.5 тыс. т, в 2016 г. – 58.4 тыс. т, в 2017 г. – 65.4 тыс. т.

Независимые оценки выбросов твердых веществ в атмосферу при производстве работ на открытых карьерах можно получить по методике, основанной на анализе данных о пылевыделении при различных технологических процессах в горных работах и их общего объема. Основными источниками выбросов микрочастиц на открытых карьерах являются: бурение, дробление горной породы взрывом, выемочно-погрузочные работы и операции, связанные с перемещением горной массы, а также пылящие поверхности техногенных массивов – отвалов и хвостохранилищ. Наиболее распространенным методом оценки выбросов частиц горной породы

и других загрязняющих веществ в атмосферу являются расчеты по эмпирическим зависимостям на основе коэффициентов выбросов [Бересневич и др. 1990; Huertas et al., 2012; Patra et al., 2016]. Эти зависимости являются эмпирическими по своей природе и были разработаны на основе результатов экспериментальных исследований, проводившихся в процессе эксплуатации карьеров в соответствии с конкретной геометрией, типом горных пород, метеорологическими условиями и т.д. Основным элементом этих формул являются коэффициенты выбросов, которые обычно выражаются в виде веса загрязняющего вещества, деленного на единицу веса, объема, расстояния или продолжительности технологических операций на карьерах.

Оценки выбросов микрочастиц при разработке угольных карьеров

Ниже рассмотрены оценки выбросов микрочастиц в атмосферу, полученные на примере открытых угольных карьеров [Адушкин, Соловьев, 2021]. На территории России по состоянию на 2019 год находятся 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений (насчитывается 187 предприятий, из них шахты – 57, угольные разрезы – 130) [Таразанов, Губанов, 2020]. В таблице 1 приведены объемы добычи угля по способам добычи. По данным за 2019 год удельный вес открытого способа в общей добыче составил 75.7%. Как видно из таблицы 1 добыча подземным способом находится приблизительно на одном уровне, а добыча угля открытым способом непрерывно растет. Аналогичная тенденция наблюдается и в других угледобывающих странах мира [bp.com/statisticalreview].

Зная объемы годовой добычи угля в РФ и мире можно рассчитать соответствующие им объемы $V_{гп}$ переработанной горной породы и в результате получить оценки массы выбросов микрочастиц на открытых угольных карьерах. Для оценок принято, что удельный вес открытого способа в общей добыче составляет 75%. Данные по добыче угля в РФ приведены в таблице 3, добыча угля по странам – bp.com/statistical review. Полученные оценки массы выбросов микрочастиц при добыче угля в мире и для двух стран – России и Китая, приведены в таблице 4. На долю Китая приходится немного меньше половины добычи угля в мире и, соответственно, немного меньше половины выбросов микрочастиц. Если принять выбросы микрочастиц в 2010 г. за 100%, то увеличение выбросов микрочастиц при добыче угля в мире в 2019 г. составит $\approx 12\%$, а в Китае и России – $\approx 19\%$ и 36.5% , соответственно.

Таблица 3

Добыча угля в России в период с 1995 по 2019 гг.

Годы	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Добыча, млн. т	262.8	258.4	299.8	323.4	336.7	354.6	352.1	358.2	374	386.9	411.2	441.9	441.4
Открытый способ	152.2	167.5	195.1	221.3	236	248.9	250.8	252.9	270.4	282.6	305.7	332.5	334.1
Подземный	110.6	90.9	104.7	102.1	100.7	105.7	101.3	105.3	103.6	104.3	105.5	109.4	107.3

Оценки выбросов микрочастиц при добыче угля в мире из таблицы 4 находятся в пределах от 1.12 млн. т до 3.48 млн. т. Полученные оценки массы выбросов микрочастиц при добыче угля открытым способом в мире близки к годовым выбросам микрочастиц от транспорта, которые по данным [IPCC, 2014] находятся в пределах от 1.1 млн. т до 3.4 млн. т. (по данным [Атмосфера, 1991] выбросы от транспорта составляют 1 млн. т в год; по данным [Wang, 2015] эта величина также составляет ~ 1 млн. т в год, различие в оценках выбросов часто связано с различием подходов к учету источников выбросов и используемых моделей). Годовые выбросы авиационного и морского флота по данным [IPCC, 2014] находятся в пределах от 0.8 млн. т до 2.4 млн. т.

Таким образом, полученные оценки выбросов микрочастиц при добыче угля открытым способом в мире следует учитывать при анализе общего аэрозольного баланса атмосферы в разделе техногенные источники, поскольку эти оценки очень близки к массе выбросов от автотранспорта и превосходят выбросы авиационного и морского флота.

Таблица 4

Оценки массы выбросов микрочастиц при добыче угля в мире, в Китае и России

Годы	Страны	Добыча угля, млн. т	Добыча угля открытым способом, $M_{доб}$, млн. т	Горная масса, $V_{гм}$, млн. м ³	Масса выбросов по горной породе, $M_{гп}$, тыс. т
2010	В мире	7254.6	5440.95	23318.4–31091.1	1119.3–3109.1
	Китай	3235.0	2426.25	10398.2–13864.3	499.1–1386.4
	Россия	323.4	242.55	1039.5–1386.0	49.9–138.6
2015	В мире	7861.1	5895.83	25267.8–33690.4	1212.9–3369.0
	Китай	3747.0	2810.25	12043.9–16058.6	578.1–1605.9
	Россия	374.0	280.50	1202.1–1602.9	57.7–160.3
2019	В мире	8129.4	6097.05	26130.2–34840.3	1254.3–3484.0
	Китай	3846.0	2884.50	12362.1–16482.9	593.4–1648.3
	Россия	441.4	331.05	1418.8–1891.7	68.1–189.2

Еще одним важным аспектом, связанным с выбросами микрочастиц в атмосферу при разработке открытых угольных карьеров, является возможное влияние микрочастиц с высоким содержанием углерода на радиационный баланс атмосферы. Известно, что частицы черного углерода (ЧУ) оказывают значительное влияние на радиационный баланс атмосферы, особенно в Арктическом регионе [Bond et al., 2013; Huang et al., 2015; Atmospheric Aerosols, 2017; Виноградова, Титкова, 2020]. Частицы ЧУ образуются в результате не полного сгорания топлива (транспорт, промышленность, твердое топливо для жилых помещений и открытое сжигание), в их составе на углерод приходится до 99% по массе. Размеры частиц ЧУ сверху ограничиваются величиной 2,5 мкм (в аэродинамическом диаметре), но в основном – это частицы нанометрового диапазона [Anenberg et al., 2012]. В микрочастицах каменного угля, которые выбрасываются в атмосферу в процессе добычи на открытых карьерах, на долю углерода приходится 75 – 97% по массе, но распределение частиц по размерам включает и наноразмерные частицы [Fan, Liu, 2021]. Естественно, что химические, физические свойства, включая оптические характеристики и гранулометрический состав, этих двух типов микрочастиц, будут существенно отличаться. Тем не менее, микрочастицы, выбрасываемые в атмосферу при разработке открытых угольных карьеров, обладают высоким содержанием углерода и широким спектром размеров, и они, наряду с частицами ЧУ, могут оказывать влияние на радиационный баланс атмосферы в регионах их добычи, однако, оценка этого влияния потребует проведения дополнительных исследований.

Разработка численной модели развития пылегазовых облаков промышленных взрывов

Эмиссия в атмосферу частиц горной породы на открытых карьерах при взрывной отбойке горной массы является одним из факторов, определяющих загрязнение приземного слоя атмосферы в окрестности карьеров. Диапазон масс ВВ, используемых на карьерах, довольно широк. Наряду с маломасштабными взрывами, которые иногда проводят по нескольку раз в день, на крупных карьерах все большее распространение получают мощные массовые взрывы. Несмотря на массовое использование взрывов при разработке месторождений открытым способом, эмиссия твердых частиц в атмосферу при взрывном дроблении грунта, в основном оценивается по эмпирическим зависимостям. Но развиваются и численные модели, в которых пылегазовое облако взрыва моделируется экспериментально определенным потоком частиц из заданных областей инъекции [Silvester et al., 2009; Torno et al., 2010; Sairanen et al., 2017; Joseph et al., 2018]. При этом чаще всего численно решаются уравнения Навье-Стокса с использованием тех или иных моделей турбулентного переноса. При проведении крупномасштабных взрывов определяющими процессами становятся образование горячего, заполненного продуктами детонации, воздухом и частицами горной породы объема в окрестности взрыва и последующее конвективное всплытие пылегазового облака в стратифицированной атмосфере. В известных нам моделях [Sairanen et al., 2017; Joseph et al., 2018; Torno et al., 2010] эти процессы игнорируются. Тем не менее, с развитием методов численного моделирования появилась возможность изучать динамику пылегазовых выбросов на новом уровне детализации процессов. Несмотря на сложность описания

развития пылегазового облака, подобный подход позволяет не только получать удовлетворительные данные о конкретных взрывах, но и обеспечить прогноз выбросов в атмосферу микрочастиц горной породы при взрывах различной мощности.

Развитие пылегазового облака промышленного взрыва можно условно разбить на три стадии [Khazins et al., 2020]. Первая из них характеризуется быстропротекающими (сотни миллисекунд) процессами, к которым можно отнести генерацию ударных волн, инициированных подрывом зарядов ВВ, поступление частиц грунта различного размера из формирующегося кратера, расширение продуктов взрыва и их перемешивание с воздухом и частицами горной породы в процессе торможения продуктов, понижение давления до атмосферного и формирование горячего газопылевого объема, обычно называемым термиком. Вторая стадия, длительность которой составляет несколько минут, характеризуется относительно медленным подъемом термика в стратифицированной атмосфере под действием сил плавучести, его расширением и увлечением окружающего воздуха в процессе турбулентного перемешивания. Первоначальная форма облака продуктов взрыва разрушается, формируется тороидальный вихрь, а само пылегазовое облако приобретает грибовидную форму. Подъем облака ограничивается высотой, на которой достигается гидростатическое равновесие с окружающим воздухом. На третьей стадии длительностью в несколько часов и более облако перемещается под действием ветра, продолжает перемешиваться с окружающим воздухом под действием турбулентной диффузии, а содержащиеся в нем твердые частицы постепенно осаждаются под действием силы тяжести.

На данном этапе разработки численной модели расчеты проводились для взрыва сосредоточенного заряда ВВ массой 500 т. Причина нашего внимания к такой постановке задачи обусловлена тем, что для двух 500-тонных взрывов в нашем распоряжении имелись результаты полевых наблюдений, включая зависимость распределения частиц по размерам и динамику подъема пылегазового облака в приземном слое атмосферы, что позволило провести верификацию расчетной модели. В дальнейшем расчеты будут проводиться для скажинных зарядов ВВ, в постановке наиболее близко соответствующей конкретным промышленным взрывам на открытых карьерах.

Численная модель первой стадии развития облака построена на основе гидродинамического кода SOVA [Shuvalov, 1999]. В рамках этой модели решаются гидродинамические уравнения Эйлера, отражающие законы сохранения массы, импульса и энергии в невязком приближении; допускается формирование и распространение сильных разрывов физических параметров; аккуратно описываются границы между грунтом, продуктами детонации и воздухом, и для каждой из этих сред применяется свое уравнение состояния.

Образование воронки выброса моделируется в жидкостном приближении, выброс грунта из нее в область продуктов детонации при достижении некоторой степени разуплотнения грунта заменяется набором разлетающихся частиц с сохранением массы и в соответствии с распределением частиц грунта по размерам; для описания движения маркеров используется метод частиц-представителей (маркеров), число которых варьируется в пределах 10^4 - 10^6 . Конденсированные частицы обмениваются с газом (воздухом, продуктами детонации) теплом и импульсом.

В рамках численной модели второй стадии развития пылегазового облака используется разностный аналог системы уравнений Навье-Стокса для сжимаемой жидкости в гипозвуковом приближении; турбулентный перенос описывается методом крупных вихрей (LES).

На рисунке 2.1 представлены характерные для всплытия пылегазового облака поля переменных. Здесь рассмотрен термик, содержащий в качестве примеси мелкие частицы с размером до 0.01 мм. Частицы такого размера ведут себя подобно пассивной примеси и следуют за полем течения. Верхняя кромка облака к 2 минутам достигла высоты 2300 м (панель (а)). Газопылевая смесь к этому моменту все еще характеризуется положительной плавучестью β , где $\beta = (\rho - \rho^*) / \rho^*$, ρ – плотность, а $\rho^*(z)$ – плотность невозмущенной атмосферы на высоте z (панель (b)). Основная часть газопылевой смеси пока еще легче окружающего воздуха, и наибольшее отклонение плотности смеси от плотности окружающего воздуха достигается в области тороидального вихря. Облако остывает по мере подъема вследствие расширения и подмешивания холодного воздуха, и его плотность становится больше плотности окружающего воздуха. Однако облако продолжает подниматься по инерции, сохраняя свою структуру (панель (c)), и в его верхней части формируется область с отрицательной плавучестью (панель (d)). Скорость подъема замедляется и примерно к 5 минутам облако достигает максимальной высоты.

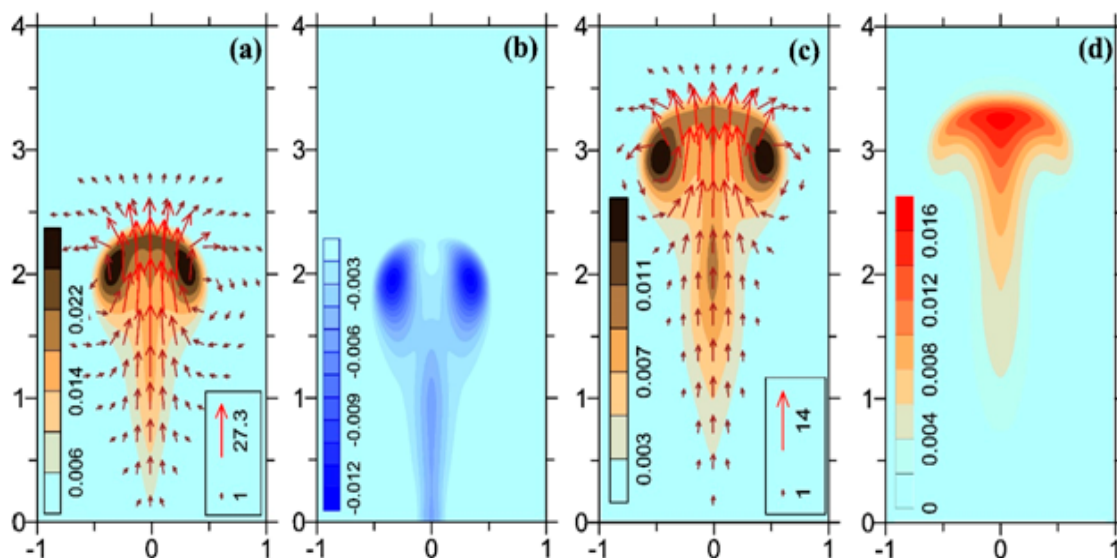


Рисунок 2.1. – Взрыв массой 500 т. Распределения плотности примеси в сопоставлении с полем скорости (а, с) и плавучести (b, d) в радиальном сечении газопылевого облака в моменты времени 2 и 4 минуты (панели (а, b) и (с, d) соответственно). Тонами синего цвета отмечены области с положительной плавучестью, тонами красного – с отрицательной. Максимальные значения скорости (м/с) приведены в прямоугольниках. Расстояния по осям – в километрах

Для взрывов с массой 1-1000 т был применен тот же подход, что и для взрыва массой 500 т. Начальная температура термика – 1250 К, а радиус термика r_T выбирался по эмпирической зависимости [Kansa, 1997]: $r_T = 19.64 \cdot W^{0.32}$. Значение параметра Смагоринского C_{sm} (коэффициент пропорциональности, используемый для связи кинематической вязкости с характерными размерами задачи в методе крупных частиц [Хазинс, 2010]), используемая для для каждого варианта определялось методом проб и ошибок из условия близости положения верхней кромки в расчетах к тем же значениям, полученных аппроксимацией экспериментальных данных тротильных взрывов к моменту времени 2 минуты [Church, 1969]:

$$H = 490W^{0.25}$$

где H – положение верхней кромки в метрах, W – масса заряда в тоннах.

На рисунках 2.2а и 2.2b приведена динамика изменения геометрических размеров облака для избранных вариантов расчета. Максимальные значения этих размеров приведены на рисунке 2.2а в зависимости от массы взрыва.

Как следует из рисунка 2.2а зависимости подчиняются степенным законам. Более того, значения параметра Смагоринского C_{sm} , которые были заложены в расчеты при расчете геометрических характеристик облака, также степенным образом зависят от массы ВВ:

$$C_{sm} = 7.36W^{-0.134}$$

В результате были получены простые соотношения для зависимости геометрических характеристик облака от массы заряда:

$$H_m = 35.8W^{-0.06}r_T = 703W^{0.26},$$

$$R_m = 8.9W^{-0.09}r_T = 175W^{0.23}$$

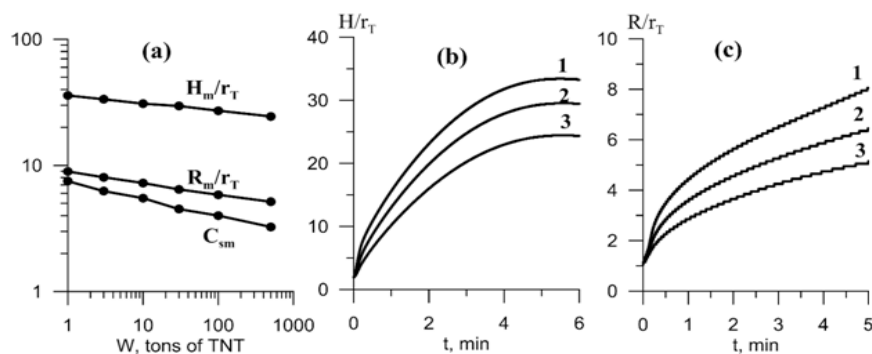


Рисунок 2.2 – (а): зависимость от массы заряда W параметра Смагоринского C_{sm} , максимальной высоты $\frac{H_m}{r_T}$ верхней кромки облака и максимального радиуса $\frac{R_m}{r_T}$ шапки газопылевого облака. **(б), (с):** зависимость от времени высоты верхней кромки $\frac{H}{r_T}$ и радиуса $\frac{R}{r_T}$ шапки пылегазового облака для взрывов с энергией 3, 30 и 500 т TNT (кривые 1, 2, 3 соответственно)

Таким образом, построена модель развития пылегазового облака взрыва, позволяющая численно моделировать газодинамические процессы от момента подрыва заряда ВВ до стадии его зависания в стратифицированной атмосфере для одиночных взрывов с эквивалентной массой 1-1000 т. Определены простые соотношения, позволяющие оценить размеры облака в указанном диапазоне энергий взрыва к моменту его зависания. Рассчитано распределение массы частиц грунта по размерам для взрыва с эквивалентной массой 500 т, для которого есть экспериментальные данные по размерам частиц, выброшенных при взрыве. Полученные результаты будут использованы для расчетов на завершающей стадии развития пылегазового облака взрыва – дисперсии частиц в поле ветра и оценке загрязнения приземного слоя атмосферы в окрестности карьеров.

Динамика пылегазового облака, инициированного взрывом на дне карьера, с учетом поля ветра

Вначале рассчитывается взаимодействие воздушного потока с рельефом карьера. Однородный воздушный поток направлен вдоль земной поверхности, средняя скорость ветра ~ 10 м/с. На рисунке 2.3 представлен характер течения через 1 час после начала взаимодействия воздушного потока с воздухом карьера.

Далее рассматривается развитие пылегазового облака с характеристиками, полученными из расчетов на первой и второй стадиях, но пылегазовое облако формируется в карьере, в котором воздушный поток соответствует рисунку 2.3, панели (с) и (d), а горизонтальный ветер со скоростью 10 м/с продолжает дуть. На рисунке 2.4 представлена эволюция пылегазового облака взрыва в поле ветра. Уже ко второй минуте облако существенно деформируется. Искажается, область, расположенная против ветра (левая часть) от центра облака, становится значительно меньше области по ветру (правая часть). В последующем, примерно до седьмой минуты, левая область не растет в размерах и, практически не движется, в то время как правая область, расширяясь, продолжает двигаться по ветру. В результате к десятой минуте формируется вытянутое облако, начало которого все еще находится над областью локализации начального термика. Все эти процессы определяются взаимодействием ветра с вихревой системой, формирующейся при вспышке термика.

Таким образом, взаимодействие горизонтального ветра с вихревой системой, сформированной продуктами взрыва, приводит не просто к сносу пылегазового облака, а к преобразованию двух облачной структуры к единому, распространяющемуся по ветру, облаку с шлейфом микрочастиц горной породы за ним. Расчеты по данной модели позволяют получить детальное описание изменения во времени концентрации частиц в пределах облака и плотность выпадения частиц на земную поверхность по мере движения облака в приземном слое атмосферы.

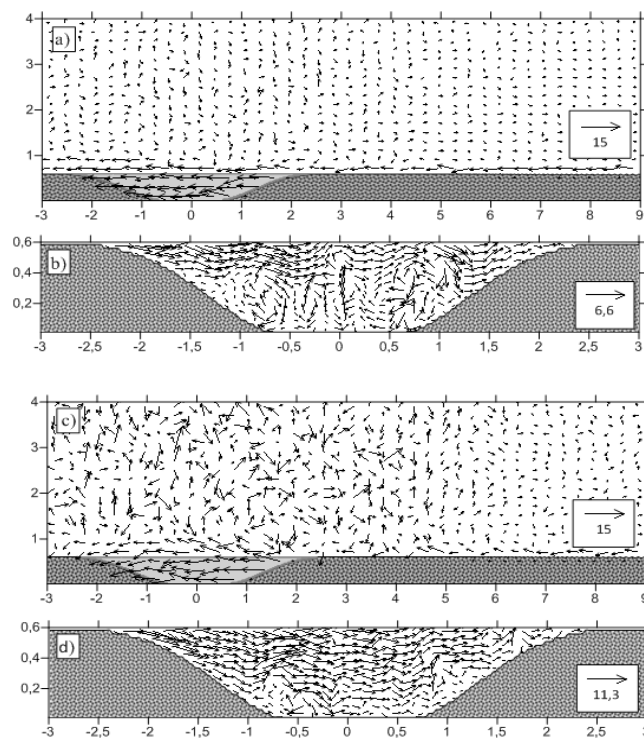


Рисунок 2.3. – Поля скоростей потока через 1 час после начала взаимодействия ветра с воздухом карьера. (а) и (с) – поля скорости $(u-U_w, v)$, полученные при значениях параметра Смагоринского $C_{sm} = 0.5$ и 0.2 ; (b) и (d) – поля скорости (u, v) внутри карьера при тех же значениях C_{sm} . Точками отмечена область грунта вне карьера. В прямоугольниках приведена максимальная скорость потока. Серым цветом выделена область карьера, мгновенно заполняемая взвешенной пылью в момент времени $t = 1$ час. Все расстояния по осям – в километрах

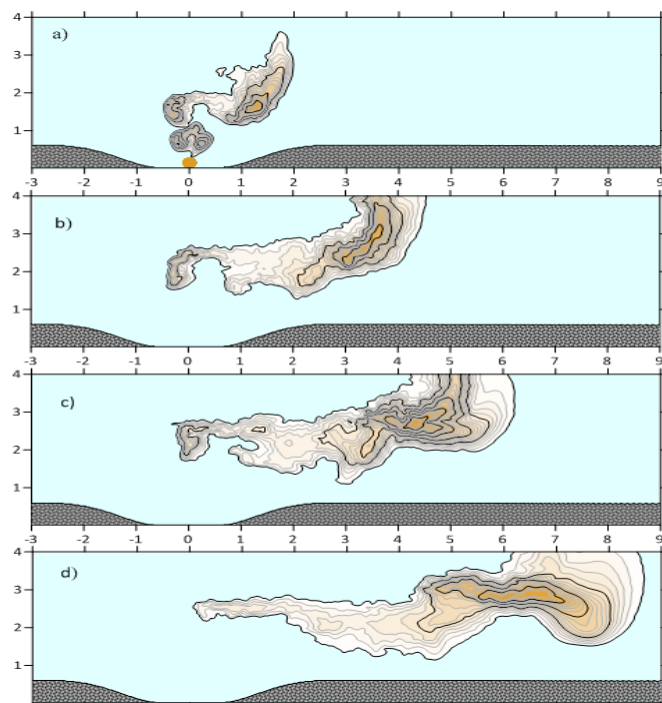


Рисунок 2.4. – Эволюция облака цилиндрического взрыва в поле горизонтального ветра: (а) $t = 0$; 0.5 ; 2 мин; $\max C(t) = 1$; 0.44 ; 0.095 ; (b) $t = 5$ мин; $\max C(t) = 0.04$; (c) $t = 7$ мин; $\max C(t) = 0.03$; (d) $t = 10$ мин; $\max C(t) = 0.02$. Здесь $\max C(t)$ – максимальное значение приведенной концентрации в зависимости от времени t .

Список литературы

- Адушкин В.В., Кишкина С.Б., Куликов В.Н., Павлов Д.В., Анисимов В.Н., Салтыков Н.В., Сергеев С.В., Спунгин В.Г.* Построение системы мониторинга потенциально опасных участков Коробковского месторождения Курской магнитной аномалии // ФТПРПИ. 2017б. №4. С. 3–13.
- Адушкин В.В., Соловьев С.П., Спивак А.А., Хазинс В.М.* Геоэкологические последствия проведения горных работ на карьерах с применением взрывных технологий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 2. С. 164–178.
- Адушкин В.В., Соловьев С.П.* Микрочастицы в атмосфере от литосферных источников техногенного происхождения // Физика Земли. 2021. № 5.
- Атмосфера.* Справочник. Л. Гидромеиздат. 1991. 612 с.
- Бересневич П. В., Михайлов В. А., Филатов С. С.* Аэрология карьеров: справочник. М.: Недра, 1990. 280 с.
- Викторов С. Д.* Взрывное разрушение массивов горных пород — основа прогресса в горном деле // ГИАБ. 2015. № S1. С. 63–75.
- Виноградова А.А., Туткова Т.Б.* Черный углерод в атмосфере и альbedo подстилающей поверхности в российской арктике весной // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 1. С. 61–67.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году». 2012. 571 с.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России, НПП «Кадастр». 2019. 844 с.
- Кочарян Г.Г.* Геомеханика разломов. М.: ГЕОС. 2016. 432 с.
- Кочарян Г.Г., Будков А.М., Кишкина С.Б.* Об инициировании тектонических землетрясений при подземной отработке месторождений // ФТПРПИ. 2018. № 4. С. 34–44.
- Кочарян Г.Г., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б.* Энергия, излучаемая сейсмическими событиями различного масштаба и генезиса // Физика Земли. 2016. № 4. С. 141–156.
- Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В.* О влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов // ФТПРПИ. 2019. № 6. С. 49–58.
- Маловичко А.А., Маловичко Д.А.* Оценка силовых и деформационных характеристик очагов сейсмических событий. Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов: Т. 2 / Отв. ред. Мельников Н.Н. Новосибирск: 2010.
- Таразанов И.Г., Губанов Д.А.* Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2019 года // Уголь. 2020. № 3. С. 54–69. DOI:10.18796/0041-5790-2020-3-54-69.
- Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.* Методология оценки перспективной парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса // ФТПРПИ. 2015. № 2. С. 177–187.
- Хазинс В. М.* Метод крупных вихрей в задачах всплытия высокотемпературных термиком в стратифицированной атмосфере // Теплофизика высоких температур, 2010, том 48, выпуск 3, 424–432.
- Anenberg S.C. et al.* Global Air Quality and Health Co-benefits of Mitigating Near-Term Climate Change through Methane and Black Carbon Emission Controls // Environmental Health Perspectives. 2012. Vol. 120. No. 6. P. 831 – 839.
- Atmospheric Aerosols: Life Cycles and Effects on Air Quality and Climate.* Editor(s): Claudio Tomasi, Sandro Fuzzi, Alexander Kokhanovsky. Wiley-VCH. 2017. 704 p.
- Barton N.* General report concerning some 20th Century lessons and 21st Century challenges in applied rock mechanics, safety and control of the environment. 1999. Proc. of 9th ISRM Congress, 3, 1659–1679, Paris. Rotterdam: Balkema.
- Barton N.* Rock quality, seismic velocity, attenuation, and anisotropy. London: Taylor & Francis Group. 2007. 729 p.
- 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. V. 2051. P. 020028. doi: 10.1063/1.5083271.
- Boore D.M., Boatwright J.* Average body-wave radiation coefficients // BSSA. 1984. V. 74. P. 1615–1621.
- Bond, T.C., et al.* Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment // J. Geophys. Res. Atmos. 2013. 118, 5380–5552.
- Brune J.* Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. 1970. V. 75. N. 26. P. 4997–5009.
- Church H.* Cloud Rise from High-Explosives Detonations; Office of Scientific and Technical Information (OSTI): Albuquerque, NM, USA, 1969.

- Fan L., Liu S. Respirable nano-particulate generations and their pathogenesis in mining workplaces: a review // *Int J Coal Sci Technol*. 2021.
- Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R., Davies R.J. Global review of human-induced earthquakes // *Earth-Sci. Rev.* 2018. V. 178. P. 438–514.
- Gibowicz S., Kijko A. An Introduction to Mining Seismology, in *International Geophysics*, V. 55, San Diego: Academic Press. 1994.
- Gibowicz S., Young R., Talebi S., Rawlence D. Source parameters of seismic events at the Underground Research Laboratory in Manitoba, Canada: Scaling relations for events with moment magnitude smaller than 2 // *BSSA*. 1991. V. 81. N. 4. P. 1157–1182.
- Hua W., Chen Z., Zheng S. Source parameters and scaling relations for reservoir induced seismicity in the longtan reservoir area // *Pure Appl. Geophys.* 2013. V. 170. P. 767–783.
- Huang K., Fu J.S., Prikhodko V.Y., Storey J.M., Romanov A., Hodson E.L., Cresko J., Morozova I., Ignatieva Y., Cabaniss J. Russian anthropogenic black carbon: Emission reconstruction and Arctic black carbon simulation // *JGR: Atmospheres*. 2015. Vol. 120. Issue 21. P. 11306–11333.
- Huertas, J.I., Camacho, D.A. Huertas, M.E. Standardized emissions inventory methodology for open-pit mining areas // *Environ Sci Pollut Res*. 2012. Vol. 19. P. 2784–2794.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. by Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer. Geneva, Switzerland: IPCC, 151 p.
- Joseph, G., Lowndes, I.S.; Hargreaves, D. A computational study of particulate emissions from Old Moor Quarry, UK. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.* 2018. Vol. 172, P. 68–84.
- Jost M.L., Büsselberg T., Jost Ö., Harjes H.-P. Source parameters of injection-induced microearthquakes at 9 km depth at the KTB DEEP Drilling site, Germany // *BSSA*. 1998. V. 88. N. 3. P. 815–832.
- Kansa, E.J. Time-Dependent Buoyant Pu₂ Model for Explosive Sources; Technical Report UCRL-ID-128733; Lawrence Livermore National Laboratory: Livermore, CA, USA, 1997.
- Keilis-Borok V.I. On the estimation of the displacement in an Earthquake Source and Source Dimensions // *Annals of Geophysics*. 1959. V. 12. P. 205–214.
- Khazins, V.M.; Shuvalov, V.V.; Soloviev, S.P. Numerical Modeling of Formation and Rise of Gas and Dust Cloud from Large Scale Commercial Blasting // *Atmosphere*. 2020. Vol. 11. Issue 10. P. 1112.
- Kwiatek G., Plenkens K., Dresen G. and JAGUARS Research Group Source Parameters of Pico-seismicity Recorded at Mponeng Deep Gold Mine, South Africa: Implications for Scaling Relations // *BSSA*. 2011. V. 101. N. 6. P. 2592–2608, doi: 10.1785/0120110094.
- Ma X., Westman E., Slaker B., Thibodeau D., Counter D. The b-value evolution of mining-induced seismicity and mainshock occurrences at hard-rock mines // *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.* 2018. V. 104. P. 64–70, doi: 10.1016/j.ijrmms.2018.02.003.
- Madariaga R. Dynamics of an expanding circular fault // *BSSA*. 1976. V. 66. P. 639–666.
- Oye V., Bungum H., Roth M. Source Parameters and Scaling Relations for Mining-Related Seismicity within the Pyhäsalmi Ore Mine, Finland // *BSSA*. 2005. V. 95. N. 3. P. 1011–1026. doi: 10.1785/0120040170.
- Patra A. K., Gautam G., Kumar P. Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation—A review // *Environmental Technology & Innovation*. 2016. Vol. 5, P. 233–249.
- Sairanen, M.; Rinne, M.; Selonen, O. A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries. *Int. J. Min. Reclam. Environ.* 2017, 32, 196–220.
- Shuvalov V. Multi-dimensional hydrodynamic code SOVA for interfacial flows: Application to the thermal layer // *Shock Waves*. 1999. Vol. 9. P. 381–390.
- Torno, S., Torano, J.; Menendez, M.; Gent, M. CFD simulation of blasting dust for the design of physical barriers. *Environ. Earth Sci.* 2010. Vol. 64, P.73–83.
- Urbancic T.I., Young R.P. Space-time variations in source parameters of mining-induced seismic events with $M < 0$ // *BSSA*. 1993. V. 83. P. 378–397.
- Walter W.R., Mayeda K., Gok R., Hofstetter A. The scaling of seismic energy with moment: simple models compared with observations, in earthquakes: radiated energy and the physics of faulting / ed. Abercrombie R., McGarr A., Di Toro G., Kanamori H. Washington: AGU. 2006. P. 25–41.
- Wang R. Global Black Carbon Emissions from Motor Vehicles. In: *Global Emission Inventory and Atmospheric Transport of Black Carbon*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2015. P. 87–99.

Wesseloo J. The spatial assessment of the current seismic hazard state for hard rock underground mines // Rock. Mech. Rock. Eng. 2018. V. 51. N. 6. P. 1839–1862, doi: 10.1007/s00603-018-1430-4.

Yamada T., Mori J.J., Ide S., Abercrombie R.E., Kawakata H., Nakatani M., Iio Y. Ogasawara H. Stress drops and radiated seismic energies of microearthquakes in a South African gold mine // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. P. B03305, doi:10.1029/2006JB004553/

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

В 2020 году научно-исследовательские работы в Институте горного дела ДВО РАН велись по следующим направлениям программы фундаментальных научных исследований:

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

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

– 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).*

ГОРНОЕ НЕДРОВЕДЕНИЕ

Геомеханика. По результатам анализа экспериментальных данных геомеханического мониторинга в условиях глубоких горизонтов (ниже -420 м) Николаевского месторождения (Приморский край) установлена закономерность изменения выделенной суммарной энергии сейсмоакустических событий во времени, включая периодичность сейсмоакустической активности массива горных пород (с регистрацией максимумов энергии до $1,2 \cdot 10^6$ Дж каждые 1,5-2 года) и ее взаимосвязь с основными элементами тектонической структуры – телом олистолита известняков и зоной субширотного разлома ТН-3 (рисунок 1).

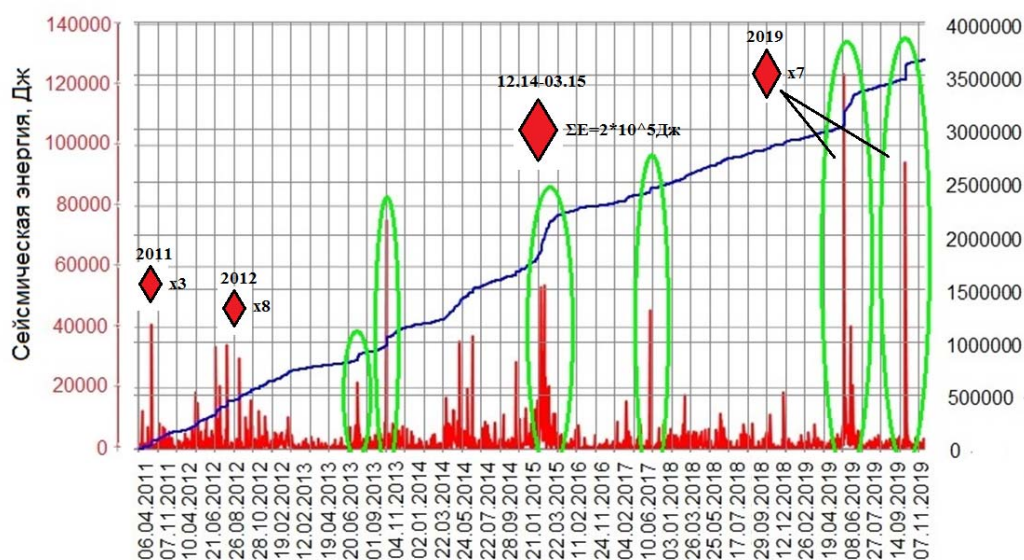


Рисунок 1 – Совмещенная кумулятивная кривая накопления энергии САЭ-событий и ее распределение в районе ТН-3 в период 2011-2019 гг.

Разработана методика геодинамического районирования рудных районов и узлов с выделением блочной структуры по цифровым моделям рельефа на основе матриц высот SRTM30 и SRTM03. За основу принята гипотеза горизонтально дрейфующих тектонических потоков, содержащих жесткие, слабо деструктированные массивы горных пород, которые являются аккумуляторами и концентраторами горизонтальных напряжений, способных разряжаться под влиянием горных работ, провоцируя опасные геодинамические явления. По этой методике составлена морфотектоническая схема Кун-Маньенского рудного поля, ставшая основой для прогноза потенциальной удароопасности горных работ при эксплуатации месторождений района (рисунок 2).

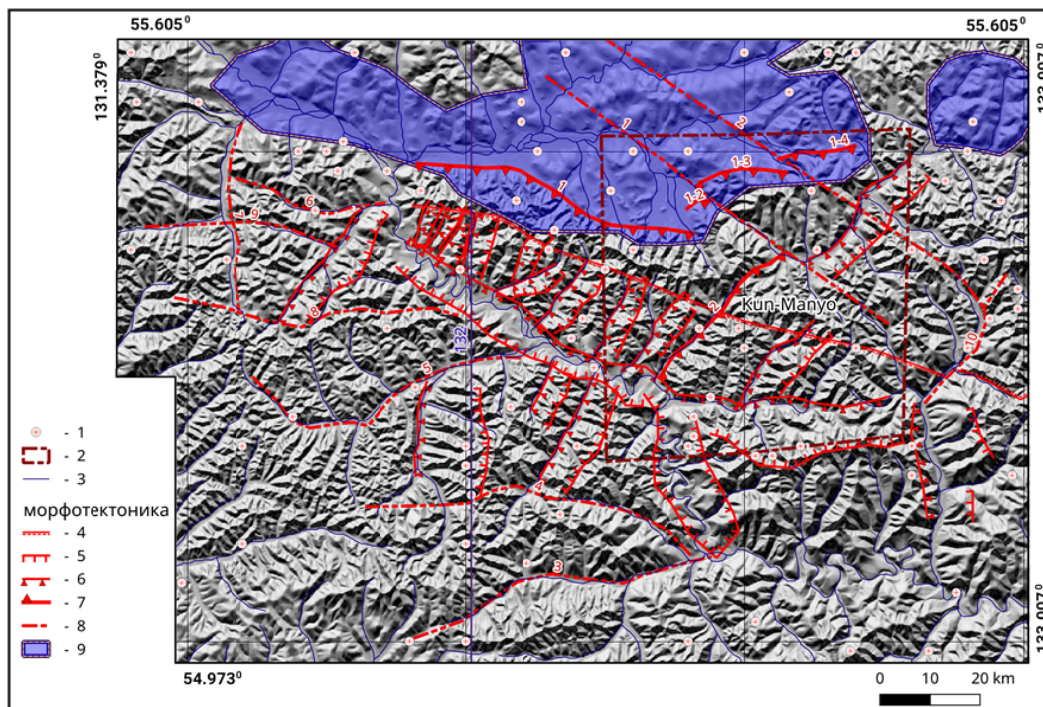


Рисунок 2 – Морфотектоническая схема рудного района Кун-Манье и прилежащих площадей на основе ЦМР, визуализированной в виде оттененной карты рельефа

1 – эпицентры землетрясений; 2 – контур рудного поля; 3 – гидросеть; 4 – сбросы; 5 – линия отрыва висячего крыла от лежачего обращенного надвига; 6 – тыльная кромка висячего крыла обращенного надвига; 7 – фронты надвигов; 8 – активные в настоящее время тектонические нарушения неясной кинематики; 9 – контуры жестких тектонических блоков

Методами геодинамического районирования детально изучены физико-механические свойства и напряженное состояние массива горных пород Мало-Тулукуевского месторождения урановых руд в Юго-Восточном Забайкалье. Установлены склонность основных типов горных пород к разрушению в динамической форме (прочность на одноосное сжатие и модуль Юнга гранитоидов составляет соответственно 116,34 МПа и 59,2 ГПа, а коэффициент хрупкости $K_{хр} \geq 0,5$) и повышенный уровень действующих в нетронутом массиве сжимающих напряжений, наибольшие из которых на глубинах 400-600 м достигают величины 49,9 МПа и ориентированы в С- СЗ направлении. По результатам исследований месторождение «Мало-Тулукуевское» отнесено к категории опасных по горным ударам с глубины 570 м (абс. отм. +250 м и ниже) и разработаны «Указания по безопасному ведению горных работ...».

Предложен эффективный алгоритм локации сейсмоакустических (САЭ) источников в сложно-структурных геосредах, основанный на применении градиентных методов и метода равномерного поиска, заключающийся в построении детальной карты скоростей распространения упругих волн акустического диапазона и учета скоростной анизотропии и конфигурации наблюдательной сети датчиков и их чувствительности при регистрации и расчете параметров САЭ-событий.

Разработан и апробирован в шахтных условиях высокочувствительный ($\sim 10 \text{ В/м}\cdot\text{с}^{-2}$) пьезоакустический преобразователь (геофон) AP2088 для автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS», обеспечивающий уверенную регистрацию акустической эмиссии в массиве горных пород в диапазоне частот от 0,1 до 10 кГц и энергетического класса сейсмоакустических событий от 10 до 106 Дж. Новая модель геофона добавлена в реестр средств измерения Российской Федерации № 77757-20 от 03.03.2020 г.

Разработан оптический стенд для калибровки сейсмоакустических преобразователей. Используемый способ предполагает повышение достоверности и точности проводимых измерений в отличие от известных. Использование волоконной оптики существенно уменьшает габариты устройства и позволяет повысить чувствительность устройства в целом в широком диапазоне частот, что весьма необходимо для геофизических антенн, в которых используются сейсмоакустические преобразователи.

Геотехнология. Определена зависимость технологических потерь при обогащении золотосодержащих песков от содержания глинистых фракций и тяжелых минералов. Установлено, что увеличение количества тяжелых минералов в песках от 10 до 30 % сопровождается повышением потерь металла более чем в 2 раза относительно минимальных и 1,3 раза относительно средних значений по выборкам (на примере руч. Пр. Дарья, Амурская обл.). Влияние содержания глинистых частиц на технологические потери золота выявлено на примере россыпи р. Белой и россыпи р. Таймень (Амурская обл.), в пределах которых при идентичности значений других проявляемых факторов, определены участки с существенными изменениями показателей рассматриваемого фактора (рисунок 3).

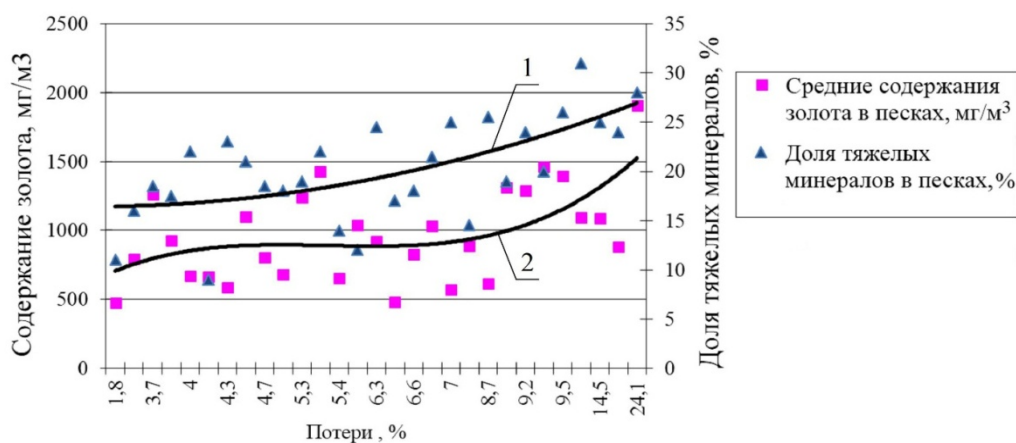


Рисунок 3 – Зависимость потерь от количества тяжелых минералов (1) и средних содержаний золота в песках (2)

В результате проведенных лабораторных экспериментальных исследований по изучению влияния циклического затопления-осушения (З-О) горной массы техногенных комплексов россыпных месторождений на величину миграции частиц золота впервые для частного случая установлена многофакторная зависимость изменения содержания золота C по мощности h экспериментального блока песков от показателя цикла $k_{ц}$, позволяющая определять параметры цикла З-О горной массы, при котором частицы золота мигрируют в нижележащие слои наиболее эффективно, что способствует формированию обогащенной зоны минимального объема и значительному сокращению объема промывки техногенных песков:

$$C = -0,208 + 9,467 \cdot k_{ц} + 0,305 \cdot h - 4,203 \cdot k_{ц}^2 + 0,010 \cdot h^2 - 0,393 \cdot k_{ц} \cdot h.$$

В результате анализа эксплуатационных расходов и энергоемкости процесса обогащения песков россыпных месторождений золота выполнена систематизация основных типов промывочных приборов, получены показатели удельных расходов топлива и эксплуатационных затрат, произведена оценка качества подготовки песков. Получены данные удельных затрат работы прибора на 1 м^3 песков, что позволит рассчитать эффективность применения конкретного при-

бора в зависимости от содержания золота в эфельных и галечных фракциях хвостов обогащения, а также необходимость его замены на прибор либо более производительный, либо позволяющий повысить качество дезинтеграции (размыва песков).

Геоинформатика. Научно обоснована необходимость создания для медной промышленности полного технологического цикла на Дальнем Востоке России, определяемая целями и задачами социально-экономического развития ДВФО. С учетом новых данных разработаны базовые принципы и методический подход к организации нового центра медной промышленности, обусловленные в первую очередь такими факторами: значительные потребности в медной продукции экономики региона, где осуществляются и подготавливаются многие масштабные проекты в различных областях экономики; дальность и дороговизна завоза любой продукции в регион.

На примере Хабаровского края сформированы геолого-экономические модели территориально-производственного узла 2 типов. Основу первого типа составляют результаты ежегодной добычи полезных ископаемых на период до 2025 года. Они интегрируются в единую систему – территориально-производственную геолого-экономическую модель. Второй тип основывается на определении удельной продуктивности эталонных месторождений, выделении перспективных объектов по основным видам полезных ископаемых, их сравнении с месторождениями-эталонами, прогнозе ресурсов и переводе их с учетом понижающих коэффициентов в запасы. С учетом экспертной оценки динамики цен формируется модель прогнозного типа (таблица 1). Модели могут корректировать направления развития территорий.

Таблица 1

Оценка потенциальной ценности ареалов на отдаленную перспективу

Вид полезного ископаемого	Объем ожидаемых запасов, т	Коэффициент сквозного извлечения	Расчетная цена, тыс. руб./ т	Потенциальная ценность объекта, млрд руб.
Ареал 1				
Золото	569,4	0,9	4895,1	2,5
Медь	5200000	0,77	794,6	3181,7
Алюминий	4540000	0,65	202,9	598,9
Свинец	71000	0,72	148,4	7,6
Цинк	135000	0,7	180,7	17,1
Цеолиты	81330000	0,85	11,2	775,0
Итого	–	–	–	4582,8
Ареал 2				
Золото	1200	0,9	4895,1	5,3
Медь	15000000	0,77	794,6	9177,9
Алюминий	10000000	0,65	202,9	1319,3
Свинец	150000	0,72	148,4	16,0
Цинк	400000	0,7	180,7	50,6
Вольфрам	150000	0,55	3970,3	327,6

Геоэкология. Для прогнозной оценки гидрологических последствий изменений лесного покрова в бассейне Амура разработаны климатические карты пожарной опасности в лесах по сезонам года (учет температуры, осадков, точки росы) с изолиниями сгущения над преобладающими районами возгораний, где протекают реки.

Для прогнозной оценки сокращения выбросов парниковых газов от пожаров на водно-болотных угодьях бассейна Нижнего Амура разработана классификация активных пожаров (hotspots MODIS) на основе анализа параметров циркуляции атмосферы на картах барической топографии, построенных по данным реанализа NCEP/NCAR на уровнях 925, 850, 500 ГПа за синхронные с пожарами периоды.

Горная теплофизика. На языке Visual Basic for Applications разработана программа для расчета трубопроводов пароводяной смеси при освоении геотермальных месторождений SWIP-S, которая позволяет рассчитывать перепады давления в трубах большого диаметра при транспор-

тировке пароводяной смеси в широком диапазоне расходов, давлений и паросодержаний. Применение данной программы позволит оптимизировать системы транспортировки двухфазного геотермального теплоносителя и повысить эффективность использования фонда добычных скважин.

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность циклического перколяционного выщелачивания меди из низкосортных упорных медно-порфировых руд с сопутствующими золотом и серебром активированными растворами с сернокислотно-нитритной основой и растворами с хлоридными комплексообразователями. Достигнуто извлечение меди свыше 80 %, что позволяет использовать эту схему как для варианта кучного выщелачивания из руд, добываемых в карьере, так и для подземного выщелачивания меди из глубокозалегающих участков рудных тел (рисунок 4).

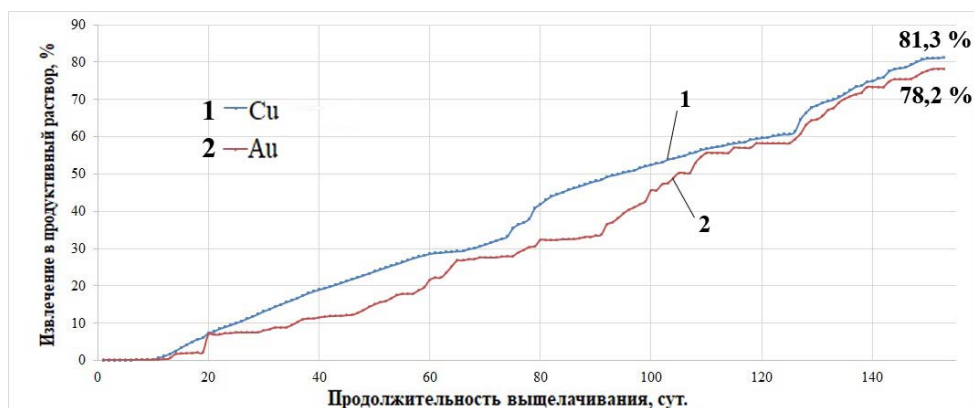


Рисунок 4 – Динамика выщелачивания меди (Cu) и золота (Au) из первичных диорит-порфировых руд месторождения Малмыж

С применением комбинированного минералого-технологического метода установлены формы проявления золота и серебра в золото-медно-порфировой руде с низким содержанием ценных компонентов. Подтверждена флотуемость свободного золота диизобутилдитиофосфатом; извлечение тонковкрапленного золота определяется извлечением золотосодержащего халькопирита и пирита. Установлено, что использование аэрации для подавления пирита в цикле селективной флотации коллективного концентрата и применение активного угля для снижения избытка собирателя способствуют повышению качества золотомедных концентратов. Выявлено, что тонкие «угольные» покрытия селективны по отношению к поверхности золота и сульфидных минералов. В оптимальных условиях в концентраты медной флотации извлекается 70,1 % халькопирита и 12,6 % пирита; концентраты обогащены золотом – 11,6 г/т и серебром – 31,4 г/т.

Экспериментально доказан рост эффективности процесса электрофлотации при увеличении плотности тока за счет увеличения газонасыщения, что позволит уменьшить потери на объектах с тонкой вкрапленностью ценных компонентов. Исследования на материале, содержащем пирит, показали, что в процессе электрофлотации, при котором хвосты пневмофлотации (рисунок 5А) были перечищены с использованием электрофлотации, доизвлекаются частицы тонкого класса, оставшиеся в хвостах пневматической флотации (рисунок 5Б). Установлено, что в хвостах электрофлотации остаются крупные частицы пирита (рисунок 5В), отмечаются окисленные частицы (рисунок 5Г), не извлекаемые электролизными микропузырьками. В результате выход концентрата увеличивается до 1 %, а также извлекается тонкая фракция полезного компонента. В ходе сравнения размерностей частиц установлено, что концентрат пневмофлотации представлен частицами пирита 70-100 мкм, а концентрат электрофлотации – частицами размером с пиками 0,2, 3 и 20 мкм.

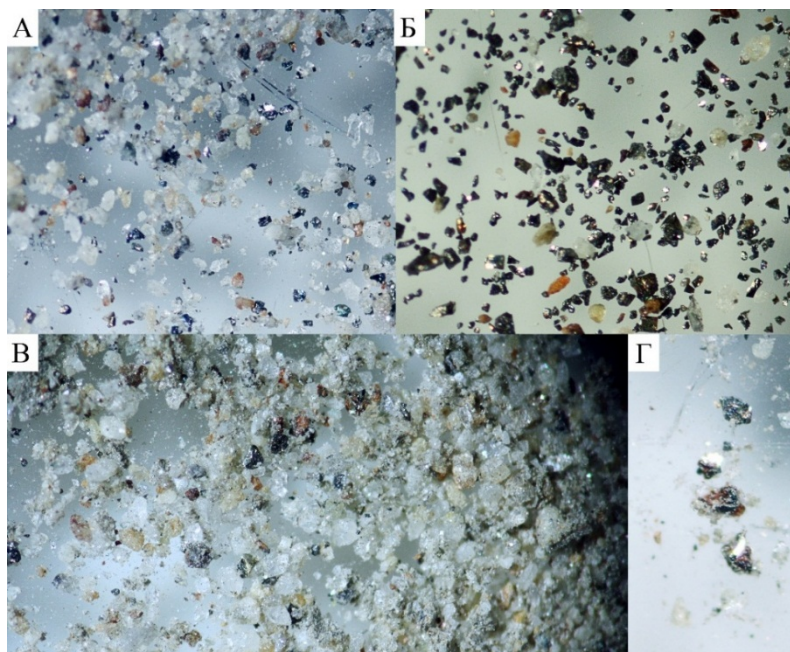


Рисунок 5 – Продукты электрофлотации

*А – хвосты пневмофлотации; Б – концентрат электрофлотации на хвостах пневмофлотации;
В – хвосты электрофлотации; Г – окисленные частицы пирита в хвостах электрофлотации*

В результате исследований кинетики процесса основной флотации флюорита наиболее труднообогатимой шламовой фракции лежалых хвостов Ярославской горнорудной компании (Приморский край) установлено, что для обновления поверхностного слоя частиц необходима обработка в шаровой мельнице, а также значительное повышение времени контакта с реагентами-собирателями, увеличение их расхода, применение диспергирующих добавок из группы неонов, препятствующих снижению селективности разделения. Найденные решения позволили выделить из бедного шламового сырья по схеме с восьмью перемешиваниями чернового концентрата качественные флюоритовые концентраты, содержащие 93-94,5 % CaF_2 .

Разработана гравитационно-флотационная схема доизвлечения шеелита из песковой фракции лежалых хвостов хвостохранилища Приморской обогатительной фабрики, которая позволила получить кондиционный шеелитовый концентрат с массовой долей 70,9 % WO_3 , сквозное извлечение – 57,3 %. Установлен минеральный состав песковой фракции лежалых хвостов, содержание шеелита и халькопирита, их ассоциации по классам крупности. Рассчитаны технико-экономические показатели переработки техногенных отвалов.

Информация о проведенных в 2020 году научно-организационных мероприятиях.

Совместно с правительством Хабаровского края и Институтом горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН 8-10 сентября 2020 года в г. Хабаровске проведена VIII Международная научная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов».

В работе конференции приняли участие более 150 ученых и специалистов из городов Москвы, Санкт-Петербурга, Апатитов, Екатеринбурга, Новосибирска, Якутска, Владивостока и ряда других городов России. Иностранцы представляли научные организации Китая, Австралии, Германии, США, Египта, Японии, Турции, Польши, Болгарии и стран ближнего зарубежья.

С решением конференции можно ознакомиться по ссылке <http://igd-konf.khfrc.ru/itogi-konferencii.html>.

Публикации Института. Сотрудниками Института в 2020 году опубликовано 2 монографии, 102 статьи в журналах, в том числе 46 – в зарубежных, 38 опубликованных докладов, в том числе 2 – в зарубежных; в изданиях из перечня ВАК опубликовано 41 статья, индексируемых в базе Web of Science – 8, Scopus – 63.

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 2020 году в ИГД СО РАН выполнялись работы по 6 научным проектам государственного задания, 3 проектам, поддержанным грантами Российского научного фонда и 12 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».

Разработан программный комплекс моделирования гидравлического разрыва породного массива для задач подземной разработки твердых полезных ископаемых. Комплекс создан на основе расширенного метода конечных элементов и содержит модули расчета напряженно-деформированного состояния среды, траектории и раскрытия трещин, распределения порового давления и конфигурации потоков воды и газа в дренируемых породах в двумерной и трехмерной постановках (рисунки 1 и 2). Для обоснования способа и режима гидравлического разрыва в технологиях дегазации углей, комплекс оснащен типовыми моделями углеродного массива, промышленных и перспективных систем дренирования пластов на основе различных комбинаций скважин и формируемых трещин.

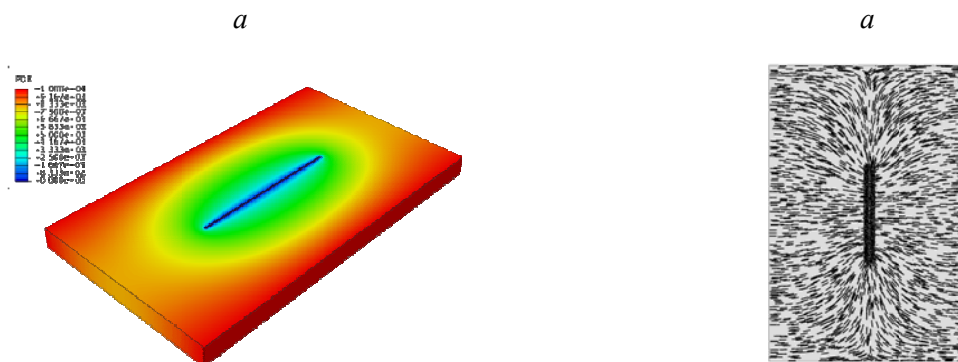


Рисунок 1 – Распределение порового давления (а) и потоков флюида (б) в плоскости одиночной дегазационной скважины

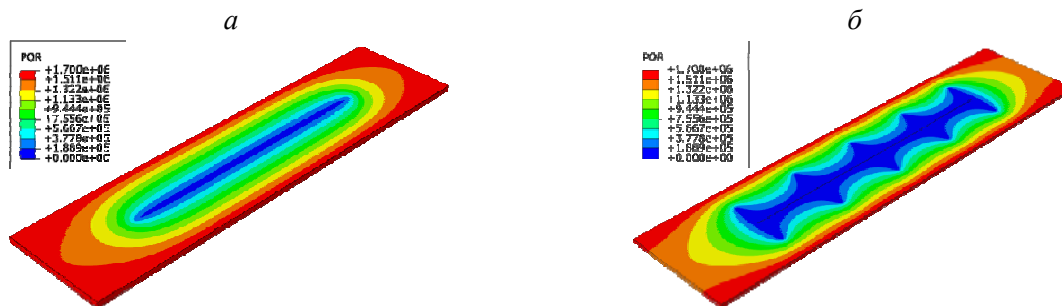


Рисунок 2 – Распределение порового давления в окрестности одиночных скважин с трещиной, секущей пласт (а), и с пятью поперечными трещинами (б)

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 в следующем:

1. Совместно с КузГТУ исследовано влияние фазового перехода с разложением газовых гидратов на формирование внезапных выбросов угля и газа при нарушении исходного термодинамического состояния обрабатываемых угольных пластов.

1.1. Установлено, что метан и углекислый газ способны образовывать твердый углегазовый раствор (ТУГР), занимая молекулярные дефекты в органической массе угля. Потенциальным компонентом ТУГР является газовый гидрат, граница области стабильности которого близка к термодинамическим условиям залегания угольных пластов.

1.2. Показано, что в результате разложения гидрата, сформированного во внутренней структуре угля из сорбированной углем воды, выделяющееся количество газа сравнимо с количеством газа в сорбированной и свободной формах.

1.3. Получено, что газ, выделяющийся в краевой зоне угольного пласта при разложении гидрата, увеличивает давление в порах и трещинах и приближает зону высокого давления газа к фронту забоя, повышая вероятность возникновения внезапных выбросов угля и газа. Действие газа, выделяющегося при разложении газового гидрата, учитывается при расчете показателей выбросоопасности краевой зоны угольного пласта.

2. Разработаны методические положения и технические средства контроля состояния массивов горных пород при отработке месторождений открытым и подземным способом в климатических условиях Республики Саха (Якутия):

– методические положения по организации геомеханического мониторинга подкарьерного массива при переходе от открытой к подземной отработке месторождения с оставлением предохранительного целика и выемкой запасов слоевой нисходящей системой с твердеющей закладкой; для проведения мониторинга создан комплекс инструментальных методов наблюдений и их техническое обеспечение;

– изготовлен и установлен в режим долговременного мониторинга экспериментальный вариант измерительно-вычислительного комплекса контроля обвалоопасного состояния массивов горных пород на глубоких карьерах алмазоносных трубок, имеющего в своем составе два 2-х координатных деформационных датчика, регистрирующих подвижки геоблоков в двух направлениях. Информация о динамических смещениях геоблоков позволяет оценивать геомеханическое состояние массивов горных пород в приразломной зоне с позиции обвалоопасности бортового откоса, что напрямую влияет на обеспечение безопасности ведения горных работ.

По проекту «**Механико-математическое моделирование квазистатических и динамических процессов в напряженных массивах горных пород блочно-иерархического строения**» в 2020 году получены следующие результаты:

1. Теоретически обоснован и алгоритмически реализован метод количественной оценки фильтрационно-емкостных характеристик трещиноватых массивов горных пород как инструмента интерпретации данных ГИС при **планировании схем дегазации угольных пластов**, а также разведке и эксплуатации месторождений углеводородов. Метод основан на полученном в рамках модели среды с двойной пустотностью аналитическом описании процессов эволюции геомеханико-гидродинамических полей в околоскважинном пространстве и решении обратных задач определения проницаемости матрицы и трещин по данным измерения расхода в **дегазационных или добычных скважинах, функционирующих в различных режимах**.

2. Решена задача определения структурного параметра геосреды при описании разрушения горных пород с использованием нелокальных критериев прочности. Структурный параметр – это линейный размер области, в которой следует достичь предельного напряженного состояния, чтобы началось разрушение. Использование нелокальных моделей разрушения позволяет более точно рассчитать предельную нагрузку при имеющемся неоднородном поле напряжений.

3. Решена задача расчета напряженно-деформированного состояния вмещающего массива и крепи выработки, пройденной в неустойчивых горных породах в новой постановке. Полученный результат позволяет оценить максимально возможный уровень напряжений в горных породах и в крепи при использовании технологии заполнения пустот в кровле и бортах выработки вспенивающимися смолами. Установлено, что применение вспенивающихся смол при заполнении пустот в кровле выработки приводит к более равномерному распределению нагрузки по периметру арочной части рамной крепи. В таких условиях вертикальные участки крепи находятся в состоянии изгиба, проявляющегося формированием зон растягивающих и нормальных напряжений по толщине крепи, а арочные элементы крепи — в состоянии равномерного сжатия. Увеличение высоты заполняемого вспенивающимися смолами объема пустот в кровле выработки приводит к росту нормальных напряжений в зонах их концентрации во вмещающем массиве и в крепи. Установленная зависимость оказывается практически линейной.

2. Наиболее значимые результаты по направлению «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий»:

1. На примере гранита показано существование эффекта его разупрочнения, заключающегося в изменении деформационно-прочностных и акустических свойств при электронно-лучевой обработке кернов цилиндрической формы диаметром 30 мм и длиной 60 мм в результате образующихся при торможении электронного пучка в минерале ударных волн. Оптимальная доза обработки для разупрочнения гранита и содержащего его минерального сырья равна 10 кГр. После такой обработки прочность на сжатие снижается с 68,33 до 35,08 МПа, минимальными являются энергии разрушения и дробления, а средний размер дробленной частицы уменьшается с 10,98 до 8,76 мм.

Минералогическими исследованиями труднообогатимой свинцово-цинковой руды крупностью -3 мм показано, что после ее обработки ускоренными электронами и последующего измельчения доля свободных зерен минералов в классе -0,071 мм и их крупность возрастают. Для галенита – основного свинец содержащего минерала – прирост свободных зерен составил 25,7%, а их крупность увеличилась с 2,6 до 4,0 мкм (таблица).

Таблица

**Селективная дезинтеграция свинцово-цинковой руды
(фрагмент таблицы результатов минералогического анализа)**

Минерал	Свободные зерна, %	Размер, мкм	
		Свободных зерен	Сростков
Материал класса -0,071 мм в измельченной руде			
Галенит	40,7	2,6	6,0
Вюрцит	65,7	4,5	12,0
Материал класса -0,071 мм в измельченной руде после радиационной обработки			
Галенит	66,4	4,0	8,0
Вюрцит	71,5	6,6	10,25

Разработана и рекомендована технологическая схема рудоподготовки и обогащения руд с использованием радиационной модификации их свойств путем обработки импульсным пучком электронов с энергией 2,4 МэВ и частотой 25 Гц, позволяющая снизить расход электроэнергии при рудоподготовке и минимизировать потери полезных компонентов при последующем обогащении. Достоинством новой технологии является наличие отечественного стандартного оборудования и комплектующих для ее реализации.

2. Разработана ресурсосберегающая геотехнология для отработки россыпных месторождений Арктической зоны подземным способом, снижающая себестоимость добычи полезного ископаемого и сроки проведения проектных работ (рисунок 3). Разработка основана на применении современных средств механизации и автоматизации очистных работ, что позволяет повысить качество алмазодобываемого сырья, сохранность кристаллов и безопасность труда шахтеров. Значимость результата заключается в возможности освоения стратегически важных месторождений полезных ископаемых.



Рисунок 3 – Схема механизированной отработки россыпного месторождения

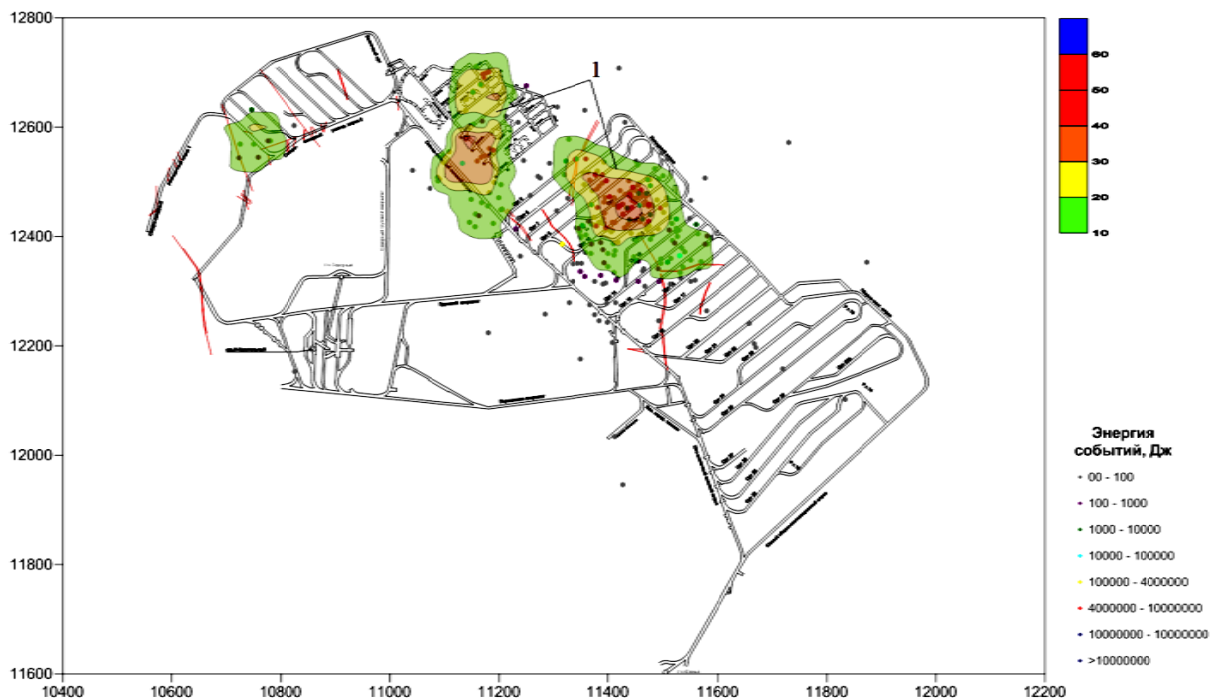
В рамках выполнения проекта фундаментальных научных исследований **«Развитие научных основ и разработка физико-технической геотехнологии освоения месторождений твердых полезных ископаемых в сложных горно-геологических и геомеханических условиях на основе интенсификации и совмещения производственных процессов»**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

1. Разработана и внедрена геотехнология добычи твердых полезных ископаемых в сейсмоактивном регионе Сибири (Шерегешевское и Таштагольское железорудные месторождения) при переходе от этажно-камерной системы разработки к системе подэтажного обрушения с твердеющей закладкой выработанного пространства на основе установленных закономерностей формирования зон концентрации геодинамических явлений в массиве горных пород (рисунок 4). Это обеспечивает безопасность очистных работ, снижение потерь и разубоживания руды соответственно в 2 и 2,5 раза.

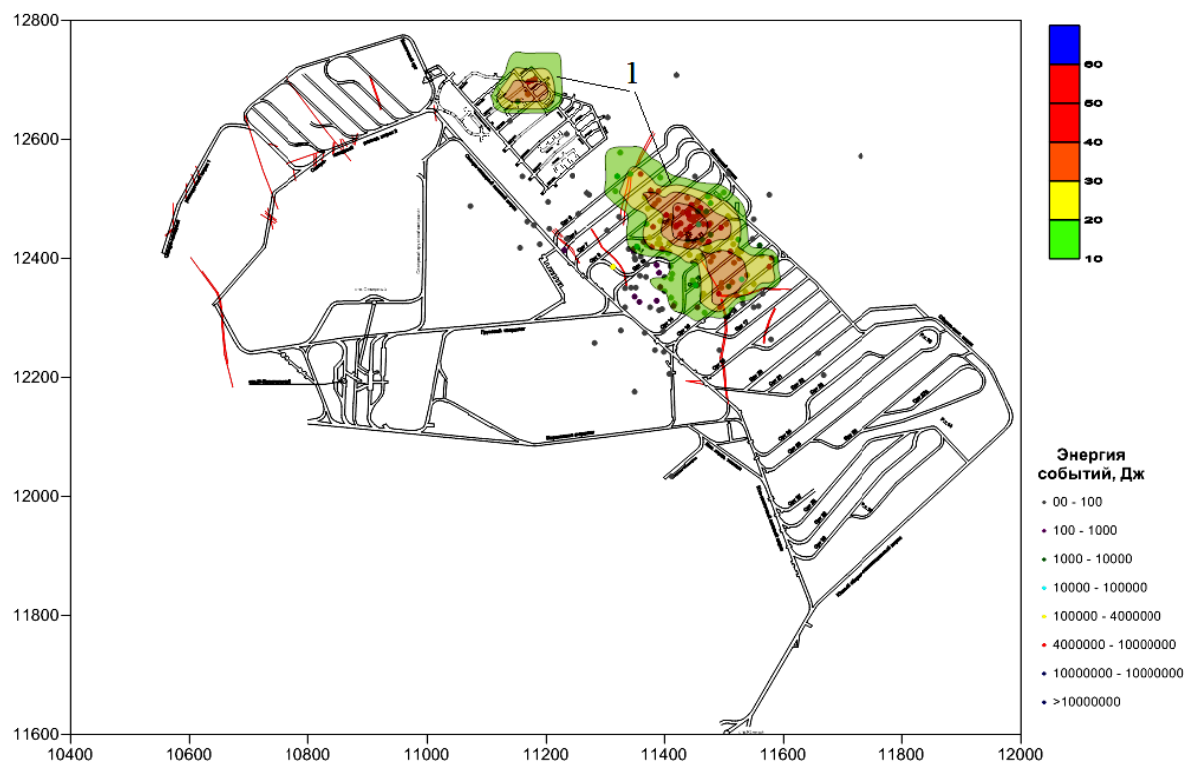
2. Исследованиями торцового выпуска руды при системах разработки подэтажного обрушения применительно к выемке мощных крутопадающих залежей черных и цветных металлов установлено, что минимальные значения потерь минерального сырья достигаются при показателе отношения толщины отбиваемого слоя к расстоянию между буро-доставочными ортами равным 0,21-0,24, причем предельное разубоживание в последней дозе не должно превышать 50 %. Такой режим выпуска позволяет эффективно управлять процессом добычи, увеличить качество рудной массы более чем в 1,5-2,0 раза по сравнению с традиционными подходами и реализовать в среднесрочной перспективе рентабельную разработку забалансовых месторождений.

3. Разработаны методологические основы дифференциации минерально-сырьевого потенциала сложных по строению и неоднородных по качеству угля месторождений (класса Нерюнгринского, Эльгинского, Талдинского) с выделением природного, предельного, достижимого и инвестиционного типов. Дифференциация потенциала позволяет перейти к более точной вещественной и стоимостной оценке запасов угольных месторождений при их многостадийном освоении путём использования развиваемого системного подхода к устойчивому управлению качеством. Подход учитывает выявляемые при 2D и 3D геолого-технологическом моделировании и картировании запасов угля особенности месторождений, формирующие дополнительные резервы ресурсосберегающего извлечения запасов посредством предложенных технологических схем.

a



б



**Рисунок 4 – Формирование зон концентрации геодинамических явлений в массиве горных пород при отработке рудных тел при переходе от этажно-камерной системы разработки (а) к системе подэтажного обрушения (б) с твердеющей закладкой выработанного пространства.
10400÷12000, 11600÷12800 — координаты x и y; 1 — местоположение районов ведения очистных работ**

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

1. На основании проведенных исследований по гидрометаллургической переработке огарков хвостов свинцовой флотации руд месторождения Новоширокинского месторождения установлено, что эффективность выщелачивания золота из них с применением насыщенных кислородом (до концентрации 36 – 39 мг/л) электроактивированных цианидных растворов достигает $\geq 90\%$. Необходимая крупность перерабатываемого сырья, обуславливающая наряду с применением насыщенных кислородом электроактивированных цианидных растворов концентрацию золота в продуктивном растворе на уровне 22 мг/л составляет -10 мм. Данная технология позволяет сократить объем продуктивных растворов на 25%, при одновременном увеличении производительности установки по кучному выщелачиванию золота до 90%. При этом продолжительность одного цикла кучного выщелачивания золота из огарков хвостов свинцовой флотации и упорных руд снижена до 20-30 суток.

2. Установлено, что максимальная очистка цеолитсодержащих пород от вмещающих примесей (до 99%) достигается за счет применения направленных физико-химических и энергетических методов воздействия с последующим использованием электромагнитного и электростатического обогащения. К наиболее эффективным методам энергетического воздействия на цеолитсодержащие породы относятся: dealюминирование, обработка ускоренными электронами и ультразвуком. Они повышают на 30-40% сорбционную способность природных цеолитов путем раскрытия пор минералов, интенсификации ионного обмена. В результате обеспечивается эффективная очистка сточных вод предприятий по переработке полиминерального сырья от радионуклидов, мышьяка и тяжелых металлов.

3. Наиболее значимые результаты по научному направлению «Горное и строительное машиноведение».

1. Предложен способ обогрева протяженных железнодорожных тоннелей БАМа газотурбинными установками (ГТУ) на основе двухконтурных турбореактивных авиационных двигателей, работающих на газовом топливе (рисунок 5).

1.1. Впервые определена зависимость динамики температур тоннельного воздуха в зоне его контакта и обделки тоннеля у выходного портала от скорости железнодорожного состава и температуры атмосферного воздуха (рисунок 6).

1.2. Обоснованы режимы работы ГТУ в зависимости от удельной тяги двигателя, температуры атмосферного воздуха и эксплуатационных параметров тоннеля, при которых концентрации вредных веществ в газозвдушном потоке не превышают допустимых значений.

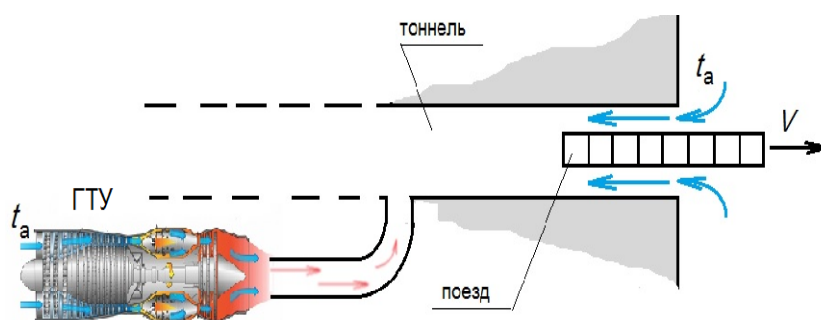


Рисунок 5 – Схема обогрева протяженных железнодорожных тоннелей БАМа

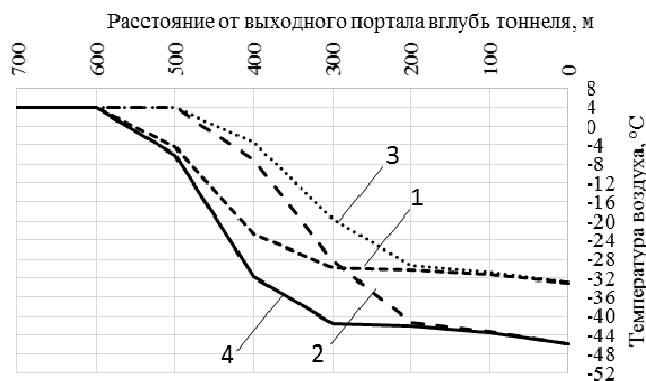


Рисунок 6 – Распределение температуры воздуха в тоннеле на различном удалении от выходного портала в момент выхода хвостового вагона поезда из тоннеля для различных температур атмосферного воздуха (t_a) и скорости движения товарного состава V ;
1 – $t_a = -33^\circ\text{C}$, $V = 70$ км/ч; 2 – $t_a = -46^\circ\text{C}$, $V = 40$ км/ч; 3 – $t_a = -33^\circ\text{C}$, $V = 40$ км/ч;
4 – $t_a = -46^\circ\text{C}$, $V = 70$ км/ч

2. Разработаны аэродинамические схемы для высоконагруженных осевых вентиляторов главного проветривания шахт и рудников, обладающих коэффициентом аэродинамической нагруженности $696 - 914 \text{ кВт/м}^2$, что в 4–5,3 раза выше, чем у выпускаемых современных высоконагруженных шахтных вентиляторов. Основой достигнутого результата является снижения массы рабочих лопаток на 50 %–70 % в результате решения задачи топологической оптимизации распределения материала лопатки по ее объему по критерию минимума массы при сохранении допустимого напряженно-деформированного состояния, что позволило увеличить окружные скорости по концам рабочих лопаток до 220 м/с.

3. Разработанный в ИГД СО РАН промышленный образец скважинного дебалансного виброисточника для нагнетательных скважин (патент РФ № 147788 опубликован 20.11.2014 в Б.И. №32, патент РФ № 156847 опубликован 20.11.2015 в Б.И. №32) введен в эксплуатацию и отработал гарантийный срок в китайской нефтяной компании «Синь Итун» (г. Карамай, Китай). Данная разработка готова к широкому внедрению.

Разработанный виброисточник может использоваться для объемного воздействия на продуктивные пласты с целью интенсификации добычи и увеличения приемистости нагнетательных скважин, в том числе для разжижения вязких нефтей совместно с химической обработкой скважины. Виброисточник эксплуатируется при помощи погружных электродвигателей. Он может применяться для очистки призабойной зоны пласта. Отличительной особенностью применяемого источника является встраивание в существующую скважинную технологию добычи нефти, при этом скважина из эксплуатации не выводится.

Источник способен работать в скважинах глубиной свыше 3000 м и внешним давлением жидкости до 30 МПа, для увеличения энергии воздействия виброисточники могут быть объединены в группы.

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:

1. Разработан и испытан в полевых условиях экспериментальный образец рабочего органа, для проходки криволинейных скважин в грунтовом массиве по управляемой траектории при сооружении подземных объектов, прокладке коммуникаций. Корпус рабочего органа состоит из двух шарнирно соединенных друг с другом частей одинакового диаметра. Экспериментально подтверждено, что принудительное отклонение на угол 4–5 градусов задней части корпуса, длина которой составляет 0,16–0,22 от длины его передней части, изменяет траекторию движения рабочего органа в грунтовом массиве с прямолинейной на криволинейную с достаточным для практических целей радиусом кривизны оси скважины около 50 – 60 метров.

2. Установлено, что для повышения эффективности воздействия скважинного электромагнитного импульсного виброисточника на нефтяные пласты и увеличения нефтеотдачи целесообразно использование конструктивной схемы с двумя силовыми элементами, оси пуансонов которых ориентированы под углом 90 градусов друг к другу. Показано, что эффективность воздействия на нефтяной пласт разработанным виброисточником может быть до 20 – 25 раз выше по сравнению с виброизлучающими платформами на поверхности земли.

3. Разработаны имитационные модели систем гидроударных устройств (СГУ) для активных исполнительных органов карьерных и строительных гидравлических экскаваторов с прямым подключением СГУ к их гидросистеме, с подключением через устройства регулирования давления и расхода жидкости. Реализация предложенных схем подключения СГУ к гидросистеме экскаваторов позволяет производить ими выемку пород с пределом прочности на сжатие до 60-80 МПа без предварительного рыхления. Используемые схемы с регулированием давления и расхода жидкости дают возможность управления характеристиками гидроударных устройств, в том числе изменять их в зависимости от условий работы ковша экскаватора: конфигурации разрабатываемого уступа и свойств породы.

4. Экспериментально установлено, что при полигармоническом режиме вибровоздействия на уплотняемый геоматериал достигается повышение плотности на 10–15 % в сравнении с гармоническим режимом за счет наличия в спектре высокочастотных составляющих, амплитуда виброскорости которых соизмерима с амплитудой виброскорости несущей частоты. Результаты экспериментов подтверждены с использованием макета вибрационного устройства для уплотнения неустойчивой зоны отвального массива методом уплотнения дисперсного материала в ограниченном объеме, эффективность которого подтверждена в лабораторных и промышленных условиях. Это позволяет приступить к разработке конструкции промышленного образца устройства для безопасного и эффективного формирования устойчивого отвального массива без использования бульдозера и при отсутствии людей в опасной зоне.

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:

1. Разработаны методологические основы технологии проветривания «сверхдлинной» лавы в угольной шахте на базе применения струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне. Это позволяет увеличить расход воздуха через лаву на 12,5-24% без увеличения мощности вентилятора главного проветривания.

2. Для метрополитенов РФ предложен способ удаления теплоизбытков путем адиабатического охлаждения воздуха непосредственно в тоннелях. Получены зависимости аэротермодинамических параметров процесса адиабатического охлаждения воздуха от условий эксплуатации. Показано, что его применение значительно снижает требования к аэродинамическим параметрам вентиляционного оборудования по: производительности – в 4 раза, потребляемой мощности – в 4,7 раза по сравнению с удалением теплоизбытков без адиабатического охлаждения воздуха только за счет вентиляции.

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

Научно-методические основы стратегии функционирования кластерных горнотехнических систем, основанных на высокоэффективных технологиях комплексного освоения угольных месторождений Сибири.

Проведен анализ прорывных решений создания геотехнологического кластера «инновационная шахта угольного разреза» для систем комбинированной угледобычи.

В соответствии с программой развития угольной промышленности России до 2035 года (утв. Минэнерго РФ 13 июня 2020 г.) как в новых районах угледобычи, так и в действующих бассейнах будут развиваться угольно-технологические кластеры, позволяющие комплексно использовать возможности угольных месторождений.

Освоение угольных месторождений Сибири базируется на новых научных концепциях и принципах строительства объектов структурно-сетевой теории вскрытия пологих угольных пластов, использующих модульную геотехнологическую структуру. Это позволяет находить технологические решения по автономным шахтоучасткам модульной структуры (в проектах “шахта – лава”) для действующих разрезов с комбинированной (открыто-подземной) разработкой пологих пластов по концепции «Шахта угольного разреза». Выделяется необходимая и достаточная структура вскрытия и подготовки шахтоучастка, адаптированная к технологической схеме обработки угольного разреза, для одного высокопроизводительного очистного забоя и простого воспроизводства горных работ по комбинированной геотехнологии на угольных пластах мощностью 3–5 и более метров.

Стратегия управления инновациями и программа их реализации является необходимыми условиями воспроизводства потенциала угольной отрасли России. Анализ ее геотехнологического состояния осуществляется в контексте развития высоких технологий в смежных способах добычи угля с формированием комбинированных (открыто-подземных) геотехнологий комплексного освоения недр Сибири. Геотехнологический кластер комбинированной технологии — это совокупность знаний о совмещении в пространстве и во времени открытого и подземного способов разработки угольных месторождений, закономерностях поведения системы «угольный разрез–подземные выработки» в массиве горных пород, технических, экономических, экологических и организационных взаимосвязях технологических процессов при добыче угля.

Экспериментальное обоснование новых способов модификации угольной поверхности, обеспечивающих уменьшение эксплуатационных затрат и потерь угля при обогащении.

Изучено влияние последовательности введения микропузырьковой газовой среды (МГС) в процесс реагентной флотации угля, обеспечивающей различные условия формирования флотационного комплекса. Установлено, что наибольшей эффективностью обладает способ подачи МГС в угольную пульпу с аполярным реагентом (рисунок 1). Показано, что закрепление МГС предпочтительно происходит на естественно гидрофобной или гидрофобизированной аполярными реагентами поверхностях угольных частиц размером менее < 50 мкм.

Исследовано влияние степени диспергирования флотореагента-собираателя на эффективность процесса флотации угля. На примере керосина установлено, что двукратное увеличение степени раздробленности капель реагента в дисперсной среде способствует повышению эффективности микропузырьковой флотации примерно в полтора раза по сравнению с типовыми условиями (рисунок 2).

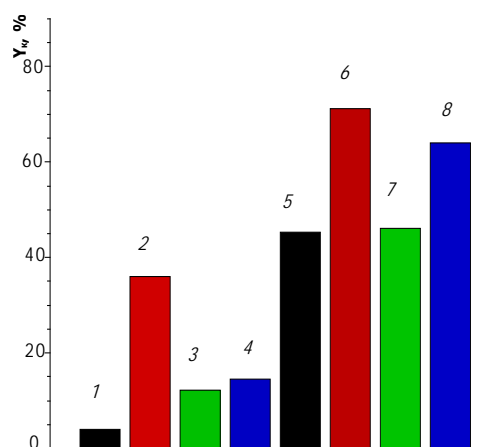


Рисунок 1 – Выход концентрата при обогащении угля ГЖО (фракция < 0,1 мм) с использованием реагентов керосин (1-4) и керосин+ пенообразователь (5-8) при введении МГС в пульпу с реагентом (2, 6), суспензию угля (3, 7) и эмульсию реагента (4, 8)

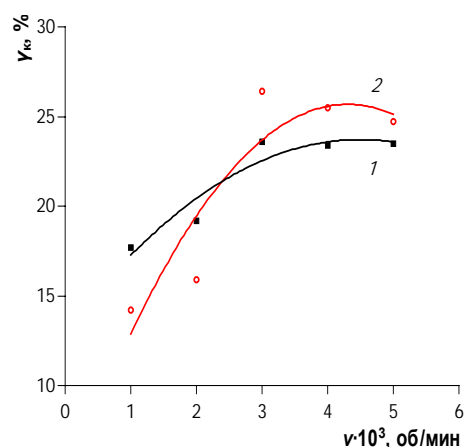


Рисунок 2 – Влияние степени диспергирования керосина на выход концентрата при типовой флотации угля ГЖО (1) и с участием МГС (2)

Система имитационного моделирования технологий проведения горных выработок буровзрывным и комбайновым способами с использованием имитационного подхода и современных способов компьютерной визуализации, позволяющая проводить оценку эффективности и целесообразности применения различных вариантов технологий, оценку выполнимости технологических задач.

Разработана система имитационного моделирования технологий проведения горизонтальных и наклонных горных выработок буровзрывным и комбайновым способами для оптимизации процесса выбора основных рациональных параметров современных геотехнологий. Основная идея полученного результата заключается в интеграции методов имитационного моделирования в эволюционный алгоритм оптимизации основных параметров, указанных геотехнологий, с учётом их динамики и вероятностной природы. Система реализована комплексно, на базе взаимовлияющих блоков: средства имитационного моделирования (среда GPSS World) – для учёта динамики ведения горных работ и их вероятностных аспектов; генетический алгоритм – для решения неформализованной многофакторной оптимизационной задачи; комплексный критерий оптимизации – для учета факторов стоимости и удельного времени ведения проходческих работ. Реализованный методический подход позволяет проводить оптимизационные эксперименты по выбору рациональных параметров проходческих геотехнологий специалистам горной отрасли без погружения в суть имитационного моделирования и теорию оптимизации за счет компьютерной визуализации и анимации отображения взаимодействия элементов технологий (рисунки 3 и 4).

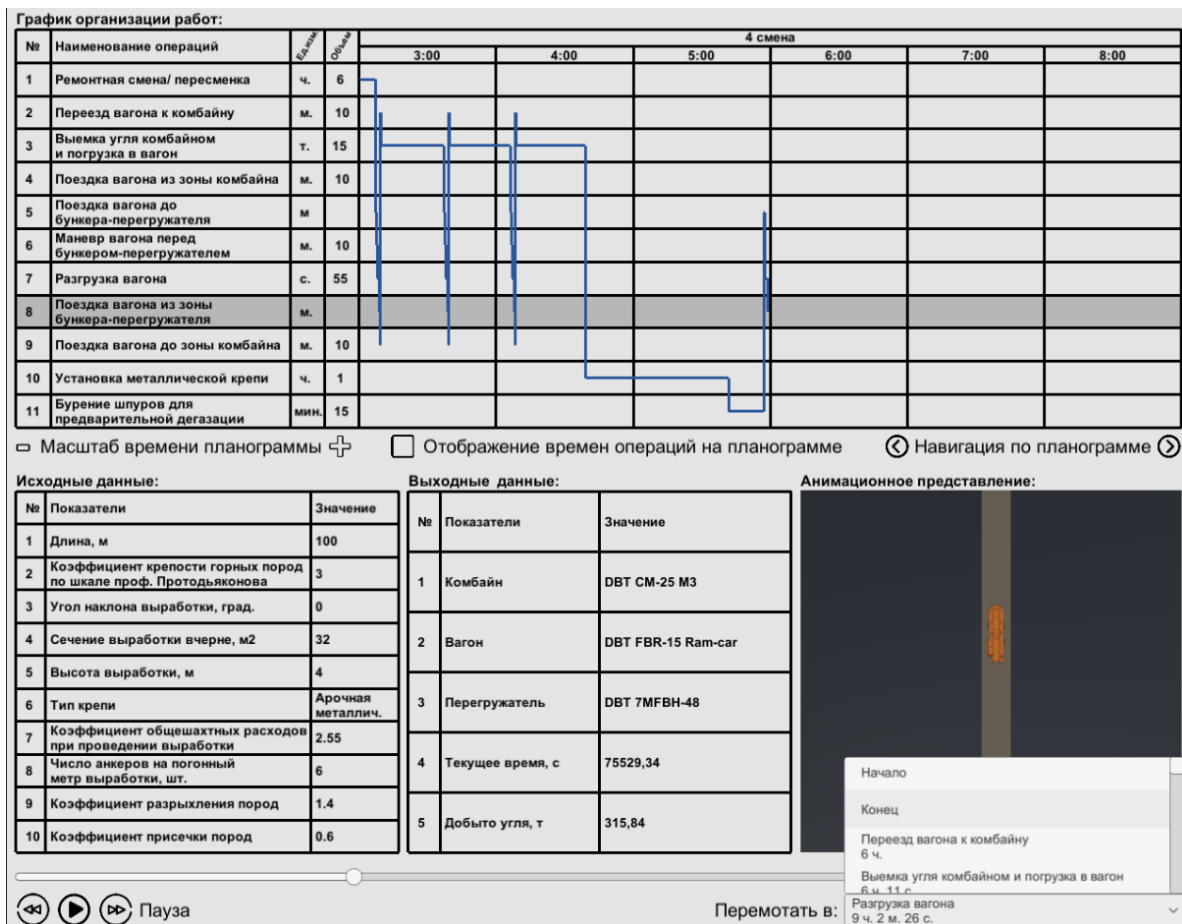


Рисунок 3 – Скриншот интерфейса системы имитационного моделирования технологий проведения горных выработок

Процесс	Операция	Вариант исполнения		
Бурение шпуров	Сканирование окружающей местности	Горнорабочий	Годовая проходка, м	450
	Распознавание образов	Горнорабочий		
	Управление перемещением	Горнорабочий в кабине		
	Управление наведением стрелы на место шпура	Горнорабочий в кабине		
	Бурение шпура	Бурильная машина с 1 перфоратором и корзиной		
Замер параметров бурения	Датчики бурения			
Заряжание шпуров	Сканирование окружающей местности	Видеокамера	Коэффициент загрузки оборудования заряжания	16,3%
	Распознавание образов	Горнорабочий		
	Управление перемещением	КСУ зарядной машины		
	Управление наведением стрелы на шпур	КСУ зарядной машины		
	Зарядка шпура	Зарядная машина с КСУ		
Крепление детонатора	Горнорабочий			
Погрузка горной массы	Сканирование окружающей местности	Горнорабочий	Коэффициент загрузки оборудования оборки	37,2%
	Распознавание образов	Горнорабочий		
	Управление перемещением	Горнорабочий в кабине		
	Распознавание отбитой горной массы	Горнорабочий		
	Управление зачерпыванием	Горнорабочий в кабине		
Управление выгрузкой	Горнорабочий в кабине	Коэффициент загрузки оборудования крепления	38,7%	
Перемещение и механика	Буропогрузочная машина с 1 перфоратором и нагребашными лапами			
Оборка забоя	Сканирование окружающей местности	Видеокамера		
	Распознавание образов	Горнорабочий		
	Управление перемещением	Горнорабочий на дистанции		
	Наведение стрелы для оборки	Горнорабочий на дистанции		
	Устранение сколов	Машина оборки		
Крепление выработки	Сканирование окружающей местности	Видеокамера		
	Распознавание образов	Нейронная сеть		
	Определение мест под анкера	Нейронная сеть		
	Управление перемещением	КСУ крепустановочной машины		
	Бурение шпура для анкера	Крепустановочная машина		
	Продвка шпура для анкера	Крепустановочная машина		
	Заряжание шпура закрепителем	Крепустановочная машина		
	Посадка анкера в шпур	Крепустановочная машина		
	Затяжка болта	Крепустановочная машина		
	Установка сетчатой затяжки	Крепустановочная машина		

Рисунок 4 – Результат определения оптимального варианта технологии проходки с использованием разработанной системы

Автоматизированный метод прогноза метанообильности очистных и подготовительных забоев, контроля и управления газовыделением на выемочных участках, обладающий высокой адаптивностью к конкретным горно-технологическим условиям.

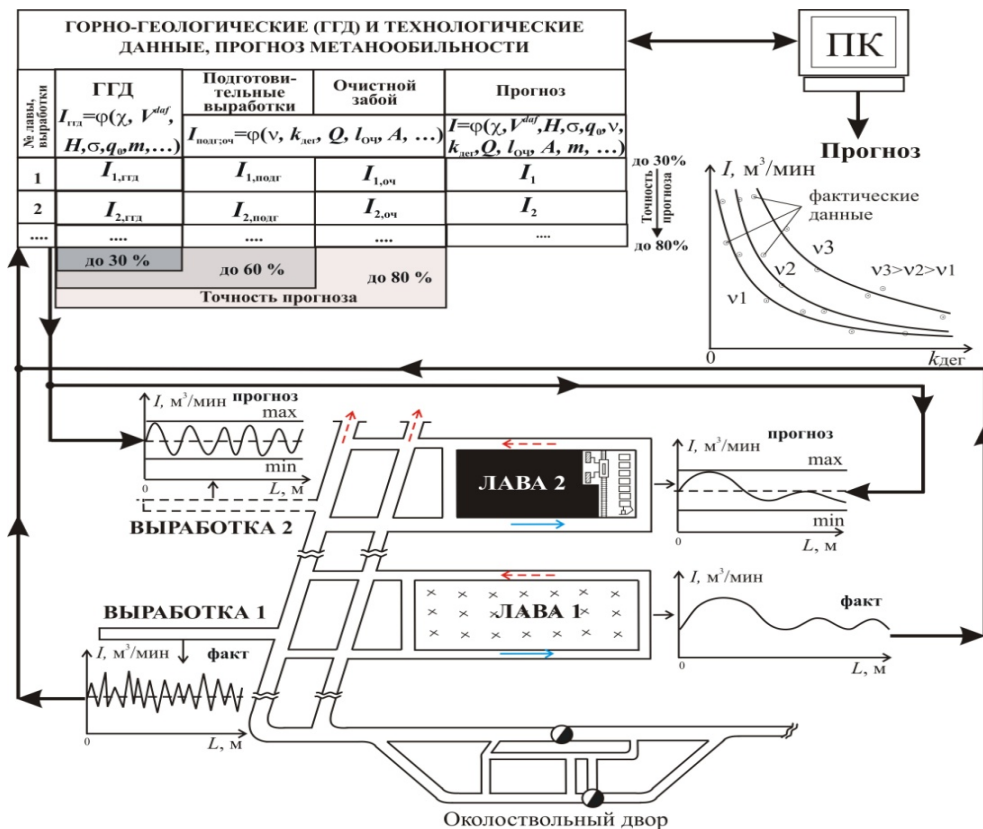


Рисунок 5 – Схема к автоматизированному методу прогноза метанообильности очистных и подготовительных забоев, контроля и управления газовыделением

I – абсолютная метанообильность, $\text{м}^3/\text{мин}$; L – длина выработки (столба), м ;
 χ – газоносность пласта, $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$; v – скорость подвигания, $\text{м}/\text{сут}$;
 V^{daf} – выход летучих веществ, %; H – глубина отработки, м ; q_0 – скорость газоодачи, $\text{м}^3/\text{т} \cdot \text{мин}$;
 σ – геостатические напряжения в пласте, МПа ; m – мощность пласта, м ;
 $k_{\text{дег}}$ – коэффициент дегазации; Q – количество воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;
 $l_{\text{оч}}$ – длина очистного забоя, м ; A – нагрузка на забой, $\text{т}/\text{сут}$

Разработан автоматизированный метод прогноза метанообильности очистных и подготовительных забоев, контроля и управления газовой выделением на выемочных участках, обладающий высокой адаптивностью к конкретным горно-геологическим и горно-технологическим условиям. Метод базируется на особенностях газокинетических свойств углей, газодинамической деструкции угольных пластов при их отработке, на условиях проведения действующих, проектируемых очистных и подготовительных забоев, а также выработок-аналогов, и учитывает закономерности нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород в процессе их разгрузки от горного давления. Метод применим в электронных системах мониторинга шахтной атмосферы нового поколения, обладающих прогнозирующими качествами, и ориентирован на решение практических задач текущего контроля газовой опасности, выбора мероприятий по управлению метанообильностью с целью обеспечения безопасных (по газовому фактору) режимов работы забоев.

Обоснована возможность и эффективность снижения выбросов углекислого газа путем его улавливания из отходящих газов угольной генерации и размещения в угольных пластах для стимуляции их метаноотдачи.

Разработана и исследована числовая модель, описывающая стационарный процесс нагнетания CO_2 в угольный пласт с развитой системой трещин, в среде Comsol Multiphysics. В численных экспериментах установлено, что при подаче CO_2 в скважину при начальном давлении $P_{\text{нагн.}} = 35$ атм. происходит его перераспределение в прискважинной области. Далее, в течение $t_{\text{экс}} = 2$ час. давление в этой области снижается до 110 атм. При этом в направлении к метановыдающей скважине давление возрастает до 150 атм. Показано, что скорость потока CO_2 при заданном начальном давлении снижается с 0,01 до 0,002 м³/с, в то время как метановыделение возрастает с $7 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Предложенный модельный подход может быть использован при разработке и обосновании перспективных комплексных технологий улавливания и размещения углекислого газа в угольных пластах с последующим извлечением и переработкой шахтного метана для получения тепловой и электрической энергии, обеспечивающих существенное снижение выбросов в атмосферу парниковых газов в регионах интенсивной угледобычи РФ.

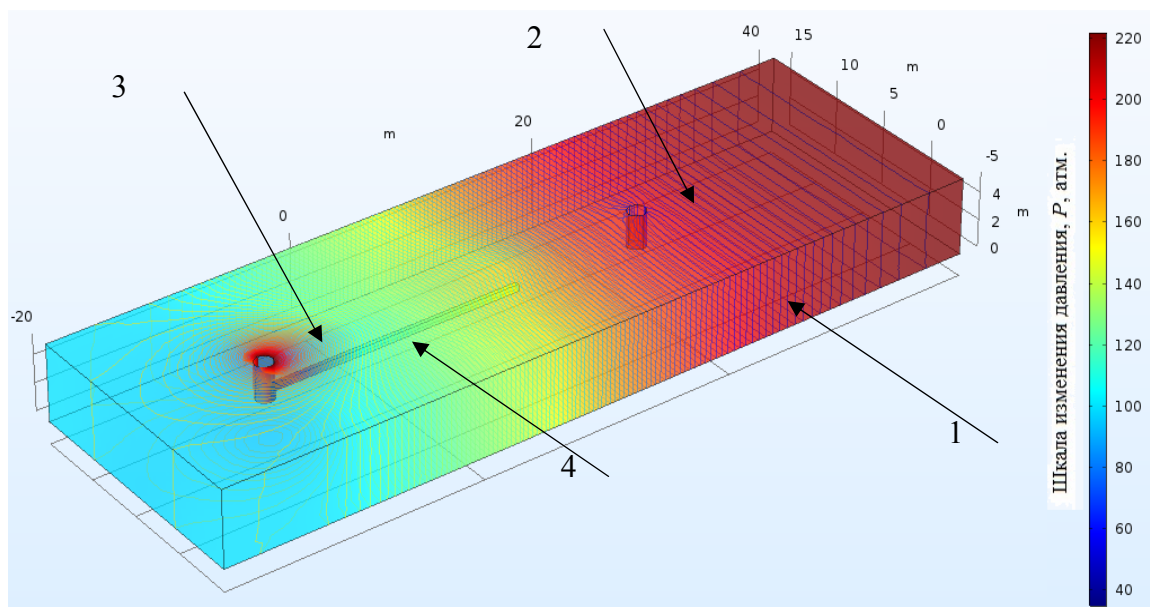


Рисунок 6 – Модельное представление процесса нагнетания CO_2 в угольный пласт (1) с развитой системой трещин (4) через скважину (3) вблизи метановыдающей скважины (2) при начальном давлении $P_{\text{нагн.}} = 35$ атм. по истечении времени $t_{\text{экс}} = 2$ час.

- 1 – угольный пласт; 2 – скважина для откачки метана; 3 – скважина для подачи CO_2 ;
- 4 – трещинно-поровое пространство

Алгоритм «настройки» критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода по данным инструментального метода текущего прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовыделения и выходу бурового штыба при бурении контрольных шпуров.

Для двухэтапной модели выбросоопасности установлено, что критерий выполнения первого этапа – развития трещин в призабойном пространстве, и критерий выполнения второго этапа – внезапного разрушения и выдавливания слоя угля в месте устья полости возникающего выброса угля и газа, в отсутствие газа в угле равны между собой. С ростом внутрислоевого давления газа, контролируемого по концентрации метана в атмосфере выработки, оба критерия уменьшаются экспоненциально. Причем скорость уменьшения критерия развития трещин значительно выше скорости уменьшения критерия выдавливания слоя угля (рисунок 7).

Отсюда следует, что метод прогноза выбросоопасности по акустической эмиссии имеет низкую достоверность прогноза, т.к. не в полной мере контролирует процесс подготовки выброса.

2. Впервые обоснованы алгоритмы «настройки» критерия выбросоопасности для двух вариантов реализации спектрально-акустического метода прогноза за счет учета данных одновременно выполняемого инструментального метода прогноза, основанного на измерении начальной скорости газовыделения и выхода штыба при бурении скважины.

Первый алгоритм «настройки» предназначен для применяемого в настоящее время метода «текущего прогноза выбросоопасности по параметрам искусственного акустического сигнала».

Второй алгоритм предназначен для разрабатываемого перспективного автоматизированного метода спектрально-акустического прогноза выбросоопасности, в котором осуществляется непрерывная коррекция критерия выбросоопасности по концентрации метана в атмосфере выработки, измеряемой аппаратурой газового контроля шахты, и прочности угля.

Зависимость величины коэффициента относительных напряжений, установленного спектрально-акустическим методом, от длины зависания основной кровли.

Обосновано применение двух акустических методов: акустико-эмиссионного и спектрально-акустического, – для контроля напряженного состояния призабойного пространства (рисунок 8) в процессе направленного гидроразрыва труднообрушаемой кровли и различных способов противовыбросной гидрообработки угольного пласта, а также оценки их эффективности.

Акустико-эмиссионный метод рекомендован для контроля площади зависания кровли над выработанным пространством и для определения приемлемости и оптимальных параметров локальной противовыбросной гидрообработки угольного пласта.

Показано, что отношение текущего значения фоновой активности акустической эмиссии (АЭ) к ее значению, измеренному после первой посадки кровли, характеризует площадь зависания кровли над выработанным пространством.

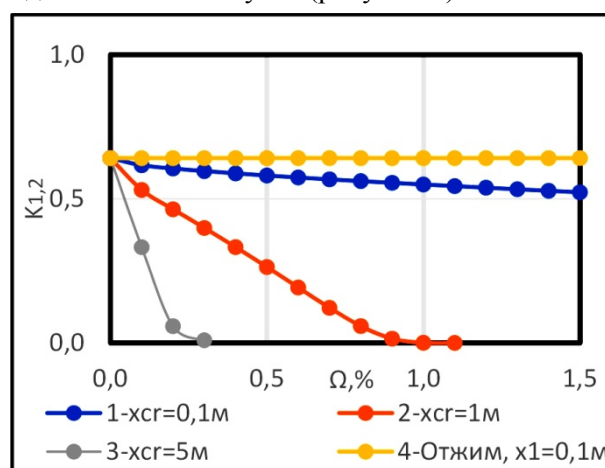


Рисунок 7 – Зависимость критерия $K_{1,2}$ развития трещин и отжима угля от концентрации метана в атмосфере выработки Ω на разном удалении x_{cr} от забоя

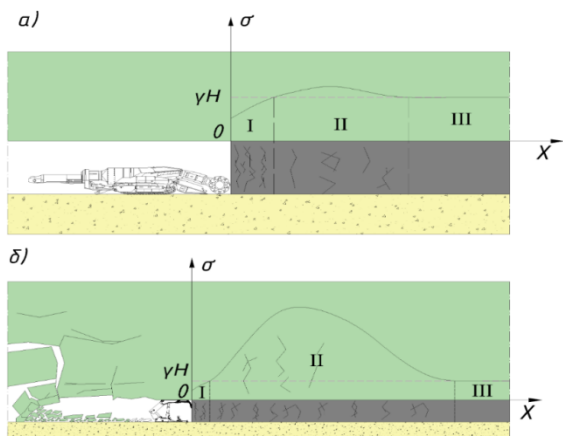


Рисунок 8 – Горное давление σ впереди подготовительной (а) и очистной (б) выработки на расстоянии x от забоя: I – зона пониженных напряжений; II – зона повышенных напряжений; III – нетронутый горными работами массив; γH – гидростатическое давление в нетронутом массиве

ношения амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей спектра «шума» работающего механизма или ударного устройства (молотка или кувалды).

Показано, что гидроразрыв считается эффективным, если $K_{o.n.}$, замеренный после гидроразрыва, меньше его значения, замеренного до гидроразрыва. Причем чем больше эта разница (или отношение), тем зависающая часть кровли обрушена на большей площади.

Обосновано, что для повышения достоверности текущего прогноза выбросоопасности угольного пласта спектрально-акустическим методом критерий выбросоопасности необходимо корректировать для учета газового фактора и прочности угля.

Оценка напряжённого состояния и устойчивости целика между ранее пройденной и очистной выработками.

Разработана модель геомеханического состояния угленосного массива, вмещающего угольный пласт и пройденные по нему очистную и подготовительную выработку (рисунок 9). В ней впервые учтено влияние слоя обрушенных пород позади очистной выработки. Она обеспечивает детальное изучение напряжённого состояния угольного целика.

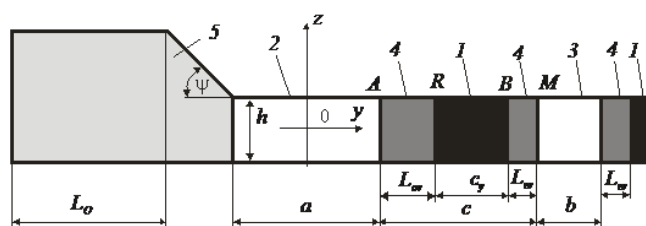


Рисунок 9 – Расчётная схема массива с выработками и выработанным пространством. 1 – угольный пласт мощностью h , 2 – очистная выработка, 3 – подготовительная выработка, 4 – предельно напряжённые зоны пласта, 5 – слой обрушенной породы, ψ – угол сдвига пород, a , b ширина выработок, c_y – размер упругой области пласта между выработками

На рисунке 10а построены графики зависимости параметров опорного давления в окрестности очистной и подготовительной выработок в зависимости от угла внутреннего трения слоя обрушенных пород φ_s . На рис. 2 а построены графики изменения коэффициента концентрации напряжений k_σ в краевой части пласта впереди очистной (кривая 1), в борту подготовительной выработки (кривая 2), в слое обрушенных пород позади очистной выработки (кривая 3).

На рис. 10б построены графики зависимости размера предельно напряжённой зоны пласта L_{ov} около очистной выработки (кривая 1) и в борту подготовительной выработки L_{mv} (кривая 2). На рис. 10в построен график изменения предельно напряжённой зоны L_o в обрушенном слое породы. c_y – размер упругой части целика.

Установлено, что параметры опорного давления в угольном целике изменяются незначительно при значительном изменении характеристик слоя обрушенных пород.

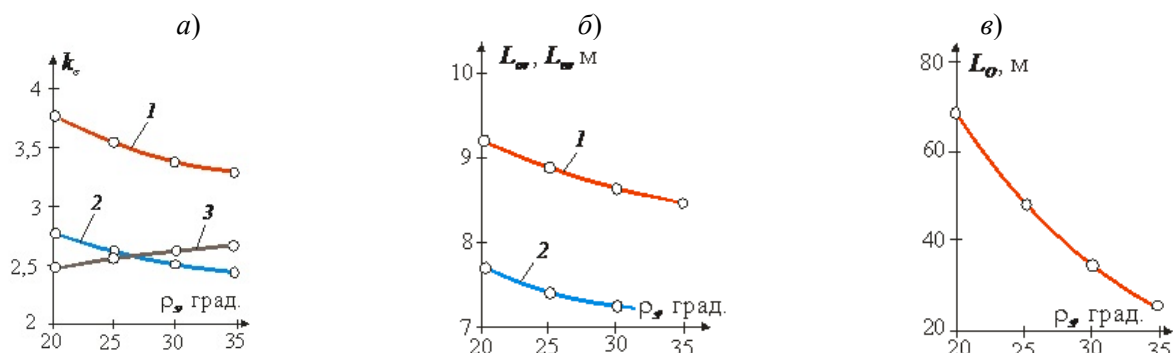


Рисунок 10 – Графики зависимости параметров опорного давления около выработок от угла ρ_s

Макет робототехнического комплекса для отработки мощных угольных пластов пологого залегания, обеспечивающего безопасность и эффективность подземных работ.

Робототехнический комплекс (РТК) для отработки мощных угольных пластов пологого залегания основывается на базе платформы крепи с управляемым выпуском (КУВ) в лавном исполнении. С применением системно-функционального подхода в виде методологии IDEF0 детально описаны объекты автоматизации для лавного исполнения крепи КУВ с управляемым выпуском на забойный конвейер в рамках задач определения границы «порода-уголь», оценки загрузки конвейера и инициирования выпуска. На основе указанных схем обоснован и разработан прототипа РТК для отработки мощных угольных пластов пологого залегания, обеспечивающего полноту выемки, снижение зольности угля и опасности его возгорания. На рисунке 11, для указанной платформы, в зависимости от задач систематизированы основные данные, необходимые для проектирования элементов автоматизации и роботизации на уровне технических устройств.

Объект	Проект прототипа РТК		
Задача	Определение границы «порода-уголь»	Оценка загрузки конвейера	Инициирование выпуска
Платформа	Крепь с управляемым выпуском		
Исполнение	Лавное	Лавное	Лавное
Зона	- в выпускном окне - на питателе	- на питателе - на конвейере	- в выпускном окне
Предметы автоматизации и роботизации, в т.ч.:			
- устройства	- заслон - питатель	- заслон - питатель	- заслон - питатель - устройство инициирования выпуска
- процессы	- оценка состава горной массы в выпускном окне и на питателе - изменение положения заслона - изменение наклона питателя - движение питателя (режимы)	- оценка объема горной массы на питателе и конвейере - изменение положения заслона - изменение наклона питателя	- оценка объема горной массы на питателе - определение факта зависания кровли - изменение положения заслона - инициирование выпуска

Рисунок 11 – Систематизация устройств и процессов автоматизации и роботизации в рамках задач определения границы «порода-уголь», оценки загрузки конвейера и инициирования выпуска

Указанная структура устройств и процессов в рамках РТК в зависимости от задач позволяет обеспечить переход к более эффективным системам добычи полезных ископаемых и исключить использование буровзрывных работ для подготовки массива к выпуску.

Методические рекомендации по проектированию сети эксплуатационной разведки шахтного поля действующего предприятия, обеспечивающую его изучение с достоверностью, определяемой требованиями геотехнологических решений.

Системный анализ минерально-сырьевой базы нераспределённого фонда недр Кузнецкого угольного бассейна показал, что основная часть запасов коксующихся и высокометаморфизованных (около 95 %) каменных углей предназначена для отработки подземным способом, которые залегают в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях: 2-я и 3-я группа сложности геологического строения, газоносность более 13 м³/т с.б.м, глубина залегания более 250 м, зольность более 30% т.д. (рисунок 12), а их отработка промышленными (традиционными) технологиями добычи небезопасна и неэффективна.

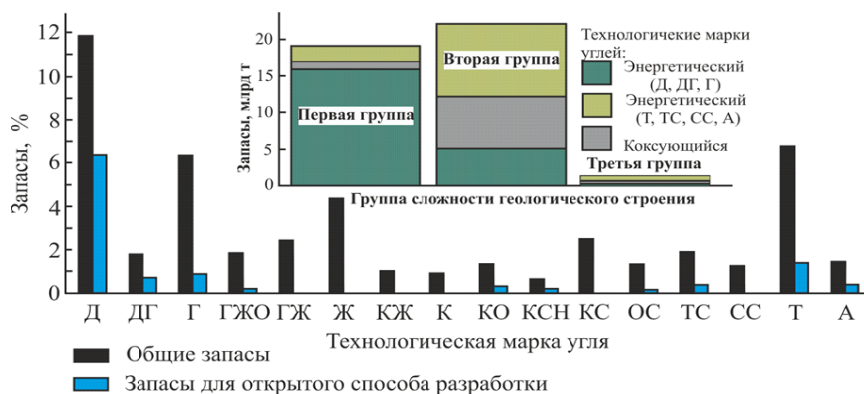


Рисунок 12 – Марочный состав и распределение по группам сложности геологического строения запасов каменного угля нераспределенного фонда недр Кузбасса (по состоянию 01.12.2019)

Восполнение в ближайшей перспективе наметившегося выбытия отдельных технологических марок угля: К, КЖ, КС, ТС, КСН, КО, ОС и СС, предполагает отнесение запасов этих углей к трудноизвлекаемым полезным ископаемым и разработку новых технологий добычи (прежде всего подземных) направленных на эффективную и безопасную отработку.

Разработанные «Временные методические рекомендации по планированию работ эксплуатационной разведки» основываются: на численных характеристиках изученности геологических показателей (лямбда-критерий () и свойствах фрактальной размерности для локализации однородных участков по сложности геологического строения участков недр; многовариантной геометризации основных показателей угольных месторождений и нечетких множеств для оценки устойчивости проектных решений и рисков их реализации в условиях различного рода неопределенности.

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

Геомеханика

В рамках линейной теории упругости выполнено математическое моделирование процесса деформирования многолетнемерзлого горного массива вокруг двух параллельно пройденных протяженных выработок одинакового прямоугольного сечения с закруглениями с учетом изменения упругих свойств горных пород от температуры. При этом, установлены зависи-

мости концентрации напряжений на контуре выработки от расстояния между выработками, отношения высоты и ширины выработки и радиусов закругления с учетом размеров ореолов оттаивания вокруг выработок, а также определены координаты сечений в целике между выработками, где концентрация напряжений максимальна, и динамика ее изменения по мере увеличения ореола оттаивания вокруг выработок.

На основе проведенных расчетов предложены рекомендации по выбору размеров, формы и расстояния между выработками в зависимости от размеров ореолов оттаивания вокруг выработок.

Горная теплофизика

• Экспериментальными исследованиями влияния содержания полипропиленовой фибры (длина 6 мм, $\varnothing 10 \div 15$ мкм) и количества знакопеременных температурных воздействий на прочностные характеристики легкого торкретбетона установлено: содержание 1% фибры является оптимальным для вермикулитобетона состава цемент/вспученный вермикулит = 1/2, при этом прочность его на сжатие достигает 5,2 МПа, что на 45% выше, чем у неармированных бетонов (3,6 МПа); образцы дисперсно-армированных серий обладают более высокой способностью сохранять свои физико-механические характеристики после знакопеременных температурных воздействий, в частности, после 5 циклов замораживания-оттаивания (температура замораживания минус $50 \pm 5^\circ\text{C}$), в насыщенном 5% раствором NaCl состоянии, прочность образцов оптимальной серии снизилась до 4,2 МПа, что выше, чем у исходных неармированных бетонов.

Полученные результаты имеют практическое значение для разработки эффективных способов крепления горных выработок в условиях криолитозоны.

• Разработана математическая модель и программа расчёта тепло-массообменных процессов при круглогодичном кучном выщелачивании золоторудных месторождений криолитозоны, учитывающая климатические условия, технологические параметры (температура, скорость подачи, концентрация реагентов в растворе), а также процессы диффузионного и конвективного тепло и массообмена, фазовые превращения раствора и позволяющая с достаточной степенью точности и достоверности рассчитать оптимальную толщину теплоизоляции штабеля, обеспечивающую его положительный тепловой режим для климатических условий промплощадки. На рисунке 1 представлены концентрации металла в продуктивном растворе в результате реакции выщелачивания на фронте фильтрующегося раствора цианида для различных моментов времени. На рисунке 2 приведен расчетной график степени извлечения металла в сравнении с лабораторным экспериментом.

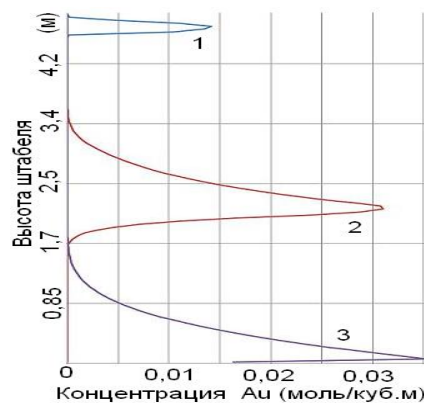
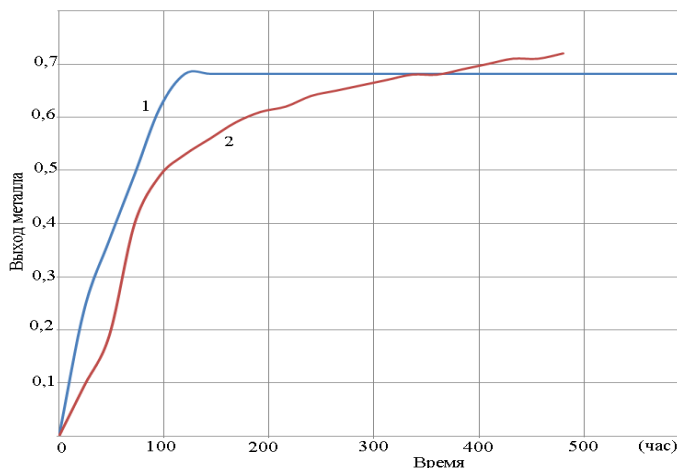


Рисунок 1 – Распределение концентрации металла в растворе по высоте штабеля для различных моментов времени (1 – 2 суток; 2- 16 суток; 3 – 32 суток)

Рисунок 2 – Сравнение расчетных – (1) и экспериментальных данных – (2) по степени извлечения металла на лабораторной установке (Н. В. Ковалев, В. Н. Ковалев, В. А. Холоднов // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2015. – № 31. – С. 99–104.)



Использование разработанной модели позволит прогнозировать динамику извлечение золота при выборе оптимального режима кучного выщелачивания.

- Разработаны рекомендации по обеспечению оптимального теплового режима системы горных выработок высокомеханизированных россыпных шахт криолитозоны в период их строительства и эксплуатации. В частности, при применении высокопроизводительного самоходного дизельного оборудования требуется кратное увеличение объема воздуха, подаваемого в шахту для вентиляции горных выработок, что в летний период вызывает протаивание вмещающих выработки мерзлых пород и снижение их устойчивости. Предлагается отработку россыпей производить в зимний период, с временной консервацией шахты на летний период, что в перспективе позволит обеспечить устойчивое понижение температуры окружающих капитальные горные выработки горных пород с повышением их прочности. При этом, определены оптимальные сроки консервации россыпной шахты на летний период, позволяющие сохранять массив горных пород вокруг выработок в мерзлом состоянии на весь летний период в зависимости от мощности применяемого самоходного горного оборудования с дизельным приводом.

Результаты расчетов позволяют выбрать параметры крепления капитальных и подготовительных выработок для обеспечения безопасных условий добычи песков.

Горнопромышленная геофизика

- Разработаны рекомендации по совершенствованию методики геофизического картирования геокриологических структур массива многолетнемерзлых горных пород, основанные на использовании параметрического зондирования по методике углового георадиолокационного сканирования на участках со сложно-пересечённой местностью, что позволило обеспечить 3D-картирование подземных льдов по данным георадиолокации, при разработке месторождений криолитозоны (рисунок 3).

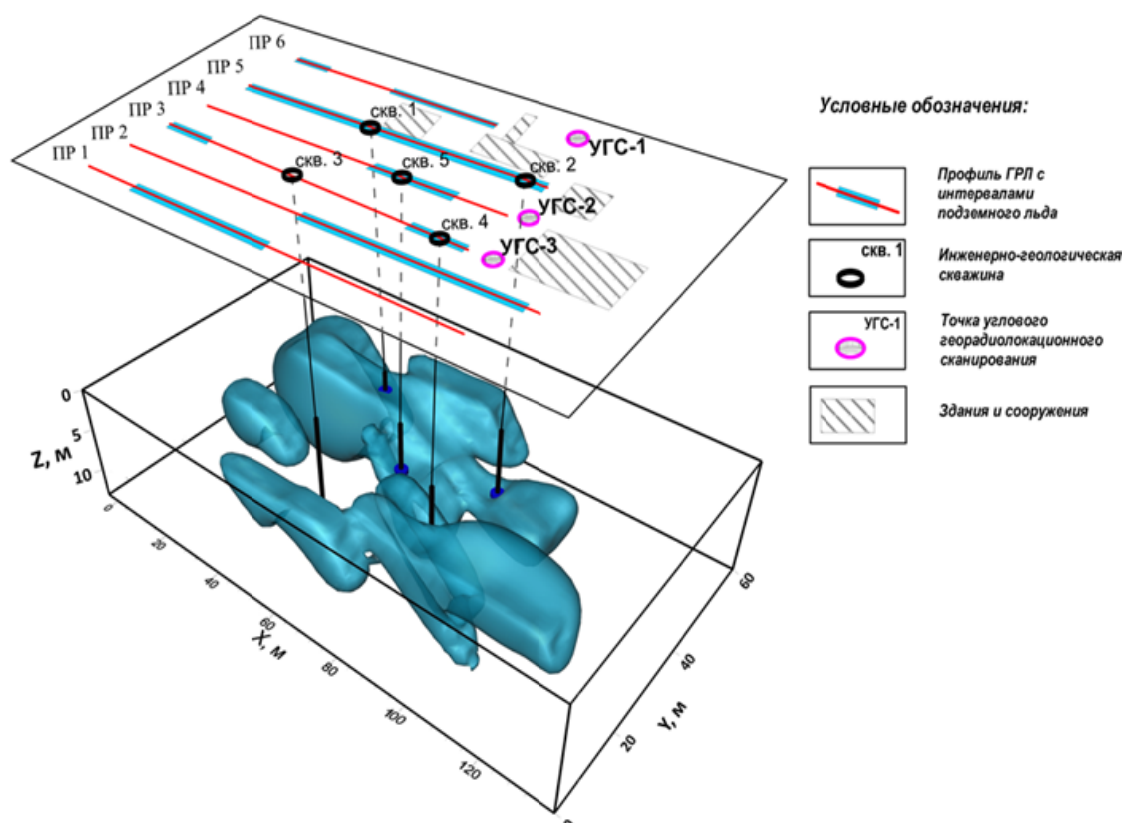


Рисунок 3 – Результат 3D картирования подземных льдов массива многолетнемерзлых горных пород на основе комплексной геолого-геофизической информации

Доработана методика геофизического картирования геокриологических структур массивов многолетнемёрзлых горных пород, отличающаяся использованием углового георадиолокационного сканирования в опорных точках в условиях сложно-пересеченной и ограниченной местности.

Усовершенствованная методика геофизического картирования геокриологических структур массивов многолетнемёрзлых горных пород позволяет представлять данные георадиолокационных исследований в трехмерном виде с высокоточной топографической привязкой их местоположения для повышения эффективности прогноза и контроля геокриологической обстановки на всех стадиях разработки россыпных месторождений.

Физико-техническая геотехнология

• Экспериментальными исследованиями установлено влияние угла наклона отбитого слоя руды различной влажности (от 0 до 1%), при системах подэтажного обрушения, на показатели ее потерь от смерзания при торцевом выпуске в условиях отрицательных температур (-5°C) очистного пространства месторождений криолитозоны. В частности, показано, что изменение угла наклона отбиваемого слоя руды с 90° до 85° , и ее влажности от 0 до 0,5 %, не оказывает существенного влияния на увеличение потерь, резкое повышение потерь руды, вследствие ее смерзания при выпуске (до 12,5 %), отмечено при угле наклона 80 град и влажности 1% (рисунок 4).

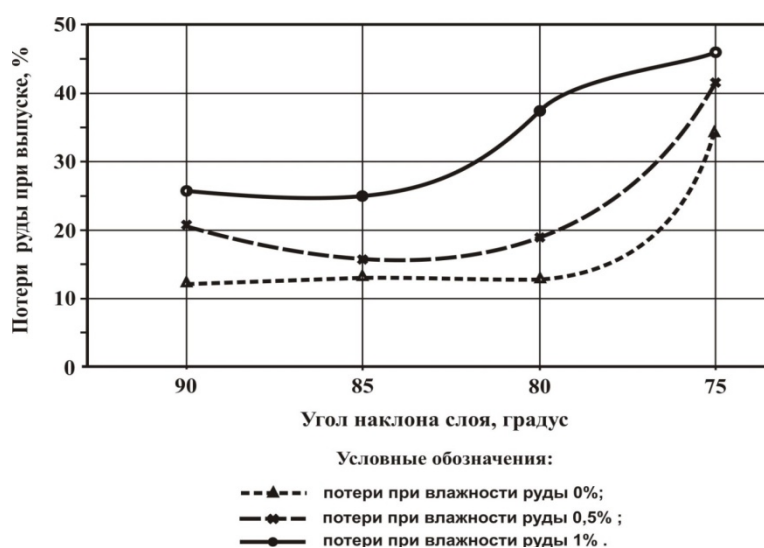


Рисунок 4 – Влияние изменения угла наклона отбиваемого слоя и влажности отбитой руды на ее потери от смерзания в очистном пространстве

Установлено, что наилучшие показатели полноты и качества извлечения руды при торцевом выпуске достигаются при вертикальном контакте отбитой руды и вмещающей породы, уменьшение угла наклона контакта до 75% приводит к возрастанию потерь рудной массы в связи с тем, что увеличивается объем смерзшейся руды в очистном пространстве.

Полученные результаты являются основой для разработки рекомендаций по технологии выпуска руды из блока, обеспечивающей безопасную и эффективную отработку запасов месторождения в условиях отрицательных температур очистного пространства.

• На основе разработанной ранее методики прогнозной оценки ресурсного потенциала техногенных россыпей Якутии, учитывающей совокупность горнотехнических условий и особенностей процессов добычи и переработки продуктивных песков, выполнена оценка прогнозных запасов золотоносных техногенных образований и создана обобщенная база данных техногенных ресурсов основных районов россыпной золотодобычи Якутии (порядка 100 объектов). Показано, что по отдельным россыпям прогнозные техногенные ресурсы могут превышать технологические потери при промывке и обогащении на 10-30%, причём эта разница возрастает с уменьшением крупности золота.

Полученный результат имеет важное значение при обосновании возможности и целесообразности разработки золотоносных техногенных запасов месторождений РС(Я).

Геоэкономика

- Предложена модель расчета относительной ошибки ожидаемой (расчетной, плановой) прибыли P_r от освоения месторождения или его участка, учитывающая влияние следующих основных исходных параметров: объём добычи Q , среднее содержание полезного компонента GA , коэффициент извлечения J , потери при добыче L , разубоживание D , вероятность нахождения системы в неисправном состоянии W , цена единицы конечного продукта P , совокупные затраты C . Показано, что ошибки какого-либо из исходных аргументов в 10-20%, связанные с их изменчивостью в пространстве залежи и фактором времени при выполнении технологических процессов, приводят к ошибкам в оценке P_r более, чем на 30%, достигая в некоторых случаях 250-300%. Допустимая погрешность прогноза прибыли всегда значительно выше ошибок отдельных факторов, что нередко связано с ошибками геологического и геотехнологического оконтуривания запасов и их подсчета.

Научная и практическая значимость результатов состоит в оценке систематических ошибок завышения или занижения на 20-80% расчетных геологических, геотехнологических, затратных и ценовых переменных, функционально полностью определяющих прибыль от отработки локального участка рудного или россыпного месторождения, что способствует возникновению дополнительных, разнообразных по природе рисков в рамках ресурсосберегающего, экономически сбалансированного и экологически приемлемого недропользования.

Обогащение полезных ископаемых

- Экспериментальными исследованиями эффективности разделения сыпучих геоматериалов крупностью $-3+0,1$ мм. различного фракционного состава по плотности в аэро- и гидродинамических потоках, формируемых в барабанных противоточных сепараторах установлено, что для разделения в аэродинамическом потоке в диапазоне скорости от 8 до 15 м/с наиболее рациональной формой его рабочей камеры является цилиндрическая с показателями извлечения тяжелых фракций (имитаторов $\rho=6,8-16$ г/см³) в диапазоне от 57,1 до 94,2 %, а для разделения в гидродинамическом потоке с дебитом технологической воды 10-15 л/мин и числе оборотов барабана 20 об/мин – многогранная форма рабочей камеры с аналогичными показателями по извлечению тяжелых фракций от 89,6 до 98,6 %.

Результаты исследований являются основой для разработки и выбора противоточных барабанных сепараторов для обогащения минералов различной плотности крупностью $-3+0,1$ мм, в различных средах.

- Экспериментальными исследованиями определена оптимальная технологическая схема бескрубберной промывочной установки для переработки высокоглинистых песков и обогащения тяжелых минералов, состоящая из новых, конструкции ИГДС СО РАН, аппаратов дезинтеграции и классификации (АДК), гравитационного разделения на крутонаклонном (КНК) и центробежно-вибрационном (ЦВК) концентраторах и установлены наиболее рациональные режимные параметры оборудования по критерию оптимальной производительности и степени извлечения тяжелых минералов. Показано, что при общей производительности установки 80 л/ч., степень извлечения тяжелых минералов крупностью -3 мм достигает наилучших показателей и составляет 68,9%.

Полученные результаты исследований необходимы при дальнейшей разработке нового типа бескрубберных промывочных установок для эффективной переработки глинистых материалов, содержащих ценные компоненты.

Физико-химическая геотехнология

- Экспериментальными исследованиями установлены закономерности изменения сорбционной активности получаемых сорбентов в зависимости от различных способов подготовки бурого угля (кислотно-щелочное воздействие, термовыщелачивание и механоактивация) при щелочной активации. Показано, что наиболее эффективным способом подготовки является применение механоактивации после термовыщелачивания, что дает увеличение сорбции на 6,0-28,7 % в сравнении с результатами щелочной активации без проведения дополнительной подготовки углесодержащего сырья.

В качестве способа подготовки бурого угля при получении сорбентов методом щелочной активации были исследованы: кислотнo-щелочное воздействие, термовыщелачивание и механоактивация. Влияние способов подготовки оценивалось как отдельно, так и в различных комбинациях друг с другом. В качестве сырья был использован харанорский бурый уголь марки Б2, качественные характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Технический анализ и сорбционные свойства бурого угля
Харанорского месторождения**

Класс крупности	Показатели технического анализа, %				X, %
	W ^l	W ^a	A ^d	V ^{daf}	
0-2 мм	9,1	8,0	7,5	46,5	18,1

В таблице (здесь и далее): W^l – лабораторная влага образца, %; W^a – содержание влаги аналитической, %; A^d – зольность на сухую массу, %; V^{daf} – выход летучих веществ на сухое беззольное состояние, %; X – адсорбционная активность по йоду, %.

Полученные в результате экспериментов данные показали (таблица 2), что кислотнo-щелочное воздействие (обработка окисляющими веществами) не дала значимого эффекта (кроме обработки гидроперитом). Термовыщелачивание (предварительный нагрев и выдержка при

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

Воздействие на сырье в рамках способа подготовки	KOH/ уголь г/г	t, мин	Теханализ, %			X, %
			W ^a	A ^d	V ^{daf}	
Химический способ						
- фосфорная кислота	0,75:1	30	9,5	27,2	5,8	17,4
		60	7,6	23,5	6,4	16,9
	1:1	30	8,9	26,1	5,4	19,8
		60	10,3	25,1	6,4	21,0
-гидроперит	1:1	30	20,7	5,8	10,4	97,5
		60	19,7	5,6	10,8	112,5
Термический способ						
-термовыщелачивание	1:0,5	30	5,6	7,9	9,1	70,0
		60	4,5	9,4	9,1	75,7
	1:1	30	7,0	7,8	9,9	88,1
		60	6,2	8,8	9,9	91,2
Комбинированный способ (последовательность воздействия)						
- термовыщелачивание → - осаждение фосфорной кислотой	0,75:1	30	7,3	50,1	9,1	21,8
		60	7,7	48,1	8,4	24,1
	1:1	30	11,3	13,6	6,3	37,4
		60	11,4	14,9	5,0	41,7
- термовыщелачивание → - механоактивация	1:0,5	30	8,9	4,5	17,4	90,1
		60	8,2	3,8	14,4	93,8
	1:1	30	9,9	3,0	36,8	93,4
		60	9,2	4,0	41,4	100,5
- механоактивация → - термовыщелачивание	1:0,5	30	4,9	8,3	9,7	72,9
		60	4,4	8,9	9,1	83,1
	1:1	30	5,8	6,0	8,8	79,3
		60	5,3	8,9	10,1	77,1

В таблице: t – время изотермической выдержки при 800 °С, мин.

температуре 160 °С смеси угля со щелочью) показала результаты сопоставимые с полученными ранее результатами химической активации бурого угля, с закономерностью увеличения сорбции с увеличением количества щелочи в смеси. Но применение термовыщелачивания в комбинации с последующей механоактивацией (механическое измельчение смеси угля со щелочью) дает увеличение сорбции на 6,0-28,7 % в сравнении с результатами щелочной активации без проведения дополнительной подготовки углесодержащего сырья. При этом большее увеличение сорбции получено в экспериментах с меньшим содержанием щелочи в смеси с углем (1:0,5).

Результаты исследований имеют важное значение при выборе эффективного способа подготовки бурых углей, обеспечивающего получение сорбентов с наибольшей сорбционной активностью.

Информация о проведенных в 2020 году научно-организационных мероприятиях.

Совместно с ИГД ДВО РАН проведена VIII Международная научная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов» в г. Хабаровске 8-10 сентября 2020 года.

Публикации Института: опубликовано 3 главы в коллективных монографиях, 46 статей в журналах и 38 докладов в материалах конференций, получено 9 охранных документов РФ (2 патента на полезную модель, патент на изобретение и 6 свидетельств на программы для ЭВМ).

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

Работы выполнялись в рамках проекта «Геохимия редких и редкоземельных элементов в природных и геотехногенных ландшафтах и гидрогеохимических системах» IX.137.1.2 (FUEZ-2019-0004), регистрационный номер 221030200408-8 лабораториями Геохимии и рудогенеза и Геоэкологии и гидрогеохимии, руководитель проекта д.г.-м.н., профессор Г.А. Юргенсон.

Получены следующие результаты.

1. Произведена минералого-геохимическая типизация горнопромышленных территорий Забайкалья как единых ландшафтно-геохимических геосистем с оруденением определенных рудных формаций и продуктов геотехногенного преобразования отходов их разработки, определены главные химические элементы, представляющие опасность для экологического состояния природной среды (таблица). Для каждой из выделенных геосистем определены соответствующие им геохимические типы вод и установлено, что их ландшафтно-геохимические и гидрогеохимические свойства определяются рудноформационными особенностями месторождений и интенсивностью водообмена (или продолжительностью взаимодействия в системе «вода – руда – горная порода») (таблица).

Таблица

**Рудноформационная типизация ландшафтно-геохимических
горнопромышленных геосистем Забайкалья**

Рудная формация	Химические элементы и их содержания, г/т	Геохимический тип геосистемы	Экологически опасный элемент	Гидрогеохимический тип геосистемы
1	2	3	4	5
Среднеглубинная золото-токварцевая (Любовь, Карийские, Погромное)	As (800), Sb (3), Bi (3), W (9)	Мышьяковский	As	Кремнисто-кальциево-магниева
Малоглубинная золото-серебряно-кварцевая (Балей)	As(800), Sb (100), Zn(90), Cu (70), Bi (14) Te, Se	Мышьяк-сурьмяный	As, Sb, Te,	Кремнисто- кальциево-магниева

1	2	3	4	5
Золотосульфидно-кварцевая (Средний Голготайское, Верхнеалиинское, Апрельковское, Теремки, Талатуйское)	As (300-860), Cu (45-450), Zn (190), Pb (56-312), Sb (8-70), Bi (9-55), Mo (5-50), Cd (1-10)	Мышьяк-сурьмяно-висмутовый	As, Cu, Pb, Bi, Zn, Cd	Кремнисто- кальциево-магниева
Золото-кварцево-сульфидная (Дарасунское, Уконикское, Итаткинское)	As (600-1260), Cu (95-650), Zn (190-300), Pb (156-320), Sb (8-70), Bi (9-55), Mo (5-30), Cd (10 -51)	Мышьяк-медно-сурьмяно-висмутовый	As, Cu, Pb, Bi, Zn, Cd	Кремнисто- кальциево-магниева
Золото-молибден-сульфидно-кварцевая (Александровское, Давенднское, Гутайское, Боглюнское)	As (340), Sb(12), Mo (320), Zn (42), Bi (4)	Мышьяк-сурьмяно-молибденовый	As, Mo	Кремнисто- кальциево-магниева
Золото-полиметаллическая, полиметаллическая (Новоширокинское, Нойон-Тологойское, Акатуевское, Савинское №5, Почекуевское и др.)	As (780-880), Pb (420-830), Zn (440-640), Cd (15-21), Cu (140), Sb (95), Bi (15)	Мышьяк-свинец-цинк-сурьмяный	As, Pb, Zn, Cu, Sb, Cd	Кремнисто- кальциево-магниева Кремнистый карбонатно-кальциевая
Золото-кварц- молибденитовая, медно-молибден-порфиоровая (Шахтаминское, Жирекенское, Бугдаинское)	Mo (650-100), Cu (40-100), Pb (40-300), As (53-80), Zn (50), Sb (10-22), Bi (21) W (45), F	Молибден-медно-висмут-сурьмяный	Mo, Cu,Pb, Sb, Bi	Кремнисто- кальциево-магниева Кислая сульфатно-металлоносная
Грейзеновая сульфидно-кварцево- вольфрамитовая (Бом-Горхонскаое, Холтосон, Антонова Гора, Букука, Белуха, Спокойнинское)	W (988),Zn (400-800), Bi (240-260), Mo (38) Pb (51), Cu (214), Cd (16), Ag (12), Be (8), F, Te	Вольфрам-висмутовый	W,Zn, Bi, Pb, Cd, Be,F, Te	Кремнистый карбонатно-кальциевая Кислый сульфатно-металлоносная
Киноварь-антимонит-ферберит-кварцевая (Барун-Шивея)	As (800), Cu (250), Hg (30), Sb (83), W (587)	Мышьяк-ртутно-сурьмяно-вольфрамовый	As, Hg, Sb, W	Кремнисто-кальциево-магниева
Редкометалльных пегматитов (Завитинское, Орловское, Малокулиндинское)	Ta (70), Nb (115), Li (230-1018), Cs (221), Rb (360-780), Be (13-80)	Бериллий-тантал- ниобий-цезий- литиевый	Li, Cs, Rb, Be	Кремнисто-кальциево-магниева Кислая сульфатно-металлоносная

Выявлены две группы экологически опасных геосистем: мышьяковые и без мышьяковые. К первой относятся все золоторудные геосистемы и редко встречающаяся киноварь-антимонит-ферберит-кварцевая, ко вторым – геосистемы золото-кварц-молибденитовых, медно-молибден-порфириновых, грейзеновых сульфидно-кварцево-вольфрамитовых и редкометалльных пегматитов. Наиболее экологически опасными являются As, Pb, Zn, Sb, Cd, Te, Be. Исходя из наибольшей экологической опасности золотопромышленных геосистем разработана и рекомендована к внедрению технология переработки песков дражного полигона для извлечения золота и тяжелых минералов, содержащих магнитные частицы (рисунок 1). На основе определения барьерности-безбарьерности корневых систем растений по отношению к мышьяку и висмуту рекомендовано использование этого явления для биологической рекультивации отходов горного производства золоторудных, полиметаллических и олово-полиметаллических геосистем.

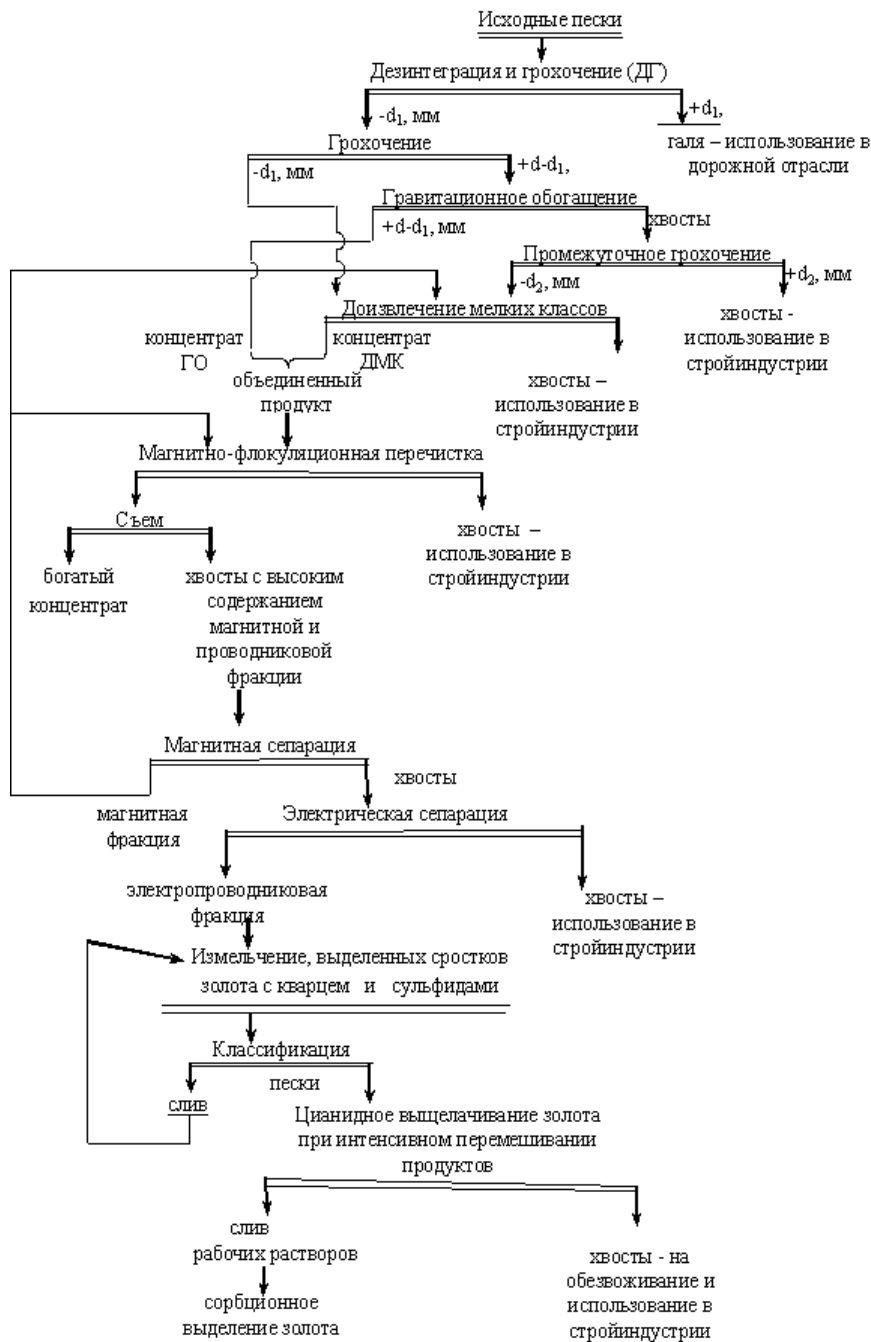


Рисунок – Технологическая схема переработки песков дражного полигона

Публикации

Юргенсон Г.А. Ландшафтно-геохимические и геоэтические проблемы исторических горно-промышленных территорий на примере Забайкалья // Горный журнал. 2020, №5. С. 81–86. DOI 10.17580/gzh.2020.05.15.

Чечель Л.П., Замана Л.В. Геохимическая типизация техногенно-трансформированных вод Бом-Горхонского вольфрамового месторождения (Восточное Забайкалье) // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: мат-лы четвертой Всерос. конф. с международ. участием (17–20 августа 2020 г., г. Улан-Удэ) / Геологический институт СО РАН, Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Бурятский государственный университет; [отв. ред. д.г.-м.н. А.М. Плюснин]. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2020. – С. 408-412. DOI.10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-408-412.

2. Изучено поведение церия и висмута в горнопромышленной геосистеме бывшего Шерловогорского ГОКа и показано, что корневые системы пионерных растений, заселяющих природно-техногенные ландшафты, рудные отвалы и, склады некондиционных руд и хвостохранилища, характеризуются различной мерой барьерности по отношению к этим химическим элементам и могут быть использованы в технологиях их биологической рекультивации.

Публикации

Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Филенко Р.А. Церий в компонентах ландшафта Шерловогорского горнорудного района (Юго-восточное Забайкалье) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринггеоресурсов. – 2020. – Т. 331. – № 3. – С. 159–173. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2559 (WOS)

Yurgenson G.A., Gorban D.N. Bismuth in a Congested Cinquefoil (*Potentillaacervata*Sojak) in Natural-Technogenic Landscapes of the Sherlova Gora Mining District // *Geochemistry International*, 2020, vol. 58, No 9, pp.1061 – 1067 Pleiades Publishing, ltd., 2020 DOI: 10.1134/S0016702920080108 (WOS, Q4)

3. Совместно с горным факультетом Забайкальского государственного университета разработана и апробирована технологии переработки песков дражного полигона для извлечения золота и тяжелых минералов, содержащих магнитные частицы (рисунок).

Публикация

Шумилова Л.В., Черкасов В.Г., Юргенсон Г.А., Мязин В.П. Разработка и апробация технологии переработки песков дражного полигона для извлечения золота и тяжелых минералов, содержащих магнитные частицы // Вестник ЗабГУ. – 2020. – Т.26. – №8. – С.49–58. DOI:10.21209/2227-9245-2020-26-8-49-58.

2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН

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

1. Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Стратегия освоения глубокозалегающего сложноструктурного месторождения – долгосрочный план действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической и горнотехнической информации, включая исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при реализации принимаемых инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья по адаптации горнотехнической и организационно-технологической системы горного предприятия в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий его функционирования (рисунок 1).



Рисунок 1 – Обоснование методов учета переходных процессов при освоении крутопадающих сложнотектурных месторождений

2. Разработан метод структурно-функционального анализа горнотехнической системы освоения переходной зоны при комбинированной разработке глубокозалегающих сложнотектурных железорудных месторождений, реализующий методологический подход в исследовании переходных процессов, позволяющий прогнозировать состояние горнотехнической системы при изменении действующих в переходный период постоянных и специфических факторов. Предложены комбинированные геотехнологии, основанные на камерной выемке и использовании энергоэффективных подземных комплексов самоходных машин, карьерного оборудования и транспортных коммуникаций, позволяющие по сравнению с традиционной подземной геотехнологией повысить показатели полноты и качества извлечения руды из недр (в 1,2-1,7 раза), увеличить производительность труда по системе разработки (на 20-30%), утилизировать пустые породы как в карьерном, так и в подземном выработанном пространстве (рисунок 2).

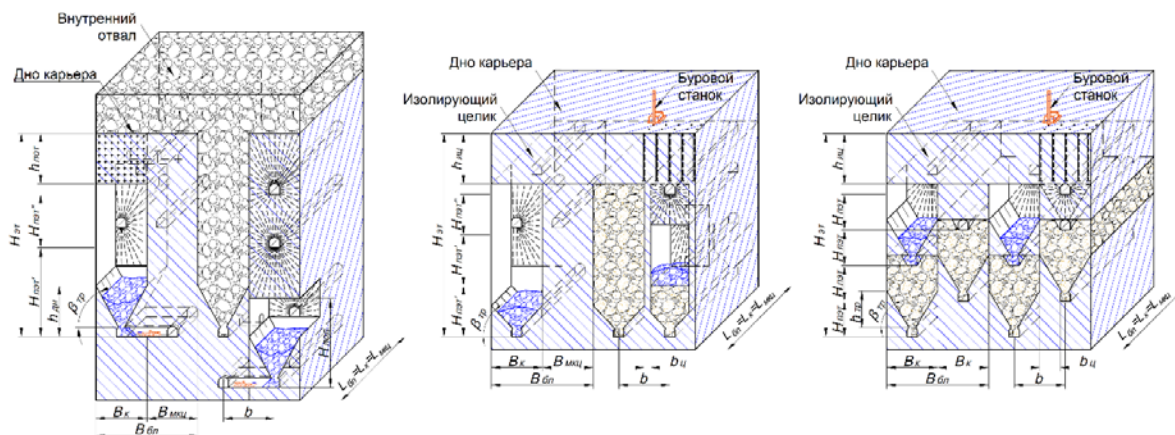


Рисунок 2 – Графические модели комбинированных геотехнологий освоения переходной зоны глубокозалегающих железорудных месторождений

3. На основе аналитических исследований предложены принципиально новые алгоритмы обработки геологических баз данных с использованием языка программирования Python и построения объемной цифровой модели месторождения. Усовершенствованы методики блочного моделирования и геометризации месторождения, позволяющие в автоматизированном режиме районировать в карьерном пространстве технологические типы руд, планировать направление горных работ и рудопотоков, оптимизировать параметры открытой геотехнологии с учетом качества руды. На базе геофизических измерений в объемной постановке метода электрометрического изучения массива сложнотектурных месторождений разработаны и апробированы методики интерпретации геоданных и прогноза качественных характеристик нерудного сырья (рисунок 3).

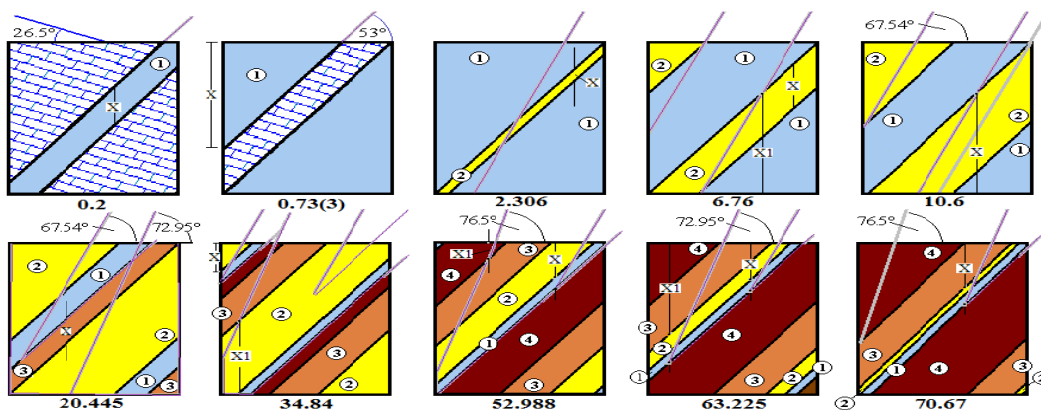
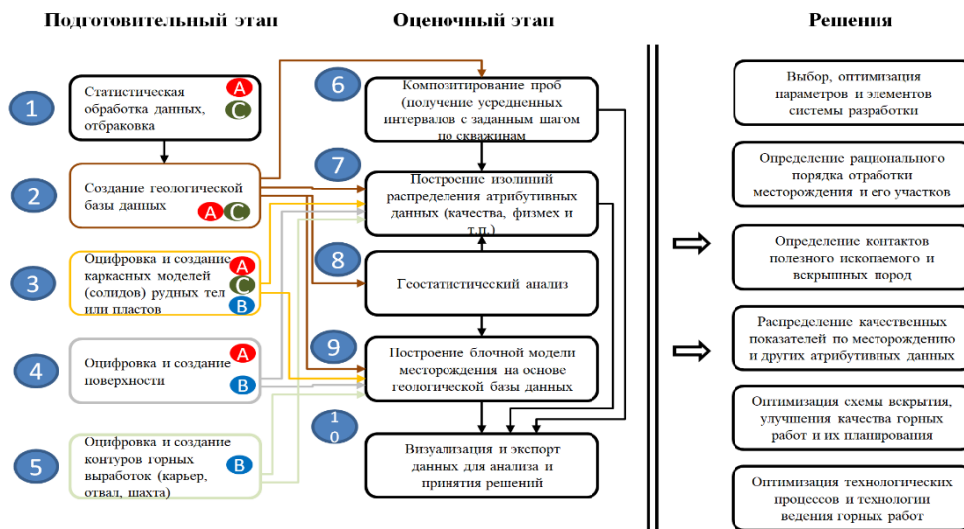


Рисунок 3 – Схема взаимосвязи процессов моделирования качества сырья с геотехнологиями управления рудопотоками и результаты прогноза качества ПИ методами геофизического изучения сложноструктурного массива

4. С целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду при разработке медноколчеданных месторождений экспериментально исследованы механизмы накопления, миграции тяжелых металлов. Показано, что наличие природных биогеохимических барьеров характеризуется не только повышенными концентрациями ряда ТМ, но и достаточно интенсивной эмиссией CO₂, а формирование гидрогеохимических систем горнопромышленных ландшафтов определяется наличием техногенной зоны гипергенеза, в которой при отработке месторождений



Рисунок 4 – Динамика содержания меди и цинка: а) на биогеохимическом барьере, б) в процессе рекультивации посредством внесения сапропеля, посадки ржи, в) в экспериментальных биопрудах в зависимости от вещественного состава ложа

происходила последовательная непрерывная цепь изменений рудного вещества. Предложены мероприятия по усовершенствованию приемов экологической реабилитации методами, основанными на процессах самоорганизации экосистем, иммобилизации и сорбции ТМ, разработаны рекомендации повышения объективности эколого-экономической оценки последствий техногенного воздействия на почвы (рисунок 4).

5. Разработан алгоритм поиска рациональной инновационно ориентированной стратегии (траектории) формирования параметров карьерного транспорта в динамике развития горных работ (карьера), отличающийся целенаправленным определением технологических требований к инновационным решениям на основе технико-экономических расчетов, отражающих диапазон преодоления отклонений от целевых показателей на всем жизненном цикле горнотехнологической системы, представляемом как последовательность стабильных состояний и переходных процессов. Методические особенности подхода заключаются в возможности декомпозиции чувствительности технико-экономических показателей (ТЭП) к изменению параметров транспорта в виде многофакторных математических моделей, учете показателей технического совершенства машин, оценке достижимости целевых ТЭП за счет инновационных решений, возможности применения автоматизированных расчетов и методов направленного поиска (рисунок 5).

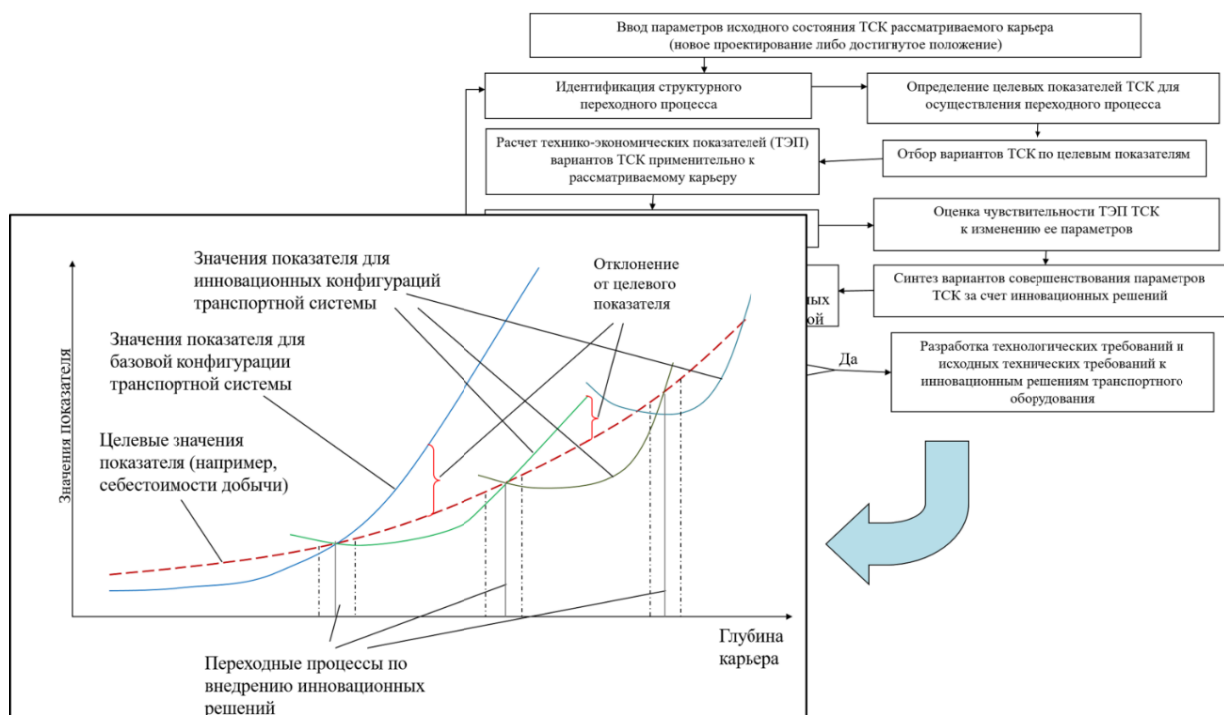


Рисунок 5 – Алгоритм обоснования технологических требований к инновационным решениям в карьерном транспорте для конкретного месторождения

6. При изучении технологического развития буровзрывных работ (БВР) установлено, что управляемость переходных процессов зависит от качества и времени получения данных о прочностных свойствах массива горных пород, а также о степени и характере влияния взрывного разрушения. Для планирования порядка протекания и реализации переходного процесса необходима разработка алгоритма экспрессного получения информации о факторах, влияющих на качество буровзрывной подготовки, и их системной и параметрической взаимосвязи со смежными технологическими процессами, а также о методах обработки и использования данных, полученных в ходе подготовки массива горных пород к выемке (рисунок 6).

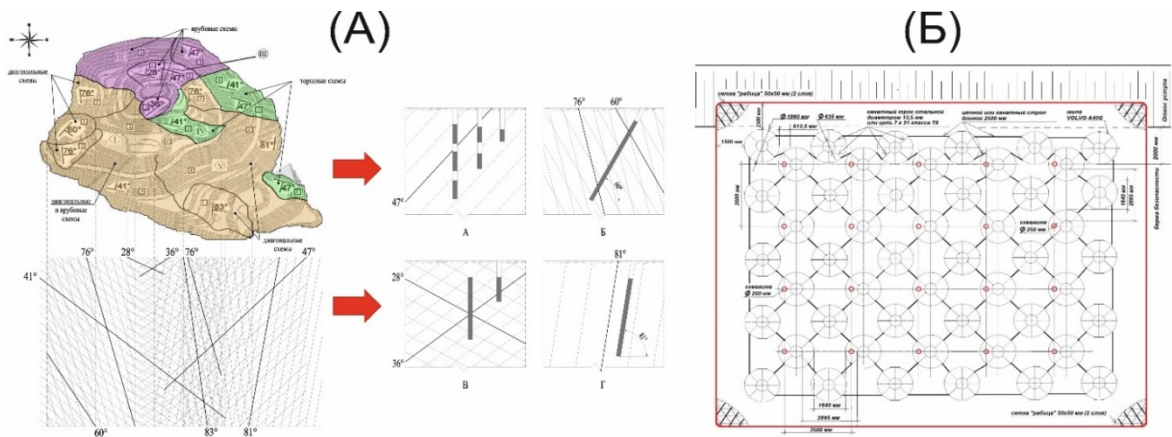


Рисунок 6 – Значение информационной составляющей при внедрении технических решений в рамках переходных процессов:

(А) – получение информации о прочностных свойствах и структуре массива повышенной точности для обеспечения формирования скважинных зарядов в условиях переменной слоистости; (Б) – определение ограничений для ведения БВР вблизи охраняемых объектов и разработка укрытия для взрыва с целью исключения разлёта кусков породы

7. Показано, что закономерность существования на горнодобывающих предприятиях опасных производственных ситуаций (ОПС) состоит в том, что потенциальная возможность их возникновения обусловлена наличием объективных предпосылок (природные, горно-геологические, горнотехнические, технико-технологические условия и т.п.), а инициирующим фактором зарождения ОПС является решение или действие работников, как реакция на изменения социально-экономических (преимущественно), горно-геологических, горнотехнических условий функционирования. В этом контексте, без учета потенциальной возможности возникновения опасной производственной ситуации, переходный процесс может стать фактором, инициирующим ее зарождение. Высокая динамика среды функционирования горнодобывающих предприятий обусловила необходимость постоянного осуществления переходных процессов. Учет при проектировании, планировании и осуществлении переходного процесса закономерности возникновения ОПС на горнодобывающем предприятии, в том числе посредством их классификации, позволяет обеспечить приемлемый уровень производственного риска для безопасного ведения горных работ (рисунок 7).

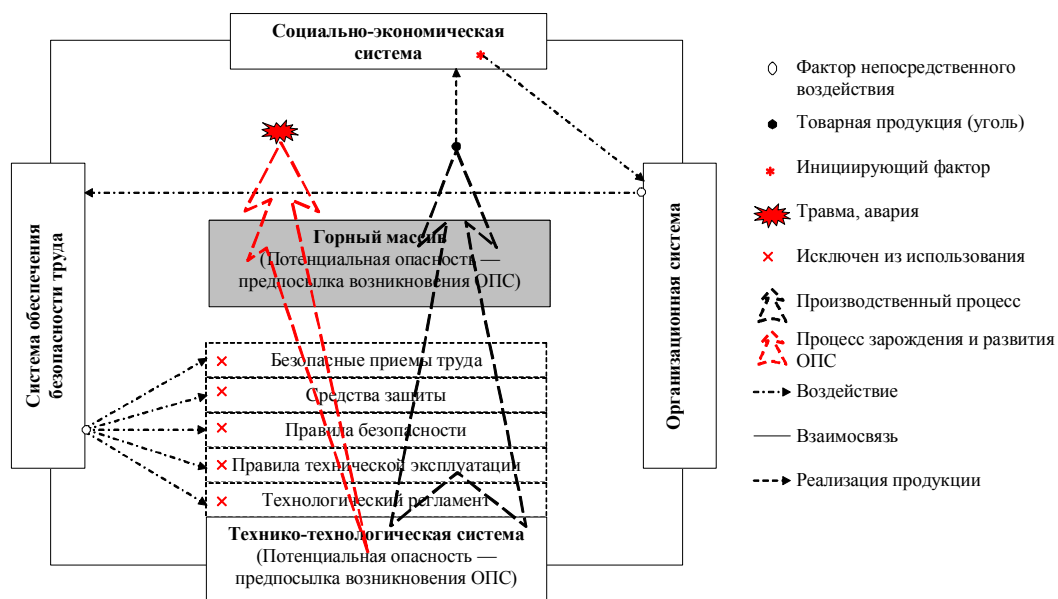


Рисунок 7 – Принципиальная схема зарождения, развития и реализации опасной производственной ситуации как логическая основа классификационных признаков

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

1. Выявлены новые механизмы и критерии самоорганизации крупномасштабных (размерами порядка 100 м) подвижных блоковых структур, определяющих риск возникновения аварийных ситуаций в горных выработках, отличающиеся тем что:

– при пересечении забоем выработки потенциально опасной границы между подвижными блоковыми структурами происходит сравнительно быстрое (в течение 1–2 уходов) ухудшение устойчивости призабойного породного массива, отражаемое скачкообразным увеличением размеров контура выработки в черне, с последующим более постепенным (за 4–6 уходов) их приближением к проектным;

– степень (коэффициент) геодинамической активности, пересекаемой междублоковой границы – характеризует отношение градиента скачкообразного увеличения размеров выработки к градиенту их последующего приближения к проектным (рисунок 8).

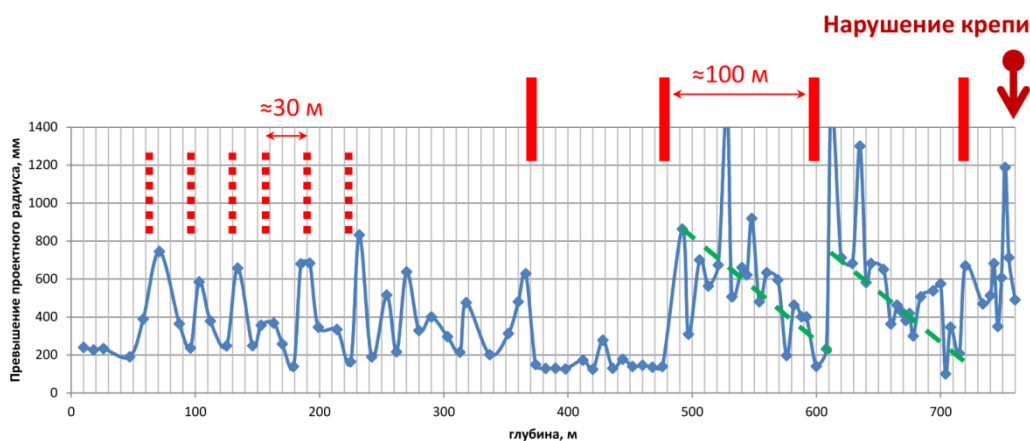


Рисунок 8 – Результаты замеров превышений проектного радиуса шахтного ствола в проходке с выделением границ между 100-метровыми подвижными породными блоками с коэффициентом взаимной активности около 5–6, сформированными из 30-метровых малоподвижных блоковых структур с коэффициентом активности порядка 1. В интервале глубин 560–760 м, с максимальными коэффициентами активности, произошло аварийное разрушение 200 метров бетонной крепи

2. По результатам экспериментальных исследований параметров и закономерностей распределения скоростей и амплитуд пространственных смещений наблюдательных пунктов высокоточных геодезических сетей и постоянно действующих GNSS станций установлен вихревой ротационный характер современных геодинамических движений. На основе полученных результатов создана и зарегистрирована база данных о параметрах современных геодинамических движений Воронежского кристаллического массива, из которой следует, что криповые движения имеют место на внутриплитных асейсмичных территориях, перекрытых мощной толщей осадочных обводненных пород. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании масштабной добычи полезных ископаемых для минимизации риска развития техногенных катастроф при недропользовании (рисунок 9).

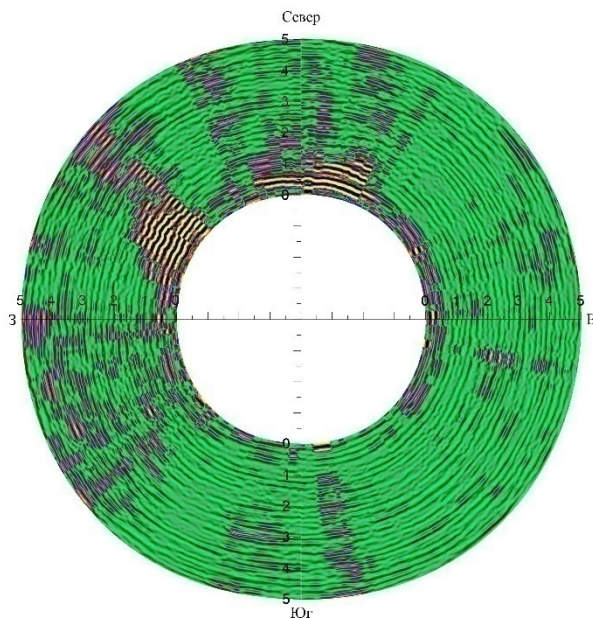
3. Обоснован по этапам и решаемым задачам состав методов комплексных геофизических исследований массива горных пород, основанных на его спектрально-акустических и диэлектрических свойствах, позволяющий выявить разрывные структуры, границы самоорганизованных блоков и зональный процесс разрушения в приконтурной области горных выработок, формирующий риск техно-природных аварий и катастроф на объекте недропользования. Установлено, что риск разрушения объекта недропользования более вероятен на участках приграничных зон самоорганизовавшихся блоков и разрывных структур, проявляющихся нарушенной структурой и повышенной трещиноватостью приконтурного массива горных пород (рисунок 10).



Рисунок 9 – Свидетельство о регистрации базы данных

а)

ш.ДНК П очередь, Вент. ствол, Профиль №20. Отм. +312,332м,
(гл. +75,803м, ярус 17 + 0,2 м). Масштаб 1:100



б)

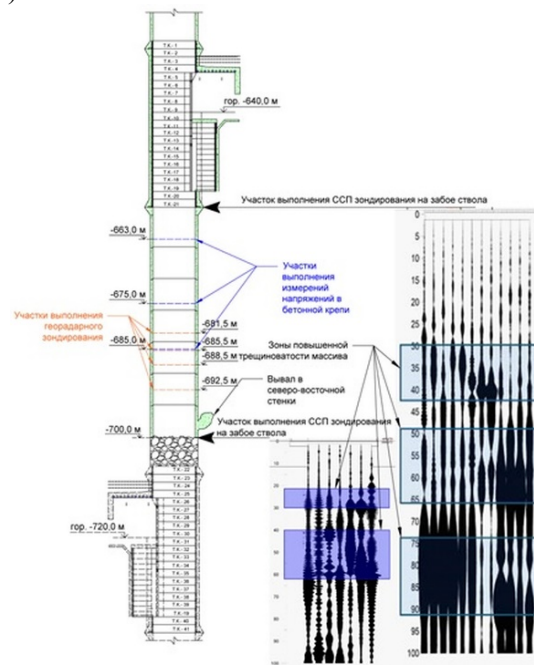


Рисунок 10 – Определение разрывной структуры приконтурной области массива горных пород в стволе ш. ДНК, КС-5, Вентиляционный ствол с использованием комплексирования методов георадарного зондирования и сейсмического сейсмопрофилирования:

а) результат георадарных исследований, б) результат ССП исследований

4. С использованием данных японского спутника ALOS-2 выполнено определение изменений состояния борта карьера вокруг эпицентра внезапного деформационного процесса площадью 40 000 м². Методом когерентного обнаружения изменений отражающей поверхности, произошедших за период между съемками интерферометрической пары 08.2015 и 11.2016 гг., составлена карта изменений поверхности борта карьера. Полученными экспериментальным путем данными установлено, что изменения поверхности борта в результате аварии распространились на площади 140 000 м², что в 3,5 раза превышает размеры эпицентра деформации, определённого при натурном обследовании по крайним видимым трещинам (рисунок 11).

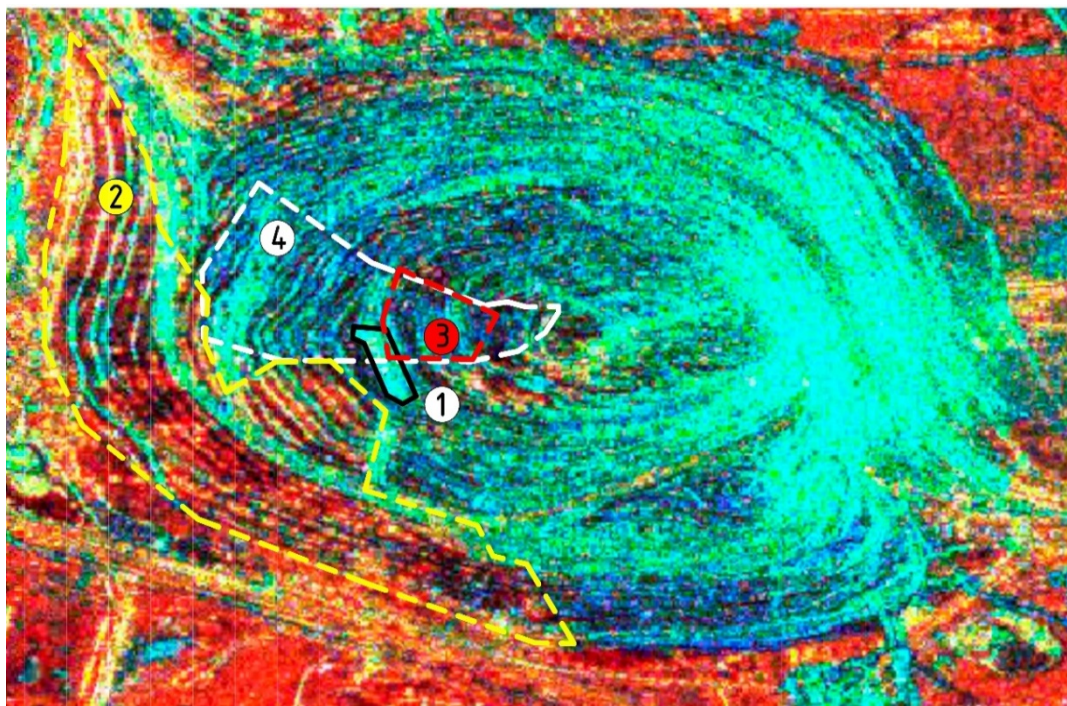


Рисунок 11 – Интерферометрическое когерентное обнаружение изменений поверхности борта карьера после крупной деформации по архивным данным с космических аппаратов за период 2015 – 2016 гг.:

1 – дробильно-конвейерный комплекс на борту карьера; 2 – участок борта над оползем, не претерпел изменений, когерентность 0,7–1; 3 – деформация борта по крайним видимым трещинам (эпицентр), когерентность 0,1–0,3; 4 – область изменений поверхности борта по данным радарной интерферометрии с когерентностью 0,3–0,5

5. На основе обобщения результатов длительного геодеформационного мониторинга природных напряжений на рудниках Урала и анализа измерений напряжений за 55 лет в основных горнодобывающих регионах России и мира предложена новая современная структурная модель поля естественных напряжений, учитывающая неоднородность распределения параметров в пространстве и изменения во времени. Установлено, что изменения относительных деформаций массива горных пород на структурных нарушениях в отдельных циклах достигает величины $\epsilon = (2 \div 4) \cdot 10^{-4}$, что приводит к изменению напряженного состояния массива горных пород σ на 20÷40 МПа и более. Проведена модельная оценка риска проявления горного удара при различном взаимном расположении горной выработки с активным структурным нарушением (рисунок 12).

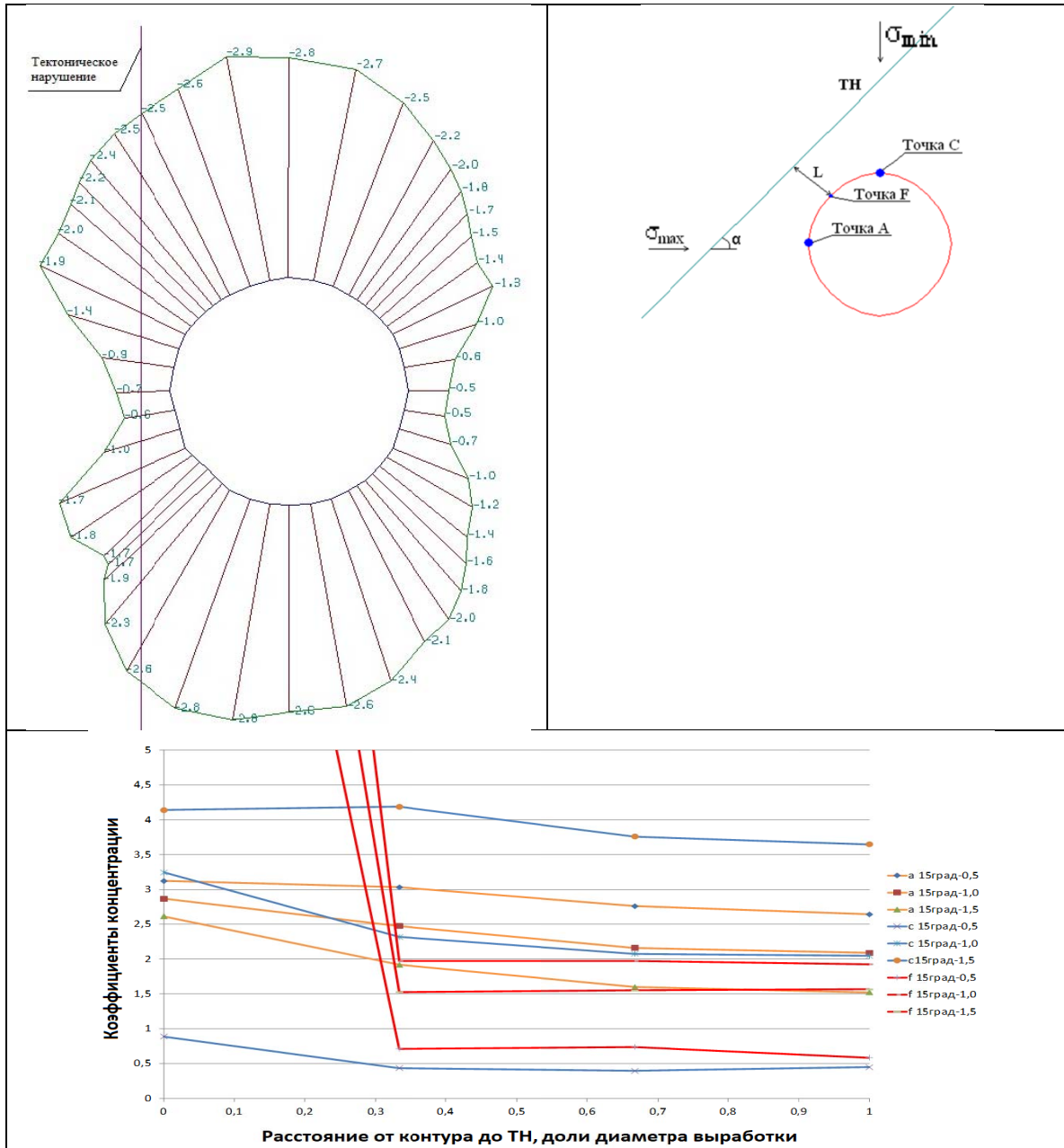


Рисунок 12 – Модельные оценки риска горного удара при различном взаимном расположении горной выработки с активным структурным нарушением

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

1. Предложена методика оценки совокупного техногенного воздействия горных работ на геосреду, основанная на выделении областей (зон) по типам «техногенного поражения» георесурсов и геосистем, трансформирующихся в пространстве и времени. При этом формирование системы индикаторов оценки состояния горнопромышленных территорий как природно-технологических систем на разных этапах их жизненного цикла предлагается основывать на идеологии моделирования переходных процессов, параметры которых контролируются по данным геоинформационного мониторинга (рисунок 13).

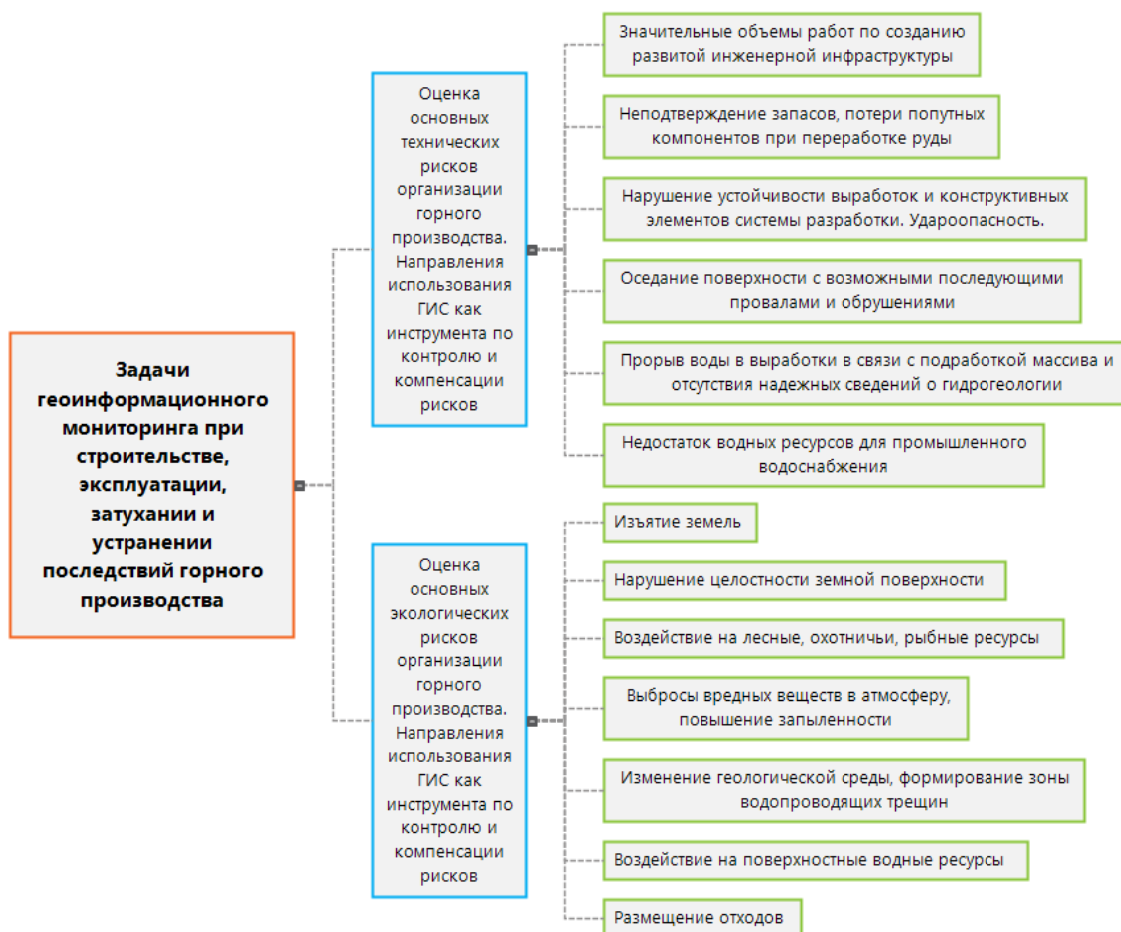


Рисунок 13 – Задачи геоинформационного мониторинга при оценке рисков организации горного производства

2. На основании впервые выполненных высокоточных полевых измерений параметров, определяющих окислительно-восстановительные условия поверхностных и подземных вод района Левихинского рудника, а также установления форм миграции загрязняющих компонентов, раскрыт механизм формирования химического состава кислых шахтных вод, трансформации после выхода на поверхность и методов их последующей нейтрализации. Для оперативного анализа изменения гидрохимической и гидрологической обстановки, оценки накопленного вреда окружающей среде и обоснования природоохранных мероприятий разработана структура ГИС локального уровня (рисунок 14).

3. Установлено, что прогноз безопасного антропогенного воздействия на окружающую среду при комплексном освоении недр Земли достигается за счет организации геоинформационного мониторинга, который реализуется с использованием разномасштабных методов контроля (рисунок 15): идентификации и визуализации современных геодинамических движений (глобальный масштаб (а)), дистанционного зондирования Земли при создании и корректировке цифровых моделей рельефа и загрязнений (региональный масштаб (б)), изучения закономерностей изменения физико-механических свойств горных пород при создании прогнозных геомеханических моделей отработки месторождений на основе генетических алгоритмов (локальный масштаб (в)).

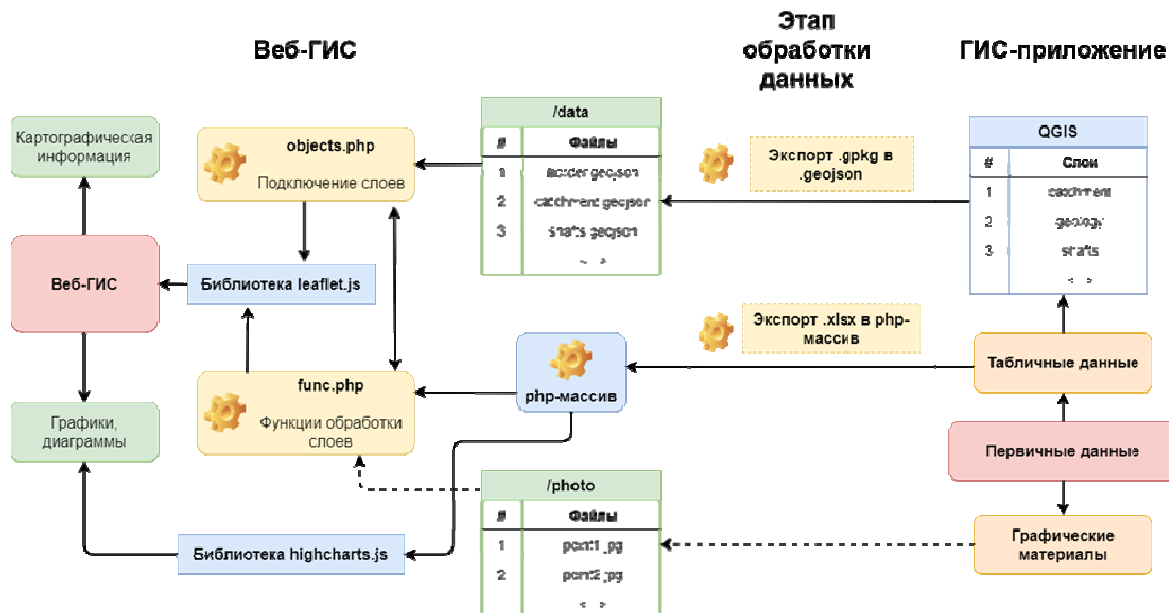


Рисунок 14 – Структура объектной ГИС Левихинского медноколчеданного месторождения и принципиальный алгоритм работы с исходными данными

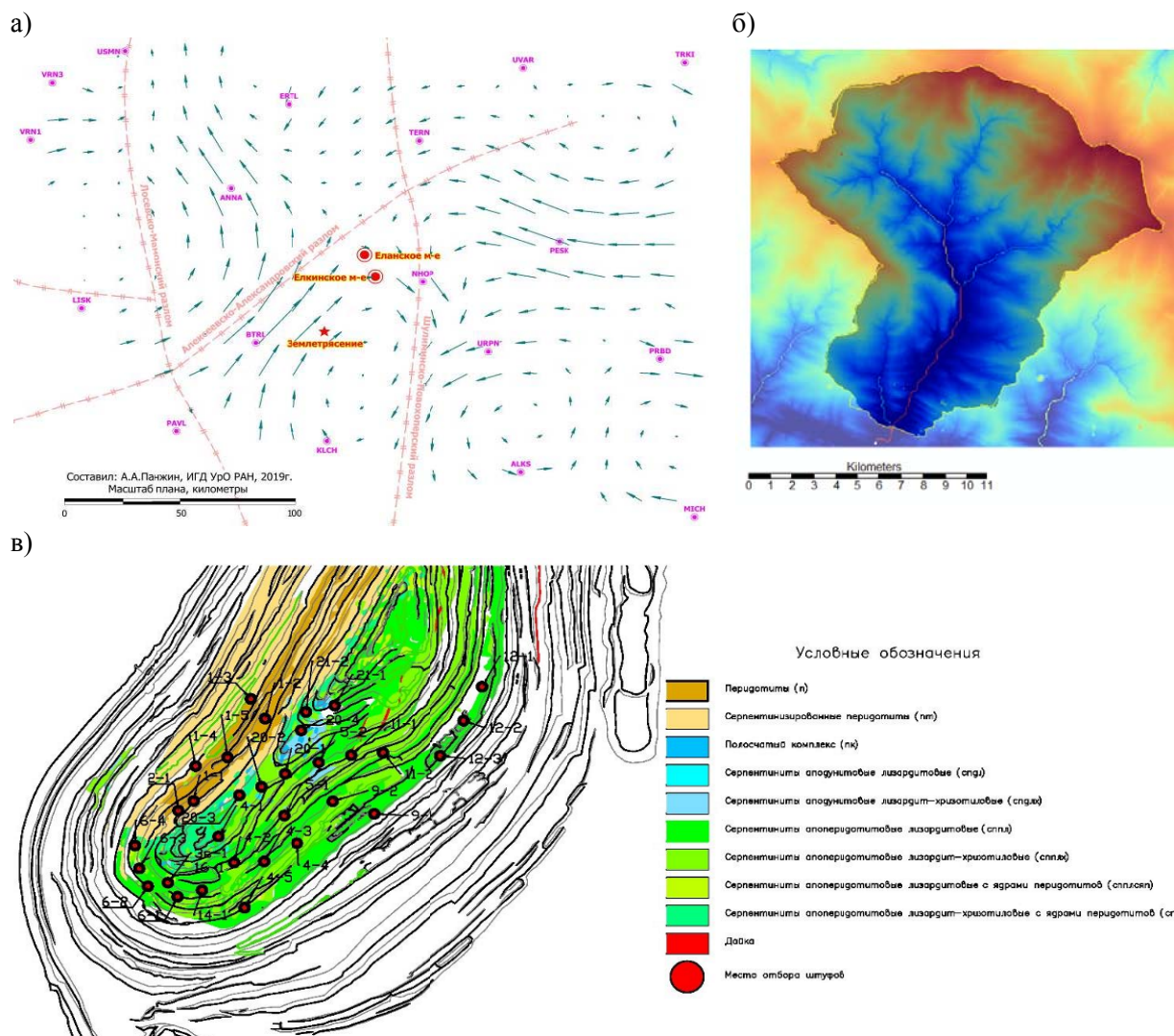


Рисунок 15 – Разномасштабные методы геоинформационного мониторинга

4. При прогнозировании мест возможных сейсмических событий и обоснования профилактических мер по обеспечению безопасности населения, промышленных объектов и др. предложена методика геоинформационного моделирования и выделения активных геологических структур, консолидированных геоблоков, а также областей сжатия и депрессии. Для идентификации современных геодинамических движений по результатам цикловых геодезических измерений предложено использовать характеристики векторного поля: дивергенцию и ротор. Дивергенция позволяет дифференцировать области массива по параметру источников и стоков векторного потока: сходящийся векторный поток формирует области преимущественного объемного сжатия, расходящийся – области депрессии. Ротор определяет величину и направление вращательных движений геоблоков (рисунок 16).

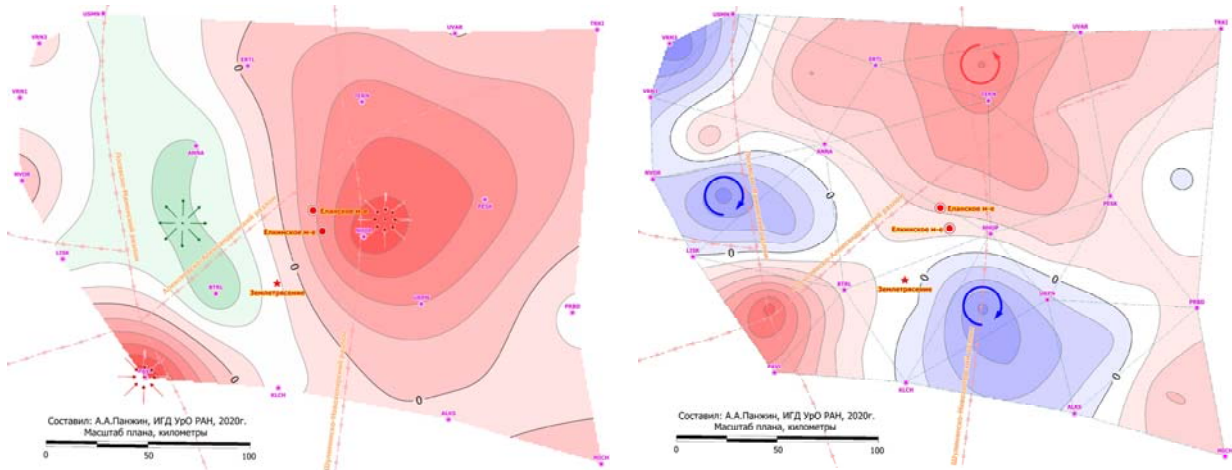


Рисунок 16 – Дивергенция (слева) и ротор (справа) векторного поля исследуемой территории

5. Создана геоинформационная векторная модель перемещения точек земной поверхности двух взаимодействующих блоков горных пород, а также возникающей при этом горизонтальной площадной деформации ϵ . Деформация отображает разнонаправленные линейные и угловые трансформации форм земной поверхности, происходящие в зоне межблочного контакта (рисунок 17).

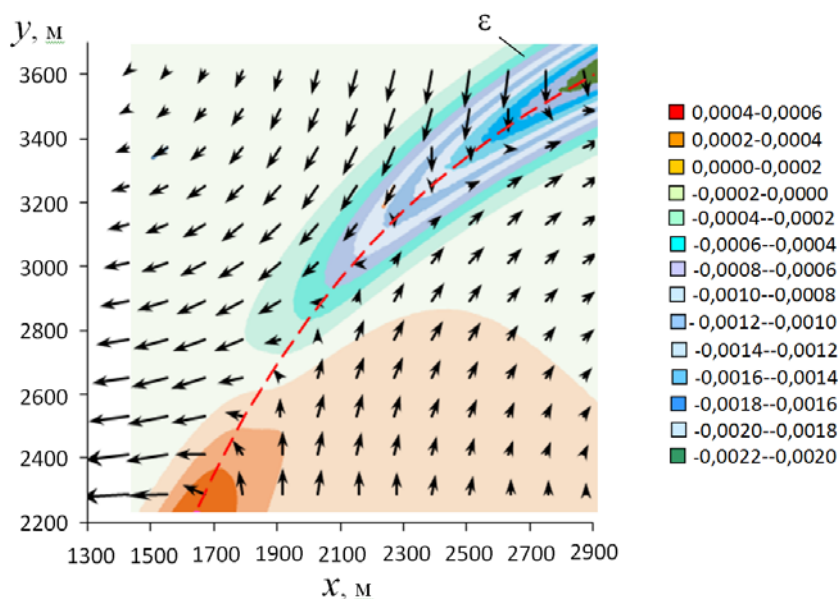


Рисунок 17 – План векторных перемещений точек земной поверхности и контуров площадной деформации, образующейся вдоль линии межблочного контакта (пунктир)

6. Разработан метод оценки прочностных и деформационных характеристик пород массивов, основанный на обработке данных и создании прогнозных математических моделей с помощью метода программирования экспрессии генов (GEP метод). Повышение коэффициента детерминации, а, следовательно, адекватности прогнозных моделей, достигается путем увеличения количества входных данных. Сравнительный анализ спрогнозированных результатов по полученным моделям с результатами лабораторных испытаний подтверждает возможность использования метода программирования экспрессии генов в моделировании зависимостей физико-механических свойств горных пород, а полученные эмпирические формулы дают возможность косвенной оценки их прочностных и деформационных характеристик (рисунок 18).

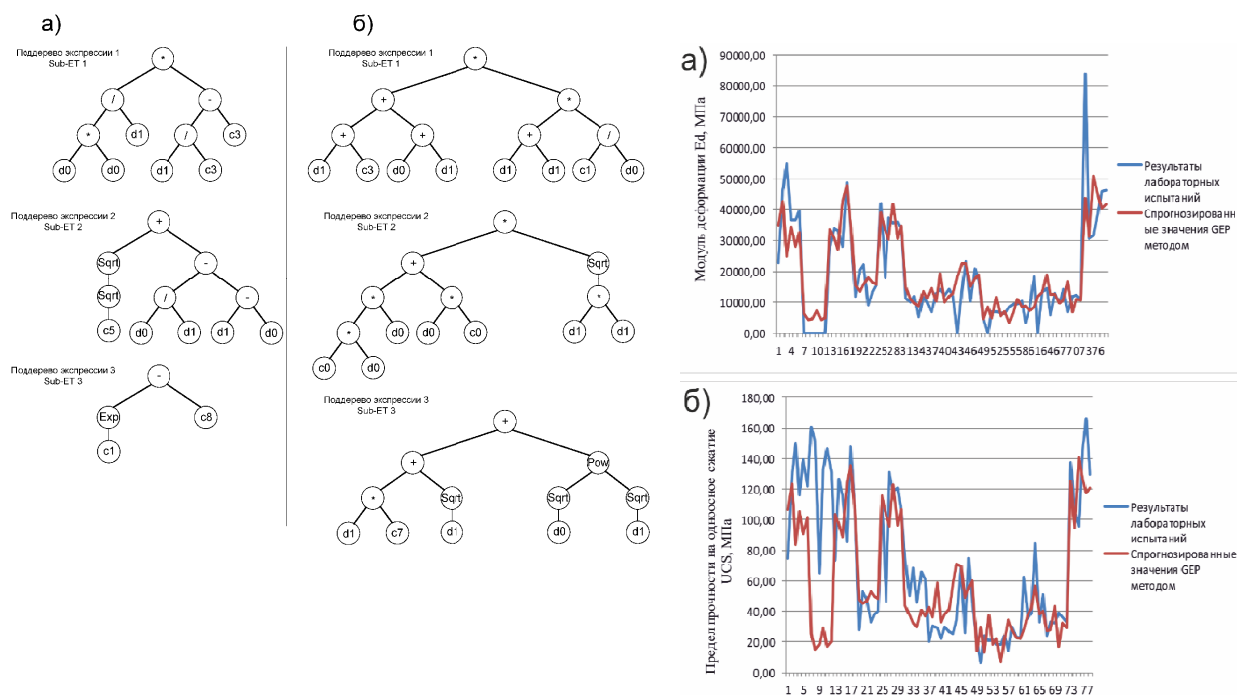
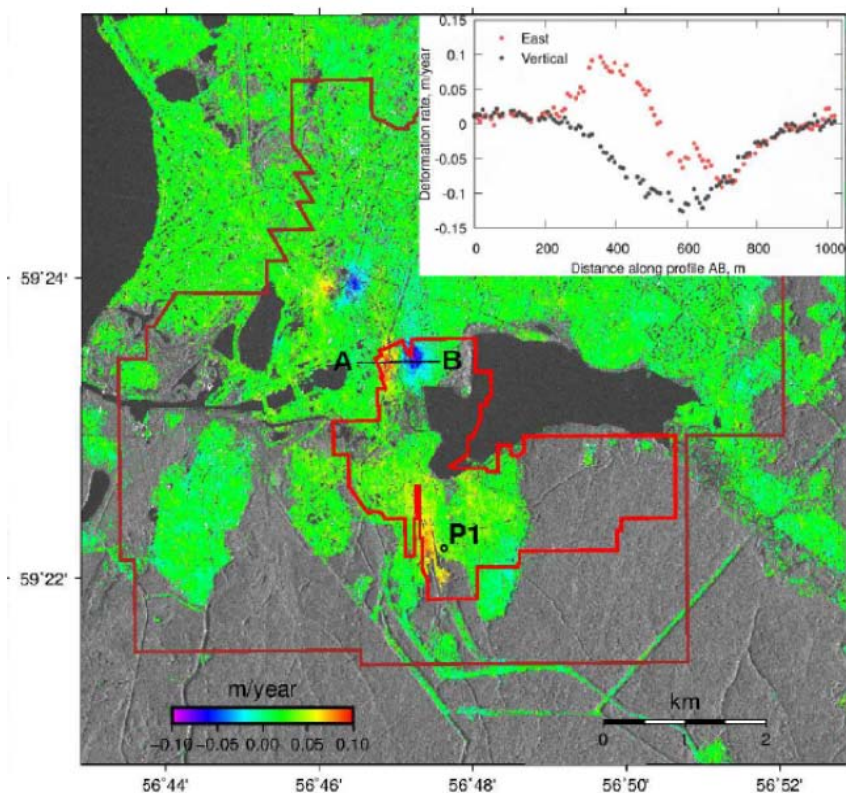


Рисунок 18 – Поддеревья экспрессии генов для различных моделей (слева), прогнозные и измеренные значения (справа)

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

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

- С использованием DInSAR измерений восходящего и нисходящего треков канадского спутника RADARSAT-2, обработанных в программном комплексе MSBAS, даны оценки восточной горизонтальной компоненты деформации земной поверхности, обусловленной подземными горными работами (рисунок 1). Сравнение полученных результатов с предельными величинами позволяют непосредственно в мониторинговом режиме отслеживать уровень техногенной опасности разрушения зданий и объектов инфраструктуры на подработанных территориях.



(b) East, RADARSAT-2, 20111027-20140412

Рисунок 1 – Восточная горизонтальная деформация земной поверхности, рассчитанная на основе восходящих и нисходящих данных SAR спутника RADARSAT-2

Samsonov S.¹, Baryakh A.² Estimation of Deformation Intensity above a Flooded Potash Mine Near Berezniki (Perm Krai, Russia) with SAR Interferometry/ Remote Sens. 2020, 12(19), 3215; <https://doi.org/10.3390/rs12193215> (Scopus Q1, WoS Q2)

¹Канадский центр картографии и наблюдения Земли Министерства природных ресурсов Канады;

²Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрОРАН.

- На основании закономерностей распространения отраженных головных волн при скважинных сейсмических исследованиях резко дифференцированных слоистых сред, разработано программно-алгоритмическое обеспечение построения глубинных сейсмических разрезов межскважинного пространства. Данное обеспечение включает специальный граф цифровой обработки для выделения и суммирования головных волн, позволяющий получить сейсмограммы с высоким соотношением сигнал/шум, составляющими информационную базу построения глубинного сейсмического разреза на основе оригинальных миграционных преобразований. Полученные разрезы дополняют результаты томографических расчетов скоростной характеристики межскважинного пространства, выполненных по тому же набору данных (рисунок 2), что позволяет детализировать физические свойства подрабатываемого породного массива.

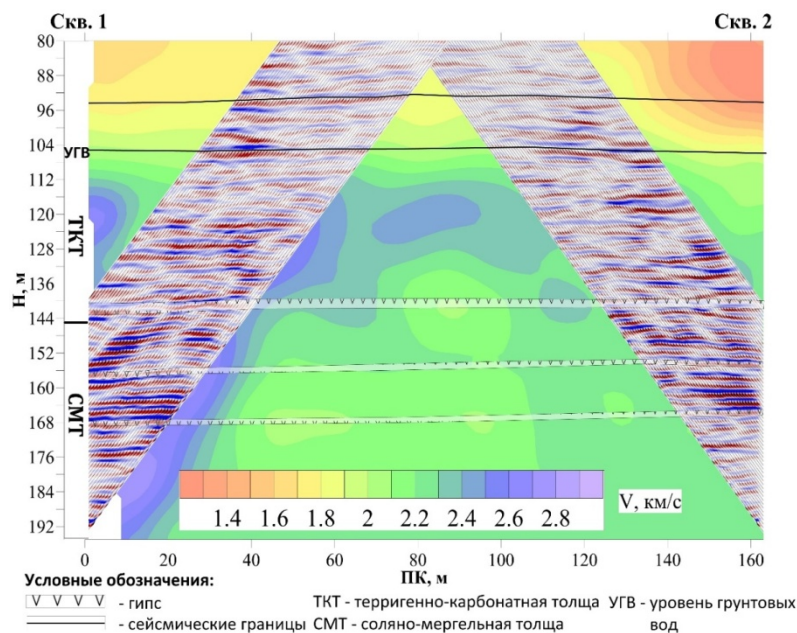


Рисунок 2 – Совмещение результатов межскважинной томографии на проходящих волнах и глубинных сейсмических разрезов по результатам обработки головных волн

Чугаев А.В., Санфиров И.А., Тарантин М.В., Томилов К.Ю. Анализ вторичного поля головных волн при межскважинных сейсмических исследованиях // *Геофизика*. 2020. – №5.

• Разработана методика оценки сейсмической опасности массового обрушения пород на рудниках Жезказганского месторождения. Установлена зависимость, связывающая площадь обрушения горных выработок S_b км² с магнитудой техногенного землетрясения M_s , являющегося следствием данного обрушения (рисунок 3). Полученные результаты могут быть легко адаптированы для оценки сейсмической опасности на различных месторождениях пластового типа, разрабатываемых камерно-столбовой системой.

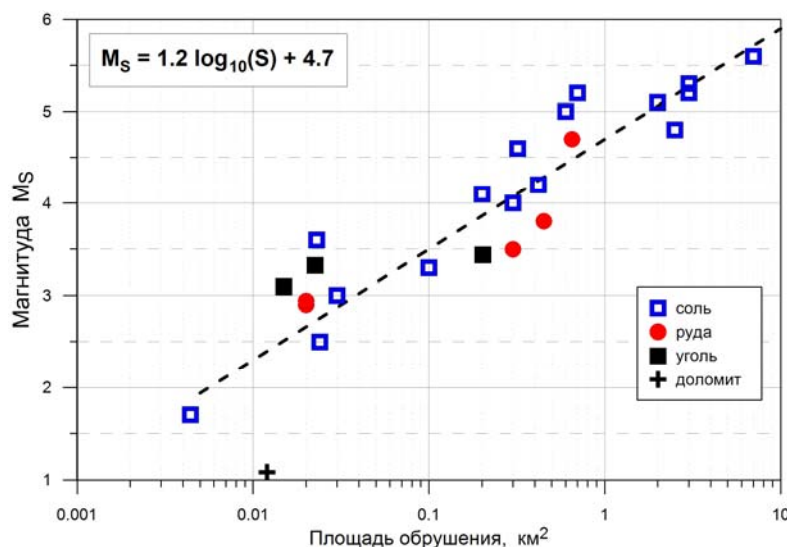


Рисунок 3 – Зависимость магнитуды техногенного землетрясения от площади обрушения в горных выработках

A.S. Muryskin, D.Y. Shulakov and F.G. Verkholtantsev. Prediction of the Seismic Wave Amplitude for the Zhomart Mine Conditions. *Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2020, Sep 2020, Volume 2020, pp./1 – 5.*

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

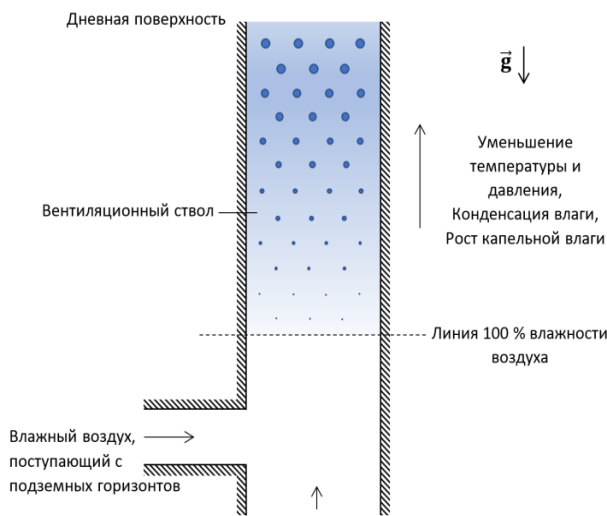


Рисунок 4 – Конденсация влаги из воздуха и накопление капельной влаги в вентиляционном стволе

• Впервые дано теоретическое объяснение известного на практике опасного образования сплошной пелены капельной влаги в вентиляционных стволах глубоких рудников (water-blanketing эффект, см. рисунок 4), которое возникает в определенном диапазоне скоростей воздуха и приводит к увеличению нагрузки на вентиляторные установки и их переходу в неустойчивый аварийный режим работы. Показано, что данный эффект возникает как за счет конденсации влаги из воздуха при адиабатическом расширении, так и за счет притоков грунтовых вод через трещины в крепи ствола. Найденные теоретические значения критических скоростей воздуха совпали с результатами экспериментальных исследований. Учет этих факторов позволит предотвращать накопление капельной влаги в вентиляционных стволах на практике и существенно снизить риски крупных аварий в глубоких рудниках.

Semin M., Zaitsev A. On a possible mechanism for the water build-up formation in mine ventilation shafts // Thermal Science and Engineering Progress. – 2020. – art. no. 100760. (ScopusQ1)

• Впервые по результатам шахтных экспериментальных исследований дана количественная оценка газоносности по свободным газам и газодинамическим характеристикам пород новогорского калийного горизонта, вовлекаемого в отработку на Старобинском месторождении калийных солей (рисунок 5). Установлены закономерности изменения газоносности по геологическому разрезу, что позволило установить наиболее газоносные и опасные по газодинамическим явлениям слои пород калийного горизонта. Разработаны и внедрены рекомендации по рациональному расположению подготовительных выработок в породах горизонта и профилактической дегазации пород кровли горных выработок.

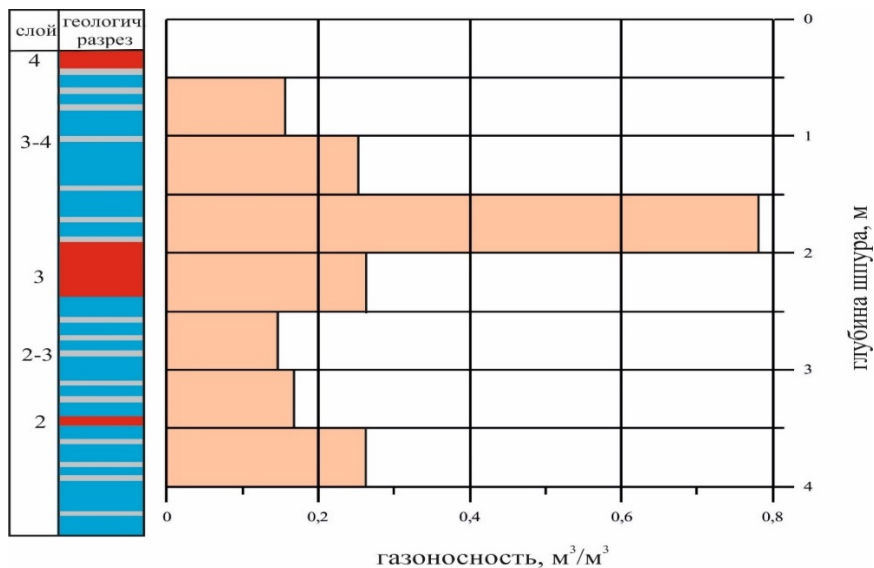


Рисунок 5 – Пример изменения газоносности пород по геологическому разрезу IV калийного горизонта

• Разработан новый критерий прочности горных пород для условий истинного трехосного напряженного состояния, учитывающего влияние трех главных напряжений:

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1 + A} = B + C\sigma_2 + \sigma_3, \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения; A, B, C – эмпирические параметры критерия прочности.

Параметры критерия находятся по результатам определения пределов прочности на одноосное растяжение, одноосное сжатие и двухосное равнокомпонентное сжатие (рисунок 6).

Определены зависимости изменения предела прочности сильвинита от величины промежуточного и минимального главных напряжений (рисунок 7).

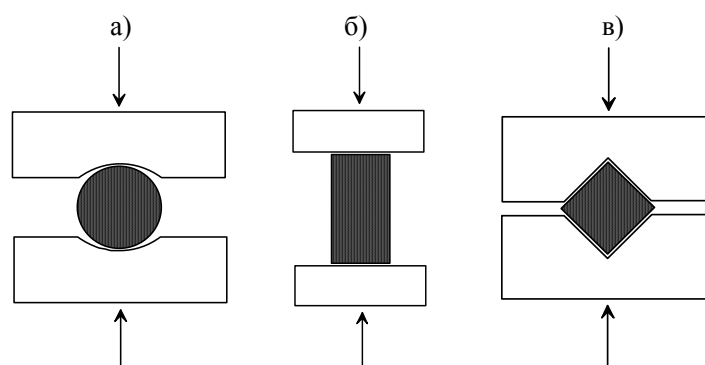


Рисунок 6 – Схемы испытаний при определении прочности горных пород: а – одноосное растяжение; б – одноосное сжатие; в – двухосное равнокомпонентное сжатие

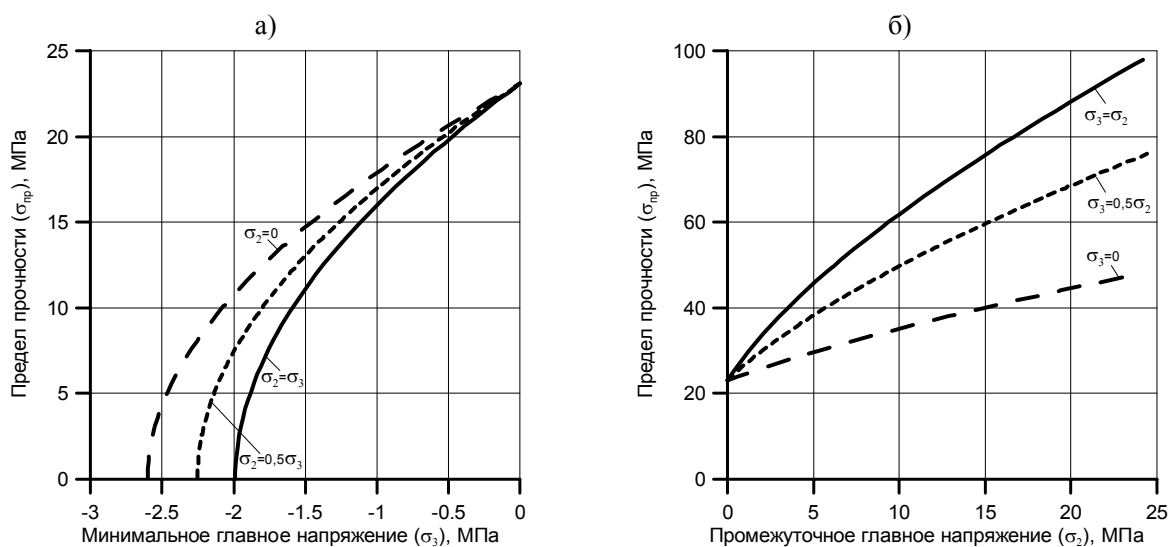


Рисунок 7 – Зависимости изменения предела прочности сильвинита от минимального и промежуточного главных напряжений в зонах растяжения (а) и сжатия(б)

Паньков И.Л. О результатах разработки критерия прочности для условий истинного трехосного напряженного состояния горных пород / Горное эхо, 2020, №1 (78), стр.46-50, DOI: 10.7242/echo.2020.1.10

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

• На основании изучения зоогенных отложений пещер комплексного природного резервата выделены 3 временных периода (микулинскоемежледниковье (MIS 5e), брянский интерстадиал (MIS 3), суббореальный период голоцена (MIS 1)). Установлен видовой состав млекопитающих (зоогенные отложения пещеры Махневская ледяная), обитающих на исследуемой территории в период Микулинскогомежледниковья. В составе ископаемой фауны присутствует группа типичных межледниковых видов млекопитающих, в том числе: белобрюхая белозубка, малайский дикобраз, лесная соя, желтогорлая мышь, малый пещерный медведь, пещерный лев, носорог Мерка, благородный олень, степной бизон (см. рисунок 8).

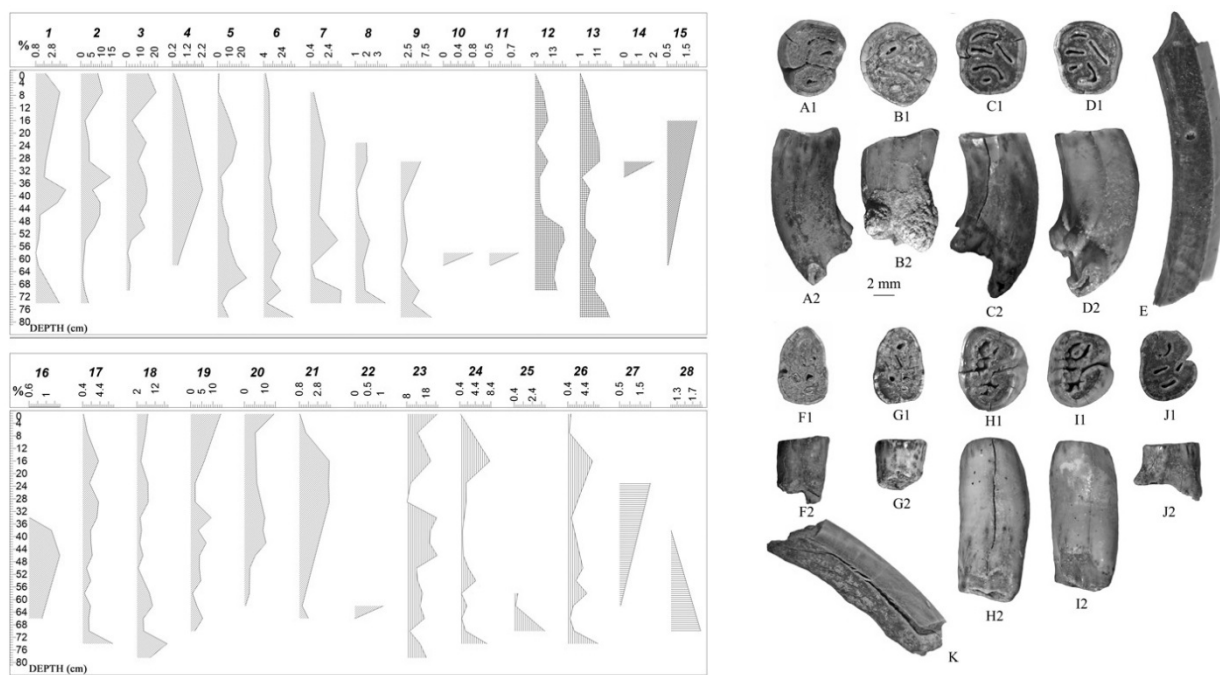


Рисунок 8 – Видовой состав и соотношение (%) ископаемых остатков насекомоядных млекопитающих, грызунов, летучих мышей и зайцеобразных.

Махневская Ледяная пещера, сектор А.

1 – *Myodesglareolus*, 2 – *Craseomysrufocanus*, 3 – *Myopusschisticolor*, 4 – *Sicistabetulina*, 5 – *Myodesrutilus*, 6 – *Microtusagrestis*, 7 – *Hystrixbrachyura*, 8 – *Apodemussylvaticus* + *A. uralensis*, 9 – *Apodemusflavicollis*, 10 – *Dryomysnitedula*, 11 – *Sciurusvulgaris*, 12 – *Alexandromysoeconomus*, 13 – *Arvicolaamphibius*, 14 – *Lasiopodomysgregalis*, 15 – *Dicrostonyxsp.*, 16 – *Erinaceussp.*, 17 – *Talpasp.*, 18 – *Sorexaraneus*, 19 – *Sorexisonodon*, 20 – *Sorexcaecutiens*, 21 – *Sorexminutus*, 22 – *Sorexminutissimus*, 23 – *Eptesicusnilssonii*, 24 – *Plecotusauritus*, 25 – *Myotisdasycneme*, 26 – *Myotissp.*, 27 – *Lepussp.*, 28 – *Ochotonasp.*

Зубы малайского дикобраза (А-К) из отложений Махневской ледяной пещеры.

Fadeeva, T.¹, Kosintsev, P.², Lapteva, E.², Kisagulov, A.², Kadebskaya, O.¹, 2020. *MakhnevskayaLedyanaya Cave (Middle Urals, Russia): Biostratigraphical Reconstruction. Quaternary International, V. 546. Pp. 135-151. (ScopusQ1)*

¹Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрОРАН.

²ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

• Дополнена зональность распределения эпигенетических минералов Л.В. Мигунова в надсолевой толще Верхнекамского месторождения солей новыми фазами, которая имеет следующий вид: гидроксиды железа и марганца – кальцит – барит – сульфиды (пирит, сфалерит и др.) – минералы кремнезема (кристобалит, могоанит, кварц) – целестин – гипс – галит – ангидрит. Уста-

новлено, что выявленная последовательность определяется не столько сменой гидрохимических фаций вниз по разрезу, сколько взаимодействием подземных вод с вмещающим породами, которые формировались на фоне смены эвапоритовых отложений морскими, а затем континентальными (рисунок 9).

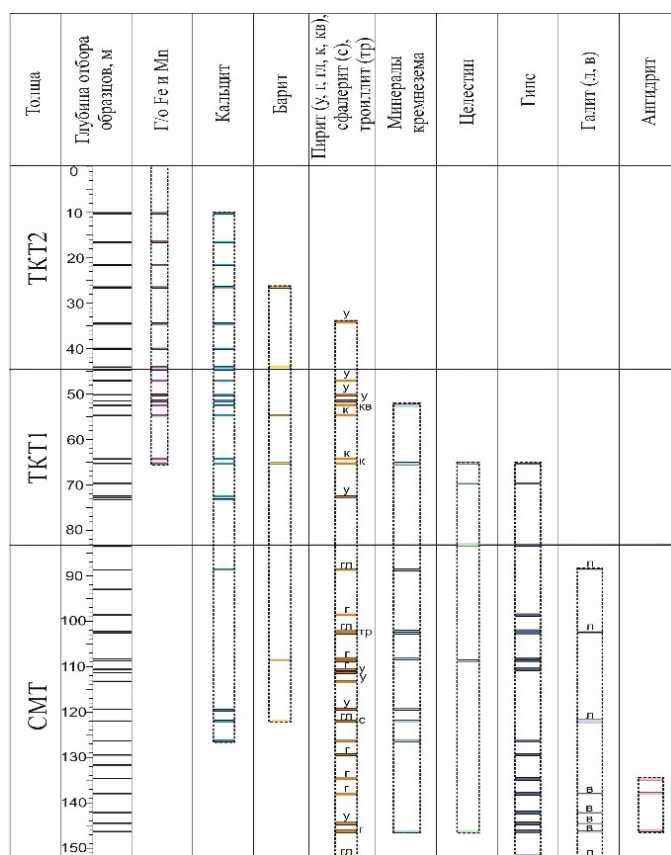


Рисунок 9 – Зональность распределения аутигенных минералов в надосевом разрезе Верхнекамского месторождения по скв. 1119

Буквами показана форма проявления отдельных минералов: пирита (у – по углисту детриту, г – по гипсу, гл – по галиту, к, кв – в прожилках кальцита (к) и кварца (кв); галита (л – отпечатки «лодочек», в – высолы из породы), СМТ– соляно-мергельная толща, ТКТ(1,2) нижняя (1) и верхняя (2) часть терригенно-карбонатной толщи

Чайковский И.И., Бубнова М.В., Чиркова Е.П. Минералогия уфимских отложений Соликамской впадины // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2020. – Вып. 23. с. 50-62 с.

• Установлено, что изотопный состав подземных вод, разгружающихся в виде источников в Соликамской впадине, реагирует на изменение состава осадков в осенний и зимний периоды с задержкой в один-три месяца (на рис. 10а выделено синим прямоугольником). Воды пресные, преимущественно $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ состава с минерализацией 213–431 мг/дм³, $\delta^{18}\text{O}$ (–14,2‰:–16,3‰), $\delta^2\text{H}$ (–107,3‰: –119,4‰). Для подземных вод характерно обеднение тяжелыми изотопами в весенний период и обогащение – в летний, что указывает на метеогенное влияние на их состав. Показано, что формирование и питание подземных вод, приуроченных к нижнепермским отложениям Соликамской впадины и прилегающей территории, происходит не только за счет атмосферных осадков, но и за счет перетекания сульфатных и карбонатных вод из нижележащих горизонтов по зонам повышенной трещиноватости, что проявляется в повышении минерализации вод источников разных гидрогеологических подразделений (рисунок 10б).

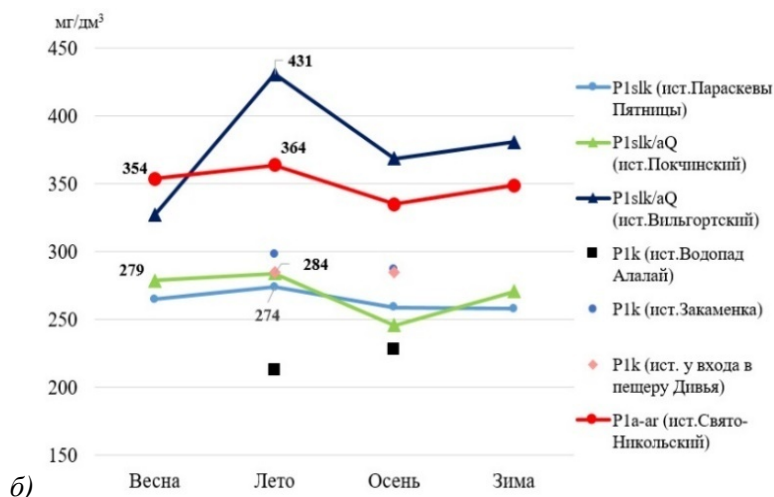
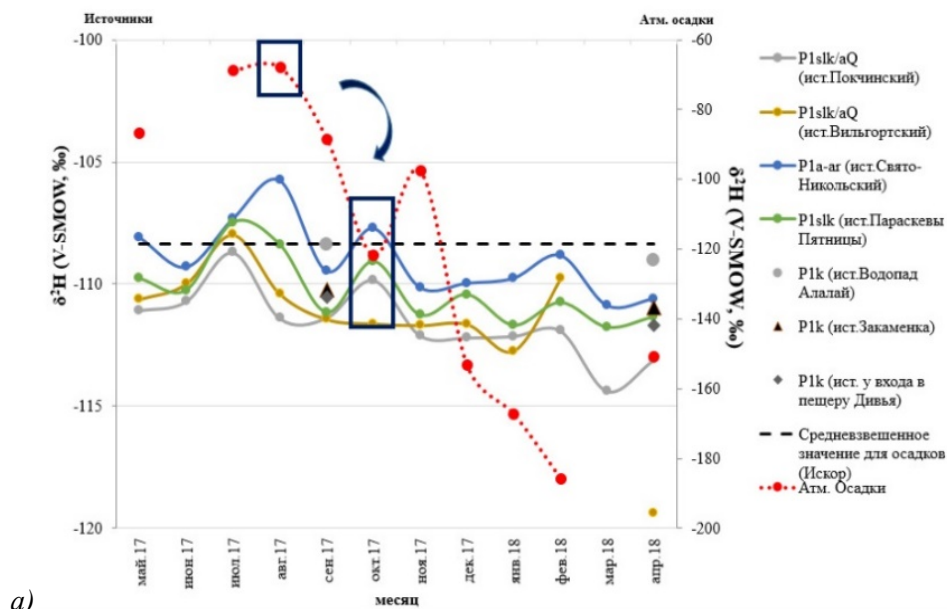


Рисунок 10 – Годовое (а) и сезонное (б) изменение изотопного состава подземных вод

Казанцева А. С. Характеристика подземных вод в нижнепермских отложениях Соликамской впадины // Вестник геонаук. – Сыктывкар, 2020. – №8. – С. 18-27. DOI: 10.19110/geov.2020.8.3

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

Показано, что суточные изменения стока через плотину ГЭС играют существенную роль в формировании гидродинамического режима участка этой плотины и способны приводить к такому опасному явлению, как попадание теплых сточных вод в водозаборный канал, предназначенный для охлаждения систем электростанции. Определено, что при постоянном сбросе воды это явление может происходить только при определенном сочетании направления, скорости и продолжительности ветра. Если ветер направлен против течения реки и продолжительность его воздействия больше суток, то в водном слое глубиной до 6 м возникают трехмерные вихри, приводящие к потоку в направлении, противоположном основному течению реки, и достаточные для попадания теплых сточных вод в водозаборный канал (см. рисунок 11).

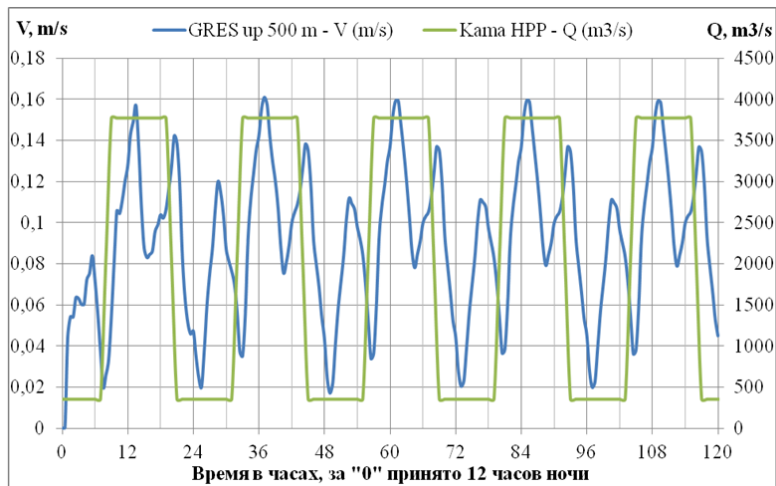


Рисунок 11 – Изменение модуля скорости в районе водозаборного канала Пермской ГРЭС (синяя линия), в сопряжении с гидрографом сброса воды с Камской ГЭС (зеленая линия)

Lyubimova, T., Parshakova, Y., Lepikhin, A., Lyakhin, Y., & Tiunov, A. (2020). The Effect of Unsteady Water Discharge through Dams of Hydroelectric Power Plants on Hydrodynamic Regimes of the Upper Pools of Waterworks. Water, 12(5), 1336 (ScopusQ1).

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).

Разработана компьютерная технология, позволяющая осуществлять приведение гравитационного поля в редукции Буге на горизонтальную плоскость с одновременным выделением его составляющих, обусловленных геологическими объектами с положительной и отрицательной эффективной плотностью (рисунок 12). Используется аппроксимация аномалий силы тяжести полем эквивалентных источников, распределенных на двух уровнях глубин.

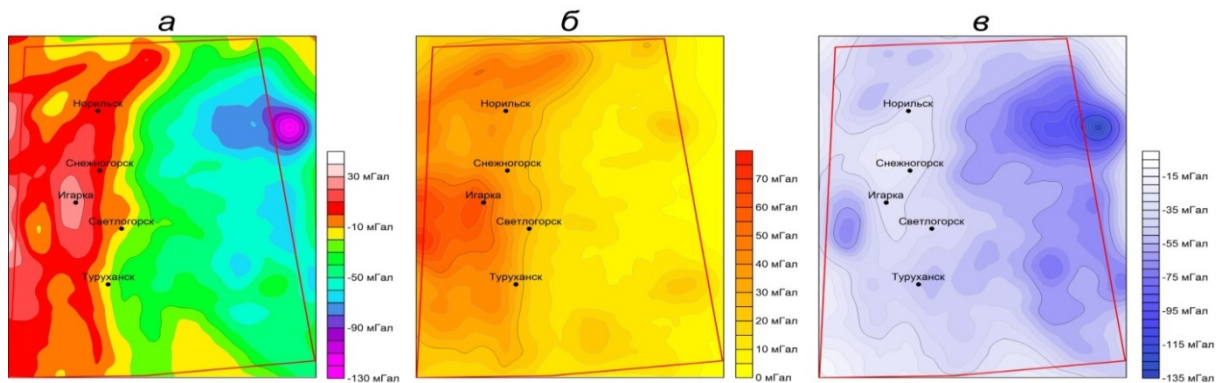


Рисунок 12 – Гравитационное поле на горизонтальной плоскости высотой 10 км: а – суммарное; б – от источников с положительной эффективной плотностью Δg^+ ; в – от источников с отрицательной эффективной плотностью Δg^-

Долгаль А.С. Практические аспекты применения истокообразной аппроксимации геопотенциальных полей // Инженерная и рудная геофизика 2020. Doi 10.3997/2214-4609.202051058.

Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Ворошилов В.А. Совершенствование методики аналитической аппроксимации данных магниторазведки // Геофизика. 2020. №5. С. 29–36.

2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ГоИ КНЦ РАН)

В 2020г. в ГоИ КНЦ РАН выполнялись фундаментальные исследования по 10 темам (в соответствии с государственным заданием, утвержденным Минобрнауки России). Институтом проводятся исследования по следующим приоритетным фундаментальным направлениям горных наук: разработка рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях Арктической зоны РФ; применение современных информационных и цифровых технологий в горном деле; геомеханическое обеспечение безопасности ведения горных работ; комплексная переработка минерального сырья; восстановление техногенно-нарушенных объектов природной среды.

По теме НИР «*Развитие научно-методических основ применения геоинформационных технологий для обоснования инновационных решений по освоению месторождений твердых полезных ископаемых*» (№ 0226-2019-0062) достигнуты следующие научные результаты:

1. Наиболее значимый результат заключается в *разработке цифровой технологии планирования подземных горных работ, основанной на имитационном моделировании технологических процессов добычи и транспортирования горной массы. В основе алгоритма планирования лежит представление технологических процессов как комбинации циклов технологических операций, выбор которых осуществляется в автоматическом режиме с учётом технологических и геомеханических ограничений. Сценарий развития горных работ рассчитывается на основе целевых показателей с оптимизацией использования парка горной техники и персонала, а также минимизацией затрат на выполнение технологических операций.*

Важнейшими критериями оптимизации плана горных работ являются: формирование стабильного рудопотока заданного качества, обеспечение безопасности горных работ, эффективное использование парка горной техники и рабочих бригад, минимизация затрат на выполнение технологических операций. Исходя из этих требований, были разработаны инструменты автоматизированного планирования, обеспечивающие формирование оптимального при заданных критериях сценария развития горных работ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема реализации алгоритмов цифрового планирования подземных горных работ

Результаты планирования представляются в виде динамической модели развития горных работ, показывающей последовательность реализации во времени процессов проходки, закладки и транспортирования ГМ. Кроме анимации инструмент предоставляет возможность формирования табличных и графических отчетов.

2. Разработана технология формирования покрывающей породной подушки (внутреннего отвала) на дне выработанного пространства карьера с применением дистанционно-управляемой техники, позволяющая улучшить показатели извлечения запасов и повысить безопасность комбинированного способа разработки месторождений в условиях Арктического региона.

На примере исследования горно-геологических и горнотехнических условий отработки запасов месторождения Плато Расвумчорр разработаны технические решения, позволяющие повысить показатели извлечения рудной массы и безопасность ведения горных работ, а также обеспечить более комфортные условия при отработке подземных запасов месторождения. Дефицит мощности обрушенных покрывающих пород в выработанном пространстве карьера компенсируется за счет формирования покрывающей породной подушки над рудной залежью в выработанном пространстве карьера с применением дистанционно-управляемой техники. Цифровая модель покрывающей породной подушки в выработанном пространстве карьера представлена на рисунке 2.

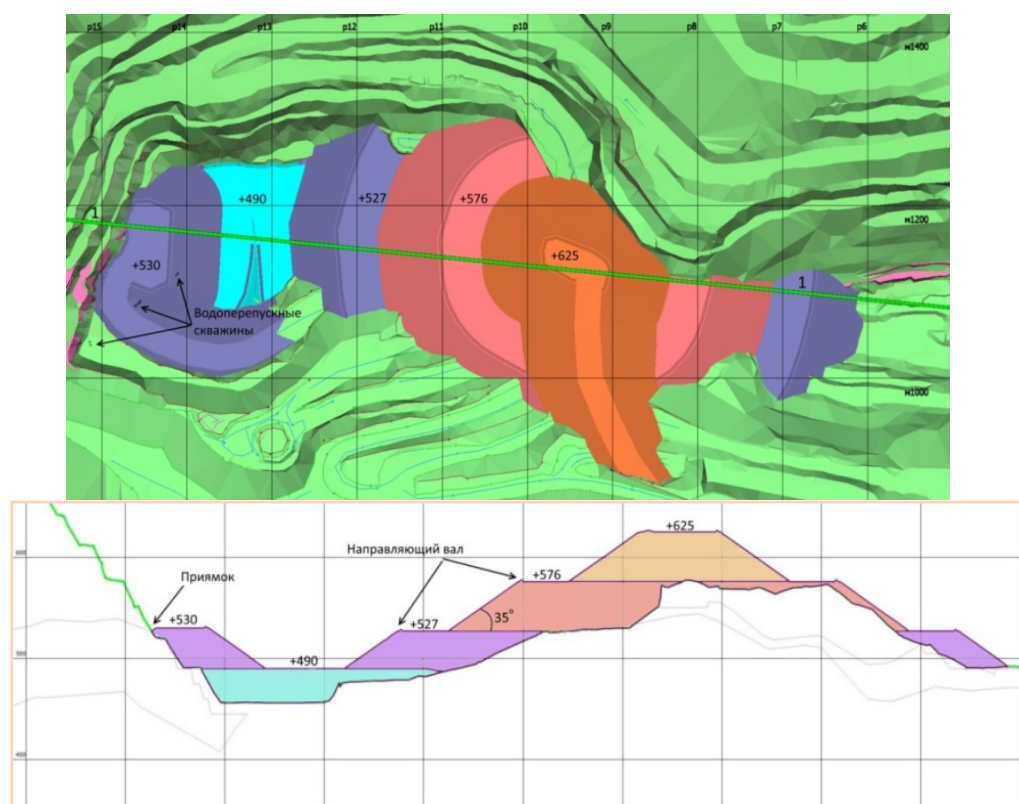


Рисунок 2– Цифровая модель покрывающей породной подушки в выработанном пространстве карьера

Основные результаты фундаментальных исследований, полученные по теме НИР «*Исследование процессов организации и локализации опасных зон в геологической среде при крупномасштабном техногенном воздействии горных работ в Северо-западной части Арктической зоны РФ*»(№ 0226-2019-0058):

1. Наиболее значимый результат заключается в выявлении закономерностей формирования потенциально опасных зон на основе комплекса исследований свойств пород, структурно-геологических, геомеханических и технологических особенностей сложной горнотехнической системы с учетом гравитационно-тектонического поля напряжений. Разработаны основные принципы, порядок и оптимальные параметры безопасной отработки запасов перспективного участка Гакман Хибинского массива с минимизацией взаимного влияния открытых и подземных горных работ.

С использованием базы знаний о Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях разработаны геологические, геомеханические и технологические модели участка Гакман Юкспорского месторождения и определены параметры потенциально опасных зон по факторам устойчивости и проявления горного давления (рисунок 3). Уточнены параметры физико-механических свойств месторождения, что обеспечило адекватность разработанных моделей геологической среды и моделей оценки устойчивости элементов геотехнологии при совместном ведении открытых и подземных горных работ. На основе проведённых исследований предложен оптимальный вариант технологии отработки участка Гакман и ее параметров, обеспечивающих полноту извлечения запасов и безопасность горных работ в долгосрочной перспективе.

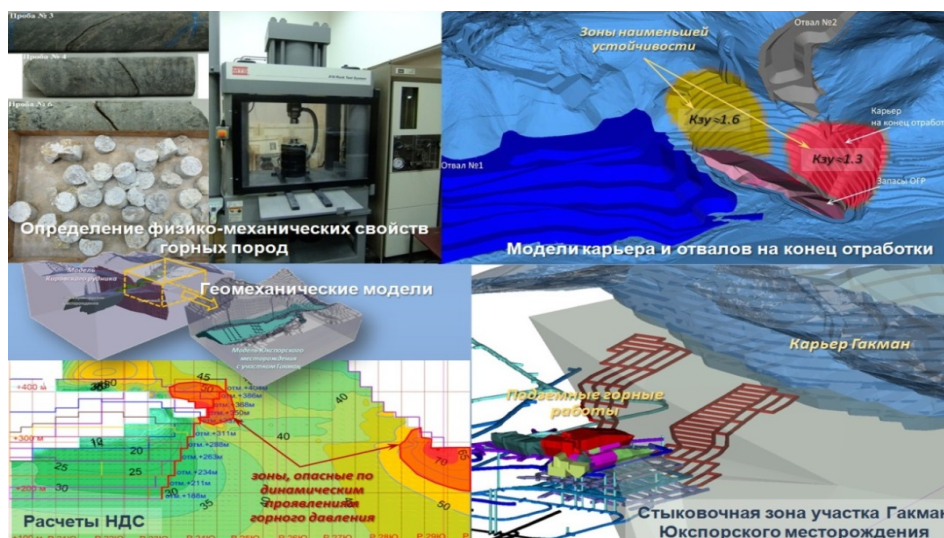


Рисунок 3 – Последовательность проведения исследований с выделением опасных зон и технологией отработки участка Гакман Юкспорского месторождения

Полученный результат по степени проработанности вопросов геомеханического обеспечения находится на уровне мировых стандартов и применим при отработке рудных месторождений со схожими горно-геологическими условиями и гравитационно-тектоническим типом напряженного состояния массива горных пород.

2. Наиболее значимый практический результат заключается в разработке и введении в эксплуатацию системы микросейсмического мониторинга прибортового пространства глубокого Ковдорского карьера, обеспечивающей прогноз опасных динамических явлений в его рабочей зоне за счет контроля зон разрушения массива посредством сейсмодатчиков в глубоких скважинах (рисунок 4).

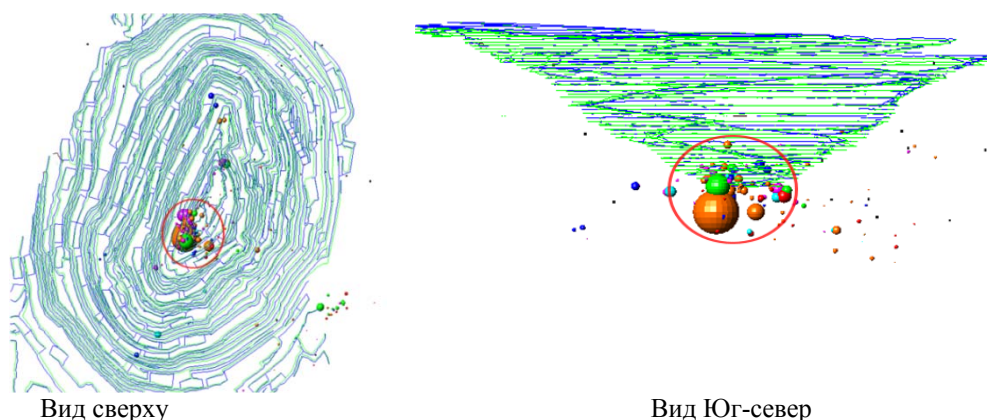
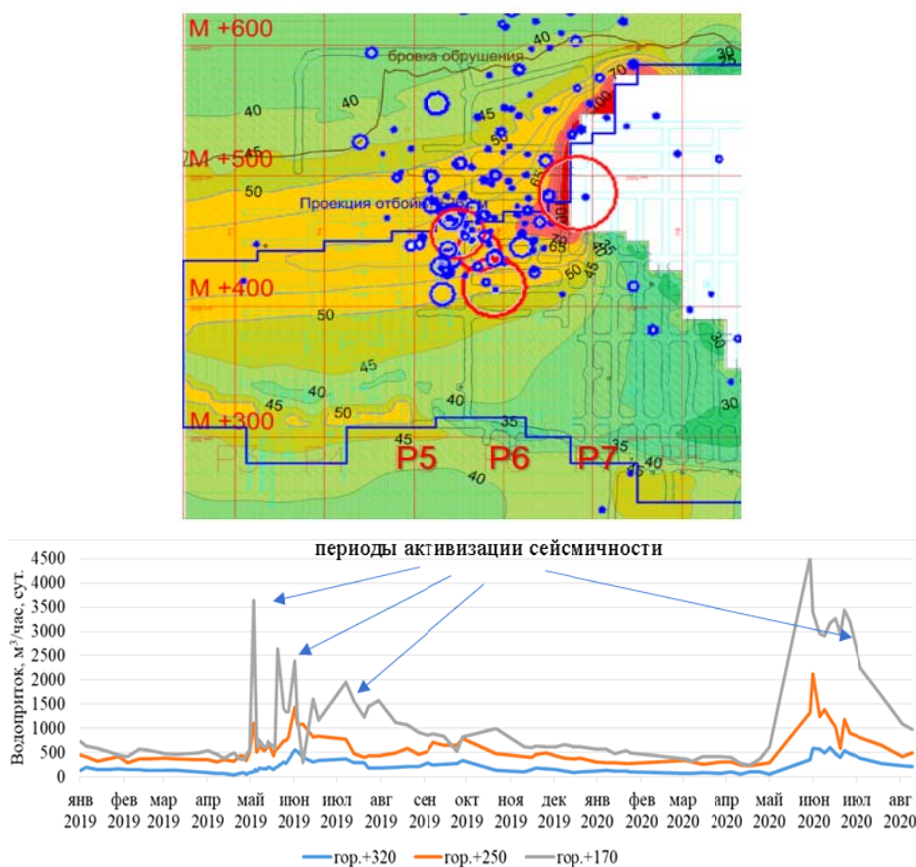


Рисунок 4 – Пространственное распределение естественных сейсмических событий в прибортовом массиве карьера (2020 год)
Сейсмические события обозначены кружками, размер которых определяется линейными размерами очагов сейсмособытий

Система обеспечивает длительный устойчивый непрерывный контроль микроразрушений практически по всему прибортовому массиву карьера и позволяет заблаговременно выявлять процессы формирования поверхностей ослабления, по которым возможен сдвиг крупных породных блоков.

3. Установлены закономерности формирования удароопасных зон в высоконапряженном массиве горных пород с учетом влияния природных и техногенных факторов. Для Кукисвумчоррского месторождения проранжированы триггеры, приводящие к дополнительной активизации сейсмической активности, реализующейся в виде толчков и горных ударов, включающие: формирование вторичных техногенных полей напряжений; динамическое воздействие технологических взрывов; проходку выработок в направлении, перпендикулярном действию максимальных сжимающих напряжений; сезонную обводненность массива горных пород (рисунок 5).



**Рисунок 5 – а) Сейсмические события и НДС массива (март – начало апреля 2020г.)
б) Зависимость активизации сейсмичности от рудничного водопритока**

Значимость полученных результатов заключается в уникальности объекта исследований: отработка месторождения ведется в удароопасных условиях, в которых неизбежно возникает опасность проявления геодинамических явлений различного масштаба от горных ударов до землетрясений. Исследования выполнены на основе комплекса современных методов, соответствующих современной практике контроля и оценки состояния массива горных пород.

4. Установлено влияние геометрии карьера и топоповерхности на результаты оценки коэффициента запаса устойчивости отдельных участков карьера. На основе сравнительных расчетов показано, что при прочих равных условиях коэффициент запаса устойчивости в плоской и объемных постановках может отличаться в 1,2 раза, что для вогнутого в плане участка борта карьера позволяет обосновать формирование борта с более крутым углом наклона.

Значимость полученного результата для горной науки состоит в дальнейшей проработке вопроса перехода от плоских схем оценки устойчивости бортов карьеров к объёмным, что стало возможным благодаря использованию новейших достижений геоинформатики при формирова-

нии 3D-моделей месторождений полезных ископаемых с учётом наполнения их элементами геотехнологий (открытые, подземные горные выработки, отвалы и др.), учета сложного рельефа поверхности, наличия на территории месторождения водных объектов, различия физико-механических свойств руд и вмещающих пород. При этом особенность разработки состоит в том, что формируемые 3D-модели месторождений с элементами геотехнологий комбинируются с применяемыми в настоящее время специализированными программными комплексами расчёта устойчивости откосов. Полученный результат соответствует общемировым трендам развития способов оценки устойчивости бортов карьеров, состоящей в переходе от плоских расчётных схем к объёмным.

5. На примере ряда месторождений Хибинской апатитовой дуги установлен диапазон критических размеров блоков-целиков и вид зависимости уровня максимальных сжимающих напряжений от расстояния между фронтами подземных и открытых горных работ в условиях гравитационно-тектонического поля напряжений. Результат получен на основе трехмерного моделирования напряжённо-деформированного состояния с учетом геологических, геомеханических и горнотехнических факторов.

Научная значимость полученных результатов заключается в подтверждении типа зависимости среднего уровня напряжений от расстояния между фронтом подземных горных работ и бортом карьера (полином второй степени) для месторождений с гравитационно-тектоническим типом НДС. Новизна результата обеспечена генерацией уточненной конечно-элементной геомеханической модели с учетом данных специальных лабораторных, натурных и численных исследований участка ГакманЮкспорского месторождения (рисунок 6).

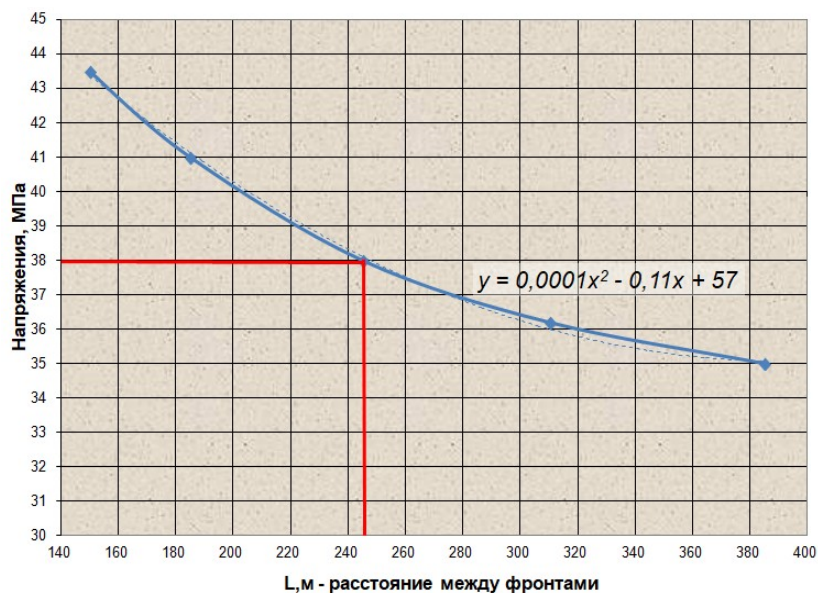


Рисунок 6 – Зависимость максимальных главных напряжений от расстояния между очистными фронтами (синяя кривая). Красной линией показан 10% уровень увеличения напряжений по сравнению с исходным и соответствующий ему размер блока-целика

Основное достижение по теме НИР «Комплексная геомеханическая оценка удароопасных месторождений Северо-запада Арктической зоны РФ» (№ 0186-2019-0010):

По результатам испытаний 34 разновидностей скальных горных пород месторождений Кольского полуострова установлено пороговое значение критической удельной энергии деформирования для разделения пород по характеру разрушений. В условиях одноосного сжатия при значениях критической удельной энергии до 50 КДж/м³ преобладает статическое разрушение. При больших величинах удельной энергии для пород характерны динамические разрушения, интенсивность которых возрастает с её увеличением (рисунок 7).

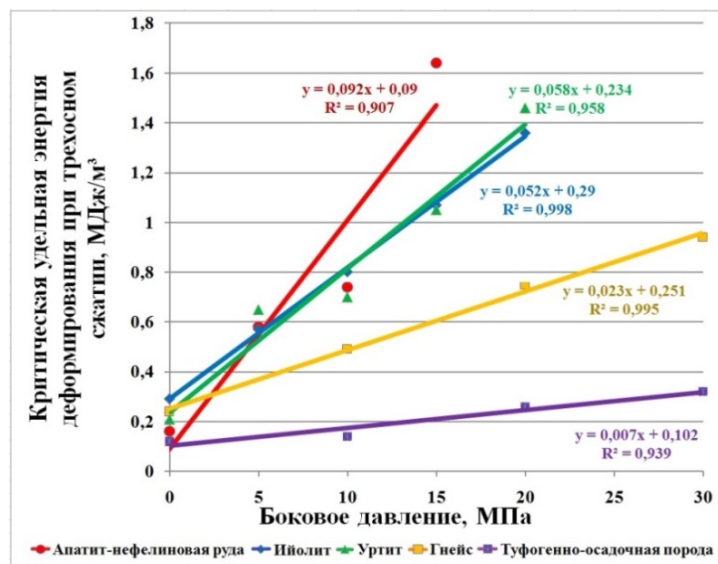


Рисунок 7 – Зависимость значений критической удельной энергии деформирования при трехосном сжатии образцов скальных горных пород от величин бокового давления

Полученные результаты будут востребованы для определения характера разрушения горных пород в конкретной горнотехнической ситуации, что, в итоге, позволит прийти к научно обоснованному прогнозу склонности пород к динамическим формам проявления горного давления. На данном этапе исследований результаты могут быть использованы при оценке удароопасности пород на месторождениях Кольского региона. В целом, предлагаемый подход к оценке склонности скальных горных пород к разрушениям в динамической форме с позиции их энергоемкости сопоставим с подходами, предлагаемыми для выполнения этой оценки на мировом уровне.

Основные результаты фундаментальных исследований по теме НИР «*Развитие методологии многоуровневых геофлюидомеханических исследований гидротехнических сооружений добывающих предприятий западной части российского сектора Арктики*» (№ 0226-2019-0056):

1. Созданы методические основы построения трёхмерной гидрогеомеханической модели хвостохранилища горнорудного предприятия, отличающиеся от известных учётом фактора времени в фильтрационно-деформационных расчетах и позволяющие исследовать трансформацию гидростатического состояния в стационарную фильтрацию, а при определенном сочетании параметров механической и фильтрационной устойчивости грунтов – в гидродинамику водотока и размыва дамбы (рисунок 8).

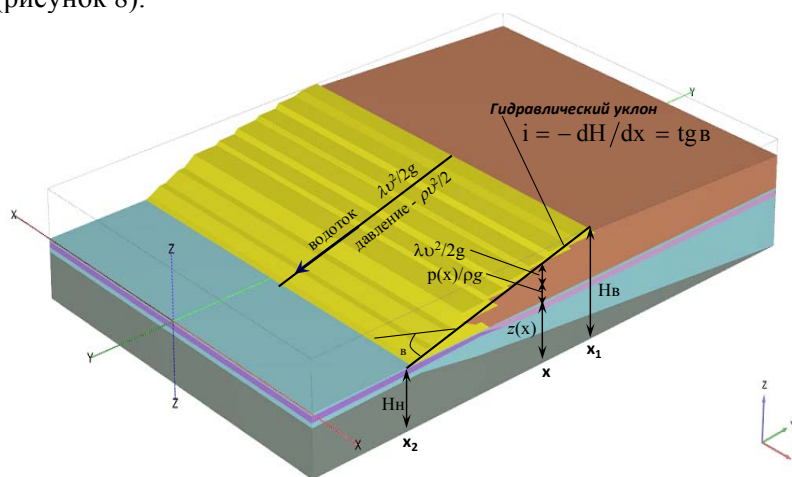


Рисунок 8 – Гидрогеомеханическая 3D модель ГТС хвостохранилища горнорудного предприятия, реализующая совместные фильтрационно-деформационные расчеты с учетом фактора времени

Созданные методические основы построения трёхмерной гидрогеомеханической модели хвостохранилища горнорудного предприятия получили подтверждение комплексными экспериментальными наблюдениями на ГТС хвостохранилища обогатительной фабрики ГОК «Олений ручей».

2. Установлены признаки наличия в теле насыпного гидротехнического сооружения (ГТС) локальных фильтрационных нарушений, что позволило сформировать единый комплекс визуальных индикаторов, включающий: следы суффозионного выноса материала сооружения; локальные оседания и поднятия поверхности полок насыпных ГТС; сконцентрированный выход фильтрующихся вод в основании сооружения или отдельных уступов; фонтанирование воды у основания сооружения.

3. Предложены геофизические критерии оценки состояния скальных пород уступов карьера, заключающиеся в количественной оценке изменения амплитудной характеристики отраженного сигнала, диэлектрической проницаемости и показателя сплошности массива, что позволило повысить достоверность и технологичность интерпретации данных георадиолокации для оценки состояния пород и решения задач локализации структурных нарушений.

4. Разработан методический подход по оценке технического состояния горнопромышленных дамб, основанный на синхронизации методов оптико-электронного и инфракрасного дистанционного зондирования Земли посредством ретроспективного анализа геопространственных спутниковых данных по тематическим индексным показателям, что позволяет выявить качественные изменения фильтрационных характеристик гидротехнических сооружений с определением площади промышленных стоков.

В рамках выполнения фундаментальных исследований по теме НИР *«Развитие научных и технологических основ управления действием промышленных взрывов и режимами проветривания горных выработок»* (№ 0226-2019-0057) получены следующие результаты:

1. На основе данных сейсмического мониторинга массовых взрывов и анализа результатов численных экспериментов в трёхмерной постановке по взрыву скважинных зарядов вблизи свободной поверхности разработана методика оценки сейсмозрывного воздействия на законтурный массив. Методика позволяет производить оценку размеров зон трещинообразования и заколообразования, исходя из которых – подбирать параметры взрывания, обеспечивающие минимизацию сейсмического воздействия на законтурный массив.

Полученные результаты позволили расширить существующие представления о механизме действия взрыва скважинного заряда при уступной отбойке и в динамике оценить характер разрушения и движения отбиваемого слоя при взрыве на свободную поверхность, а количественные значения параметров волн напряжений – оценить ширину зон трещинообразования и наведенной трещиноватости в тыльную часть массива на различных высотных уровнях уступа.

2. Методом трехмерного численного моделирования на примере карьера рудника «Железный» Ковдорского ГОКа выполнена оценка процесса загрязнения атмосферы карьера во времени и пространстве при работе дизельной техники. Показано, что в условиях инверсионного состояния атмосферы карьера накопление вредных примесей происходит на подветренном борту и зависит от количества одновременно работающей техники и высотного уровня их расположения в карьере. Полученные результаты позволяют обоснованно прогнозировать состояние атмосферы карьера и корректировать организацию горных работ в карьере с учетом газовой обстановки.

По направлению **Обогащение полезных ископаемых** проводились исследования по трем темам НИР:

- Развитие научных основ предконцентрации минерального сырья месторождений Кольского полуострова и совершенствование технических средств для ее реализации (№ 0226-2019-0059);
- Теоретическое и экспериментальное обоснование создания инновационных технологий комплексной переработки минерального сырья (№0226-2019-0061);
- Развитие теории переработки стратегического минерального сырья Кольского горнопромышленного комплекса в соответствии с экологической стратегией развития отрасли (№ 0226-2019-0063).

При выполнении фундаментальных исследований по перечисленным темам получены важнейшие результаты:

1. Наиболее важный практический результат заключается в разработке технической документации на промышленный магнитно-гравитационный сепаратор МГС-2.0 и передаче производителю для серийного изготовления и реализации на предприятиях отрасли по переработке железистых кварцитов. Применение магнитно-гравитационной сепарации в технологии получения железорудных концентратов обеспечивает повышение их качества до уровня 70% содержания железа при существенном снижении себестоимости и потерь полезного минерала с хвостами обогащения.

2. Предложена математическая модель агрегирования тонких ферромагнитных частиц в разделительных объемах обогатительного оборудования. В основе математической модели лежит решение системы дифференциальных уравнений идеального смешения для описания кинетики процессов агрегирования ферромагнитных частиц и их вывода в продуктивный класс.

$$C_{in}(t) = c_{in0} \cdot e^{-t(k_f - v_{in} + v_{insed})}$$

$$C_f(t) = c_{f0} \exp\left(-\frac{t(k_f - v_{in} + v_{fsed} + v_{insed})}{2}\right) \cdot \left(\cosh\left(\frac{t(k_f - v_{in} + v_{fsed} + v_{insed})}{2}\right) + \frac{\sinh\left(\frac{t(k_f - v_{in} + v_{fsed} + v_{insed})}{2}\right) \cdot (C_{f0} \cdot k_f + 2C_{in0} \cdot k_f - C_{f0} \cdot v_{in} - C_{f0} \cdot v_{fsed} + C_{f0} \cdot v_{insed})}{C_{f0} \cdot (k_f - v_{in} + v_{fsed} + v_{insed})}\right)$$

где c_{in0} и c_{f0} – начальные концентрации нефлокулированных и частиц, подвергшихся флокуляции.

3. На основе сравнительного изучения кинетики измельчения бедных и богатых лопаритовых руд установлены общие закономерности формирования эффективного обогащаемого класса крупности (0,63+0,07 мм), что позволяет, управляя режимом измельчения, достичь для бедных руд показателей разделения, сравнимых с показателями обогащения богатых руд (рисунок 9).

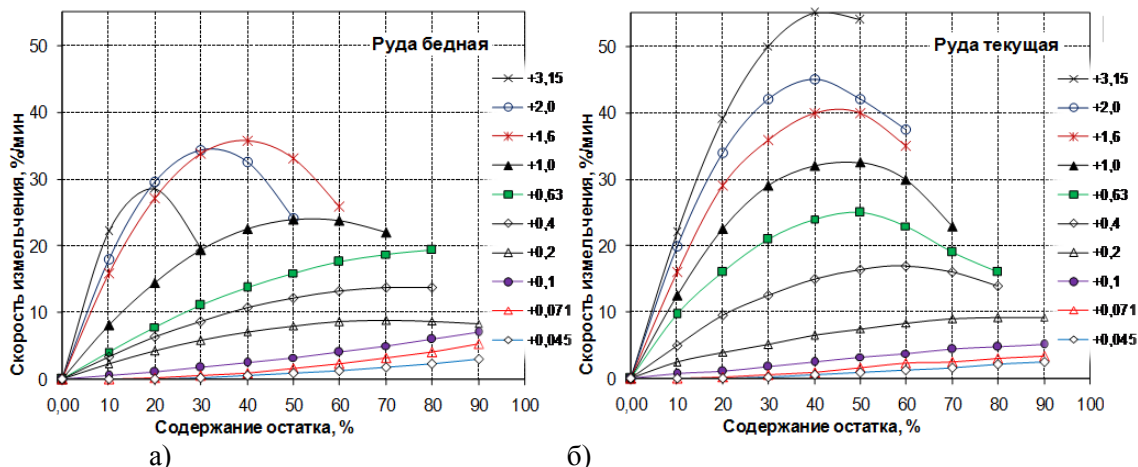


Рисунок 9 – Изменение скорости измельчения в стержневой мельнице различных остатков бедной лопаритовой руды (а) и руды текущей добычи (б) в зависимости от содержания классов

4. Обосновано верхнее значение крупности (80 мм) кускового материала железистых кварцитов Оленегорского месторождения при реализации процесса предконцентрации посредством сухой магнитной сепарации, обеспечивающей возможность эффективного разделения горной массы на три продукта – магнетит-гематитовый, преимущественно гематитовый и породный.

5. Предложен и апробирован способ повышения полноты извлечения полезного минерала при обогащении нефелинового сырья Горячегогорского месторождения, основанный на включении в технологическую схему операции перемешивания флотации темноцветных минералов с последующей магнитной сепарацией камерного продукта, обеспечивающий повышение выхода концентрата более чем на 2% и извлечения глинозема в концентрат на 3%.

Важнейший результат фундаментальных исследований по теме НИР «*Развитие методологии мониторинга природных экосистем при восстановлении нарушенных земель горнопромышленного комплекса в соответствии с концепцией естественного почвообразования созданием биологически активной среды*» (№ 0226-2019-0060):

– обоснована методология прогнозирования динамики восстановления природных экосистем при восстановлении нарушенных земель горнопромышленной отрасли в соответствии с принципом их самоорганизации созданием биологически активной среды. В основе методологии лежит анализ комплексного мониторинга объекта наблюдения, включающий временные ряды спутниковых данных вегетационного индекса и геоботанических описаний формирующегося фитоценоза в ходе эволюции системы «горная порода – биота» в климатических условиях Арктики. Анализ показал, что образование биологически-активной среды в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя обеспечивает увеличение энергетического потенциала системообразующей функции биоты и приводит к формированию фитоценоза со структурой природного ландшафта значительно быстрее, чем при самозарастании.

2.11. ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА –
(ИППЭС КНЦ РАН)**

IX. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

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

Обоснована возможность получения керамических строительных материалов компрессионного формования на основе отвальных шлаков медно-никелевых производств, хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд и железистых кварцитов предприятий Мурманской области. (ИППЭС КНЦ РАН, ИХТРЭМС КНЦ РАН, ГИ КНЦ РАН, 132)

АННОТАЦИЯ

Для получения керамических строительных материалов полусухого прессования использован отвальный гранулированный шлак медно-никелевого производства при смешивании с хвостами обогащения апатит-нефелиновых руд и железистых кварцитов. Шихта, обеспечивающая сбалансированный химический состав получаемой керамики и оптимальный фазовый состав, включала: медно-никелевый шлак 40%, хвосты обогащения апатит-нефелиновых руд 40%, хвосты обогащения железистых кварцитов 20%. Рентгеноструктурный анализ и оптическая микроскопия продемонстрировали увеличение содержания оксидной фазы (гематита) и образование К-Na полевого шпата с повышением температуры обжига с образованием оксидно-полевошпатовой керамики. Гематит образуется за счет силикатных фаз, в основном из-за перекристаллизации стеклообразной матрицы частиц шлака и окисления магнетита. Повышение температуры спекания способствует значительному повышению морозостойкости. Наивысшую морозостойкость (200 циклов) имеют образцы, полученные прессованием из гранулированных формовочных порошков и обожженные при 1000–1100 °С. (*Научный руководитель: д.т.н. Макаров Д.В., тел. (81555)-6-10-93*)

розного периода приведет к интенсификации гипергенных процессов при хранении хвостов и увеличению негативного воздействия на компоненты окружающей среды прилегающих территорий. Весной и осенью при температурах незначительно выше 0 °С наблюдается переход цветных металлов в растворимые формы практически так же, как в летний период. Летом при испарении и/или низкой скорости фильтрации воды через твердую фазу систем происходит изменение состава и соотношения новообразованных минеральных фаз. (Научный руководитель: д.г.-м.н. Мазухина С.И., тел. (81555) 79-745)

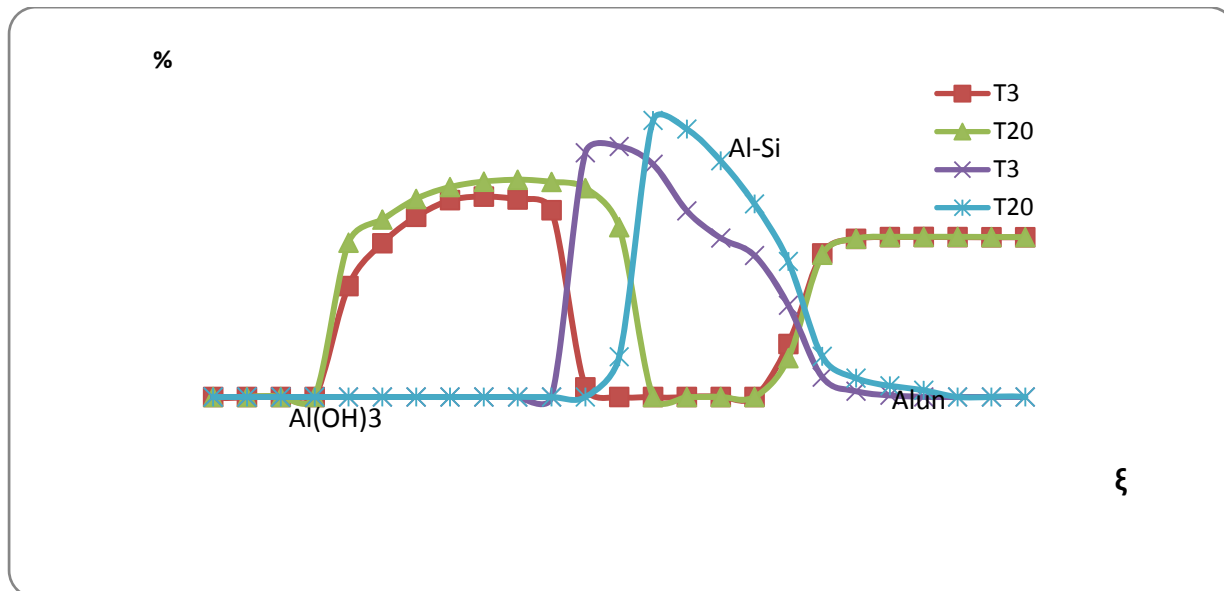


Рисунок 2 – Изменение % содержания фаз в зависимости от температуры 3 и 20 оС. Al-Si смешанослойные алюмосиликаты (система 1)

Сведения об опубликовании:

1. Мазухина С.И., Сандимиров С.С., Макаров Д.В. Термодинамическое моделирование гипергенеза отвалов Аллареченского месторождения в условиях различных температур и режимов увлажнения // Химия в интересах устойчивого развития. – 2019. – Т. 27. – № 5. – С. 489-498. (РИНЦ, ВАК, RSCI, WoS)

2. Мазухина С.И., Максимова В.В., Чудненко К.В., Маслобоев В.А., Сандимиров С.С., Дрогобужская С.В., Терещенко П.С., Пожиленко В.И., Гудков А.В. Качество вод Арктической зоны Российской Федерации: физикохимическое моделирование формирования вод, формы миграции элементов, влияние на организм человека. Апатиты: Изд. ФИЦ КНЦ РАН. – 2020. – 158 с. (РИНЦ)

2. Mazukhina S.I., Sandimirov S.S., Pozhilenko V.I., Gudkov A.V. The genesis of the natural water chemistry in the South-Western Khibiny Mountains (the Malaya Belaya River basin) // Journal of Environmental Science and Health, Part A. – 2020. – Vol. 55. – № 5. – P. 511-516. (WoS, Scopus)

VI. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

62. Биотехнология

Создана комплексная технология переработки медно-никелевой руды и концентрата, позволяющая извлекать цветные металлы и повышать степень извлечения металлов платиновой группы (МПГ) последующим цианированием. (ИППЭС КНЦ РАН, ИПКОН РАН, ФИЦ Биотехнологии РАН, 62)

АННОТАЦИЯ

На примере медно-никелевой руды, содержащей МПГ, с месторождения Нюд II Мончегорского рудного района (Мурманская обл.) показано, что извлечение цветных металлов, МПГ и золота из перерабатываемых руд и продуктов их обогащения зависит от ряда факторов, включая

температуру. Извлечение никеля в меньшей степени зависит от условий ведения процесса, тогда как извлечение меди повышается с повышением температуры до оптимальных значений. Последующее сорбционное выщелачивание цианированием сульфидных руд и концентратов показало, что извлечение благородных металлов и МПГ коррелирует со степенью окисления сульфидной серы. Так, из полученных биокеков руды извлечение МПГ и золота цианированием не превышало извлечения из пробы сульфидной руды, тогда как из биокека концентрата извлечение золота и МПГ было значительно выше, чем из пробы концентрата. (Научный руководитель: к.т.н. Фокина Н.В., тел. (81555)-79-507, к.б.н. Булаев А.Г.)

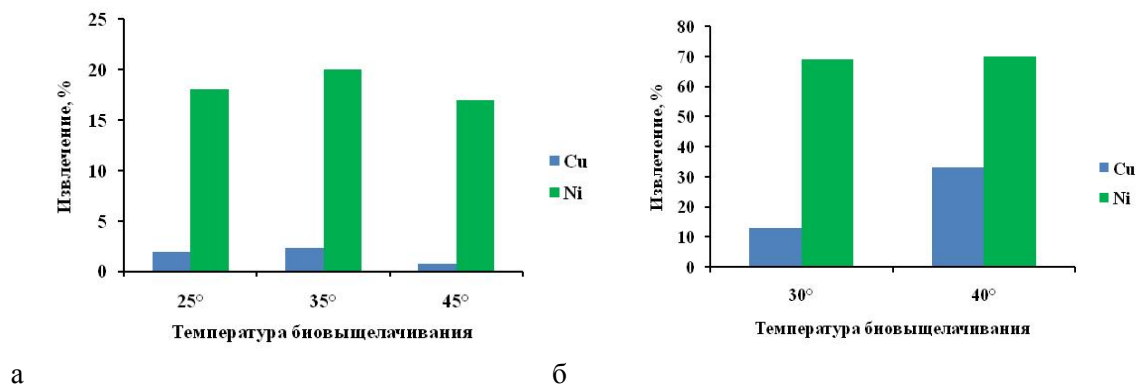


Рисунок 3 – Извлечение меди и никеля из сульфидной руды (а), сульфидного концентрата (б) месторождения Нюд II

Сведения об опубликовании:

1. Yanishevskya E., Goryachev A., Fokina N., Krasavtseva E. Biohydrometallurgical Processing Methods for Low-Grade Sulfide Ores in the Arctic. *Inżynieria Mineralna // Journal of the Polish Mineral Engineering Society* Styczeń. Czerwiec. – 2020. – P. 221-225. (Scopus)

2. Фокина Н.В., Янишевская Е.С., Светлов А.В., Горячев А.А. Функциональная активность микроорганизмов в процессах добычи и переработки медно-никелевых руд Мурманской области // *Вестник МГТУ*. – 2018. – С. 109-116. (ВАК)

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

В 2020 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).

В 2020г. ВИНИТИ РАН проанализировал использование фронтальных погрузчиков на карьерах России.

Фронтальные погрузчики на колесном ходу уже с середины 1960-х гг. постепенно в различных отраслях теснят бульдозеры и экскаваторы за счет мобильности и оперативности, чему в

значительной степени способствовало создание сочленной рамы. К созданию таких машин приступили в 1963-65 гг фирмы «Caterpillar», «InternationalHarvester», «Michigan».

Каждые 2-4 года зарубежные фирмы модернизируют выпускаемую технику, добиваясь более высокой производительности, безопасности и комфортности труда, а последнее время соблюдение экологических стандартов, снижающих объем вредных выхлопных газов

Преимущества погрузчиков:

- отношение реальной грузоподъемности погрузчика к его массе в 2-2.5 раза выше, чем у гидравлических экскаваторов;
- удельная стоимость колесного погрузчика, отнесенная к одному кубическому метру емкости ковша, в 1.5-2 раза ниже, чем у гидравлических экскаваторов;
- более высокие показатели мобильности и маневренности, позволяющие выполнять одной машиной погрузочные и транспортные работы

В данной статье рассматриваются фронтальные карьерные погрузчики с ковшами более 5 м³ и мощностью свыше 300 л.с., классификация которых приводится в таблице 1.

Таблица 1

Классификация погрузчиков по мощности

№	Мощность, л.с.	Вес, т	Грузо- подъемность, т	Емкость ковша, м ³	
				основного	диапазон
1	300–405	29–35	9–11	5.0–5.7	4.0–7.5
2	406–550	42–54	10–15	5.7–7.7	5.0–12.7
3	551–720	70–80	15–20	8.4–9.2	8.4–10.3
4	721–1050	100–135	21–25	11.0–14.0	10.7–23.7
5	1051–1600	140–205	34–38	19.0–23.0	14.9–36.0
6	свыше 1600	230–270	43–74	30.0–40.0	21.4–65.0

Приведенные оценки носят усредненный характер, а величины разброса требуют обоснованного подхода к выбору моделей погрузчика (грузоподъемность, вместимость ковша, мощность) исходя из конкретных условий его применения, которые должны задаваться потенциальным потребителем такой техники (виды работ, характеристики погружаемых материалов и пород, требуемая производительность, интенсивность работы погрузчика, виды и типы транспортных средств и др.) Больше 80% этой техники импортируется.

Компания «Caterpillar»

Ведущие мировые компании обновляют модели погрузчиков каждые 2–3 года. Казалось бы, совсем недавно компания «Caterpillar» представляла фронтальные погрузчики серии Н, как с 2011 г. в производство пошла серия К. Компания предлагает широкий ассортимент колесных погрузчиков, а это около 60 моделей. Эксплуатационная масса моделей охватывает диапазон от 5,6 до 191,9 т, а мощность двигателей – от 48,5 до 1160 кВт. Вместимость ковша в самой мощной мод. *Cat 994H* приближается к 20 м³. Погрузчики серии агрегируются новыми двигателями Cat (ACERT), которые отвечают требованиям стандартов Tier 4 Interim и Stage IIВ и развивают эффективную мощность на 11,0 % выше, чем у машин предыдущего поколения. Следует отметить, что «Caterpillar» производит все комплектующие для погрузчиков на своих заводах.

Помимо двигателей с повышенной чистотой выхлопа, на новых машинах устанавливаются кабины с уменьшенным уровнем шума, новая электрогидравлическая система рулевого управления с органами управления (по выбору оператора) в виде джойстиков или традиционного рулевого колеса, ковши новой серии Performance и усовершенствованная силовая передача. Благодаря использованию планетарной трансмиссии с гидротрансформатором и с переключением под нагрузкой уменьшена пробуксовка колес и их износ.

С начала 2014 г. «Caterpillar» приступил к продвижению на рынок погрузчиков серии М, начав модернизацию с моделей мощностью 280–400 л.с. По утверждению компании, топливная экономичность моделей серии М будет выше на 10 % по сравнению с предыдущими моделями серии К, а модели с модификацией ХЕ будут экономичнее даже на 25 %! Самый большой представленный погрузчик из серии М — Cat 980М с ковшом 5,7 м³. В предлагаемой для горных разработок линейки Cat присутствует 7 основных моделей эксплуатационной массой от 31 до 194 т, мощностью двигателя 322–1463 л.с. и емкостью ковшей от 4,9 до 36 м³ при грузоподъемности 10–35 т. Наиболее массовой моделью является погрузчик 988-й серии, начало производству которого было положено в 1963 г. Касаясь доступности различных модификаций для горных разработок, следует отметить, что в России доступны погрузчики 980 (серии Н и К), 986Н (модель новая, ее обновления до серии К придется еще ждать), 988 (серии Н и К), 990К, 992К и 993К. Последние 3 машины достаточно новые, и обновление до серии М произойдет в отдаленном будущем. Самый мощный 994-й серии погрузчик Cat во всем мире представлен только серией Н.

Линейка погрузчиков Caterpillar включает 12 базовых моделей с ковшами вместимостью от 2,1 до 24 куб.м (36 куб.м – для угля) и с рабочей массой от 13,17 до 195 т (таблица 2).

Ковшовые погрузчики *LeTourneau (P&H)* – подразделение компании JoyGlobalInc., вошедшее в ее состав в 2011 г, занимается изготовлением мощных колесных погрузчиков с полезной нагрузкой (грузоподъемностью) от 21,8–72,6 т и ковшами вместимостью 12,23–53,44 куб.м (таблица 3).

Сегодня «LeTourneau» производит 5 основных моделей большегрузных погрузчиков мощностью от 1050 до 2300 л.с. с ковшами от 13 до 65 м³ и рабочим весом 106–271 т.

Компания выпускает исполинский L-2350, который является самым большим фронтальным погрузчиком в мире. Его мощность — 2300 л.с., полезная нагрузка — 72,6 т, объем ковша — от 25 до 65 м³

Таблица 2

Колесные однокоровые фронтальные погрузчики Caterpillar

Модель	Вместимость ковша, м ³	Вырывное усилие, кН	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
966Н	3,5-5,0	230	3,0	265/355	23,7
972Н	3,8-5,5	235	3,5	287/385	25,1
980Н	4,5-6,1	212	3,8	318/427	31,3
988Н	6,3-7,7	384	3,9	414/555	50,9
990Н	8,4-9,2	602	4,78	512/687	81,6
992К	10,7-12,2	574	4,72	674/904	97,3
993К	12,2-25,7	709	4,65-5,3	782/1050	133,6
994К	14,0-36,0	930	5,58-7,3	1176/1577	195,4

Таблица 3

Колесные однокоровые фронтальные погрузчики Le Tourneau (P&H)

Модель	Вместимость ковша, м ³	Полезная нагрузка на ковше, т	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
L-950	12,23/13,76	21,8-24,5	4,2	783/1050	88,7
L-1150	17,58/19,11	31,8-34,5	4,5	899/1205	115,1
L-1350	21,41/22,94	38,1-40,8	4,9	1194/1600	131,3
L-1850	28,29/30,58	49,9-54,4	5,6	1490/2000	180,0
L-2350	38,23/40,52	68,0-72,6	8,5	1716/2300	262,1

Линейка компании **Komatsu** в рассматриваемом диапазоне включает 6 моделей серии WA (серия выпускается с 1985 г.) эксплуатационной массой от 31 до 205 т, мощностью двигателя 315–1560 л.с. и емкостью ковшей от 5,5 до 35 м³ при грузоподъемности 7,8–36 т. Машины адаптированы к суровым климатическим условиям и могут работать при температурах от минус 40° С до +40° С. Погрузчики WA-500 выпускаются уже в 7-й серии. Самая популярная модель на российском рынке – WA430-6 мощностью 236 л.с., с объемом ковша 3,5 м³ (таблица 4).

Таблица 4

Колесные ковшовые фронтальные погрузчики Komatsu

Модель	Вместимость ковша, м ³	Вырывное усилие, кН	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
WA500-3	4,3-5,5	212	2,77-3,03	235/314	28,2
WA600-3	6,1-11,0	320	3,37-3,53	336/450	45,2
WA700-3	8,7-9,4	624	4,04-4,28	478/640	71,0
WA800-3	11,0-12,3	642	4,52-4,63	603/808	98,3
WA900-3	13-15,0	679	4,64-5,20	637/853	101,5
WA1200-6	18-20,0(36)	710	6,26-7,0	1165/1560	210,0

Технические характеристики крупнейших погрузчиков

Наименование параметра	Caterpillar	Komatsu	LeTourneau			
	994H	WA1200-3	L-1350	L-1850	L-2350	
Емкость ковша, м ³	14,0–36,0	18,0–35,0	22,9	21,4–42,1	25,2–65,0	
Мощность двигателя, л.с.	1463	1560	1600	2000	2300	
Грузоподъемность, т	35,0	36,0	38,1	43,4	72,6	
Вырывное усилие, кН	989	1274	979	1229	1173	
Эксплуатационная масса, т	193,8	205,2	181,4	229,5	262,2	
Радиус поворота, м	12,74	14,33	12,82	13,44	21,02	
Габаритные размеры, м	длина	16,88	18,20	16,89	17,83	20,16
	высота	6,99	5,72	6,05	6,68	6,45
	ширина по ковшу	5,64	6,55	6,27	6,40	6,81
Высота выгрузки, м	5,56	6,29	6,43	6,81	7,02	
Годы начала выпуска	1990	1999	2004	2002	2000	

Концерн Volvo «VolvoConstructionEquipment» предлагает новые фронтальные погрузчики линейки L последней серии H.

Все модели комплектуются 6-цилиндровым дизельным двигателем D13J с жидкостным охлаждением и мощностью 300, 334 либо 373 л.с. и более. Производитель заявляет об экономии 18 % топлива при более высокой производительности новых моделей. При эксплуатационной массе 25,7 т (L150H), 28,5 т (L180H) и 32,8 т (L220H) максимальная грузоподъемность составляет 7,70, 8,71 и 10,08 т соответственно.

Таблица 5

Колесные одноковшовые фронтальные погрузчики Volvo

Модель	Вместимость ковша, м ³	Вырывное усилие, кН	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
L 110F	3,1-10,5	156	4,0	170	18,0
L 120F	3,3-10,5	164	4,6	180	19,0
L 150F	4,1-7,5	184	4,34	210	23,0
L 180F	4,4-8,6	214	4,47	235	26,0
L 220F	5,4-9,0	225	4,67	261	31,0
L350F	6,2-12,7	473	5,34	397	50-56

Компания *VolvoConstructionEquipment* – предлагает 9 моделей колесных фронтальных погрузчиков с ковшами вместимостью от 2,1 до 12,7 м³ (таблица 5).

В России, в Кузбассе, впервые в 2018 г. появились два новых фронтальных погрузчика Volvo L120Gz. Погрузчики L120Gz эксплуатационной массой 18–19 т с ковшом емкостью от 3,1 до 5,2 м³ и двигателем мощностью 179 кВт.

Производственная линейка колесных погрузчиков *Liebherr* включает 14 базовых моделей, оснащенных ковшами вместимостью от 0,5 до 5,5 м³ и имеющих рабочую массу от 5 до 32 т (таблица 6).

Таблица 6

Колесные одноковшовые фронтальные погрузчики Liebherr

Модель	Вместимость ковша, м ³	Вырывное усилие, кН	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
L 556	3,6-8,5	125	2,76-4,98	140	17,2
L 566	4,0-11,0	155	3,2-4,55	190	22,8
L 576	4,5-11,0	155	3,2-4,55	200	23,8
L 580	5,0-14,0	150	3,25-4,78	200	24,6
L 586	5,0-5,5	235	3,3-3,73	250	32,0

Принципиальным конструктивным решением погрузчиков Liebherr является применение гидростатической трансмиссии, которая позволяет поддерживать обороты двигателя на постоянном уровне.

Японские погрузчики

Финансово-промышленная группа *HitachiLtd* сегодня одна из самых крупных мировых многопрофильных корпораций, в которую входит более 1100 компаний. Непрерывное совершенствование техники привело к началу производства в 2006 г. погрузчиков серии ZW с индексом G (для горных работ это 360-сильный ZW370-G и 490-сильный ZW550-G). В 2010 г. HCM модернизировала линейку колесных фронтальных погрузчиков, выпустив ZW370 и ZW550. В 2013 г. «Hitachi» объявила о начале производства новых моделей колесных погрузчиков серии ZW-5: (ZW370-5B и ZW550-5B). Новинки вместо дизелей Cummins получили более мощные двигатели Isuzu 6WG1(388 и 531 л.с. соответственно).

Hitachi предлагает серию фронтальных погрузчиков ZW, в которой собрано 10 основных моделей колесных погрузчиков эксплуатационной массой от 6,95 т, с вместимостью ковша 1,1 м³ (мод. ZW100) до самой крупной модели серии ZW550 массой 45,96 т, с ковшом вместимостью 10 м³.

Благодаря системе ActiveEngineControl оптимизировано потребление топлива за счет использования передовых технологий, погрузчики ZW370-5B и ZW550-5B отличаются еще более экономным использованием горючего — его расход снизился на целых 20 %. Новые модели серии ZW оснащены регулятором силы тяги, который автоматически регулирует частоту вращения двигателя в зависимости от условий работы. Грузочувствительная гидравлическая система руле-

вого управления увеличивает рулевое усилие, это позволяет в полной мере использовать подкачиваемый крутящий момент для повышения эффективности работы системы контроля хода. Характеристики моделей LX приведены в таблице 7.

Таблица 7

Колесные одноковшовые фронтальные погрузчики Hitachi

Модель	Вместимость ковша, м ³	Вырывное усилие, кН	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
LX300	4,2-5	237	3,13	243	29,7
LX450-7	5,7-6	400	3,3	320	46,6

На погрузчики Hitachi устанавливаются двигатели марок Mitsubishi, Isuzu и Daimler Chrysler.

Самая популярная модель на российском рынке – WA430-6 мощностью 236 л.с., с объемом ковша 3,5 куб. м. принадлежит **Komatsu Group**, выпускающей 11 видов моделей серии WA.

Одна из старейших машиностроительных компаний Японии, «**Kawasaki**», основанная в 1896 г., свой первый сочлененный колесный погрузчик изготовила в 1962 г., постоянно совершенствуя и расширяя линейку погрузчиков серии Z (начало производства положено в 1965 г.) для горной промышленности. В 2012 г. «Kawasaki» представила новое Z7 поколение колесных погрузчиков, ставшее результатом совместных усилий альянса трех крупнейших японских компаний. В секторе погрузчиков с ковшом более 5 м³ это 388-сильный 95Z7 и 531-сильный 115Z7. Новые машины не только вобрали в себя новые функции, но и сохранили структурные особенности, характерные для тяжелого режима работы прежних моделей: двойная Z-образная система опрокидывания ковша, рама коробчатого сечения и стреловые цилиндры, расположенные у основания. Самый мощный 720-сильный погрузчик Kawasaki 135ZV-2 с ковшом 9,7 м³ производится пока в 5-й версии, выпускаемой с 2009 г.

Компания «**Dressta**» из Польши стала продолжателем традиций строительства фронтальных погрузчиков широко известных компаний США — «ClarkEquipmentCo» и «InternationalHarvesterCo» (ИИ) (таблица 8).

Таблица 8

Колесные одноковшовые фронтальные погрузчики Dressta

Модель	Вместимость ковша, м ³	Вырывное усилие, кН	Высота разгрузки, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.	Рабочая масса, т
534 E	3,4 (4,5)	134,0	3,0	Cummins QSC8.3	20,8
EXTRA 555C	4,2 (5,5)	285,6	3,48	Cummins QSM111	28,9
EXTRA 560E	6,5 (8,5)	319,3	4,12	Cummins QSX15	41,6

Старейшая американская компания «**JohnDeere**» (основана в 1837 г.) начала выпуск фронтальных погрузчиков в 1967 г. и сегодня в рассматриваемом диапазоне выпускает модель JD 844K с ковшом 6,5 м³. В 2014 году «JohnDeere» представила последнюю модификацию фронтального погрузчика 844K-II. На машине установлены мощные мосты для тяжелых условий эксплуатации. Погрузчик 844K-II оснащен двигателем PowerTechPlus 6135H, мощность которого достигает 380 л.с.

Корейские погрузчики

В 2005 г. компания **Doosan** приобрела известную компанию DaewooHeavyIndustries&Machinery, и с этого момента началось продвижение Doosan на рынке строительной техники. Сегодня южнокорейское предприятие находится на седьмом месте в мире по выпуску землеройной и дорожно-строительной техники. А то, что качество корейской техники не хуже качества лучших миро-

вых образцов, убедительно доказывает Doosan своей продукцией, в частности качеством фронтальных погрузчиков. Сегодня предприятие предлагает шесть базовых моделей и созданных на их основе более двадцати модификаций с вместимостью ковша от 1,6 до 6,5 м³, мощностью двигателей 73–290 кВт, массой от 8,6 до 31 т. В качестве привода инженеры Doosan выбрали двигатели Doosan DL, но также устанавливают моторы Cummins и Scania.

Погрузчики оснащают современными электронными системами управления, сложными гидравлическими агрегатами, в машинах действуют электронные системы самодиагностики, которые позволяют снизить выброс токсических веществ, уменьшить расход топлива, автоматически контролировать работу гидронасосов и двигателя. В стандартную комплектацию погрузчиков Doosan включено рулевое управление с гидравлическим и электронным усилителем, полностью автоматическая КП, система обогрева стекол и кондиционер.

Эти погрузчики оснащены электронными системами управления, сложными гидравлическими агрегатами.

Надо отметить, что в 2005 г. руководство Doosan параллельно с покупкой компании DaewooHeavyIndustries, основало в КНР предприятие DoosanInfracoreChinaCorp. Эта китайская «дочка» Doosan уже в 2007 г. «обзавелась» заводом по производству погрузчиков **DoosanInfracore (Shandong) Co., Ltd** (сокращенно – **DISD**). В 2012 г. на заводе было запущено полноценное серийное производство фронтальных погрузчиков серии SD. В серии 4 модели, масса мод. SD200 и SD200N – 10,3 и 10,4 т соответственно, а мод. SD300 и SD300N по 16,5 т.

В движение ходовую часть и рабочие органы погрузчиков приводят надежные дизельные топливосберегающие низкооборотистые двигатели с турбонаддувом и непосредственным впрыском, изготовленные китайской компанией Weichai по лицензии Deutz. В мод. SD200 и SD200N используются моторы мощностью 92 кВт, а в более массивных SD300 и SD 300N – двигатели мощностью 162 кВт. Такой подбор главных приводов позволяет машинам развивать транспортную скорость до 38 км/ч и преодолевать подъемы до 58%. Обеспечивается тяговое усилие не менее 9,8 т (мод. SD200, SD200N) и 16 т (мод. SD300, SD300N). Инженеры DISD утверждают, что тяговые усилия, обеспечиваемые их моделями, превышают на величину до 20% параметры «одноклассников» других марок.

Еще один гигант – южнокорейский многопрофильный концерн **HyundaiHeavyIndustries** – за год продает в нашей стране около 2000 экскаваторов и фронтальных погрузчиков. В отдельные годы поставки колесных погрузчиков в Россию составляли до 30% от всего объема импорта погрузчиков. Компания Hyundai выпускает семь моделей фронтальных погрузчиков – от 10 до 30 т с ковшами объемом от 1,8 до 5,2 м³. Одной из наиболее популярных моделей фронтального погрузчика в линейке компании Hyundai по праву является модель HL760-9S.

Высота разгрузки погрузчиков Hyundai находится в диапазоне 2,7–3,3 м. В моделях используются дизельные двигатели Cummins, которые обеспечивают транспортную скорость до 40 км/ч. Гидравлическая система полностью адаптирована к российским морозам, поэтому механизмы подъема сохраняют работоспособность даже при –40 °С. Корпуса погрузчиков изготавливаются из стали, они проходят тщательную антикоррозионную обработку.

Механизмы подъема этой модели. сохраняют работоспособность даже при –40 °С

Погрузчики 9-й серии относятся к новому поколению техники, соответствующей по чистоте выхлопа нормам Tier 4 и EU Stage IIIB. Модель оснащена двигателем Cummins с электронным впрыском топлива. Погрузчики 9-й серии предлагаются в нескольких комплектациях: с увеличенной длиной стрелы (XTD) и с вертикальной траекторией подъема ковша (TM).

Корейская «**DoosanGroup**» по производству фронтальных погрузчиков, находится на седьмом месте в мире по выпуску землеройной и дорожно-строительной техники. Сегодня предприятие предлагает шесть базовых моделей и созданных на их основе более двадцати модификаций с вместимостью ковша от 1,6 до 6,5 м³, мощностью двигателей 73–290 кВт, массой от 8,6 до 31 т.

Применительно к карьерным разработкам в линейке Doosan выпускаются два погрузчика DL500 (5,0 м³) и DL550-3 (5,4 м³). Стандартные модели оснащены электронными системами управления приводами, контроля рабочих параметров и обладают функцией самодиагностики, что упрощает управление и позволяет проводить постоянный мониторинг процесса работы и состояния погрузчика. В 2013 г. «Doosan» обновила DL550 и предлагает теперь версию DL550-3.

На больших погрузчиках компания устанавливает дизель Scania DC13 SCR, оснащенный системой избирательной каталитической нейтрализации (SCR), что позволяет соответствовать требованиям экологических стандартов Tier-4 и Stage IIIB.

Погрузчики Турции

С 2004 года на российском рынке успешно работает турецкая компания HİDROMEK. В 2015 г. компания продемонстрировала колесный погрузчик мод. HMK 640 WL с шарнирно-сочлененной рамой.

Погрузчик массой 26,3 т комплектуется ковшом вместимостью 4,2 м³, мощностью 242 кВт, а максимальное усилие отрыва ковша достигает 19 975 кгс.

Погрузчики Словакии

АО «**PPS DETVA SLOVAKIA**» является одним из крупнейших производителей в Европе универсальных погрузчиков в г.Детва известна в России более 40 лет.

Погрузчики КНР

Основные производители — **LiuGong, SDLG, Lonking, Xiangong, XCMG, SEM и Foton.**

LiuGong (LiuGong Machinery Co Ltd). В современной линейке компании представлены 5,4-кубовый CLG 899 и 6,5-кубовый CLG 899III грузоподъемностью 11,5 т и мощностью двигателя 532 л.с.

В 2017 г. компании SDLG и «Русбизнесавто» представили погрузчики новой серии F, разработанные с учетом пожеланий российских заказчиков. Серия F включает модели LG 953F грузоподъемностью (г/п) 5 т, LG 956FH г/п 5,4 т и LG 968Fг/п 6 т. Погрузчики оснащены двигателями WeichaiChinaPhase II объемом 9,7 л, мощностью 162 и 178 кВт.

Самый крупный в линейке SDLG погрузчик LG 978 г/п 7 т разработан для российских карьеров и полностью построен на импортной компонентной базе, но его цена весьма конкурентна.

Белорусские фронтальные погрузчики

Автомобильный завод **БелАЗ** выпускает с 1988 г. карьерные погрузчики с ковшом емкостью 6,0 м³ БелАЗ 7822 и БелАЗ 78221 Модернизированный фронтальный погрузчик БелАЗ-7822 (78221) выпускается с двигателем ЯМЗ-8424.10-06 мощностью 490 л.с. и Cummins KTA 19C мощностью 425 л.с.

Российские фронтальные погрузчики

В СССР с 1984 г. выпускалась только одна модель фронтального погрузчика для горных работ – это 75-тонный ТО-21 с ковшом 7,5 м³, и всего было выпущено не более 20 машин.

В современной России производством погрузчиков для горных работ занялся Чебоксарский тракторный завод, который в 1994 г. выпустил 6-кубовый ПК-12.02.

С 2002 г. техника Чебоксарского завода была официально представлена как бренд ЧЕТРА, ныне известный во многих странах мира. ПК-12.02 грузоподъемностью 12 т выпускаются в нескольких модификациях: ПК-12.02-01 с ковшом 6,3 м³, ПК-12.02-02 с ковшом 6,7 м³ и ПК-12.02-01 с ковшом 10,7 м³ (для угля). Погрузчики отличаются моделями установленных на них дизелей: ПК-12.02 — с ярославским дизелем ЯМЗ-850.10 и ПК-12.02К — с дизелем KTA 19-C510 (Cummins, США). Погрузчик может эксплуатироваться с полной нагрузкой в интервале температур окружающего воздуха от минус 50° С до плюс 35° С.

Чуть больше года назад на отечественном рынке появились фронтальные погрузчики мод. TL 150 компании «**PM-Терекс**», объединяющей сразу четыре Российских машиностроительных заводов

Это первая модель фронтального погрузчика, созданного инженерным центром компании. Модель собирается на челябинской производственной площадке «PM-Терекс». Компактная машина рассчитана на перемещение по дорогам общего пользования. В сочетании с мотором мощностью 140 кВт производства ЯМЗ, маневренностью и значительной, до 3,34 м, высотой погрузки в сегменте отечественных погрузчиков г/п до 5 т погрузчик уже на стадии проектирования был «обречен» на популярность и успешную реализацию.

Этот погрузчик собирают в Челябинске, на площадке компании «РМ-Терекс».

В целом белорусские и российские погрузчики уступают по технической надежности аналогичным машинам мировых грандов, но выигрывают по соотношению цена-качество и по уровню эксплуатационных расходов. При этом погрузчики Четра ПК-12.02 при цене 15,1 млн руб. пока выигрывают не только у китайцев (6,5-кубовый погрузчик LW1200K, цена 24 млн руб.), но и у белорусов (22,0 млн руб.).

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

1. На авторском Экспериментально-технологическом комплексе «Амур», в процессе сжигания крупнообъемной пробы угля весом 250 кг из Архаро-Богучанского месторождения (Амурская область) получены отдельные продукты сгорания (шлак, зола уноса и шлам). В них выделены и изучены Au, Ag и Pt. Золото в шлаке представлено комковатыми массивными обломками различной степени окатанности, с размером зерен от 2.0 · 1.6 до 160.0 · 115.0 мкм. В золе уноса, вместе с золотом, присутствуют серебро и платина. Это плохо- и полуокатанные обломки, пластины и бруски размером 98.7 · 74.0 мкм с концентрацией Pt до 86.5%, а Ag – от 21.8 до 66.88%. Кроме этого, в них присутствуют рыхлые агрегированные образования (агломераты) размером от 4.5 · 4.0 до 60.0 · 68.0 мкм. Они состоят из зерен Au и Ag с различной концентрацией – от 2.4 до 89.79%, размером от 0.5–1.0 до 1.6–3.0 мкм с включением Hg до 19.5% и Cu 8.6%, реже – алюмосиликатов и Mn.

• Сорокин А.П., Чантурия В.А., Агеев О.А., Дугин С.В. Морфологические характеристики благородных металлов в продуктах сгорания углей Архаро-Богучанского месторождения (Приамурье). // Химия твердого топлива. – 2020. – № 4. – С. 8-20.

2. Впервые проведено комплексное исследование геохимических параметров бурого угля Сергеевского месторождения (Амурская область). Показано, что органическое вещество угля обогащено битумоидами. Установлено происхождение битумоидов, исследован состав представителей каждого типа. Геохимические критерии углеводородов-биомаркеров (высокие значения P_{wax} , распределение и соотношение *n*-алканов, стеранов, групп терпанов), соответствуют террагенному типу органического вещества, генетически связанного с липидами высшей наземной растительности. Участие аквагенного биоматериала (P_{aq}), значительное содержание стеранов C_{30} , высокие концентрации триароматических стероидов и отношение ТАС/МАС, низкие концентрации фенантронов) свидетельствуют о повышении степени обводненности залежи на отдельных этапах угленакопления. Сравнение биомаркерных показателей автохтонного битумоида с характеристиками битумоидов аллохтонного и смешанного происхождения позволяет говорить о возможности перераспределения углеводородов в процессе миграции слабо преобразованных битумоидов внутри угленосной толщи. Коэффициенты зрелости свидетельствуют о низкой степени преобразования исходного органического вещества.

• Носкова Л.П., Сорокин А.П. Геохимическое исследование органического вещества угля Сергеевского бурого угольного месторождения // Химия твердого топлива. – 2020. – № 3. – С. 3-13.

3. Получен патент на полезную модель RU № 20165 U1 Устройство для извлечения золота из бурых и каменных углей. Изобретение относится к горному делу – способ гидрометаллургического извлечения золота из бурых и каменных углей. Сущность его сводится в пропускании нагретого водяного пара из сосуда с кипящей водой через слой угля с выходом пара через силиконовый шланг в охлаждаемый сосуд с сорбентами (активированный уголь, гидроокись и закись железа). Изобретение позволяет создать в сосуде (реакторе) пульсирующее давление и температуру, повышающих интенсивность процесса извлечения золота из угля.

• Патент RU № 20165 U1. Устройство для извлечения золота из бурых и каменных углей / Кузьминых В.М. Сорокин А.П., Чурсина Л.А., Борисов В.Н // Опул. в БИ. – 2020. – № 36.

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

ГОРНОЕ НЕДРОВЕДЕНИЕ

Геомеханика

В 2020 г. целью выполненной научно-исследовательской работы по Государственному контракту являлась разработка научно обоснованных предложений по созданию интегрированных систем мониторинга состояния горного массива в рамках многофункциональной системы безопасности (МФСБ) для подземных, открытых и при совместном ведении подземных и открытых горных работ». Выполненная работа явилась продолжением ранее выполненных исследований для подземных и открытых работ и была посвящена преимущественно изучению факторов, влияющих на безопасность работ при комбинированных системах разработки.

Совмещение открытого и подземного способов разработки в пределах одного геологического пространства накладывает на ведение этих работ ряд ограничений. Это требует особой организации труда, решения специфических для совместной разработки технических задач, диктует особые условия применения систем разработки и производства взрывных работ.

Основные научно-технические результаты были достигнуты путем:

- оценки существующих геологических и технических условий взаимного ведения подземных и открытых горных работ, выявление и анализ факторов риска, возникающих при совместном открыто-подземном ведении горных работ;
- оценки сейсмического воздействия промышленных взрывов, производимых на открытых работах, на состояние подземных выработок.
- оценки нагрузок, действующих на отработываемые пласты под отвалами вскрышных работ.
- исследования влияния подземных очистных выработок на устойчивость бортов разреза и отвалов вскрышных работ.

Актуальность научных исследований в этой области обусловлена различным геодинамическим, геомеханическим и гидрогеологическим состоянием геологической среды, подверженной техногенному воздействию при подземном, открытом и комбинированном способах ведения горных работ. Комбинированная отработка всегда ведется в условиях измененных природных свойств, строения и состояния геологической среды. Простое применение геологоразведочных данных, используемых при проектировании открытого или подземного способов, не корректно. Различные виды энергообменных процессов, деформаций горного массива или геофизических полей напряжений, происходящих в реальном масштабе времени, проявляются в трансформациях физико-химических, газо- и гидродинамических полей.

В качестве господствующей модели геологической среды рассматривается её многоуровневая блочная конструкция, обладающая рядом специфических свойств:

- Дискретное строение геологических систем формируются в виде иерархически вложенных друг в друга тектонических блоков различного масштабного ранга.
- Блоки более крупного масштабного ранга играют главенствующую роль по отношению к блокам более мелкого ранга и задают им модель поведения.
- Процессы движения и деформирования блоковых систем развиваются направленно и последовательно от границ блоков «старшего» масштабного ранга к границам более мелких.
- Границы блоков наиболее крупного масштабного ранга являются условно несвязными, границы мелких блоковых структур на отдельных участках остаются в «зацепленном» состоянии и обладают остаточной прочностью по контактам, образуя между собой связи (жесткие «мосты»).
- Деформации блочной среды от внешних границ крупно ранговых блоков к внутренним границам мелких блоков развиваются инерционно, занимая периоды времени от нескольких суток до нескольких месяцев.

Геодинамический мониторинг позволяет выполнить прогноз развития природных и техногенных процессов в исследуемой геологической области на основе комплексного анализа

результатов наблюдений. Сочетание средств контроля определяется в ходе реализации аналитического блока и оценки преобладающих форм рисков. Измененное состояние геологической среды приводит к появлению новых факторов, влияющих на безопасное ведение горных работ, и, следовательно, необходимости их контроля средствами МФСБ. Мониторинг предусматривает организацию работ по проведению контроля вмещающей среды по комплексу взаимосвязанных между собой методов, каждый из которых объединяет совокупность базовых видов наблюдений: аналитического; маркшейдерского (деформационного, геодезического); гидрогеологического и геохимического; газодинамического (аэрологического); геофизического.

Решение вопросов геомеханики, гидрогеологии, геофизики в одностороннем порядке, без учета взаимовлияющих факторов не обеспечивают решения всего спектра вопросов безопасной и рациональной отработки и, как следствие, увеличивают риски возникновения техногенных аварий. Системный подход к вопросам обеспечения прогноза и предотвращения опасных техногенных проявлений – это тот путь, который обеспечит безопасную, бесперебойную отработку угольных и рудных месторождений подземным и открытым способами (здесь под системным подходом понимается системология горнотехнического пространства, а не модель статистической обработки отказов, как это продемонстрировано в ГОСТ МФСБ (ГОСТ Р 55154-2012, ГОСТ Р 58494-2019).

Проведенные НИР позволяют приступить к разработке нормативных документов по созданию интегрированных систем мониторинга состояния горного массива в рамках многофункциональной системы безопасности (МФСБ) для подземных, открытых и при совместном ведении подземных и открытых горных работ.

Геометрия и квалитметрия недр

Безопасность и эффективность разработки угольных и рудных месторождений, месторождений нефти и газа во многом определяется используемыми методами наблюдения за деформационными процессами. Основой маркшейдерского обеспечения и контроля состояния является получение объективной информации о динамике деформационного режима в процессе эксплуатации месторождения с целью обеспечения безаварийной работы.

С целью увеличения производительности маркшейдерских работ и обеспечения необходимой точности определения возможных деформаций поверхности инструментальные наблюдения рекомендуется проводить с использованием лазерных сканирующих систем, системы автоматического мониторинга с помощью роботизированного тахеометра (LeicaGeoMos), радарная съемка, спутниковая радарная интерферометрия.

В 2020 г. были проведены исследования влияния подземных очистных выработок на устойчивость бортов разреза и отвалов вскрышных пород.

Подработка откосов подземными работами сопровождается изменением физико-механических свойств горных пород и гидрогеологических условий. Степень изменения физико-механических свойств зависит от глубины подработки открытой выемки подземными работами.

При разных вариантах комбинированного способа разработки угольных месторождений степень влияния геологических и горнотехнических факторов на характер деформирования и устойчивость прибортового массива различна.

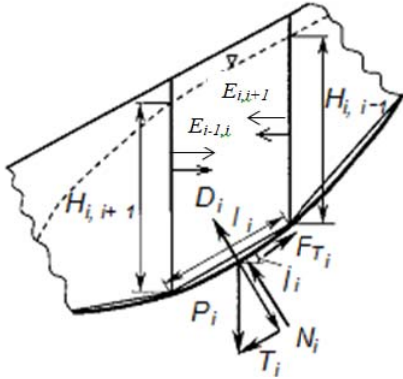
Применение подземно-открытого варианта влечет за собой влияние преимущественно геологических факторов, среди которых преобладающим является прочность массива горных пород. При оценке устойчивости борта необходимо учитывать уменьшение величины сцепления массива горных пород для различных зон нарушенности.

Со временем происходит уплотнение подработанного массива, оценка устойчивости борта производится с учетом трех зон нарушенности: разрушения, трещин и плавного прогиба. Разработка угольных месторождений по открыто-подземному или совмещенному вариантам сопряжена с преобладающим действием применяемой системы подземной разработки, соотношения глубин ведения открытых и подземных горных работ, и кратности подработки.

Оптимальные параметры устойчивых бортов определяются только на основе геомеханических расчетов. Геомеханическим расчетам максимальных параметров устойчивых бортов должно предшествовать районирование поля карьера по условиям устойчивости откосов: литологическому составу пород, структурному строению участка, гидрогеологическим и горнотехническим условиям. Основным критерием оценки степени устойчивости бортов является коэффициент запаса.

Методы расчетов различаются в зависимости от ориентировки боковых граней расчетных блоков, принимаемых в расчет сил и способа их суммирования: метод алгебраического сложения сил, метод горизонтальных сил, метод многоугольника сил, метод с вертикальными боковыми гранями.

В методе горизонтальных сил разбивка призмы возможного обрушения на расчетные блоки осуществляется вертикальными линиями. При анализе условий равновесия i -го расчетного блока предполагается, что по его боковым вертикальным границам действуют только горизонтальные силы $E_{i,i-1}$ и $E_{i,i+1}$. Разность этих сил ΔE_i определяет условие равновесия расчетного блока коэффициент запаса устойчивости борта определяется из условия



Метод алгебраического сложения и горизонтальных сил

на него сил. Боковым весом P_i вертикальным граням расчетного блока действуют некоторые суммарные силы E_i , E_{i+1} с результирующей $\Delta E_i = E_{i+1} + E_i$. На расчетный блок большей высоты весом $\Delta P_i + \Delta P_{i+1}$, помимо указанных сил по вертикальной границе действует сила δE_i . Векторный анализ сил, действующих на расчетный блок в основании, которого формируется зона деформации, приведен на рисунке б.

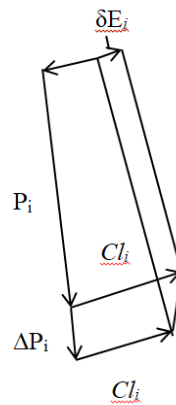
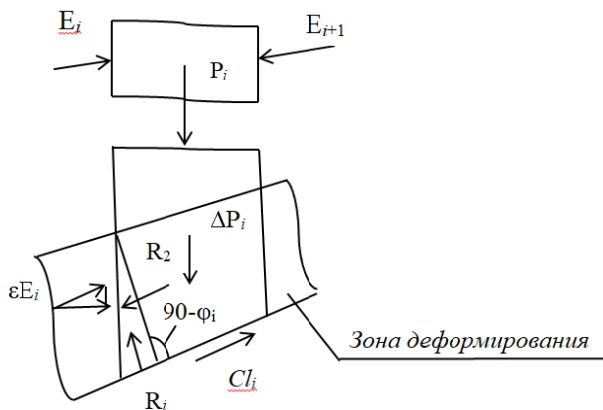


Схема метода с вертикальными боковыми гранями

**а – расчетный блок;
б – векторный анализ**

В реальных условиях углы наклона на основании расчетных блоков является элементами потенциальной поверхности скольжения или границы зоны деформирования (далее расчетная поверхность скольжения) имеют разные значения. Следовательно, в узловых точках расчетной поверхности скольжения предельное равновесие формируется одновременно по двум разнонаправленным площадкам скольжения.

К настоящему времени известен целый ряд схематизации комбинированной

разработки горных месторождений, основанных по принципу совмещения открытых и подземных работ во времени и пространстве. Разработанные схематизации учитывают горно-геологические условия угольных месторождений и направлены на увязку технологических процессов.

Разработанная схематизация горно-геологических условий существующих вариантов совместного ведения открытых и подземных горных работ на угольных месторождениях построена с учетом изменения прочностных и деформационных свойств горных пород и предназначена для разработки геомеханических схем сдвижения и рекомендаций по рациональным схемам ведения горных работ при комбинированной разработке угольных месторождений.

К числу наиболее важных вопросов мониторинга земной поверхности на объектах горно-добывающей промышленности относятся площадные наблюдения труднодоступных и опасных участков с большим риском возникновения геодинамических явлений. В этой связи все более активное применение находят дистанционные методы мониторинга.

Подземная геотехнология

Продолжены работы по внедрению мониторинга состояния массива горных пород с помощью метода естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ) для предупреждения динамических явлений в условиях отработки пластов В₁₂ и В₂₆ шахты «Северная» АО «Ургалуголь».

При отработке пластов на естественное поле напряжений, существующее в горном массиве до техногенного воздействия, накладывается поле напряжений, возникающее под влиянием горных работ. На шахте «Северная» АО «Ургалуголь» в условиях отработки пластов В₁₂ и В₂₆, склонных к горным ударам, начиная с 2015 года, на регулярной основе применяется геофизический мониторинг в качестве меры контроля напряженно-деформированного состояния массива.

Использование геофизического оборудования (ANGEL-M) с фиксированием изменений естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ) горных пород и угля, которые происходят в процессе перераспределения горного давления при ведении подготовительных и очистных работ, и их анализом позволяет оперативно оценивать эти риски и, при необходимости, вносить изменения в комплекс мер по предупреждению динамических явлений, который ежегодно разрабатывается и утверждается на шахте.

Мониторинговые наблюдения для реализации эффективного и безопасного ведения горных работ на шахте концентрируются в геодинамически активных (энергоактивных) зонах, где наиболее существенны проявления горного давления и наиболее вероятны опасные геодинамические события, нарушающие равновесное состояние среды. Дополнительные исследования также проводились в геодинамически опасных зонах, которые образуются в процессе ведения горных работ (целики, у геологических нарушений и т.п.). Проводилось обучение специалистов шахты современным методам и подходам к контролю, прогнозу и борьбе с ГДЯ.

В соответствии с регламентирующими документами для пластов В₁₂ и В₂₆ проводилось ежегодное категорирование по ДЯ с использованием результатов исследований физико-механических и фазово-физических свойств угля с оценкой склонности к удароопасности и уточнением критической глубины удароопасности.

Исследовательские работы 2020 года в пределах горного отвода шахты № 1-5 рудника Баренцбург при отработке удароопасного пласта «Верхний» были сосредоточены на геофизическом мониторинге состояния массива при ведении горных работ. Поставленные задачи по оценке геодинамического состояния массива горных пород решалась на основании анализа строения, состава, механических свойств и температурных условий угольных пластов и вмещающих пород месторождения. Были выделены значимые факторы риска:

- удароопасность пласта Верхний с глубины 400 м;
- наличие по всему месторождению над пластом Верхний толщи прочных песчаников общей мощностью до 150 м;
- изменение мощности толщи мерзлых пород от 90-210 м;
- отсутствие слабопрочного прослоя в непосредственной почве пласта Верхний.

Исходя из указанных рисков, в условиях шахты создана система комплексного многопараметрического мониторинга и проводится ежегодная оценка геодинамического состояния массива горных пород в пределах шахтного поля.

На протяжении многих лет (с 2011 года) накоплен положительный опыт эксплуатации автоматизированной системы геофизического мониторинга состояния удароопасного угольного массива непрерывного действия (GITS) и применения средств контроля и оценки удароопасности краевой части горного массива в капитальных горных выработках дискретного действия (АНГЕЛ, ANGEL-M). Вместе с результатами геофизических методов в оценке текущей геодинамической обстановки используется информация деформационного метода контроля, реализованного с помощью контурных реперных станций. Геофизические и деформационные измерения синхронизованы в пространстве и во времени.

Использование геофизических методов контроля совместно с данными стандартного метода прогноза удароопасности (выход буровой мелочи при бурении шпуров) позволило эффек-

тивно проводить профилактических мероприятий по борьбе с горными ударами. Геодинамические риски минимизированы и 90-95% сейсмических событий из диапазона энергий 500 – 1000 Дж перешли в диапазон 40 – 500 Дж (без роста общего числа сейсмических событий), что позволило избежать проявления горного давления в критической форме.

Данные комплексного мониторинга используются службами шахты для текущего и долгосрочного планирования. В ежедневной работе наличие оперативной информации о геодинамическом состоянии недр, планируемых к отработке, носит еще и обучающий режим ответственного подхода к безопасности.

Геофизические системы контроля (прежде всего сейсмические) в наибольшей степени стимулируют развитие интеграционных направлений в развитии систем контроля состояния горного массива и базовых геомеханических параметров, в том числе в рамках МФСБ («Правила безопасности в угольных шахтах», ГОСТ Р 55154-2012, ГОСТ Р 58494-2019). Предоставляемое сейсмическими системами качество информации на сегодняшний день значительно превосходит уровень достигнутых знаний о природе сейсмических процессов в горной среде, поэтому перспективы совершенствования этих методов во многом связано с более глубоким изучением источников сейсмических процессов и закономерностей их формирования в геологической среде.

Теория проектирования освоения недр

В части разработки мер охраны Порецкого гипсово-ангидритового рудника от затопления в 2020 году было выполнено изготовление индуктивных деформометров ДИ-7, оборудование наблюдательных станций в панелях и проведение контрольных наблюдений, а также разработаны рекомендации по проведению выработок в опасных по прорывам воды зонах и мер охраны рудника от затопления.

По данным анализа геологической и гидрогеологической документации и обследования участков затопления горных выработок установлено, что основной причиной прорыва подземных вод, является низкая эффективность тампонажных работ при ликвидации геологоразведочных скважин и высокая фильтрационная способность тектонических трещин и контактов слоёв в пласте II ангидрита.

В качестве основной меры защиты от затопления рекомендовано оставлять вокруг геологоразведочных скважин барьерные целики, размеры которых определены с использованием практического опыта ООО «ГиПор-М» и ООО «Кнауф Гипс Новомосковск».

Для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий Анастасово-Порецкого гипсово-ангидритового месторождения рассчитаны размеры (радиусы) барьерных целиков вокруг геологоразведочных скважин и ширина барьерных целиков между панелями, у тектонических трещин и в предохранительных зонах под объектами на земной поверхности. Определены радиусы опасных зон по признаку высачивания воды.

Для подтверждения и уточнения результатов расчёта в эксплуатационных панелях проведены инструментальные наблюдения за прогибом кровли камер и деформацией междукамерных целиков на ранее заложенных наблюдательных станциях и дополнена сеть новыми наблюдательными станциями.

По данным наблюдений, значения параметров деформаций за период 2013-2020 гг. не превышают погрешности измерений. Данные измерений свидетельствуют об устойчивости кровли камер и целиков.

На следующей стадии научно-исследовательских работ в период 2021-2022 гг. для обоснования и составления «Указаний по охране рудника от затопления и по определению параметров камерно-столбовой системы разработки Анастасово-Порецкого гипсово-ангидритового месторождения» и представляется необходимым решить следующие задачи:

1. Расширение сети наблюдательных станций с учётом геологических и горнотехнических особенностей месторождения.
2. Исследовать процессы расслоения пород кровли камер и деформаций целиков в разных геологических условиях.
3. Уточнить параметры камерно-столбовой системы разработки на основе данных инструментальных наблюдений.
4. Установить радиусы опасных по прорывам воды зон на обводнённых участках рудника.

5. Разработать рекомендации по контролю и предотвращению повторных прорывов воды в зонах вскрытия обводнённых слоёв и трещин.
6. Разработать рекомендации по проекту барьерных целиков.

Физико-техническая геотехнология

Для определения сейсмобезопасных параметров БВР для безуступного способа отработки камер при несущих пластах гипса, разработки рекомендаций и согласования действующих паспортов БВР, были проведены опытные взрывы с оценкой сейсмического действия взрывов на кровлю камер и краевых зон междукамерных целиков при использовании различных конструкций промежуточных детонаторов в соответствии с разработанной Методикой.

Для решения этих задач специалистами ООО «МНЦ ГЕОМЕХ» совместно с ООО «Кнауф Гипс Новомосковск» выполнены опытные работы с применением экспериментальных паспортов БВР, разработанных рудником, и действующего паспорта БВР для безуступного забоя камеры. В работе использовался аппаратно-программный сейсмический комплекс разработки «ГЕОМЕХ» и сейсмостанция «Апатит-В».

В результате выполненной работы по второму этапу:

- проведены опытные взрывы и проведена оценка сейсмического действия взрывов на кровлю камер и краевых зон междукамерных целиков при использовании различных конструкций ВВ;
- определены сейсмобезопасные параметры БВР для безуступного способа отработки камер при несущих пластах «а» и III потолочины камер;
- разработаны рекомендации по параметрам БВР, обеспечивающим устойчивость кровли камер и краевых зон междукамерных целиков;
- на основании полученных данных проведено согласование действующего паспорта БВР и перспективных паспортов БВР участвующих в эксперименте.

Также для условий Новомосковского месторождения гипса разработаны «Дополнения к «Указаниям по охране зданий и сооружений от вредного влияния подземных горных разработок и по охране рудника от затопления».

С целью обеспечения устойчивости конструктивных элементов камерно-столбовой системы разработки (кровли камер и междукамерных целиков) при воздействии взрывов выполнен анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки Новомосковского месторождения гипса и разработана «Методика проведения комплексных экспериментальных работ...». Разработанная «Методика...» состоит из нескольких разделов, в которых были рассмотрены физические основы разрушения пород в ближней зоне взрыва, методы измерения параметров зон разрушения, а также изложены теоретические представления о воздействии упругих сейсмических волн на обнажения горных выработок (кровлю камер и междукамерные целики), дана методика экспериментальных работ по оценке сейсмического действия взрывов на конструктивные элементы системы разработки и сейсмобезопасных параметров буровзрывных работ.

Работа включала следующие основные задачи:

1. Оценка возможности использования в паспортах БВР одного патрона аммонита №6ЖВ в качестве промежуточного детонатора. Согласование оптимальных параметров паспорта БВР.
2. Оценка возможности использования в паспортах БВР промежуточных детонаторов ПДМ-17-III производства «Азот-Взрыв». Согласование оптимальных параметров паспорта БВР.
3. Определение предельно допустимых значений эффективной приведённой массы заряда ВВ для безуступного способа отработки камер при несущих пластах гипса «а» и III, обеспечивающих устойчивость кровли камер и краевых зон междукамерных целиков.
4. Оценка разрушений в краевых зонах междукамерных целиков и оценка радиусов зон трещинообразования вблизи зарядов ВВ при использовании различных конструкций зарядов ВВ (п.п.1 и 2).
5. Оценка радиусов зон трещинообразования вблизи зарядов ВВ при использовании различных конструкций ВВ (пп. 1 и 2).
6. Определение радиуса сейсмобезопасной зоны при использовании различных конструкций заряда ВВ (пп. 1 и 2).
7. Оценка заколообразования и определение толщины вывалов из стенок камер и отслоений в кровле камер при использовании различных конструкций зарядов ВВ (пп. 1 и 2).

8. Выполнение работ согласно пп. 3-7 для действующих паспортов БВР с конструкцией промежуточного детонатора – два патрона аммонита №БЖВ. Согласование действующих паспортов БВР на основании анализа результатов выполненной работы.

Опытные работы выполнялись в ходе производственной деятельности рудника с применением паспортов буровзрывных работ и по программе, разработанной предприятием ООО «Кнауф Гипс Новомосковск».

Проверка паспортов буровзрывных работ на сейсмобезопасность произведена двумя способами: расчётом при наличии требуемого числа серий замедления и по фактическим значениям скорости колебаний при раздельном взрывании зарядов ВВ в сериях замедления, обусловленном разбросом времени срабатывания применяемых детонаторов относительно номинального.

Выполнена экспериментальная оценка воздействия взрывов на краевые зоны междукамерных целиков по параметрам радиальных трещин при использовании в конструкции шпуровых зарядов с обратным способом инициирования в качестве боевиков одного патрона аммонита №БЖВ и промежуточного детонатора ПДМ. В расчётной формуле установлены значения коэффициентов для разных боевиков.

На основании результатов опытно-промышленных испытаний разработаны рекомендации по обеспечению сейсмобезопасности кровли камер и междукамерных целиков при проведении буровзрывных работ с применением безуступного забоя камеры.

Практическая реализация результатов исследований

В 2020 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, более пятидесяти научно-технических работ были выполнены для условий шахт Ростовской области в части оценки степени влияния горных работ, возможного влияния шахтных вод ликвидированных шахт.

Ликвидированных шахт на техническое состояние жилых домов и построек, расположенных на подработанных территориях.

Для условий Кузбасса проведено рассмотрение и согласование годовой программы развития горных работ на 2020 год на угольных шахтах, склонных к динамическим явлениям. Проведено рассмотрение и согласование «Комплекса мер по борьбе с динамическими явлениями на 2020 год». Выполнено оказание услуг по изучению (обучению) требований инженерно-техническими работниками нормативно-правовых документов по прогнозу и предотвращению динамических явлений на шахтах Кузбасса.

В 2020 году было разработано «Дополнение к Технологическому регламенту крепления горных выработок в условиях Яковлевского месторождения». Целью работы являлось обоснование оптимальных параметров и условий применения металлической арочной крепи, альтернативных способов крепления горных выработок с учетом их срока службы в условиях Яковлевского месторождения.

В результате исследований и проведенных расчетов были дополнительно определены параметры, и условия применения металлической арочной крепи податливой и ограниченной податливости, бетонной и комбинированной крепи для различных горно-геологических и горно-технических условий, анкерной крепи из композитных материалов для крепления кровли и боков очистных заходок, а также были предложены альтернативные материалы для забутовки закрепного пространства.

Полученные результаты научно-исследовательской работы используются в данный момент при планировании и проектировании горных работ на Яковлевском руднике. Дополнение к Технологическому регламенту распространяется на горно-капитальные, горно-подготовительные выработки в рудном и породном массиве, нарезные и очистные выработки в рудном массиве.

По договору с ПАО «Северсталь» был выполнен анализ и техническое обоснование возможности разработки крепи для подготовительных выработок из гнутых замкнутых сварных профилей и на основании математического моделирования разработана конструкторская документация на арочные податливые металлические крепи.

Знаковое событие

В декабре 2020 года ООО «МНЦ ГЕОМЕХ» отметило свой пятилетний юбилей со дня образования. За рассматриваемый период научными сотрудниками института для горнодобывающих предприятий Российской Федерации выполнено более 200 исследовательских работ, связанных с повышением безопасности ведения горных работ, в том числе 5 по Государственным контрактам, заключенным с Министерством энергетики Российской Федерации.

2.15. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА»

В 2020 г. в Научно-производственной корпорации «Механобр-техника» продолжалось проведение исследований, направленных на создание новых прогрессивных технологий по дезинтеграции, классификации, обогащению, переработке различных материалов, промышленных и коммунальных отходов, создание конкурентоспособного горнодобывающего и обогатительного оборудования, используемого при добыче и переработке сырья и отходов, а также на снижение энергозатрат в соответствующих технологических операциях.

1. Основные результаты важнейших поисковых фундаментальных и прикладных исследований

В 2020 г. в Научно-производственной корпорации «Механобр-техника» продолжалась и успешно завершилась работа над проектом Российского научного фонда **«Вибрационные технологии переработки различных материалов в передовых интеллектуальных производствах – теория, моделирование, основы создания мехатронных комплексов для их реализации»**, в завершающем году получены следующие научные результаты.

- Отработана технология и получены кондиционные продукты, отвечающие регламентным требованиям аддитивных технологий и порошковой металлургии. Проведены сравнительные испытания разработанных и изготовленных макетов устройств на металлических порошках различных марок и их смесей с целью определения наилучшей эффективности разделения при сепарации. Определены оптимальные режимы сепарации – величина высокого напряжения, конфигурации электродов, величины разряжения в сепарационной камере (мощности вакуумного насоса) и режим предварительного нагрева порошка.

- Предложена теория, описывающая вибрационную инжекцию газа в жидкость с параметром ускорения, не превышающим $4g$. Опираясь на детальную экспериментальную информацию об образовании пузырьков газа при виброинжекции, удалось более полно объяснить ее с физической точки зрения. Показано, что важным фактором образования пузырька является наличие высокоскоростной струи газа, разгоняющей жидкость вблизи отверстия и придающей пузырьку вытянутую вертикальную форму. Образование пузырька идет в два этапа: рост пузыря при инжекции газа в сосуд и последующий коллапс пузыря с истечением газа из сосуда; вследствие второго этапа размеры пузырьков и оказываются меньше ожидаемого.

- Осуществлено моделирование виброинжекции газа в жидкость с помощью *boundaryintegralmethod*, что позволяет прогнозировать конечные размеры пузырьков и реальный расход газа при виброинжекции; при этом результаты численного моделирования хорошо согласуются с натурным экспериментом. Результаты данного исследования могут быть использованы при проектировании диспергаторов газа на основе виброинжекции.

- Проведены исследования трехфазных систем «жидкость-газ-твердое» при варьировании частот вибрационного воздействия на скорость прохождения через пенную структуру пробных силикатных частиц различной крупности и формы, как природно-гидрофильных, так и гидрофобизированных. Статистически достоверно установлена разница в скорости прохождения пенного слоя гидрофильными и гидрофобными частицами твердой фазы, а также скорость прохождения твердых частиц округлой (сферической) и угловатой формы. Дано физическое обоснование наблюдаемого характера движения твердых тел, связанное с взаимодействием твердых частиц с межфазными границами в каналах Гиббса пенного слоя. Проведенные исследования позволяют сформулировать требования к совершенствованию конструкции флотационных машин различного типа, в том числе, к ресурсосберегающим вибрационным флотомашинам.

- Проведено томографическое исследование структуры пористости горных пород показало, что увеличение скорости нагружения приводит к уменьшению абсолютного количества пор, снижению общей пористости, объема порового пространства и концентрации пор. Степень снижения этих показателей находится в зависимости от текстурно-структурных особенностей и физико-механических свойств горных пород. Результаты выполненных исследований косвенно подтверждают выводы о влиянии скорости нагружения на предел прочности при сжатии.

- Проведены исследования вибрационной дезинтеграции металлической стружки, изучены особенности и режимные параметры этого метода, а также его сравнение с традиционной технологией измельчения. Приведенные результаты показывают целесообразность и перспективность методов тонкой вибрационной дезинтеграции и позволяют перейти к отдельному, весьма важному направлению исследований, которое следует посвятить углубленному изучению и оптимизации подобных процессов для получения специальных металлических порошков, но с использованием жидких и газовых сред для обеспечения нужного конечного качества, требуемого в особо ответственных изделиях, получаемых аддитивными методами.

- Уточнена динамика двухмассных колебательных систем ударного действия. Предложены способы стабилизации рабочего режима на заданных частотах колебаний корпуса и конуса, в частности, до и после порогов Зоммерфельда.

- Для этого в модель был введен блок временного отключения питания. Эксперименты с модифицированной моделью показали возможность обеспечить таким управлением полноценную устойчивость даже на интервалах неустойчивости.

- Закончены теоретические и экспериментальные исследования двухмассной колебательной системы с линейной упругой связью с энергетически оптимальным типом возбуждения колебаний. Разработка и создание вибрационных механических систем с энергетически оптимальным типом возбуждения колебаний, обеспечивающих избирательную, заранее заданную по технологическим соображениям форму колебаний и вибрационный способ воздействия на перерабатываемый материал, позволит существенно снизить энергетические затраты на разрушение твердых материалов при их переработке. Кроме того, полученные данные и исходные требования будут являться необходимыми и достаточными для проектирования опытно-промышленных устройств высокой производительности для различных технологий переработки как природного, так и техногенного материала.

- Установлено, что при вибрационном способе воздействия на обрабатываемый материал усилие, необходимое для его разрушения, на порядок меньше усилия при «статическом» (медленном) нагружении материала. Получены параметры работы и выявлены численные закономерности, позволяющие перейти к проектированию и созданию цифрового двойника рассмотренного вибрационного устройства.

- Обнаружен и исследован эффект периодических пульсаций (циркуляции) энергии в приводе широко распространённых вибрационных машин с инерционным приводом – грохотов, конвейеров, питателей, исследован связанный с ним эффект пульсации частоты в таких устройствах; при этом получены оценки величин пульсации энергии и частоты. На основе анализа нелинейных дифференциальных уравнений системы во втором приближении показано, что в действительности в таких устройствах систематически происходит обмен энергией между ротором и колеблющимся телом. При этом частота вращения ротора колеблется в течение каждого оборота как с исходной частотой, так и с кратными частотами. В результате ускорение колеблющегося тела также приобретает гармоники с кратными частотами.

- Выполнено исследование влияния вибрации на процесс кипения жидкости. Экспериментально получены характерные графики зависимостей температуры начала интенсивного парообразования и пузырькового кипения от параметров вибрации.

- Выполнено исследование движения слоя сыпучей среды при вибрационном воздействии, получены формулы для оценки скорости вибрационного транспортирования штучных грузов и сыпучего материала в основных режимах работы вибрационных транспортно-технологических машин. Результаты вычислений по предлагаемым формулам обнаруживают хорошее согласие с известными и специально полученными в данной работе экспериментальными данными.

- Разработаны методы вибрационной механики для вращающихся механизмов с высокочастотными колебаниями несущих тел с целью разработки методов управления их низкочастотными характеристиками. Получено общее уравнение для усредненного уравнения вращающегося многомассового механизма с одной степенью свободы при наличии высокочастотных стохастических колебаний носителя. Данное уравнение аналогично исходному уравнению при отсутствии возбуждения с одним модифицированным инерционным коэффициентом в выражении для кинетической энергии и модифицированной диссипативной функцией, которые зависят от интенсивности случайного процесса. Получены общие выражения для положения точки равновесия и для собственной частоты медленных движений вблизи этой точки.

- Получена теория сыпучей среды в контексте создания новых высокоэффективных вибрационных машин для ее переработки и моделирование взаимодействия сыпучей среды как гранулярного газа с рабочим органом технологического агрегата с целью энергетической оптимизации процесса переработки материала.

- Разработаны новые динамические гасители колебаний маятникового типа. С целью повышения эффективности данных устройств предложено использовать магниты, прикрепляемые к маятнику. Под действием магнитных сил маятник поглощает больше энергии вибрации несущей системы, что приводит к существенному расширению рабочего диапазона частот устройства. Получены выражения, описывающие динамику несущей системы при наличии предложенного нового гасителя колебаний. Найдены оптимальные значения параметров гасителя колебаний, обеспечивающие его максимальную эффективность.

- Усовершенствованы конструкции и коммерциализированы совместно с заинтересованными партнерами лабораторные приборы для измерения углов естественного откоса гранулярных материалов и для перемешивания (усреднения) проб сыпучих материалов к измерениям. Разработана технологическая линия для получения высококачественных порошковых материалов. Изготовлен электростатический барабанный сепаратор с вибрационной подачей материала. Создана полупромышленная вибрационная конусная дробилка на основе двухмассной системы с механическими вибровозбудителями колебаний. Данные агрегаты и оборудование успешно коммерциализированы и подготовлены к серийному производству.

- Наиболее эффективно к настоящему времени результаты новых исследований и разработок, выполненных в рамках данного проекта, используются в конструкциях вибрационных грохотов. Это связано с тем, что грохоты являются наиболее массовой продукцией НПК «Механобр-техника», имеют объемный рынок и широкий сбыт. Ежегодно по этому направлению выполняется до 50 заказов, при этом возникают принципиально новые технологические задачи, которые невозможно решить с применением ранее созданных машин. Новые знания, полученные благодаря исследованиям, выполненным в данном Проекте, позволяют существенно уточнить методы расчета, интенсифицировать динамические режимы и улучшить технологические показатели.

- Частично результаты исследований вошли в монографию Л.А. Вайсберг, О.В. Кононов, И. Д. Устинов. Основы геометаллургии // Санкт-Петербург: Русская коллекция, 2020.- 376 с.: ил., табл. ISBN 978-5 00067-095-8, вышедшую из печати в 2020 году.

Выполнен в полном объеме заключительный этап работ по проекту Российского научного фонда 18-17-00169 **«Исследование технологических основ переработки различного минерального сырья, содержащего слоистые силикаты, направленным модифицированием структуры при минимизации использования воды»**. На основании полученных результатов подана заявка на продление исследований. В рамках выполненного календарного плана получены следующие результаты:

- Продолжены исследования по нахождению рациональных параметров сухого удаления глинистой фракции из высокозольных углей после термохимического модифицирования. В рамках отчетного периода были получены новые данные по оценке вкрапленности минеральной части до и после термомодификации

- Продолжены исследования по обогащению угля на электростатическом сепараторе. Исходя из вкрапленности Воркутинского угля, определенному с использованием косвенного метода. Полученные результаты по электростатической сепарации показывают довольно приемлемые

показатели по выходу продукта и содержание в нем минеральной части как в концентрате, так и в хвостах обогащения.

- В ходе исследования процессов обогащения углей, подвергнутых гидротермальному модифицированию обнаружено, что гидротермальная обработка бурых высокозольных углей при температурах 200–250 °С вызывает изменение их структуры и физико-химических свойств аналогичное низкотемпературному пиролизу. Причем эти изменения происходят при температурах ниже, чем при пиролизе на 50–100 °С. Продукт гидротермальной обработки по теплотворной способности близок к полукоксу. При гидротермальной обработке поверхность угольной фазы становится более гидрофобной, а у минеральной фракции уменьшается удельная поверхность и теряется способность к набуханию, что приводит к уменьшению ее адсорбционной активности. Это в совокупности существенно изменяет технологические свойства углей. При необходимости только обезвоживания бурых углей гидротермальной обработкой можно производить без добавления свободной воды, а в случае необходимости изменения технологических свойств углей гидротермальную обработку целесообразно осуществлять в суспензиях, содержащих около 50% свободной воды.

- В результате исследования влияния термохимического модифицирования глинодержащих руд и углей перед их обогащением на процессы обезвоживания и утилизации хвостов установлено:

- интенсифицируются процессы сгущения и фильтрования хвостов;
- термоактивированный каолинит, содержащийся в хвостах, имеет большую пуццолановую активность, чем каолинит без активации, что позволяет использовать хвосты обогащения термомодифицированных руд и углей в качестве пуццолановых добавок к цементам и бетонам, в том числе к бетонным смесям, используемым в качестве твердеющей закладки выработанных пространств;
- термохимическое модифицирование руд и углей перед сухим обогащением позволяет использовать полученные хвосты в качестве грунтов для рекультивации и обустройства территорий без использования дополнительных вяжущих;
- термохимическое модифицирование создает предпосылки для использования хвостов обогащения этих руд и углей в качестве исходного сырья для производства геополимеров;
- производство геополимеров на основе хвостов каолинсодержащих руд позволит утилизировать их в составе композиционных бетонов;
- производство геополимеров на основе отходов обогащения углей и калийных руд позволит утилизировать их в виде компонентов твердеющих смесей для закладки выработанных пространств.

Учитывая то, что термическое модифицирование хвостов после обогащения не имеет перспектив из-за сложностей их обезвоживания, термохимическое модифицирование руд и углей, содержащих слоистые силикаты, в голове процесса – перед обогащением позволяет не только интенсифицировать процесс обогащения, но и создает предпосылки для утилизации хвостов.

- Разработаны технические требования к комбинированным технологиям переработки руд и углей, содержащих слоистые силикаты. Предложены технологические схемы:

Высокозольные угли:

- Технология с конвективным нагревом угля и сухим обогащением полукокса;
- Технология с СВЧ-нагревом угля и сухим обогащением;
- Технология с СВЧ-нагревом угля и мокрым обогащением;
- Технология с «сухим» автоклавированием угля и сухим обогащением;
- Технология с автоклавированием суспензии угля и мокрым обогащением.

Каолиновые руды:

- Технология с СВЧ-нагревом и сухим обогащением;
- Технология с автоклавированием каолиновой руды и мокрым обогащением.

Сильвинитовая руда:

- Технология с СВЧ-нагревом и сухим обогащением;
- Технология с СВЧ-нагревом и мокрым обогащением.

- Разработаны технические требования к основному технологическому оборудованию, необходимому для реализации разработанных комбинированных технологий.

Основное отличие разработанных технологий переработки руд, содержащих слоистые силикаты, от используемых в настоящее время подходов заключается в том, что эти руды в головке технологической цепи подвергаются термическому воздействию (конвекция, микроволновое излучение, гидротермальная обработка) с целью их модифицирования. Поэтому сформулировано требование только к оборудованию, используемому для термохимического моделирования, т.к. остальное обогатительное оборудование имеет стандартные характеристики.

В течение 2020 г. в организации также велась работа по проекту Российского научного фонда 19-79-10114 «**Научные основы и оценка технологической и экологической эффективности комплексной переработки твердых коммунальных отходов**».

Выбор технологий утилизации, обезвреживания и захоронения является актуальнейшей задачей построения системы обращения с ТКО (твердыми коммунальными отходами). Задача должна решаться путем анализа комплекса параметров, включая экологическую безопасность. Причем именно вопрос экологической безопасности оказывается краеугольным камнем, вызывая самую жесткую полемику в профессиональных и общественных кругах. Любая заинтересованная в блокировании решения сила с легкостью переводит дискуссию в спекулятивно-эмоциональную плоскость, придает ей искусственно ангажированный характер, и ответственное решение в результате остается не принятым. Зачастую это происходит в тот момент, когда на разработку и проектную привязку уже потрачены колоссальные средства.

Отсрочка принятия решений по вопросам строительства современных объектов захоронения и переработки отходов приводит к вынужденному размещению отходов на стихийно возникших свалках, не соответствующих нормам экологической безопасности. К сожалению, подобная тенденция наблюдается повсеместно: начиная с приполярных регионов, обладающих крайне уязвимыми экосистемами, и заканчивая Москвой и Подмосковьем, Санкт-Петербургом и Ленинградской областью. Количество ежегодно образующихся ТКО сегодня достигло 274 млн м³. Несмотря на пристальное внимание, уделяемое проблеме на всех уровнях, за последние пять лет, охваченных статистической обработкой, доля обезвреживаемых ТКО, напротив, упала. Если в 2012 году на мусороперерабатывающие предприятия направлялось 10,5% всех твердых коммунальных отходов; то в 2017 году – лишь 10,2%, в т.ч. на обезвреживание – всего 2,2% (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году»).

Степень, до которой парализовано развитие отрасли, демонстрирует тот факт, что в конце 2018 года существование стихийных свалок было временно узаконено (п.8 ст.29.1 89-ФЗ «Об отходах» в ред. от 25.12.2018). Снижение качества окружающей среды в результате массового захоронения не обезвреженных отходов на таких объектах сегодня стало техногенной угрозой, реальной практически для всех регионов России.

Цель проекта – снижение негативного воздействия на окружающую среду на территории РФ за счет создания методологии и инструментария, повышающих эффективность принятия решений в сфере управления твердыми коммунальными отходами. По итогам проекта будет создана методика комплексной оценки экологической эффективности технологий утилизации, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов.

Задачи исследования:

- обоснование интегрального показателя экологической эффективности, характеризующего экологическую безопасность самой технологии и экологический эффект от ее применения (снижение объема захораниваемых отходов, степень обезвреживания и т.д.);
- разработка методики расчета интегрального показателя экологической эффективности по данным о воздействии процесса на качество окружающей среды и санитарно-эпидемиологическое благополучие населения;
- разработка модели, адекватно описывающей значимые аспекты негативного воздействия в течение полного жизненного цикла отхода при применении различных процессов обращения с ТКО;
- систематизация закономерностей и результатов физических, химических, биологических превращений материи, характерных для основных известных технологий обращения с ТКО;
- создание базы знаний, обеспечивающей пользование методикой;

- создание справочной базы для экспрессного принятия решений: количественная оценка эколого-технической эффективности для основных известных технологий и ранжирование их по уровню экологической эффективности; разработка рекомендаций относительно условий, в которых применение соответствующей технологии целесообразно.

В рамках первого года исследований изучены технологии обработки, утилизации, обезвреживания, захоронения и рекультивации ТКО, как массово применяемые, так и находящиеся на более ранних стадиях внедрения и разработки. Рассмотрены как традиционные, так и альтернативные подходы, применяемые в переработке отходов. Выполнена классификация существующих технологий по признакам, важным для понимания места каждой технологии в разрабатываемой модели оценки экологической эффективности, а также для понимания последовательностей и механизмов превращения отходов в изучаемых процессах.

Изучены основные характеристики существующих технологий обращения с ТКО, выполнен анализ особенностей и условий целесообразности их применения. Изучен опыт применения технологий в России и за рубежом, выявлены мировые тенденции и перспективы развития отрасли обращения с ТКО. Определены ключевые характеристики технологий переработки и захоронения ТКО, важные для анализа жизненного цикла и оценки эколого-технической эффективности. Из множества технологий обращения с ТКО, выявленных на данном этапе, будут сформированы варианты сценарии, включающие цикл «обработка» – «обезвреживание, утилизация» – «захоронение», которые станут объектом оценки эколого-технической эффективности при верификации создаваемой модели.

Выполнен анализ существующей ситуации в сфере обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Российской Федерации и сформулированы принципы оценки экологической эффективности, соблюдение которых позволит создать эффективный прозрачный инструмент для принятия рациональных, обоснованных решений при создании новых предприятий и схем обращения с отходами:

- оценка экологической эффективности технологий должна быть основана на модели, отражающей результаты физико-химических и количественных превращений отходов в рассматриваемых процессах;
- модель должна описывать оцениваемые процессы с удовлетворительной точностью и адекватностью, но не быть слишком трудоемкой;
- результаты моделирования должны быть представлены в виде конкретных численных значений, характеризующих все значимые аспекты воздействия на окружающую среду и положительные экологические эффекты;
- должен быть создан интегральный показатель сравнительной экологической эффективности, позволяющий адекватным образом свести воедино все численные значения, полученные при моделировании.

Проведен анализ существующих методов и подходов к оценке воздействия систем обращения с отходами на окружающую среду, выявлены методические подходы и элементы методик, которые могут быть использованы при разработке методики оценки экологической эффективности технологий. Обоснованы подходы к моделированию воздействия технологии на качество окружающей среды. Предлагаемые подходы включают: изучение процессов химического и биохимического превращения вещества в технологиях переработки отходов и их захоронения; оценку воздействия продуктов переработки на окружающую среду и здоровье населения. Будут систематизированы результаты физических, химических, биологических превращений материи, характерные для основных известных технологий (обезвреживания, утилизации, обработки, захоронения; как массово внедренных, так и перспективных) и разработана модель, их отражающая. Модель будет учитывать воздействие перечисленных процессов в течение полного жизненного цикла отхода до момента окончательной стабилизации биоразлагаемой фракции на объекте захоронения. В модели будут учтены негативное воздействие от использования продуктов переработки отходов и возможные риски не реализации этих продуктов. В модели будет учтена энергоэффективность, а именно: потребление энергии технологическим процессом, генерация энергии технологическим процессом, производство топливных продуктов.

С целью гармонизации разрабатываемой методики с действующим законодательством в области обращения с отходами, выполнен анализ действующей нормативной базы РФ в рас-

смагриваемой сфере. Действующие нормативные требования и принципы государственной политики Российской Федерации учтены в разрабатываемой методике в виде следующих принципов: стремление к наименьшему удельному уровню негативного воздействия на окружающую среду при выборе технологии или сценария обращения с отходами; оценка технико-экономической эффективности и осуществимости технологии с учетом опыта промышленного внедрения; оценка энергоэффективности технологии.

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

В 2020 году начата работа по проекту Российского научного фонда «**Технологические основы энерго- и ресурсосберегающей утилизации отходов металлообработки с производством порошков для аддитивных технологий**» и по проекту «**Разработка промышленного сепаратора ТКО для современных мусороперерабатывающих комплексов**», финансируемому Фондом содействия инновациям. Исследования по этим направлениям только начаты, они будут продолжены в дальнейшем, основные выводы и заключения будут сделаны в 2022 году.

2. Защита интеллектуальной собственности

Интеллектуальная собственность, созданная в НПК «Механобр-техника», технические решения и технологии, защищены патентами на изобретения, полезные модели, промышленные образцы и товарные знаки.

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

3. Участие в совещаниях и конференциях

В 2020 г. сотрудники корпорации принимали участие и выступали с докладами на различных конференциях и совещаниях.

1. Международный научный симпозиум «Неделя Горняка», Москва, МИСиС, 27 – 31 января 2020 г., <http://minersweek.misis.ru/ru>

Л.А. Вайсберг, А.Н.Коровников «Инновационные технологии и машины в процессах переработки минерального сырья».

2. VI Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее», ВИАМ, Москва, 27 марта 2020 <https://conf.viam.ru/conf/321>

Дмитриев С.В., Мезенин А.О., Черкасова М.В. Передовые исследования и разработки НПК «Механобр-техника» в области аддитивных технологий.

3. Уральский государственный горный университет, ООО «Таилс КО», Екатеринбург, 07-10 апреля 2020 г. в рамках XVIII Уральской горнопромышленной декады, XXV Международная научно-техническая конференция «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», <http://www.ursmu.ru/umid/>

Дмитриев С.В., Мезенин А.О., Черкасова М.В. Применение метода электрической сепарации для экологически безопасной переработки минерального и техногенного сырья.

4. XIII семинар по технологической минералогии <http://igkrc.ru> в составе международной конференции «Юшкинские чтения-2020» «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии», Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, декабрь 2020 года <http://geo.komisc.ru/min2020>.

Вайсберг Л.А., Устинов И.Д. Практическая геометаллургия титано-тантало-ниобатов.

Герасимов А.М., Арсентьев В. А., Еремина О. В. Направленное изменение структуры слоистых силикатов.

5. Международная конференция «Виброинжиниринг 2020», Санкт-Петербург, НПК «Механобр-техника», 29 июня – 1 июля 2020 г. (он-лайн) <https://www.jveconferences.com/conference/PETERSBURG-2020>;

- Самуков А.Д., Дмитриев С.В., Черкасова М.В., Ржанкова Н.Б. Энергозатраты при получении металлических порошков методами вибрационной дезинтеграции;

- Демидов И.В., Михайлова Н.В., Ясинская А.В., Самуков А.Д. Экспериментальные исследования вибрационной инъекции газа в жидкость;

- Морозов П.Д., Михеев С.Е. Study of the working stroke of the Dynamic System with Three Degrees of Freedom [Исследование рабочего хода динамической системы с тремя степенями свободы];

- Черкасова М.В., Самуков А.Д., Гончаров И.В., Мезенин А.О. Влияние способа дезинтеграции металлической стружки на свойства получаемых порошков;

- Герасимов А.М., Еремина О.В., Лазарева В.В., Ясинская А.В. Влияние вибраций на устойчивость двухфазных пен;

- Блехман И.И., Блехман Л.И., Васильков В.Б. Инженерная модель процесса вибрационного транспортирования.

6. Международная выставка и форум по управлению отходами WasteTech, Москва, 8-10 сентября. <https://www.waste-tech.ru/ru-ru.html>

Михайлова Н.В., Ясинская А.В. На пути к достижению целей национального проекта «Экология»: технологические вызовы при обращении с ТКО.

7. Международное совещание «Плаксинские чтения – 2020» «Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья», г. Апатиты, 21-26 сентября 2020 г., <http://plaksin.ipkonran.ru/>

Вайсберг Л.А. Цифровые технологии и большие данные в обогащении минерального сырья.

8. Конгресс по обогащению полезных ископаемых в Кейптауне 18-22 октября 2020 года <https://impc2020.com/>




Герасимов А.М., Арсентьев В.А., Устинов И.Д. Модифицирование руд, содержащих слоистые силикаты, микроволновым воздействием (Phyllosilicates containing ore modification by microwave treatment). Перенесен на 2022 г. *Из-за пандемии НКИ Конгресс перенесен на 2022 г.*








9. Конференция «Stability and Control Processes Conference» («Стабильность и процессы управления») – международная конференция памяти профессора В.И. Зубова <http://www.apmath.spbu.ru/scp2020/> публикация трудов издательством Springer в книжной серии *Lecture Notes in Control and Information Sciences – Proceedings*.

П.Д. Морозов, С.Е. Михеев. Sommerfeld Effects in Two Mass Crusher with 3 Degrees of Freedom (Эффекты Зоммерфельда в двухмассовой дробилке с 3 степенями свободы).

Публикации

В 2020 г. получены новые научные знания и результаты, которые отражены в следующих публикациях в изданиях, преимущественно входящих в базу данных Scopus и W.O.S.

<p>1. П.Ю. Булдаков, Е.Е. Каменева, В.А. Кузькин, А.М. Кривцов. Алгоритм обработки результатов микротомографии горных пород для получения информации о структуре их порового пространства</p>	<p>Обогащение руд, 2020, №1, с. 3-7 <i>Scopus, Q2</i></p>  or_20_01_01-1.pdf
<p>2. И.И. Блехман, Л.И. Блехман, В.Б. Васильков. Инженерная модель процесса вибрационного транспортирования</p>	<p>Материалы конференции Виброинжиниринг 2020, Scopus</p>  БлехманБлехманВасильков vr-32-21519.r
<p>3. L.A. Vaisberg, E.E. Kameneva. X-ray computed microtomography as the basis for mineral processing improvement: review</p>	<p>«Eurasian mining» №1-2020, с 46-52 <i>DOI: 10.17580/em.2020.01.09</i> http://rudmet.net/media/articles/Article_EM_01_20_pp.46-52.pdf <i>Scopus, Q1</i></p>
<p>4. А.М. Герасимов, И.В. Григорьев, И.Д. Устинов. Особенности определения углов естественного откоса гранулярных материалов</p>	<p>«Обогащение руд» 2020, №4, с. 48-52 <i>Scopus, Q2</i></p>  or_20_04-8.pdf

<p>5. А.М. Герасимов, О.В. Еремина, В.В. Лазарева, А. Ясинская. Влияние вибраций на устойчивость двухфазных пен</p>	<p>Материалы конференции Виброинжиниринг 2020 <i>Scopus</i></p>  <p>ГерасимовЕрёминаЛазареваЯсинская vp-</p>
<p>6. А.М. Герасимов, М.В. Черкасова. Application of particle-size analysis in various industries</p>	<p><i>Journal of Physics: Conference Series (JPCS) Q3</i></p>
<p>7. И.В. Демидов, Н.В. Михайлова, А.В. Ясинская, А.Д. Самуков. Исследование вибрационной инжекции газа в жидкость</p>	<p>Материалы конференции Виброинжиниринг 2020 <i>Scopus</i></p>  <p>ДемидовМихайловаЯсинскаяСамуков vp-</p>
<p>8. Ao Zhang, Vladislav Sorokin, He Li. Dynamic analysis of a new autoparametric pendulum absorber under the effects of magnetic forces</p>	<p><i>Journal of Sound and Vibration</i> https://authors.elsevier.com/sd/article/S0022-460X(20)30381-3 DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115549 <i>Scopus u Web of Science Q1</i></p>
<p>9. Е.Б.Кремеп. Vibrational mechanics of systems with amplitude and phase modulation of excitation</p>	<p>NODYCON2019 Proceedings Глава Vibrational Mechanics of Systems with Amplitude and Phase Modulation of Excitation в книге Nonlinear Dynamics of Structures, Systems and Devices, Volume I. Pages 35-41 Springer DOI 10.1007/978-3-030-34713-0_4 https://www.springer.com/gp/book/9783030347123 <i>Scopus u Web of Science</i></p>
<p>10. П.Д. Морозов, С.Е. Михеев. Стохастическая модель рабочего хода двухмассной конусной дробилки</p>	<p>Материалы конференции Виброинжиниринг 2020 <i>Scopus</i></p>  <p>МорозовМихеев vp-32-21542.pdf</p>
<p>11. А.Д. Самуков, М.В. Черкасова, Н.Б. Ржанкова, С.В. Дмитриев. Энергозатраты при получении металлических порошков методами вибрационной дезинтеграции</p>	<p>Материалы конференции Виброинжиниринг 2020, <i>Scopus</i></p>  <p>СамуковЧеркасоваРжанковаДмитриев vp</p>
<p>12. Sorokin Vladislav S. Vibrations of a nonlinear stochastic system with a varying mass under near resonant excitation</p>	<p><i>Journal of Vibration and Control</i> <i>Scopus u Web of Science, Q1</i></p>  <p>Сорокин 2020.pdf</p>
<p>13. М.В. Черкасова, А.Д. Самуков, И.В. Гончаров, А. О. Мезенин. Влияние способа дезинтеграции металлической стружки на свойства получаемых порошков</p>	<p>Материалы конференции Виброинжиниринг 2020 <i>Scopus</i></p>  <p>ЧеркасоваСамуковГончаровМезенин vp-</p>
<p>14. Л.А. Вайсберг, О.В. Кононов, И.Д. Устинов. Основы геометаллургии (Монография)</p>	<p>Русская коллекция 2020</p>  <p>Геометаллургия Обложка.pdf</p>

15. Михайлова Н.В., Ясинская А.В. Современные технологии энергетической утилизации ТКО	Экология и промышленность России. 2020; 24(8): с. 4-11 https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-4-11 ,
16. Герасимов А.М., Арсентьев В.А. Изменение физико-химических свойств бурого угля при гидротермальном модифицировании	Обогащение руд, 2020 г., №5, с. 21-25

В 2020 году Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» выполнила значительный комплекс научно-исследовательских работ, направленных на ресурсо- и энергосбережение в горно-перерабатывающей промышленности, на развитие технологий 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 – Санкт-Петербургским горным университетом, Санкт-Петербургским государственным Политехническим университетом Петра Великого, НИТУ МИСиС и др. Указанные работы сопровождались работой по подготовке инновационно-ориентированных научных и инженерных кадров в Научно-образовательном центре компании.

2.16. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ»

Направления научных исследований в АК «АЛРОСА» тесно связаны с задачами и нуждами производства, важнейшими из которых являются:

- поддержание сырьевой базы;
- обеспечение эффективной добычи алмазной продукции;
- научное обеспечение.

В 2020 г. выполнено 1 научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, 7 технологических работ и 120 инженерно-технических услуг, имеющих существенное значение для эффективного развития технологий горно-обогатительного производства.

К наиболее значимым работам относятся исследования по совершенствованию добычи и переработки алмазосодержащих руд, обеспечивающих высокую эффективность, а также снижение энергозатрат и эксплуатационных расходов. В этот период внедрено и использовано в производстве 9 научно-технических разработок.

I. Технологический регламент системы разработки с подэтажной отбойкой и торцевым выпуском для условий рудника «Айхал» (руководитель работы к.т.н. Тишков М.В.)

Целью работы являлось рассмотрение возможности отработки всех запасов (запасы предохранительного целика и подкарьерные запасы) месторождения системой с принудительным обрушением и торцевым выпуском руды.

Одной из основных проблем является решение задачи по отработке переходной зоны для и последующего перехода с системы разработки с закладкой выработанного пространства на систему с торцевым выпуском руды.

Особое внимание при отработке переходной зоны требуется уделять количеству выпускаемой руды с каждого подэтажа. При отработке первого подэтажа на отм. -120м необходимо осуществлять выпуск 50% от объёма отбитой горной массы, тем самым обеспечить возможность беспрепятственной отбойки нижележащего подэтажа и создания «предохранительной» подушки. При переходе и отработки второго подэтажа на отм. -140м выпуск осуществлять в объёме 80%. Полный выпуск отбитой горной массы производится при отработке самого нижнего подэтажа. Аналогичным образом следует производить выпуск при отработке подкарьерных запасов. Принципиальная схема отработки представлена на рисунке 1. Учитывая технологические особенности возведения, закладочный массив имеет ярко выраженную слоистость по вертикали. Из-за интенсивности подработки на большой площади (горизонтальное обнажение) закладочный массив должен начать обрушаться за счёт гравитационных сил и тем самым создавать определённую «подушку».

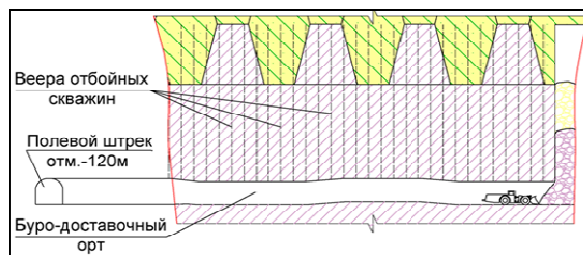


Рисунок 1 – Принципиальная схема отработки переходной зоны

На начальной стадии отработки запасов ниже отм. -100м необходимо выполнить бурение горизонтально ориентированных скважин диаметром 89 или 102 мм. Эти скважины будут иметь двойное назначение, как для проведения визуального контроля за разрушением и сдвижением закладочного массива, так и для проведения сотрясательных взрывов в случае принудительной посадки массива. Схема вскрытия и подготовки запасов нижеотм. -100м представлена на рисунке 2.

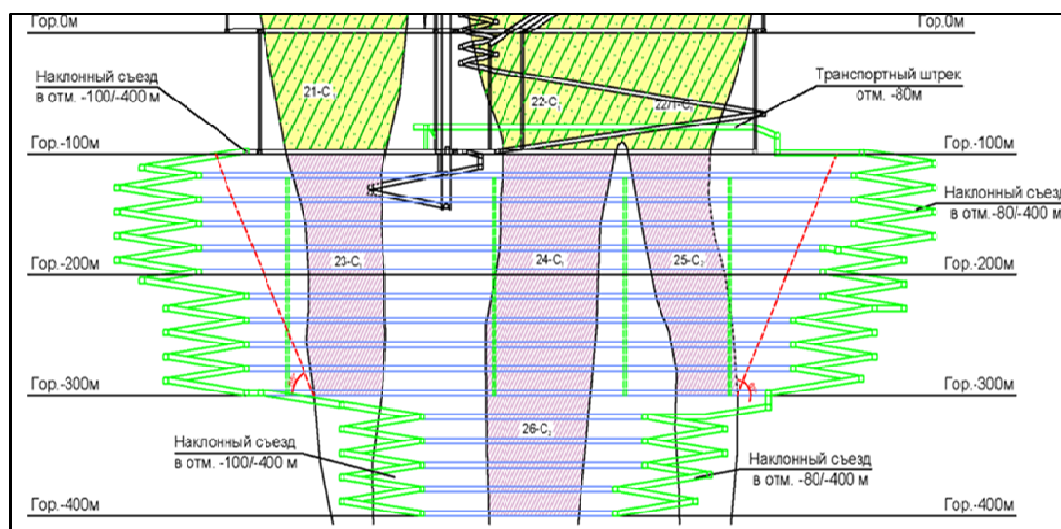


Рисунок 2 – Схема вскрытия и подготовки запасов ниже отм. -100м.

Второй задачей было определение порядка отработки подкарьерных запасов. В работе было принято существенное допущение учитывающее условие, что отработка подкарьерных запасов осуществляется после ликвидации водного объекта.

При отработке подкарьерных запасов перед проходкой нарезных выработок в обязательном порядке требуется опережающее бурение скважин с целью фиксации возможных водопроявлений и установления их дебетов и объёмов.

Начинать отработку подкарьерных запасов следует с Юго-Западного рудного тела (далее – ЮЗРТ). Это обусловлено тем, что, по предварительной оценке, толща донных отложений над ЮЗРТ представлена крупнообломочным материалом с меньшим содержанием глинистых частиц. На первом этапе предлагается отработать запасы геологических блоков 17/1 и 17/2 до отм. +200м. (подэтажи +240м, +220м., +200м.) После отработки и «выполаживания» верхней части запасов ЮЗРТ предлагается приступать к отработке запасов подэтажа +180/+170м Северо-Восточного рудного тела (далее – СВРТ) и далее с одновременным понижением обрабатывать все оставшиеся подкарьерные запасы.

Перед проходкой нарезных выработок необходимо в обязательном порядке проводить опережающее бурение с целью фиксации возможных водопроявлений и установления их дебетов и объёмов. Помимо этого, для подтверждения скоростей дренирования массива осыпей необходимо выполнять буровые работы непосредственно в кровлю каждой буро-доставочной выработки. Пробуренные скважины позволят производить постоянный контроль за водопроявлениями и их отведением. Очистная выемка с буро-доставочных ортов должна осуществляться после полного дренирования контрольно-дренажных скважин.

Откатку подкарьерных запасов предлагается осуществлять независимо от работы действующей схемы выдачи рудника через портал на отм. +395м подземными автосамосвалами с дальнейшей перегрузкой и транспортировкой до рудного склада. Схемы расположения очистных выработок по простиранию на СВРТ и вкрест простирания при отработке блока 17/2С1 и по простиранию при отработке блока 17/1С1 ЮЗРТ при отработке подкарьерных запасов предохранительного целика представлена на рисунках 3 и 4.

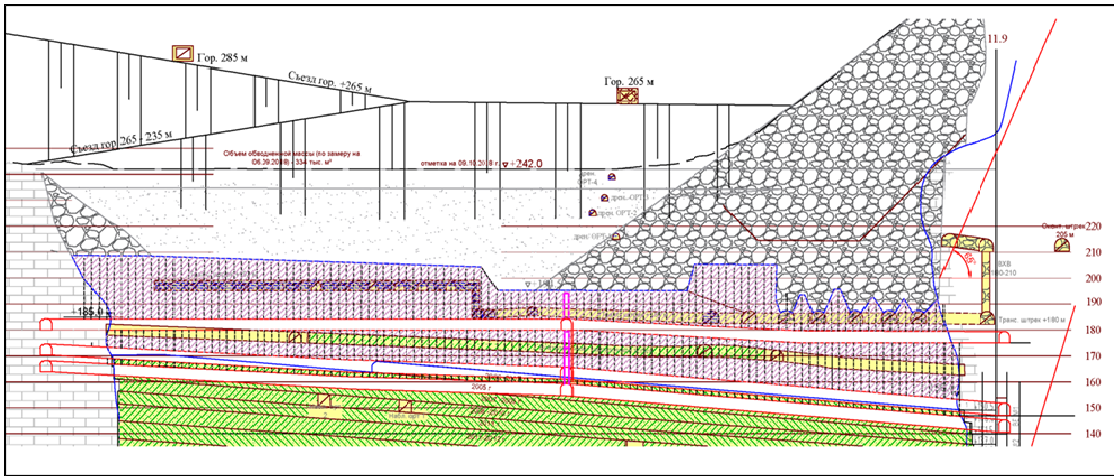


Рисунок 3 – Схемы расположения очистных выработок по простиранию на СВРТ

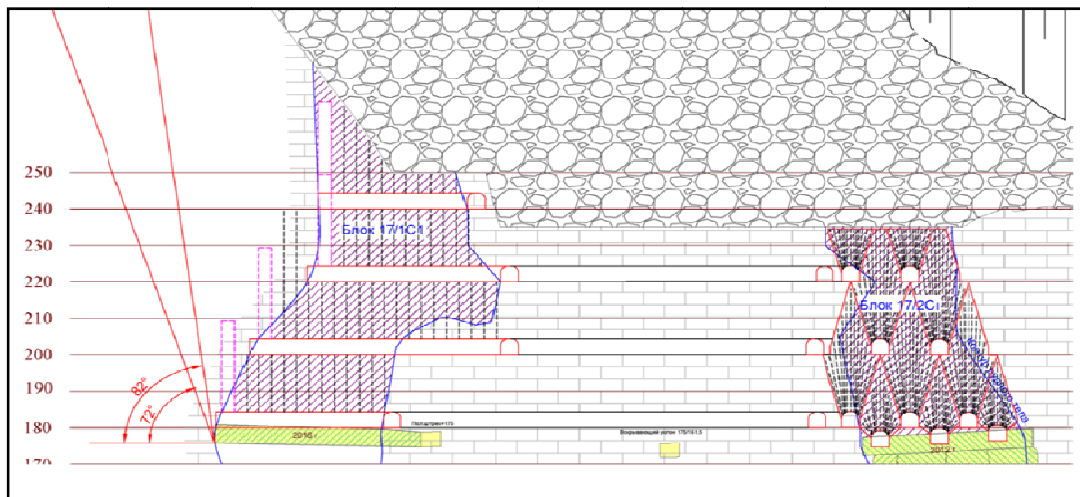


Рисунок 4 – Схемы расположения очистных выработок вкрест простирания при отработке блока 17/2С1 и по простиранию при отработке блока 17/1С1 ЮЗРТ

Одним из вариантов проведения работ по осушению карьерного пространства предполагалось выполнить мероприятия по перепуску оставшейся на дне пульпы, посредством создания компенсационного пространства в массиве северного борта карьера, за счёт вновь пройденных выработок или выработок пройденных ранее, но не используемых в настоящее время (выработки горизонтов +180 м и +205 м). Следует отметить, что объем донных отложений на 2019 год составляет порядка 350 тыс.м³, а объем всех пройденных выработок составляет всего 700 тыс.м³, поэтому возможность перепуска пульпы в рудник неосуществима.

В этой связи в работе рассмотрено два возможных сценария отработки, при этом в любом из них работы по осушению нужно начинать как можно раньше.

Сценарий 1. Главная идея заключается в длительном поддержании производительности рудника в проектном объёме – 500тыс.т./год.

Для обеспечения этого условия предложено вовлечь в отработку подкарьерные запасы системой поэтажного обрушения, начиная с 2027 года. При этом производительность при отра-

ботке подкарьерных запасов составит 350 тыс. т./год с обоих рудных тел. Сразу после погашения подкарьерных запасов приступаем к интенсивной отработке запасов блоков 19 и 21 на ЮЗРТ с целью обеспечения равномерного понижения фронта очистных работ по месторождению. Далее для поддержания производительности в отработку подключаются запасы глубоких горизонтов блоков 24 и 25 на СВРТ. На завершающей стадии в отработку вовлекаются блоки 23 ЮЗРТ и 26 СВРТ.

Данный порядок отработки блоков позволяет сохранить проектную производительность вплоть до 2041 года с постепенным затуханием в 2042 и 2043 годах в объёмах 400 и 235 тыс. т./год, соответственно.

Вариант позволяет выполнять транспортировку отбитой горной массы с подкарьерных запасов как через уклон до портала на отм. +395м. так и через существующую схему выдачи.

Сценарий 2. Предлагается вести одновременную отработку подкарьерных запасов в рамках обособленного участка месторождения, без привязки к проектной производительности действующего рудника. В данном варианте производительность при отработке подкарьерных запасов идентична со сценарием 1 и составляет на нормальной стадии отработки 350 тыс. т./год. Выдача горной массы осуществляется только через портал на отм.+395м.

При этом параллельно ведётся погашение запасов, предусмотренных проектом с учётом «глубоких» горизонтов с годовой производительностью 500 тыс. т./год.

Таким образом с началом отработки подкарьерных запасов годовая производительность месторождения в период с 2027 по 2032 годы увеличится до 850 тыс. т./год. Далее производительность вплоть до 2034 года будет составлять 500 тыс. т./год. В период с 2032 по 2034 год будут отрабатываться запасы блока 19 ЮЗРТ и блоков 24 и 25 СВРТ. После 2034 года к отработке остаются блока 21 и 23 ЮЗРТ и оставшаяся часть блока 24 с последующим вовлечением блока 26 СВРТ. В этот период поддержание заданной производительности (500 тыс. т./год.) не достигается ввиду невозможности одновременной отработки запасов по вертикали.

Из вышеизложенного следует, что при отработке подкарьерных запасов обособленным участком происходит кратковременное увеличение производительности по месторождению, после чего годовые объёмы добычи снижаются по отношению к проектным на срок 8 лет.

Для обоснованного достижения проектной производительности на максимально длительный срок эксплуатации рудника предпочтительнее порядок отработки по сценарию 1. Данный порядок отработки блоков позволяет сохранить проектную производительность вплоть до 2041 года с постепенным затуханием в 2042 и 2043 годах в объёмах 400 и 235 тыс. т./год, соответственно. Зависимость производительности рудника от порядка отработки запасов (сценариев 1 и 2) представлена на рисунке 5.

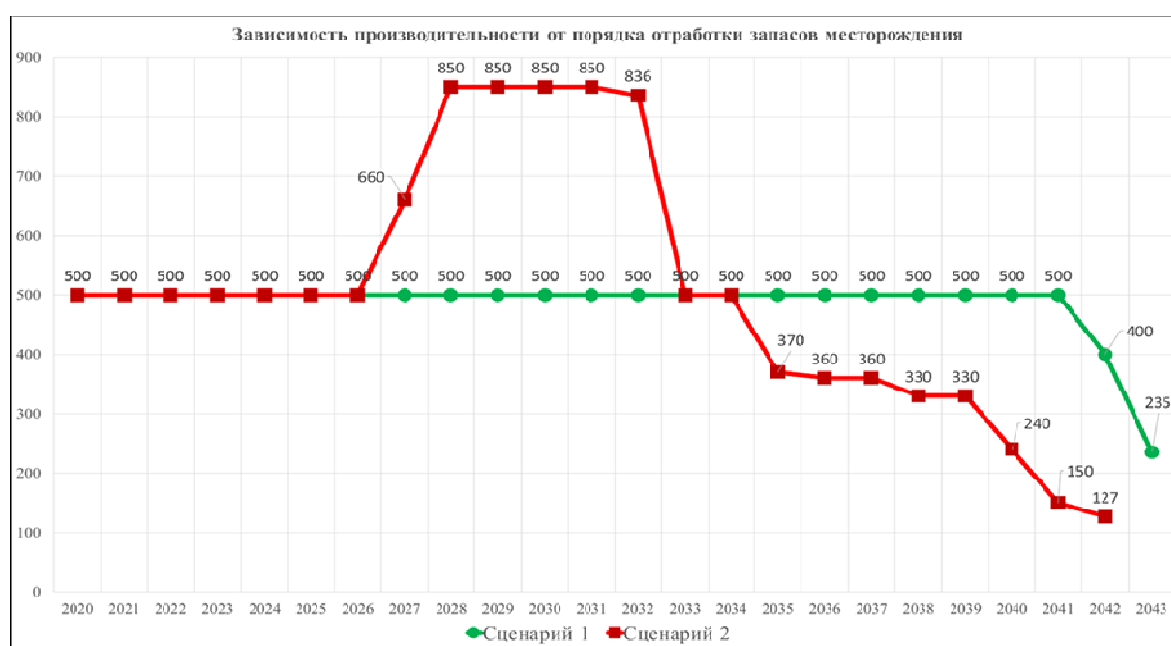


Рисунок 5 – Зависимость производительности рудника от порядка отработки запасов

II. Научно-методическое сопровождение применения электронных систем инициирования «ИСКРА-Т» в условиях АК «АЛРОСА» (руководитель работы Никитин Р.Я.)

С целью повышения эффективности БВР в карьерах АК «АЛРОСА» были проведены опытно-промышленные испытания (ОПИ) применения электронных систем инициирования (ЭСИ) «Искра-Т» при взрывании рассредоточенных скважинных зарядов с воздушными промежутками. Результаты ОПИ показали возможность эффективного их применения в условиях карьеров Компании.



Рисунок 6 – Внешний вид ЭСИ ИСКРА-Т

ИСКРА-Т – это электронное инициирующее устройство на основе волновода и капсуля-детонатора с электронным замедлением. Используется при взрывных работах на земной поверхности, а также в подземных рудниках и шахтах, не опасных по газу или пыли. Замедления в устройстве устанавливаются непосредственно на заводе. Внешний вид ЭСИ ИСКРА-Т приведён на рисунке 6.

Данная система имеет аналогичные с неэлектрическими системами инициирования (НСИ) ИСКРА-С или ИСКРА-Ш способы применения и монтажа, в связи с чем не требуется дополнительное обучение персонала, задействованного при монтаже сети.

Основное отличие ИСКРА-Т – это исполнение замедлителя, в НСИ используется пиротехническая смесь, а в ИСКРА-Т – электронный модуль. Конструкция электронного детонатора с использованием ударно-волновой трубки приведена на рисунке 7.

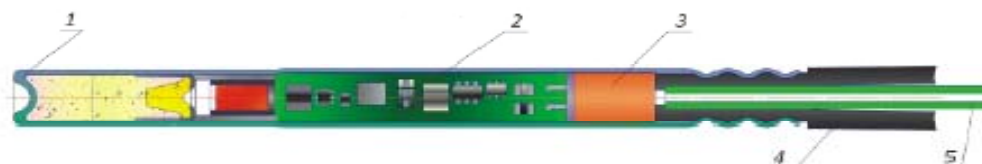


Рисунок 7 – Конструкция электронного детонатора с использованием ударно-волновой трубки:
1 – гильза детонатора мгновенного действия; 2 – электронный модуль;
3 – электромагнитный генератор; 4 – втулка; 5 – ударно-волновая трубка

Применение ЭСИ систем позволяет в полной мере использовать энергию взрыва для эффективной интенсификации дробления горного массива, за счёт точности срабатывания капсуль-детонатора, особенно при инициировании рассредоточенного заряда.

Опытно-промышленные взрывы с применением ЭСИ «ИСКРА-Т» проводились в 2020 г. на карьерах АГОК и НГОК. В карьере «Юбилейный» Айхальского ГОКа проведены ОПИ с применением «Искра-Т-1990-10» и «Искра-Т-2000-18».

Параметры БВР приведены на таблице 1.

Таблица 1

Параметры опытных взрывов на карьере «Юбилейный»

кол-во скв.	№ скв.	d скв.	H уст., м	L скв., м	L пер., м	Сетка скв., м	Заряд ВВ, кг					Уд.расх. кг/м ³	Высота заряда	Вместимость	
							ВВ шт	Иремекс, кг	Ирегель, кг	НПГМ-П-Б-600-8000	Q				
33	1	33	230	14,5	16,5	2,0	6,8 x 6,8	1,0	570			571	0,85	9,19	62,00
45	34	78	230	15,0	17,0	2,0	6,8 x 6,8	1,0	510			511	0,74	8,23	62,00
15	79	93	230	14,5	16,5	2,0	6,8 x 6,8	1,0	490			491	0,73	7,90	62,00
5	94	98	230	14,0	16,0	2,0	6,8 x 6,8	1,0	600			601	0,93	9,68	62,00
7	99	105	230	14,5	16,5	2,0	6,8 x 6,8	1,0	620			621	0,93	10,00	62,00
9	106	114	230	14,5	16,5	2,0	6,8 x 6,8	1,0	490			491	0,73	7,90	62,00
22	115	136	230	15,0	17,0	2,0	6,8 x 6,8	1,0			408	409	0,59	12,75	32,00
12	137	148	230	14,5	16,5	2,0	6,8 x 6,8	1,0	490			491	0,73	7,90	62,00
6	149	154	230	14,0	16,0	2,0	6,8 x 6,8	1,0	470			471	0,73	7,58	62,00
12	155	166	230	14,5	16,5	2,0	6,8 x 6,8	1,0	490			491		7,90	62,00
4	167	170	230	16,5	16,5		спарки	0,5	200			200,5		3,23	62,00
11	171	181	230	17,0	17,0		спарки	0,5	200			200,5		3,23	62,00
6	182	187	230	16,5	16,5		спарки	0,5	200			200,5		3,23	62,00
2	188	189	230	16,0	16,0		спарки	0,5	200			200,5		3,23	62,00
8	190	197	230	16,5	16,5		спарки	0,5	200			200,5		3,23	62,00

В результате взрыва отработали все скважинные заряды, при этом после визуального осмотра поверхности взорванной горной массы остатков взрывчатых материалов и средств инициирования обнаружено не было (рисунок 8).



Рисунок 8 – Результат взрыва, вид на развал горной массы

Оценка качества взрыва осуществлялась с помощью фотопланиметрического метода определения грансостава взорванной горной массы.

Результаты оценки качества взрыва приведены в таблице 2 и на рисунке 9.

Таблица 2

Результаты фотопланиметрических замеров взорванного блока

Номер кадра	Содержание фракции, %							Диаметр куска, см d_{cp}
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	>100	
Среднее значение	25,71	26,20	19,35	14,15	9,26	5,33	0,00	28,66

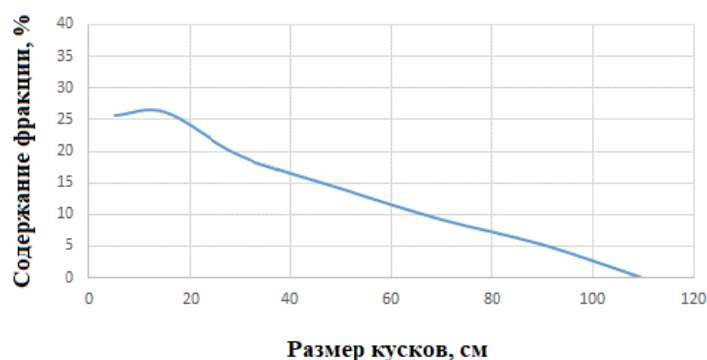


Рисунок 9 – График грансостава взорванного блока

В карьере «Ботуобинский» Нюрбинского ГОКа проведены ОПИ с применением «Искра-Т-2000-18».

Параметры БВР приведены в таблице 3.

Результаты фотопланиметрических замеров взорванного блока

Номер кадра	Содержание фракции, %							Диаметр куска, см d_{cp}
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	>100	
Среднее значение	24,65	26,8	21,3	12,12	8,92	6,75	0,00	28,66

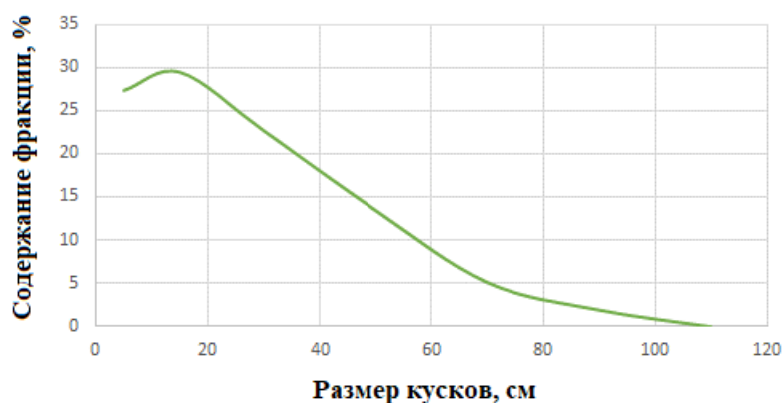


Рисунок 12 – График гранулометрического состава взорванного блока

В результате проведённых работ достигнуто уменьшение удельного расхода ВВ до 15% за счёт увеличения эффективного использования энергии взрыва и улучшения качества дробления горных пород, а также сокращён объём бурения до 17% за счёт увеличения размеров сетки расположения взрывных скважин.

III. Оценка возможности применения проникающих методов для сепарации алмазов (руководитель работы Яковлев В.Н.)

Положительные результаты исследований данного метода позволят разработать сепараторы нового поколения и, в конечном итоге, снизить себестоимость обогащения, повреждаемость продукции, разработать сепараторы для контроля извлечения переделов обогатительных объектов. По данному направлению работы выполнялись совместно с ООО «Импульс-У». Объектом исследования являлся наносекундный источник проникающего электромагнитного излучения. Отличительными чертами уникального метода является твердотельная система формирования импульсов напряжения и острофокусная безнакальная рентгеновская трубка с металлокерамическим катодом. Определены физические границы метода с применением наносекундного источника электромагнитного излучения по распознаванию алмазов, как раскрытых, так и скрытых в куске породы.

Для этого была создана исследовательская экспериментальная лабораторная установка обеспечивающая перемещение исследуемых образцов относительно «рентгеновского генератора» и «детектора» с линейной скоростью от 0 до 5 м/с. В качестве детектора рентгеновского излучения использовалась система регистрации, которая формировала два снимка одного объекта. Первый снимок производился в момент времени, когда корректор рентгеновского спектра установки был выведен из зоны прямого пучка излучения, второй снимок делался, когда корректор располагается напротив выходного окна рентгеновской трубки.

Для проведения экспериментальных работ по определению физических границ метода были подготовлены тестовые образцы из кимберлита, алмазов и сопутствующих минералов. Тестовые образцы имитировали куски кимберлита толщиной от 4 до 70 мм со скрытыми в них алмазами размером от 1 до 4 мм и сопутствующими минералами. Для раскрытых алмазов тестовые образцы подготавливались из аналогичных по составу и размерам образцов сопутствующих минералов и алмазов.

Эксперименты проводились в двух режимах работы системы регистрации – динамическом и статическом. В динамическом режиме тестовый образец облучался один раз за время прохождения над детектором. В статическом режиме образец облучался серией импульсов в неподвижном состоянии, в этом режиме имитировалось увеличение мощности рентгеновского излучения.

По результатам экспериментов получены достаточно высокие показатели.

- минимальный размер скрытого алмаза, регистрируемого внутри куска кимберлита крупностью 70 мм, равняется 4 мм (с вероятностью не менее 95%);
- максимальный размер кимберлита, внутри которого регистрируется скрытый алмаз крупностью 1 мм составляет не более 10 мм (с вероятностью не менее 95%).

При работе установки в статическом режиме, т.е. с использованием серии импульсов излучения на кадр, алмазы размером 1 мм обнаруживаются в кимберлите толщиной до 30 мм; минимальный размер алмаза, регистрируемого в раскрытом виде (вне куска кимберлита) равняется 1 мм.

Вместе с тем реализация метода с применением наносекундного источника проникающего электромагнитного излучения имеет ряд технических проблем, без решения которых приступить к созданию опытной промышленной установки не целесообразно.

Для обеспечения обнаружения алмазов крупностью 1 мм с одинаковой вероятностью, как в динамическом, так и статическом режиме в соответствующих толщинах кимберлита толщиной до 70 мм (целевая задача), требуется провести работы по модернизации экспериментальной установки. Окончательное решение по целесообразности продолжения работ возможно принять после разработки технических требований на доработку установки и предварительной стоимостной оценки данных изменений.

2.17. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ НИТУ «МИСИС»

В 2020 году министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков подписал распоряжение о создании консорциума университетов «Недра». В его состав вошли 13 вузов России, где готовят студентов по «горным» направлениям, в числе которых НИТУ «МИСиС». Консорциум «Недра» создан для повышения качества высшего образования, формирования единой научно-образовательной среды, а также для повышения эффективности научных исследований. Общие усилия вузов будут также направлены на поддержку молодых талантливых исследователей среди студентов, аспирантов и повышение компетентности преподавателей. Для реализации идей и решения задач консорциума будут привлекаться крупные компании, действующие в реальном секторе экономики.

На сегодняшний день Горный институт НИТУ «МИСиС» является одной из ведущих научных и образовательных организаций в области добычи и переработки минерального сырья. Столетняя история становления и развития позволила создать уникальный задел по целому ряду научных направлений. В то же время в последние несколько лет развитие получили исследования, связанные с освоением месторождений в условиях Крайнего Севера, разработкой и внедрением цифровых технологий в добывающий сектор, моделирования месторождений и технологий их освоения.

Научные школы Горного института НИТУ «МИСиС» продолжают традиционные направления исследований и развивают новые, реализуемые в лабораториях и центрах мирового уровня.

Кафедра Безопасности и экологии горного производства

В настоящее время с участием сотрудников кафедры БЭГП проводится опытно-промышленная апробация технологии гидродинамического воздействия на угольный пласт через скважины, пробуренные с поверхности, для заблаговременной дегазации перспективных выемочных участков шахты им. С.М. Кирова.

Осуществляется промышленное внедрение технологии подземного гидроразрыва разрабатываемых угольных пластов для интенсификации их предварительной дегазации.

В рамках выполнения научно-исследовательских работ выполненных по заказу АО «СУЭК-Кузбасс», АО «УК «Кузбассразрезуголь», Минэнерго РФ получены следующие результаты:

- разработаны рекомендации по совершенствованию и области применения предварительной и заблаговременной дегазации с использованием гидродинамического воздействия через скважины с поверхности;
- разработаны предложения по обеспечению безопасного ведения открытых горных работ в зоне метановых газов;
- установлены закономерности возникновения отказов системы управления газовойделением и научно обоснованные предложения по их прогнозированию на основе использования методов предиктивной аналитики;
- разработаны научно обоснованные предложения по формированию критериев оценки аэрологических рисков угольных шахт, предложения по организации системы подготовки персонала по вопросам промышленной безопасности (в части аэрологической безопасности);
- разработана научно обоснованная методика оценки аэрологических рисков аварий на выемочных участках и в подготовительных выработках угольных шахт по данным аэрогазового контроля и с учетом схемы управления газовойделением;
- обоснованы общие принципы и методологический подход к выбору рациональных технологических схем дегазационной подготовки угольных пластов к их интенсивной и безопасной разработке;
- предложены и обоснованы усовершенствованные технологические схемы дегазации разрабатываемых угольных пластов с применением их подземного гидроразрыва(гидрорасчленения), а также гидрорасчленения угольного пласта через скважины, пробуренные с поверхности;
- разработана, согласована и утверждена в установленном порядке Программа и методика проведения шахтных экспериментальных испытаний технологии предварительной дегазации угольного пласта Болдыревский с использованием его гидроразрыва из подземных скважин на поле шахты им. С.М. Кирова;
- среднее значение относительной метанообильности очистного забоя в зонах гидроразрыва на выемочном участке 24-58 было снижено на 30%, добыча в среднем увеличена на 20 %, а продолжительность остановок добычной техники по фактору проветривания очистного забоя уменьшились более, чем на 40%.

Перспективы научных исследований кафедры связаны с расширением тематики особенно в экологической области.

Кафедра геологии и маркшейдерского дела

Направления научной деятельности кафедры:

- инженерно-геологическое и гидрогеологическое обеспечение открытых горных работ;
- разработка методов и средств изучения техногенных массивов, в том числе для их использования в качестве минерального сырья;
- моделирование месторождений полезных ископаемых;
- геологический аудит месторождений полезных ископаемых;
- геологическое обеспечение добычи угля открытым способом в метаноносной зоне;
- моделирование рудопотоков горнорудных комплексов;
- маркшейдерский мониторинг наблюдения за деформациями зданий и сооружений в зоне влияния горных работ;
- маркшейдерский мониторинг движения щита при проходке подземных тоннелей в условиях мегаполиса;
- маркшейдерский мониторинг по обеспечению движения щита при проходке подземных тоннелей в условиях мегаполиса;
- мониторинг движения запасов при открытой разработке полезных ископаемых;
- мониторинг прогнозирования и наблюдения за карьерными откосами при открытой разработке полезных ископаемых;
- разработка показателей потерь и разубоживания полезных ископаемых при открытой разработке полезных ископаемых;
- мониторинг движения запасов при подземной разработке полезных ископаемых;

- мониторинг прогнозирования и наблюдения за мутьевой сдвижкой при подземной разработке полезных ископаемых;
- разработка показателей потерь и разубоживания полезных ископаемых при подземной разработке полезных ископаемых;
- прогнозирование и подсчет запасов полезного ископаемого по данным эксплуатационной и/или сопровождающей разведок;
- маркшейдерский мониторинг наблюдения за подземным хранилищем газа (ПХГ);
- геодинамический мониторинг при разработке углеводородного сырья.

Кафедра геотехнологий освоения недр

Научно-исследовательские работы:

1. Разработка научно-методического обеспечения поэтапного увеличения производительности ведения подготовительных работ на угольных шахтах. рук. Савич И.Н.
2. Разработка научно-методической базы обоснования стратегий развития технологических систем угледобывающих предприятий с учетом инновационной составляющей и рисков. Рук. Агафонов В.В.
3. Выбор и обоснование высокопроизводительной системы разработки для отработки запасов Яковлевского месторождения. Рук. Савич И.Н.
4. Анализ проектных решений и технологии горных работ на Оленегорском подземном руднике. Рук. Савич И.Н.
5. Поинтервальное гидровоздействие для дегазации пласта из подготовительного забоя в условиях поля шахты «Чертинская-Коксовая». Рук. Мельник В.В.
6. Обоснование соответствия национальному стандарту первого по качеству добываемого полезного ископаемого применительно к условиям ООО «Богаевский карьер». Рук. Мельник В.В.

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук защищенные в 2020 году:

1. Козлова О.В. – 25.00.21. Обоснование рациональной структуры и параметров логистической системы подземных рудников. Научный руководитель проф., д.т.н. Агафонов В.В.
2. Горн Е.В. – 25.00.21. Разработка методических основ проектирования угледобывающих производств с когенерационными технологиями. Научный руководитель проф., д.т.н. Агафонов В.В.
3. Федотов Г.С. – 25.00.21. Обоснование конечных контуров глубоких карьеров с учетом схемы вскрытия. Научный руководитель к.т.н., доц., Пастихин Д.В.

Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук защищенные в 2020 году:

1. Зайцева Е.В. – 05.00.22. Разработка научно-методической базы обоснования и комплексного планирования стратегий развития горноперерабатывающих производств с учетом инновационной составляющей. Научный консультант проф., д.т.н. Агафонов В.В.

Список публикаций кафедры

1. Мельник В.В., Мурин К.М., Буханик А.И., Никифоров С.Э. О применении технологии безлюдной выемки угля при разработке тонких угольных пластов. Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 3. – С. 59-63.
2. Беляев В.В., Агафонов В.В. Синтез высокопроизводительных и прогрессивных технологических систем угольных шахт. Журнал Уголь. № 11, 2020, с. 36-42.
3. Федотов Г.С., Пошивайло Я.Г. Геоинформационное обеспечение геологоразведки месторождений руд цветных металлов. "InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference, 2020, V. 26. Part 2, pp. 120-136
4. Агафонов В.В., Горн Е.В. Использование стирлинг-технологий для сжижения шахтного метана и перевода автосамосвального транспорта угледобывающих компаний на газомоторное топливо. Журнал Уголь. № 12, 2020, с. 12-16.
5. Абрамкин Н. И., Ефимов В.И., Хакимов Б.Х. Комплекты оборудования для подземной добычи. «Журнал "Устойчивое развитие горных территорий"», №4, 2020.

6. Мельник В.В., Ковалёв Н.Б., Мурин К.М., Буханик А.И., Дронов А.Н., Величко Д.В. Геомеханическое обоснование рационального расположения подрабатываемых выработок при разработке сближенных пластов Прокопьевско-Киселёвского месторождения. Монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020.

7. Мельник В.В., Шулятьева Л.И., Мурин К.М., Буханик А. И., Величко Д.В. Комплексное обоснование инновационных решений при проектировании высокопроизводительных угольных шахт: в 2 т. Т. 1. Монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020.

8. Мельник В.В., Шулятьева Л.И., Мурин К.М., Буханик А. И., Величко Д.В. Комплексное обоснование инновационных решений при проектировании высокопроизводительных угольных шахт: в 2 т. Т. 2. Монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020.

Кафедра горного оборудования, транспорта и машиностроения

Основные направления научной деятельности кафедры

- Машиноведение горное.
- Усовершенствована методика оценки эффективности эксплуатации оборудования в процессе выполнения работ для Алмалыкского ГМК и АК «АЛРОСА» (ПАО).
 - Произведено моделирование напряжений и поверхностей контакта дисковых шарошек с породой при погружении в смешанные грунты
 - Проведен анализ напряженного состояния гусеничных траков карьерных экскаваторов в зависимости от угла наклона.
 - Проведено моделирование ведущих колес грузоподъемных машин с резиновыми стальными тросами, выполнена сравнительная оценка таких тросов.
 - Проведены исследования тяги колесно-рельсовых горных машин.
 - Проведены исследования, позволяющие повысить качество изготовления штоков гидроцилиндров горных машин.
 - Усовершенствован метод селективной сборки гидростоек механизированных крепей, позволяющий значительно повысить их качество.
 - Получила дальнейшее развитие теория упрочнения различными методами ответственных деталей горных машин на стадии изготовления и ремонта.

Кафедра обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья

Научно-исследовательская деятельность кафедры направлена на решение фундаментальных проблем и прикладных задач комплексной глубокой переработки и обогащения минерального сырья природного и техногенного происхождения, связанных с совершенствованием физических и физико-химических методов прогнозной минералого-технологической оценки труднообогатимого минерального сырья, с разработкой новых высокоэффективных, энергосберегающих процессов и технологий рудоподготовки и селективной дезинтеграции тонковкрапленных руд сложного состава; сповышением контрастности технологических свойств минералов на основе применения селективно действующих реагентов и их сочетаний, физико-химических и энергетических воздействий; с созданием новых экологически безопасных технологических процессов переработки труднообогатимого минерального сырья на основе комбинирования традиционных методов обогащения с пиро- и гидрOMETаллургией.

Основные направления научных работ кафедры:

- Исследование физикохимии поверхностных явлений и межфазных взаимодействий в процессах флотационного и химического обогащения и переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения;
 - Применение сочетаний собирателей с различным химическим составом и молекулярной структурой для повышения селективности флотации минерального сырья;
 - Исследование и разработка научно-технологических решений, направленных на создание комбинированных технологий глубокого обогащения труднообогатимых руд черных, цветных, редких и благородных металлов, горно-химического и техногенного сырья, основанных на сочетании процессов флотации, гравитации, магнитной и электрической сепарации с гидрOMETаллургическими;

- Технологии комплексной оценки минерального сырья и технологический аудит проектов и действующих производств;
- Совершенствование методов и аналитических методик изучения минерального состава руд и продуктов обогащения;
- Разработка способов и схем переработки техногенных отходов обогатительных и металлургических производств.

Основные научные и технические результаты:

- разработана технология переработки титан-циркониевых песков;
- разработана технология флотационного доизвлечения цветных и благородных металлов из хвостов обогащения медно-никелевых руд;
- проведены исследования по определению возможности снижения содержания оксидов щелочных металлов в магнетитовом концентрате (сумма K_2O и Na_2O не более 0,01 %) с применением комплекса современных реагентов. Определены оптимальные параметры реагентного режима отделения алюмосиликатов и кварца от оксидов железа;
- исследован вещественный состав хвостов мокрой магнитной сепарации; установлены закономерности распределения минеральных компонентов по классам крупности, проведены исследования по оценке возможности доизвлечения гематита из хвостов текущей переработки железистых кварцитов с применением высокоинтенсивной магнитной сепарации;
- проведена оценка контрастности богатой гематитовой руды по физическим свойствам. Предложена оптимизация технологической цепочки с максимальным использованием действующего оборудования;
- исследовано влияние и механизм действия дополнительных реагентов собирателей-пенообразователей на основе ацетиленовых спиртов при флотации сульфидов меди и молибдена. Разработан реагентный флотации медно-молибденовых руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо (Монголия).

Выполнение хозяйственных работ:

В 2020 году на кафедре ОПИ выполнялись следующие хозяйственные НИР:

1. «Проведение лабораторных исследований по разработке технологии получения гравитационного и флотационного концентратов из проб песков Нижнего и Верхнего участков техногенной россыпи р. Щучье». Руководитель – Шехирев Д.В.
2. «Снижение содержания щелочных компонентов и оксида кремния в перспективном концентрате КДО». Руководитель – Юшина Т.И.
3. «Определение возможности получения гематитового концентрата из хвостов текущего производства АО «Михайловский ГОК». Руководитель – Юшина Т.И.
4. «Оптимизация и улучшение эффективности технологии переработки богатой гематитовой руды». Руководитель – Юшина Т.И.
5. «Разработка эффективной технологии обогащения лежалых хвостов хвостохранилища №1 НОФ для действующей обогатительной фабрики «Нординвэс». Руководитель – Юшина Т.И.
6. «Научно-технические услуги по выдаче экспертного заключения на проектную документацию ООО «Корпанга». Руководитель – Шехирев Д.В.

Основные публикации:

1. Yushina, T.I., Dumov, A.M. Mineral composition and commercial application feasibility of sericite ore in Ha Tinh Province // Eurasian Mining, 2020(2), стр. 32–38.
2. Tyukin, A.P., Yushina, T.I. Mathematical modelling of gas-dynamic separation processes // TsvetnyeMetally, 2020(7), стр. 9–17.
3. Yushina, T.I., Purev, B., Namuungerel, B. Substantiation of the erdenetiyn-ovoo copper-molybdenum ore flotation technology with the use of tertiary acetylene alcohols // Non-ferrous Metals, 2020, 49(2), стр. 3–10.
4. Yushina, T.I., Petrov, I.M., Cherny, S.A., Petrova, A.I. Rare-earth metal ore processing technologies when developing new deposits information about authors // ObogashchenieRud, 2020(6), стр. 47–53.
5. Yushina, T.I., Petrov, I.M., Cherny, S.A., Petrova, A.I. Overview of processing technologies for the raw materials of rare-earth metals (REM) at existing enterprises // ObogashchenieRud, 2020(2), стр. 46–51.
6. Makeyev, A.B., Lutoev, V.P., Vtorov, I.P., Braynchaninova, N.I., Makavetskas, A.R. Composition

and Spectroscopy of Olivine Xenocrysts from the Hawaiian Tholeiitic Basalts (Состав и спектроскопия ксенокристоволивинов из гавайских олифовых базальтов) // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki, 2020, 162(2), стр. 253–273.

7. Zharolla, N.D., Yergeshev, A.R., Ignatkina, V.A. Estimation of selectivity of sulfhydryl collectors on a dithiophosphate basis // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020(11), стр. 14–26.

8. Kayumov, A.A., Aksenova, D.D., Belokrys, M.A., Malofeeva, P.R. Theoretical and practical key points of the tennantite-bearing sulfide ore flotation // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020(5), стр. 148–163.

9. Nikolaev, A.A., Kairatova, G.K., Goryachev, B.E. The influence of anionic, cationic and nonionic flocculant reagents on settling of coal slurry in water // Gornyi Zhurnal, 2020(5), стр. 47–51.

10. Nikolaev, A.A., Konyrova, A., Goryachev, B.E. A study on the mineralization kinetics of an air bubble in a suspension of activated and non-activated sphalerite // Obogashchenie Rud, 2020(1), стр. 26–31.

11. Vishnevskaya, E.P., Nikolayev, A.A., Dobryakova, N.N., Bannikov, A.A. Methods for assessing the wettability of coal with dust suppression solutions // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020(4), стр. 17–25.

12. Veloso, C.H., Filippov, L.O., Filippova, I.V., Ouvrard, S., Araujo, A.C. Adsorption of polymers onto iron oxides: Equilibrium isotherms // Journal of Materials Research and Technology, 2020, 9(1), стр. 779–788.

13. Tripathy, S.K., Mohanty, I., Filippov, L.O. // Application of Artificial Neural Networks to Predict Dry Magnetic Separation of Low-Grade Hematite Fines // Transactions of the Indian Institute of Metals, 2020, 73(7), стр. 1797–1807.

14. Lima, N.P., Silva, K., Souza, T., Filippov, L. The characteristics of iron ore slimes and their influence on the flotation process // Minerals, 2020, 10(8), стр. 1–11, 675.

15. Kanari, N., Allain, E., Filippov, L., Diot, F., Patisson, F. Reactivity of low-grade chromite concentrates towards chlorinating atmospheres // Materials, 2020, 13(20), стр. 1–18, 4470.

16. Tripathy, S.K., Murthy, Y.R., Farrokhpay, S., Filippov, L.O. Design and Analysis of Dewatering Circuits for a Chromite Processing Plant Tailing Slurry // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2021, 42(2), стр. 102–114.

Кафедра физических процессов горного производства и геоконтроля

В течение 2020 года был выполнен проект *«Разработка проекта программы научного сопровождения горнопроходческих работ по сооружению стволов подземной исследовательской лаборатории и оборудования для развития работ по геологическому изучению площадки ее размещения»*.

Для исследования и подтверждения пригодности участка недр для окончательной изоляции отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды, в мировой практике создаются и эксплуатируются подземные исследовательские лаборатории (ПИЛ). Результаты выполняемых в ПИЛ исследований должны обеспечить основной объем данных, необходимый для оценок безопасности, и способствовать демонстрации надежности захоронения РАО в целом. При этом представительность и полнота таких натуральных исследований в значительной степени будут определять доверие к формируемым оценкам безопасности.

Этап подземных горных работ при строительстве ПИЛ является важным и одним из наиболее информативных источников данных о породном массиве. В ходе работ происходит последовательное обнажение породного массива на различных гипсометрических уровнях, появляется возможность оперативного отбора проб, фиксации внутреннего строения зон разрывных нарушений, получения данных по гидрогеологическим и другим характеристикам массива, потенциально влияющим на безопасное захоронение РАО в последующих периодах.

В результате работы сформирован комплекс исследовательских работ, направленный на сбор данных о строении массива, происходящих в нем процессах, определение путей фильтрации подземных вод и реакции горных пород на проводимые проходческие работы. Предложен подход к совмещению исследовательских и горнопроходческих работ.

Также в ходе работ по договору была выполнена разработка и изготовление многофункционального скважинного зонда для реализации комплекса исследовательских работ по прискважинной зоне массива пород и определения основных систем трещин, фильтрационной анизотропии массива пород.

Кафедра энергетики и энергоэффективности горной промышленности

Научные направления:

- разработка научных основ эффективного функционирования систем электроснабжения;
- разработка научных основ энергоэффективного автоматизированного электропривода горных машин, оборудования;
- управление энергетическими ресурсами для повышения энергоэффективности промышленных предприятий;
- разработка, инжиниринг, консалтинг систем энергетического менеджмента.

Научные, научно-технические работы

Научно-исследовательские, научно-технические, энергоаудиторские работы проведены на предприятиях и в организациях, включая: Министерство энергетики Российской Федерации, АО «Сибирская угольная энергетическая компания» (АО«СУЭК»), АК «АЛРОСА», Компания «Казцинк» (Республика Казахстан), АО «Северсталь», ОАО «Алданзолото», ОАО «Алроса-ГАЗ», ОАО «Руссдрагмет», АО «Металлоинвест», ОАО «Уральская горно-металлургическая компания» и др.

В числе работ:

- Разработка научно обоснованных предложений по созданию интегрированной системы повышения энергоэффективности и энергосбережения угледобывающих производств на базе программно-аналитических комплексов управления энергетическими ресурсами.
- Анализ, обоснование и разработка научно-методических рекомендаций по определению расчетных показателей энергопотребления, оценки энергетической эффективности и предложений по созданию методики проведения энергоаудита предприятий угольной промышленности.
- Научно-методическое обоснование и разработка систем энергетического менеджмента АО «СУЭК-Красноярск», ООО «СУЭК-Хакасия», АО «Ургалуголь», АО «Разрез Тугнуйский», ООО «Тугнуйская обогатительная фабрика».
- Инжиниринг, консалтинг систем энергетического менеджмента АО «СУЭК-Красноярск», ООО «СУЭК-Хакасия», АО «Разрез Изыхский», ООО «Восточно-Бейский разрез».
- Энергетические обследования с целью повышения энергоэффективности на основе разработанных мероприятий ОАО «Карельский окатыш», Зыряновского, Удачинского, Айхальского ГОКов, ОАО «Алданзолото ГРК», ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации», ЗАО «Многовершинное», ОАО «Ново-Широкинский Рудник».
- Разработка энергетического паспорта и программы энергосбережения и повышения энергоэффективности АК «АЛРОСА».
- Исследование функционирования производственно-энергетических комплексов и разработка систем управления энергоресурсами АК «АЛРОСА».

Основные публикации

1. Ляхомский А.В., Петроченков А.Б., Лузянин И.С. Методологические основы разработки программно-технического комплекса для анализа систем электроснабжения горнодобывающих предприятий. // Горный журнал – 2020 – №5 – С. 72-76.
2. Ляхомский А.В., Петухов С.В. Энергоэффективность экскаваторных работ угледобывающих предприятий. // Промышленная энергетика. – 2019. – №1. – С. 38-41.
3. Решетняк С.Н., Кубрин С.С., Бондаренко А.М. Анализ влияния технологических факторов на удельные нормы электропотребления оборудования выемочных участков угольных шахт// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 161–170. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-161-170.
4. Бабокин Г.И. Оценка влияния технических параметров, условий и режима работы одноковшового экскаватора на эксплуатационную энергоэффективность.// Горный информационно-аналитический бюллетень.- Горная книга. – 2019. – № 11. – С. 199-207. DDI: 10.25018/02361493-2019-11-0-199-207
5. Ляхомский А.В., Герасимов А.И., Перфильева Е.Н. Моделирование режимов однофазных замыканий на землю в электрических сетях напряжением 6 кв открытых горных работ. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 164–178. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-161-170.

Научно-учебная испытательная лаборатория «Физикохимии углей»

Общая информация о лаборатории – цели, задачи, перспективы научной деятельности

Научно-исследовательская деятельность НУИЛ «Физикохимии углей» направлена на решение фундаментальных проблем генезиса и метаморфизма твердых горючих ископаемых, физики и химии углей, изучения природы разномасштабной нарушенности углей методами микро- и наноиндентирования, проблем рационального природопользования и управления качеством добываемого угольного сырья, выявления потенциальных источников загрязнения окружающей среды при добыче, транспортировке, хранении и переработке углей. Прикладные задачи лаборатории органично связаны с разрабатываемыми фундаментальными направлениями и включают: разработку научно-методического обеспечения, в том числе нормативных документов (ГОСТ, ГОСТ Р, СТО, ТУ и т.д.) в области твердого минерального топлива, разработку технологических решений в области прогноза и мониторинга негативных последствий добычи и переработки углей, разработку новых типов стандартных образцов состава и свойств углей для обеспечения точности измерений показателей идентификации и безопасности продукции, аттестацию разработанных методик, организацию обучения по программам дополнительного профессионального образования.

С конца 2017 года на лабораторию возложена функция ведения секретариата технического комитета по стандартизации «Твердое минеральное топливо» (ТК 179).

Основные научные направления деятельности лаборатории в 2020 году

- Изучение вещественного состава, физических, физико-химических и механических свойств углей, а также содержания в них потенциально опасных элементов.
- Моделирование физических процессов в неоднородных материалах на основе современных методов многомасштабного моделирования.
- Разработка технологических решений по использованию гуминовых кислот твердых горючих ископаемых для очистки промышленных грунтов и сточных вод от тяжелых металлов и других экотоксикантов.
- Разработка методов и средств оценки эндогенной пожароопасности углей и их склонности к образованию микро- и наноразмерной пыли.
- Разработка технических решений по предотвращению пылеобразования и окисления углей при их хранении.
- Проведение работ по оценке содержания опасных и ценных макро- и микроэлементов в углях и отходах их добычи, переработки и сжигания.
- Стандартизация и метрология в области твердого минерального топлива.

Наиболее крупные проекты, выполненные в 2020 г. (более 5 млн. руб.):

- Разработка и подготовка к утверждению стандартов в области твердого минерального топлива (заказчик – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии), 2020 г.
- Научное обоснование и разработка концепции гармонизации классификаций углей, предназначенных для оценки геологических запасов, налогообложения, статистической и финансовой отчетности, государственной контрактации продукции, биржевой торговли, тарификации перевозок и таможенного декларирования (заказчик – Министерство энергетики РФ), 2020–2021 г.
- Образование нано- и микроразмерной пыли при техногенных и природных воздействиях на угли разных генетических типов (заказчик – Российский научный фонд), 2018–2021 гг.
- Изучение влияния криогенного выветривания на качество углей при их добыче, транспортировке и хранении в условиях Крайнего Севера (заказчик – Российский фонд фундаментальных исследований), 2018–2021 гг.
- Исследование эффективности химических реагентов, используемых для снижения смерзаемости и содержания пыли в товарной продукции АО «УК «Кузбассразрезуголь» (заказчик – АО «УК «Кузбассразрезуголь»), 2020 – 2021 гг.

Важнейшие научно-технические достижения подразделения в 2020 г.

1. Разработана концепция гармонизации классификаций углей, используемых для оценки геологических запасов, налогообложения, статистической и финансовой отчетности, государственной контрактации продукции, биржевой торговли, тарификации перевозок и таможенного декларирования.

2. Разработаны и утверждены 26 национальных стандартов в области твердого минерального топлива.

3. Разработан лабораторный регламент по установлению склонности углей и продуктов их переработки к самовозгоранию, рекомендуемых условий их хранения и транспортировки.

4. Разработана методика определения мобильных форм макро- и микроэлементов из отходов добычи и сжигания углей.

5. Разработана методика определения потенциала нейтрализации отходов для прогноза кислотности растворов, образующихся при контакте отходов с водой.

6. Совместно с «УНИИМ» – филиалом ФГУП «ВНИИМ им Д.И. Менделеева» разработан и внесен в государственный реестр СО стандартный образец массовой доли общего фтора в угле каменном Кузнецкого бассейна(УК-1 СО МИСиС).

7. Установлено, что склонность углей к окислению, их потенциальная выбросоопасность, а также различия в механических свойствах на нано- и микроуровне определяются нарушением углей, которая, в свою очередь, зависит от степени неоднородности структуры углей разных генотипов.

Подготовка специалистов высшей квалификации

В 2020 г. сотрудник подразделения, успешно окончивший аспирантуру, защитил диссертацию на соискание кандидата технических наук по специальности 25.00.36 «Геоэкология (горно-перерабатывающая промышленность)».

В 2020 г. сотрудник подразделения успешно освоил программу научно-педагогических кадров в аспирантуре с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Основные публикации

1. Kossovich E.L., Borodich F.M., Epshtein S.A., Galanov B.A. Indentation of bituminous coals: Fracture, crushing and dust formation. *Mechanics of Materials*. 2020, Volume 150, Номерстатья 103570 (1 квартал).

2. Epshtein S.A., Shkuratnik V.L., Kossovich E.L., Agarkov K.V., Nesterova V.G., GavriloVA D.I. Effects of cyclic freezing and thawing of coals at their behavior at low- and high-temperature oxidation. *Fuel*. 2020. Volume 267, Номерстатья 117191 (1 квартал).

3. Nikolenko P.V., Epshtein S.A., Shkuratnik V.L., Anufrenkova P.S. Experimental study of coal fracture dynamics under the influence of cyclic freezing–thawing using shear elastic waves. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2020 (1 квартал).

4. Silyutin S.A., Epshtein S.A. Wastes from coal mining and processing. Methodological approaches to the assessment of their ecological safety and directions for use. Part 1. Characterization of solid wastes from coal mining and processing in foreign countries. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020(4), стр. 5–19.

5. Silyutin S.A., Epshtein S.A., Gushchina T.O. Wastes from coal mining and processing. Methodological approaches to the assessment of their ecological safety and directions for use. Part 2. Methods for the determination of mobile forms of macroand microelements in the wastes of coal mining, processing and combustion. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020(5), стр. 5–16.

6. Gushchina T.O., Silyutin S.A., Sokolovskaya E.E., Epshtein S.A. Wastes from coal mining and processing. Methodological approaches to the assessment of their ecological safety and directions for use. Part 3. Development and validation of test procedure to determine macro- And micro-elements contents in coal mining, processing and combustion. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020(8), стр. 145–162.

7. Kossovich E.L., Epshtein S.A., Dobryakova N.N., Minin M.G. Structural features and mechanical properties of anthracite, metaanthracite and graphite. *GornyiZhurnal*, 2020 (4), pp. 25-29.

8. Epshtein S.A., Kossovich E.L., Vishnevskaya E.P., Agarkov K.V., Koliukh A.V. Determination of total and fine airborne dust in coals. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020 (6), pp. 5-14.

9. Вишнеvская Е.П., Николаев А.А., Добрякова Н.Н., Банников А.А. Методы оценки смачиваемости углей растворами для пылеподавления. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № 5. С. 17-25.

Основные научно-технические показатели

Количество публикаций:

- статей – 9, в том числе в российских научных журналах из списка ВАК – 9, в научных журналах, индексируемых в базе данных WebofScience и Scopus – 9, в том числе 3 – в журналах 1-го квартиля по Scopus и WebofScience;
- конференций, в которых принимали участие сотрудники подразделения – 2;
- количество защищенных кандидатских диссертаций – 1;
- количество национальных стандартов – 26;
- количество единиц государственных стандартных образцов утвержденного типа – 1.

2.18. РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

В направлении развития Горного дела в 2020 г. в РГГРУ (МГРИ) были получены следующие результаты:

1. Выполнена аналитическая обработка данных, сформированных в ходе проведения контрольных комиссионных замеров и лабораторных исследований проб горной массы, полученной в результате разработки горных пород с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов.

Проблема изменения типов и инженерно-геологических свойств грунтов по трассе проходки тоннелей метро требует внесения корректировки по технологии проходки отдельных участков трассы. Это вызывает изменение объемов извлекаемого грунта при проходке подземных горных выработок и, как следствие, скорости проходки, а также объема грунта, отгружаемого во внешние отвалы в места, определенные правительством г. Москвы.

При щитовой проходке выработок метрополитена в сложившихся, в том числе сложных, инженерно-геологических и гидрогеологических условиях г. Москвы, наблюдается расхождение проектных (теоретических) и фактических объемов извлеченного грунта.

Целью исследований являлся анализ полученного ряда значений коэффициентов приращений объема и веса грунтовой массы по типам исследуемых грунтов.

В результате приведены обобщенные результаты лабораторных исследований свойств отобранных проб грунта (грансостав для песков, степень неоднородности грансостава, карбонность, плотность частиц грунта, плотность отобранных проб грунта, плотность сухого грунта, влажность отобранных проб, степень влажности). Проанализировано влияние физико-механических свойств грунтов на технологические факторы щитовой проходки тоннелей.

Проведено структурирование изучаемых групп грунтов для дальнейшей статистической обработки. Установлено, что в процессе проходки тоннеля отмечается несовпадение проектных показателей физико-механических свойств грунтов (проектной плотности грунта в забое щита, проектной влажности грунта в забое), необходимых для вычисления показателей, характеризующих объем и вес извлеченной горной массы грунта из тоннеля.

Выполнен расчет значений коэффициентов приращения объема горной массы, полученной в результате разработки горных пород тоннеле проходческим механизированным комплексом (ТПМК), к объему горных пород в естественном залегании и коэффициентов приращений массы разработанной горной породы к ее объему в естественном залегании для исследуемых типов грунта на основании данных лабораторных исследований проб горной массы и фактических замеров показателей горной массы на объектах строительства с проведением анализа изменения свойств горных пород после их разработки.

Проведен анализ полученного ряда значений коэффициентов с учетом технологии ведения проходческих работ ТПМК. Описаны основные факторы (в том числе на основании свойств грунтов), оказывающих влияние на изменение показателей характеристик горных пород, для каждой исследуемой разновидности грунта.

Определены показатели, позволяющие на стадии проектных работ, оценить объем грунтовой массы после проходки (который необходимо вывозить с объекта на полигон захоронения), к объему проходки в массиве (с расчетом на одно кольцо) и показатель отношения веса извлекаемой из тоннеля горной массы к весу грунта в забое в пределах одного кольца.

Представлены формулы для оценки объема грунта в массиве в пределах кольца, объема грунтовой массы в вагонетках, веса грунта на забое в пределах кольца и веса грунтовой массы, выдаваемой из забоя при щитовой проходке.

Разработана методика определения соотношения объемов и веса грунтовой массы к объему и весу нетронутого грунта в пределах кольца обделки при щитовой проходке тоннелей с проверкой полученных данных в производственных условиях.

Намечены направления научных исследований для дальнейшей корректировки полученных формул для определения соотношения объемов и веса грунтовой массы к объему и весу нетронутого грунта в пределах кольца обделки при щитовой проходке тоннелей на стадии проектных работ.

2. Проведены лабораторные испытания грунтов на основании комиссионных контрольных замеров горной массы, полученной в результате разработки грунта с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов в условиях метрополитена, в сложных горно-геологических условиях г. Москвы.

Установлено, что наблюдается расхождение от проектных (теоретических) до фактических объемов извлеченного грунта от 20 процентов до 40 процентов. Замеры производились на 19 объектах строящегося метрополитена в 2020 году: Зюзино, РУДН, Киевская, Сокольники и т.д. (названия строящихся объектов связаны с местом их проходки). Получена краткая горно-технологическая характеристика объектов проходки, разработана методика отбора проб грунта в процессе щитовой проходки выработок метро.

Приведены результаты лабораторных исследований физико-механических, гидрогеологических и инженерно-геологических свойств отобранных проб грунта (грансостав для песков, степень неоднородности грансостава, карбоносность, плотность частиц грунта, плотность отобранных проб грунта, плотность сухого грунта, влажность отобранных проб, степень влажности и т.д.). Полученные результаты лабораторных исследований свойств грунтов проходимых тоннелепроходческими комплексами Lovat и Herrenknecht исследуемых забоев, представляют практический интерес и являются основой для разработки методики по выявлению их влияния на объем грунта при проходке горных выработок тоннелепроходческими механизированными комплексами.

Полученный опыт и апробация разработанных методик проведенных технических изысканий, а также имеющихся во МГРИ наработанных теоретических исследований позволяют сделать заключение о возможном эффективном продолжении проведения вышеизложенных инженерных, а также научно-исследовательских работ на территории стран СНГ.

2.19. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Геомеханика

В 2020 году, несмотря на карантинные меры, существенно приостановившие исследования в Лаборатории «Геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов» Политехнического института (Школы) ДВФУ, в рамках Программы исследований ФЦПР БРИКС Международного Гранта по направлению снижения рисков катастрофических последствий геодинамических явлений получены следующие результаты:

1. Создан Международный Центр геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов, задачей которого является развитие этого направления геомеханики.

2. В Издательстве Elsevier вышла монография «Modeling in Geotechnical Engineering 1st Edition» <https://www.amazon.com/Modeling-Geotechnical-Engineering-Pijush-Samui/dp/0128212055>

3. Опубликовано об статей в высокорейтинговых рецензируемых журналах (базы Web of Science & Scopus).

4. Создан глубоко расположенный геодинамический полигон (рудник Николаевский, г. Дальнегорск) и совместно с ХФИЦ ДВО РАН проведены исследования сейсмоакустической активности и деформаций вмещающих пород массива месторождения.

5. В результате проведенных исследований разработана континуальная модель геосреды, являющаяся комбинацией дискретного и континуального подходов.

Основные результаты исследований сводятся к следующему. Разработана теория представления иерархически-блочной геосреды системой неевклидовых моделей, отличающихся учетом условий несовместности деформаций и иерархичности процессов разрушения блочной геосреды. Показано, что система из моделей четырех уровней полностью охватывает условия моделирования мезотрещинных структур земной коры. Показано, что результаты моделирования дают полное качественное и удовлетворительное количественное соответствие данным натурных и лабораторных экспериментальных исследований на первых двух структурных уровнях геосреды.

Разработаны многоканальные методы определения предвестников геодинамических явлений, основанные на моделировании мезотрещинных структур породных образцов и массивов. Показано, что переход на многоканальные принципы существенно повышает достоверность прогноза геодинамических явлений.

Сформулированы объект исследований, предмет, метод и основные принципы геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов, а также сделаны доклады на Первой Международной конференции по этой проблеме в г. Владивосток.

Строительная геотехнология

Продолжены исследования в области рационального освоения подземного пространства мегаполисов. Опубликовано 2 статьи в журналах из списка ВАК и 1 статья в журнале, индексируемом базой данных Scopus. Сделаны доклады на Международном семинаре г. Пекин онлайн.

Рудничная аэрология

Выполнены исследования по проверке эффективности системы вентиляции рудника «Королевский» АО «ГМК «Дальполиметалл».

Определены расходы потребного количества воздуха для проветривания подземных горных выработок по различным факторам, проведены приборные измерения аэродинамических параметров системы вентиляции по основным ее составляющим (сеть подземных горных выработок, рабочие места и ГВУ).

Проанализирована возможность использования на руднике передвижной вспомогательной вентиляционной установки, представляющей собой трубу Вентури с вентилятором местного проветривания ВМ-8 в качестве активатора воздушной струи.

Даны рекомендации по улучшению работы системы вентиляции горного предприятия (проветривания горных выработок и работы вентиляторных установок).

Результаты работы могут быть использованы для разработки мероприятий по улучшению проветривания подземных горных выработок, при составлении и корректировке Плана ликвидации аварий.

Подземная газификация угля

Продолжены 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 углеобогажительных фабрик.

Полученные результаты опубликованы в специальных выпусках ГИАБ в 2020 году.

Обогащение и глубокая переработка георесурсов

Проведенные исследования бурых углей и торфом Юга Приморья в качестве основных исходных материалов экстракции для получения угольных и торфяных гуминовых препаратов позволили получить линейку биостимуляторов, которые можно эффективно использовать для выращивания сельскохозяйственных культур.

Разработанные биостимуляторы сертифицированы под общим брендом «Фульвисол», в состав которого входят полученные фульвокислотные соединения, экстракты морских водорослей, микроэлементов и других органических соединений, могут применяться для гидропонных систем, открытого и защищенного грунтов, как самостоятельно, так и совместно с другими органическими и органоминеральными удобрениями.

Опытные образцы биостимуляторов, полученных на основе вышеуказанных фульвокислотных соединений, испытывались, как заменитель стандартной группы минеральных удобрений, и как добавка к последним на базе тепличных крестьянских хозяйств Юга Приморья.

Полученные препараты способствуют лучшему усвоению элементов питания почвы сельскохозяйственными культурами, повышают устойчивость их к неблагоприятным условиям произрастания, особенно в начальный период развития растений. Кроме того, препараты показали более высокие результаты роста, энергии роста, массы и другие параметров, таких, как сопротивляемость болезням (инфицирование листьев растений бактериями, грибами и тлей).

В зависимости от назначения применения (гидропонные системы, открытый или защищенный грунт), биостимуляторы «Фульвисол» планируется производить в жидком или гранулированном виде

Полученные результаты опубликованы в специальных выпусках ГИАБ в 2020 году.

2.20. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений

В 2020 году кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений продолжила активную работу как в области научных исследований, так и при реализации модели профессионального образования и подготовки кадров высшей квалификации по приоритетному направлению развития науки, технологии и техники РФ – рациональному природопользованию. Исследования кафедры соответствуют критическим технологиям РФ «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения».

На декабрь 2020 г. за кафедрой закреплено 12 аспирантов очной и заочной формы обучения и 3 докторанта. Руководство аспирантурой осуществляют 6 докторов наук. Подготовка кадров высшей квалификации на кафедре ведется по четырем направлениям и пяти профилям: направление 05.06.01 «Науки о земле», профиль 25.00.36 «Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 15.06.01 «Машиностроение», профиль 05.05.06 «Горные машины»; направление 20.06.01 «Техносферная безопасность», профиль 05.26.01 «Охрана труда (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых», профили 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)». Успешная реализация программ подготовки кадров основывается на работе двух диссертационных советов на базе ТулГУ Д 212.271.04 и Д 212.271.16.

В 2020 году при поддержке Стратегической программы развития инжиниринговых центров Минобрнауки РФ в Тульском государственном университете продолжает активно работать Инжиниринговый центр «Машины и оборудование для горнодобывающей отрасли».

При выполнении ряда научно-исследовательских и диссертационных работ были проведены комплексные исследования, общие результаты которых сводятся к следующему.

В области **строительной геотехнологии** и **геомеханики** были уточнены закономерности взаимодействия конструктивных элементов вертикальных стволов с породными массивами, что позволило дать оценку последствий нарушения проектных решений и обеспечить совершенствование технологий сооружения и восстановления крепи и армировки шахтных стволов калийных рудников в специфических условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Основные выводы, научные результаты и рекомендации заключаются в следующем:

1) натурные исследования крепи скипового ствола No1 и клетьевого ствола No2 Усть-Яйвинского рудника позволили выявить дефектные тубинги, обосновать физическую модель взаимодействия крепи стволов с породным массивом и сформулировать подходы к моделированию напряженно-деформированного состояния крепи для различных граничных условий, а также с учетом термодинамических особенностей размораживания ледопородного ограждения;

2) установлено, что нарушение технологии искусственного оттаивания ледопородного массива, приводящее к возникновению ассиметричных температурных полей в породном массиве, вызывает вертикальное перемещение тубинговой колонны и, как следствие, существенные по величине напряжения растяжения, которые могут превышать пределы прочности на растяжение для марок чугуна, использованного для производства тубингов;

3) выявлено, что к основным факторам, определяющим коррозионный износ балок расстрелов следует отнести физико-химический состав металла, из которого они изготовлены (конструкционная или легированная сталь), и наличие антикоррозионных покрытий расстрелов, а на скорость (кинетику коррозии) существенное влияние оказывают температурный режим в стволе в разные периоды его эксплуатации, направление воздушной струи и её влажность, скорость, состав воздуха (наличие газа и твердых частиц), приток воды по стволу и её химический состав;

4) доказано, что для совершенствования геотехнологии строительства вертикальных стволов калийных рудников в специфических условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей необходимо использовать систему контрольно-измерительного мониторинга материала крепи, и математическое моделирование ее напряженно-деформированного состояния с учетом фактора времени;

5) отмечено, что система мониторинга напряженно-деформированного состояния бетонной крепи клетьевого и скипового стволов Усть-Яйвинского рудника при замене 18 разрушенных тубингов, обеспечивающая безаварийную замену тубинговых сегментов, должна основываться на определении фактического времени существования поверхности обнажения для рассматриваемой бетонной крепи и сравнении его значения с критическим периодом времени, обеспечивающим безаварийную замену тубинговых сегментов; рекомендуемую систему мониторинга необходимо вводить в проект производства работ;

6) получены закономерности формирования нагрузок на многослойную крепь строящихся и реконструируемых вертикальных стволов, возникающих при их взаимодействии с породными массивами при восстановлении крепи и армировки; установлено, что работоспособность и надежность армировки вертикальных стволов, в первую очередь, определяется состоянием крепи, которая непосредственно взаимодействует с породным массивом, а физические процессы, характерные для этого взаимодействия, являются следствием качества реализации технологических процессов, предусмотренных проектами строительства;

7) разработан алгоритм расчета долговечности работы армировки, который представляет собой итерационный процесс с изменяющимися инерционными характеристиками, площадью поперечного сечения и моментами сопротивления поперечных сечений балок расстрелов и проводников в зависимости от интенсивности коррозионного и механического износа в процессе эксплуатации армировки до наступления предельных состояний первой или второй группы ее элементов;

8) доказано, что моделирование взаимодействия двухслойной крепи, состоящей из внешнего бетонного слоя и внутреннего чугунного тубинга, с породным массивом необходимо осуществлять, используя 3D модели с учетом фактора времени, а для прогнозных оценок последствий нарушения проектов строительства следует проводить вычислительные эксперименты методом конечных элементов. При этом в частных случаях целесообразно использовать аналитический метод Н.С. Булычева, который дает результаты, отличающиеся от численных экспериментов не более чем на 12 %;

9) обосновано применение в качестве обобщенной характеристики напряженно-деформированного состояния тубингов, обусловленного взаимодействием крепи с породным массивом, коэффициента запаса прочности, численно равного отношению предела прочности на растяжение к максимальному значению напряжения растяжения, полученному по результатам вычислительного эксперимента. Коэффициент запаса прочности позволяет оценивать последствия нарушения проектов, как на стадии проектирования (перспективный прогноз), так и при расследовании аварий (ретроспективный прогноз);

10) рекомендовано в качестве базовой теории прочности при оценке несущей способности бетонной крепи использовать модели прочности Вилама-Варнке и Базанта, а при оценке несущей способности тубинговой крепи использовать теорию прочности Мора–Кулона, позволяющую рассчитать коэффициент запаса прочности крепи с учетом фактора времени;

11) результаты технологического мониторинга напряженно-деформированного состояния тубингов по данным математического моделирования и по данным натуральных наблюдений наглядно свидетельствуют о том, что любые отклонения от проекта необходимо оценивать по фактору возможных последствий, а наиболее перспективным научным направлением прогноза взаимодействия вертикальных стволов с породным массивом и оценки последствий при нарушении проектов строительных геотехнологий являются численные модели на основе метода конечных элементов;

12) перечень организационных и технических мероприятий, необходимых для обеспечения устойчивости крепи скипового ствола № 1 и клетьевого ствола № 2 Усть-Яйвинского рудника, и их дальнейшей безаварийной эксплуатации показывает, что технологически рационально и экономически целесообразно использовать систему контрольно-измерительного мониторинга материала крепи, и математическое моделирование ее напряженно-деформированного состояния на всех этапах строительства стволов.

В области *рудничной аэрогазодинамики* для обеспечения *аэрологической безопасности горных работ по кислородному фактору* при *подземной геотехнологии* были уточнены закономерности формирования аэрогазодинамических процессов, влияющих на содержание кислорода в атмосфере очистных и подготовительных участков угольных шахт, что позволяет точно рассчитывать количество воздуха для их проветривания. Основные выводы и рекомендации:

1) усовершенствована методика прогноза газовыделения из выработанных пространств очистных участков углекислитообильных шахт в периоды падения атмосферного давления, отличающаяся тем, что метеорологические воздействия на аэрогазодинамическую систему «вентиляционная струя – выработанное пространство», обусловленные атмосферными явлениями, моделируются на мезоуровне с использованием государственной системы метеорологического мониторинга;

2) доказано, что повышение достоверности прогноза газообмена выработанных пространств с шахтной атмосферой в периоды падения атмосферного давления достигается за счет оценки среднеинтегральных значений концентраций газовых компонент среды выработанных пространств по результатам моделирования динамики их газового состава;

3) обоснована возможность моделирования локального изменения давления на контуре стока как случайного стационарного процесса, что повышает достоверность решения задач прогноза выделения мертвого воздуха, а также установлено, что в периоды падения атмосферного давления наилучшая аппроксимация достигается линейной функцией (коэффициент корреляции, как правило, более 0,9);

4) обосновано использование реляционной базы данных для текущей информации, получаемой в процессе мониторинга состояния атмосферы в приземном слое атмосферы, а также данных Тульского государственного университета по результатам шахтных наблюдений газовой выработки при снижении статического давления воздуха. Доказано, что реализация общей концепции автоматизированной системы, обеспечивающей контроль величины давления на контуре стока, предусматривает использование оперативных оценок атмосферного давления по укрупненным показателям;

5) установлено, что газообмен в горных выработках углекислитообильных шахт обусловлен физико-химическими процессами диффузии кислорода в уголь и фильтрацией газовой смеси из выработанных пространств при уменьшении статического давления; при этом средняя скорость поглощения кислорода пропорциональна произведению концентрации кислорода на глубину его проникновения в угольный пласт, а газовой выделение из выработанных пространств пропорционально скорости уменьшения статического давления на контуре стока;

6) выявлено, что формирование аэрогазодинамических процессов, влияющих на содержание кислорода в атмосфере очистных и подготовительных забоев угольных шахт, обусловлено технологическими воздействиями на угольные пласты, активизирующими низкотемпературное окисление угля и вытеснение кислорода из проветриваемых объемов при экстренных газовойделениях на углекислитообильных шахтах и при интенсивном метановыделении на метанообильных шахтах;

7) расчет количества воздуха, необходимого для проветривания очистных и подготовительных участков по кислородному фактору, основывается на решениях стационарных уравнений конвективно-турбулентной диффузии, где в качестве источников газовой выделения введены значения средней абсолютной газообильности, определяемые из решений дифференциальных уравнений параболического типа, а параметры математических моделей отражают физико-химические свойства вещества угля и газов, вытесняющих кислород из проветриваемых объемов;

8) в периоды экстренного выделения «мертвого воздуха» из выработанных пространств в углекислотообильных шахтах, обусловленного резким снижением статического давления воздуха в шахтах, происходит интенсивное обескислороживание атмосферы очистных и подготовительных участков, поэтому необходимо подавать дополнительное количество воздуха. Дополнительное количество воздуха изменяется от 40 до 90 % и более от расчетного значения при стабильном статическом давлении воздуха на шахте.

В области *рудничной аэрогазодинамики* для обеспечения *аэрологической безопасности горных работ* при *подземной геотехнологии экологической безопасности территорий* были уточнены закономерности аэрогазодинамических процессов в выработанных пространствах угольных шахт для прогноза динамики газообмена с шахтным воздухом и приземным слоем атмосферы. Основные выводы и результаты:

1) отмечено, что наиболее активное метановыделение из подработанных пород имеет место в начальный период времени после обрушения пород основной кровли. Периодически эта физическая картина будет повторяться. В этом процессе участвуют породы и смежные угольные пласты, затронутые процессом сдвижения горного массива;

2) выявлено, что метановая опасность очистных участков угольных шахт во многом определяется динамикой газовой выделения из подработанных смежных угольных пластов, а управление кровлей полным обрушением вызывает нарушение геомеханического равновесия газоносного горного массива, что вызывает всплеск абсолютной метанообильности после обрушения пород основной кровли;

3) обобщение результатов натурных наблюдений подтверждает теоретическое положение о высокой чувствительности газовой среды выработанных пространств углекислотообильных шахт даже к незначительным колебаниям атмосферного давления. Установлено, что динамика выделений углекислого газа и поглощения кислорода в углекислотообильных шахтах обусловлена колебаниями статического давления воздуха в горных выработках и физико-химическими процессами, возникающими при диффузионном газообмене рудничного воздуха с поверхностями обнажения угольного пласта;

4) выявлено, что выделение мертвого воздуха из выработанных пространств складывается из количества газа, поступающего из пластов спутников, подработанных и надработанных пород, исходящего из зон беспорядочного обрушения или же тупиковых выработок, изолированных от выработанного пространства перемычкой;

5) отмечено, что в пределах поверхности горного отвода шахты не должно возводиться никаких новых строений до тех пор, пока не будут проведены специальные исследования по проникновению метана на земную поверхность. В связи с угрозой проникновения метана на земную поверхность необходимо еще до начала консервации шахты по имеющейся маркшейдерской документации уточнить наличие всех видов строений, расположенных в угрожаемых зонах у устьев выработок, выходящих на земную поверхность;

6) доказано, что скорость метановыделения на земной поверхности из подработанной угленосной толщи представляет собой функцию фильтрационного критерия Фурье, которая стремится к асимптотическому значению, зависящему от глубины залегания отработанного угольного пласта, от газовой проницаемости подработанных пород, свойств газа и природной газоносности подработанной толщи;

7) рекомендовано в качестве мероприятий по обеспечению аэрогазодинамической безопасности на территориях горных отводов ликвидированных шахт применять различные способы дегазации выработанного пространства, а для зданий и сооружений, оказавшихся в газоопасных зонах, необходимо разрабатывать проекты вентиляции цокольных этажей в расчете на разбавление метана до предельно допустимой концентрации;

8) результаты математического моделирования показали, что безразмерный вертикальный диффузионный газовый поток из выработанного пространства имеет асимптоту при $Fo_D \rightarrow \infty$, равную 1. Установленная закономерность может использоваться для решения задачи прогноза газовых ситуаций, возникающих в подвальных помещениях и цокольных этажах зданий и сооружений, находящихся над подработанными массивами горных пород в периоды стабильного атмосферного давления;

9) обоснованы методические положения прогнозирования газовых ситуаций при нормальных режимах вентиляции и реверсировании вентилятора главного проветривания на основе уточненных закономерностей аэрогазодинамических процессов фильтрационно-диффузионного переноса газовых примесей в атмосфере очистных и подготовительных участков углекислородобильных шахт, контактирующих с выработанными пространствами.

В области *аэрогазодинамики* и *строительной геотехнологии* были уточнены существующие закономерности газообмена горного массива с атмосферой тоннелей и закономерности аэрогазодинамических процессов переноса газовых примесей в атмосфере тоннелей большого поперечного сечения, что позволило усовершенствовать методику расчета количества воздуха и прогноза газовых ситуаций для строящихся подземных тоннелей. Основные выводы и результаты:

1) обоснована математическая конечно-объемная модель для прогнозных оценок аэродинамических условий на базе численных решений уравнений движения О. Рейнольдса; доказано, что в зависимости от горно-геологических условий, процессы газовыделения и перенос газовых примесей воздушными потоками в строящихся тоннелях, удовлетворительно описываются решениями линеаризованных уравнений параболического типа с учетом динамики сорбции, радиоактивного распада и источника генерации данного газа, а максимальное значение абсолютной газообильности зависит от времени проведения рассматриваемых тоннелей;

2) установлено, что при горнопроходческих работах в атмосфере тоннелей часто наблюдается уменьшение содержания кислорода, обусловленное его поглощением из воздушных потоков реагирующей поверхностью обнажения горного массива и разбавлением выделяющихся газов, содержащихся в горном массиве;

3) усовершенствована методика динамического расчета количества воздуха для строящихся тоннелей, которая базируется на решении одномерного уравнения стационарной конвективно-турбулентной диффузии, с учетом утечек воздуха из воздухопроводов;

4) прогнозирование аэрогазодинамического состояния протяженных тоннелей в период строительства основывается на использовании математических моделей аэродинамических режимов работы для вентиляторов местного проветривания с применением точных аппроксимаций аэродинамических характеристик и потребляемой мощности от производительности вентиляторов;

5) выявлено, что при щитовых способах проходки тоннелей основным источником газообмена в атмосфере тоннеля является горный массив, а при буровзрывном способе – газы ВВ, но при этом поглощение кислорода горным массивом будет иметь место при любых горно-геологических условиях и применяемых технологиях проходки тоннеля;

6) установлено, что для значений коэффициента эффективной диффузии $10^{-7} \dots 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и отношения начальной скорости сорбции газов веществом полезного ископаемого в горном массиве к константе Генри $10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-2} \text{ 1/с}$ нестационарные одномерные поля кислорода представляют собой монотонно убывающие функции, которые стремятся к некоторому асимптотическому значению;

7) источником выделения радона в горном массиве является рассеянный уран, поэтому источник можно считать равномерно распределенным в горных породах. Так как период полураспада урана в зависимости от вида изотопа может составлять от $2,48 \cdot 10^5$ до $4,51 \cdot 10^9$ лет, то интенсивность источника выделений радона в поры и трещины горного массива можно принять величиной постоянной. Разработанный алгоритм и комплекс программных средств для расчета выделений радона в тоннели позволяют автоматизировать процесс проектирования систем вентиляции тоннелей, где радоновыделения являются значимым газовым фактором;

8) доказано, что учет процессов конвективно-диффузионного переноса газовых примесей позволяет уменьшить расчетное количество воздуха, необходимого для тоннелей, на 30–40 %, не повышая при этом уровня газовой опасности.

В области *горных машин* для обеспечения *подводной добычи* полезных ископаемых была решена задача обоснования энергетических показателей работы подводного добычного комплекса на основе установления рациональных параметров гидротранспорта твердых полезных ископаемых, обеспечивающих энергоэффективный режим работы системы гидроподъема, с учетом затрат энергии, обусловленных влиянием подводных течений на искривление профиля трассы трубопроводов. Основные выводы, результаты и рекомендации:

1) проведено численное моделирование влияния параметров гидротранспорта на энергоемкость гидроподъема твердых полезных ископаемых, на основе которого установлен энергоэффективный режим работы системы гидроподъема с подводной станцией. Этот режим достигается при плотности гидросмеси, равной сумме диаметра транспортируемых частиц с переменной a , являющейся степенной функцией производительности, переменной b , линейно изменяющейся от 25 до -25 при повышении плотности твердого вещества от 2000 до 4000 кг/м³ и составляющей c , равной 1177;

2) предложен новый способ выбора диаметра трубопровода по параболической зависимости вертикальных удельных потерь напора от скорости гидросмеси с минимумом, определяемым оптимальным соотношением удельных потерь на трение и удельных потерь на взвешивание гидросмеси, зависящих от скорости гидросмеси;

3) выполнены экспериментальные исследования вертикального гидротранспорта шельфовых ЖМК, подтверждающие сходимость полученных данных с теоретическими результатами при относительном отклонении 1,34 %, что отражает достаточную точность применяемого метода для расчета вертикального гидротранспорта ЖМК;

4) осуществлен теоретический анализ влияния потока течений на ориентацию секции трубопровода в пространстве и разработана компьютерная модель, позволяющая устанавливать искривления профиля трассы трубопровода под воздействием подводных течений с оценкой его длины и натяжений в узлах крепления трубопровода и на якорных устройствах;

5) установлены зависимости дополнительных затрат энергии на гидроподъем твердых полезных ископаемых с учетом коэффициента воздействия течений от их характеристик, описываемых коэффициентом разнонаправленности и их средней скоростью;

6) получены зависимости изменения длины и профиля трассы транспортирующих трубопроводов под воздействием течений, определяющих дополнительные затраты энергии на гидроподъем твердых полезных ископаемых, от плавучести элементов системы гидроподъема, характеризуемой коэффициентом положительной плавучести; данные зависимости определяют взаимосвязь энергетических показателей системы гидроподъема и натяжений в узлах крепления трубопроводов;

7) разработана модификация подводного добычного комплекса с независимым позиционированием системы гидроподъема в пространстве добычного поля, позволяющая уменьшить динамические воздействия морских волнений на став трубопровода и обеспечивающая временную автономность подводной части комплекса во время морских штормов.

В 2020 году получены следующие научно-технические результаты:

- подготовлены и защищены 6 кандидатских диссертаций;
- издана 1 монография общим объемом 21,3 условно-печатных листа, 1 учебное пособие (14,1 усл.-печ. листа) и 4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о земле»; 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 – 13; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования WebofScience – 18; количество статей в журналах, принадлежащих к первым двум квартилям международных баз цитирования WebofScience и Scopus – 1; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования РИНЦ – 33; получен 1 патент;

- по результатам обучения в аспирантуре по направлениям 05.06.01 «Науки о Земле», 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» и 05.26.01 «Техносферная безопасность» подготовлены 6 аспирантов, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь»;
- совместно с НП «Молодежный форум лидеров горного дела» и Фондом «Надежная смена» проведен отборочный тур VIII Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» (Лига по горному делу); в отборочном туре приняли участие 4 команды из студентов кафедры.

2.21. 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 2020 году Уральским государственным горным университетом научно-исследовательские работы преимущественно относятся к отмеченным направлениям.

Университет выполнял исследования и разработки в интересах социально-экономического развития отдельных регионов и Российской Федерации в целом.

Структура финансирования выполненных работ: 55 % – по хозяйственным договорам с российскими предприятиями, 5 % – с зарубежными предприятиями; 10 % – по государственному заданию; 8 % – по программе «Госгеолкарта ГДП – 200»; 22 % – по грантам.

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 в составе объекта работ ФГБУ «ВСЕГЕИ»: «Проведение региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Уральского и Приволжского ФО».

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 Р-40-VI (Шалинская площадь). Созданы цифровые архивы данных картографической и фактографической информации с использованием современных ГИС-технологий. Произведена предварительная оценка площади на золото и другие полезные ископаемые с выделением известных минералогических комплексов.

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 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа»

Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием на выполнение НИР для ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 075-03-2021-303 от 29.12.2020, тема № 0833-2020-0008.

Целевое назначение работ

Проект направлен на решение фундаментальной проблемы перехода на новую парадигму развития человечества в условиях прогрессирующего экологического кризиса, обусловленного превышением несущей экологической емкости биосферы.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

Разработка фундаментального теоретико-методологического подхода к оценке ценности природных благ для общества и усовершенствование существующей методической разработки по оценке природных благ в целях перехода на комплексное управление природопользованием на основе экосистемного и социально-экономического подходов, которые учитывают весь спектр так называемых экосистемных услуг, оказываемых природой обществу. В том числе, принципиальное совершенствование биологического этапа рекультивации нарушенных земель в рамках усиления продукционной и средообразующей роли почвенного покрова в широком спектре экосистемных услуг и их экологическая оценка

Предполагаемое использование результатов

Разработка системы оценки ценности природных благ позволит правильно использовать нарушенные территории после рекультивации, а исследования в области разработки природоподобных технологий позволят качественно улучшить состав почвы на биологическом этапе рекультивации.

3. Проект «Исследование узлов трения горных машин и разработка металло-матричных композиционных материалов триботехнического назначения»

Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием на выполнение НИР для ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 075-03-2021-303 от 29.12.2020, тема № 0833-2020-0007.

Целевое назначение работ

Научно-техническое решение практической реализации эффективной ресурсо- и энергосберегающей технологии получения дисперсно армированных *in situ* металло-матричных композитов, обеспечивающей снижение энергозатрат и химическую чистоту синтезируемых композиционных материалов. Разработка математической модели работы узлов трения горных машин путем исследования напряженно-деформированного состояния, температурного режима и процессов изнашивания, что позволит разработать новые принципы и методы оценки надежности горных машин при проектировании, изготовлении и эксплуатации, сформировать требования к триботехническим материалам.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

Проведены физические эксперименты с использованием методов исследования материаловедения для изучения механизма и кинетики формирования структуры функциональных металло-матричных композитов. Предложено научно-техническое решение практической реализации эффективной ресурсо- и энергосберегающей технологии получения

дисперсно армированных insitуметалломатричных композитов, обеспечивающей снижение энергозатрат и химическую чистоту синтезируемых композиционных материалов.

Выполнена оценка распределения характера приложения нагрузки и разработана методика расчета контактной выносливости триботехнических элементов опоры бурового шарошечного долота.

Разработанная методика расчета контактной выносливости элементов опоры шарошечного долота позволяет максимально учесть факторы конструкции бурового шарошечного инструмента и его режимных параметров бурения, влияющих на работоспособность инструмента с учетом случайного характера распределения значений параметров. Для автоматизации расчетов по предложенной методике разработаны расчетные программы, позволяющие выполнять расчет действующих нагрузок, контактной выносливости и наработки до отказа элементов опоры долота.

Определены технические требования к металломатричным композитам триботехнического назначения с перспективой их применения в качестве материала для фрикционных элементов подшипников скольжения бурового шарошечного инструмента.

Предполагаемое использование результатов

Снижение затрат при эксплуатации бурового инструмента. Увеличение продолжительности работы бурового инструмента.

4. Проект «Разработка нормативов потерь угля с отходами обогащения на ОФ «Вахрушевская»

Целевое назначение работ

Цели работы – выявление и анализ потерь по технологическим и организационно-техническим причинам; нормирование, учёт и контроль потерь угля с отходами обогащения; анализ сырьевой базы угля марок СС ОФ «Вахрушевская», планируемых и прогнозных показателей качества поступающих на переработку углей марки СС, анализ продуктов тяжелосредной сепарации и оценка эффективности ведения процесса

Основные научные и научно-технические результаты проекта

При выполнении НИР были достигнуты следующие результаты:

- проанализированы технологические показатели работы ОФ «Вахрушевская» за отдельные периоды 2020 года;
- выполнен анализ сырьевой базы обогатительной фабрики и планируемых и прогнозных показателей качества поставляемых углей марки СС различных пластов;
- на основе ситового и фракционного составов углей, поступивший в переработку за расчётный период, определена обогатимость углей машинного класса 13-200 мм;
- выполнен расчёт теоретического и практического балансов;
- определены технологические потери угля с отходами обогащения, а также норматив потерь;
- проведено контрольное опробование процесса тяжелосредной сепарации, выполнены ситовый и фракционный анализы по классам крупности продуктов разделения, рассчитаны кривые разделения и оценена эффективность разделения угля в целом и по отдельным классам крупности, оценена эффективность подготовки угля к обогащению.

Проведённое опробование продуктов тяжелосредной сепарации в промышленных условиях показало, что процесс обогащения осуществляется с высокой эффективностью, обеспечивая получение низкзолного концентрата высокого качества и низкий уровень потерь. Обогатимость отдельных классов крупности в целом лёгкая, но с уменьшением крупности ухудшается.

Предполагаемое использование результатов

Для переработки углей нескольких пластов, отличающихся фракционными характеристиками предлагается внедрение оперативного регулирования плотности разделения в процессе тяжелосредной сепарации.

2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет строительства и архитектуры Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела

За период 2019-2020 учебного года исследования проводились в следующих направлениях:

1. Подготовка специалистов в области горного дела (доц. Семенова Л.А.).
2. Использование информационных технологий на горнодобывающем предприятии (студент гр. ГР-51з, Семенов Д.С.)

Подготовка специалистов в области горного дела

За период 2019-2020 учебного года ППС кафедры продолжили исследования в области проблем преемственности в подготовке конкурентоспособного специалиста в области горного дела [1]. Многолетний опыт работы позволил сделать выводы о назревших на данный момент вопросах в этой области образования.

Одной из приоритетных задач реформирования системы подготовки специалиста в области горного дела специалисты кафедры видят в создании системы преемственности, включающей как компоненты не только СПО-ВО, но и работодателя.

На основе собственного педагогического опыта работы в ОБПОУ СПО Железногорский горно-металлургический колледж (направления подготовки 21.02.18 Обогащение полезных ископаемых) и ФБГОУ ВО Юго-Западный государственный университет (21.05.04 Горное дело) ППС сформулированы проблемы создания и осуществления преемственности в подготовке конкурентоспособного специалиста в области горного дела: [9,10, 11]

- 1) отсутствие интегрированного образовательного пространства между выпускниками СПО-ВО-работодателем;
- 2) неготовность выпускников учебных заведений к требованиям, предъявляемым работодателем;
- 3) снижение мотивационного компонента у выпускников СПО для продолжения обучения.

Еще один вывод, сделанный за исследуемый период – сложившаяся образовательная практика профессиональной подготовки, направленная на передачу максимального объема знаний, утратила свою актуальность [5, 7, 8]. Современные тенденции развития общества, формирование новой образовательной парадигмы, нацеленной на создание условий формирования и воспитания выпускника профессиональных учебных заведений, способного оптимально распоряжаться получаемыми знаниями, эффективно самореализовываться, быть востребованным социумом – результат реформирования профессионального образования.

ППС кафедры теоретически обоснована необходимость преодоления ценностной нейтральности образовательной среды в области теории и методики профессионального образования и подготовки специалиста через формирование гуманитарной культуры педагога [2,4]. Сделаны выводы о том, что основой подготовки специалиста в современном профессиональном образовании должно стать знание гуманитарное, диалогическое, двусубъектное, условием формирования которого является гуманитарная культура педагога – преподавателя. Огромное культурно-художественное наследие русской классической литературы обогатило бы при этом содержательную сторону знаний, заставило педагога поставить в центр обучения ценностные ориентиры.

По мнению преподавательского состава, образовательная среда выступает основой развития и становления личности и, по мнению авторов, неразрывно связана с гуманитарной культурой педагога.

Ссылки на источники

1. Ананьев, Б.Г. О преемственности в обучении / Б.Г. Ананьев // М.: Советская педагогика. – 1953. — С. 23-25.
2. Бахтин, М.М. Эстетика словесного творчества [Текст] /М.М. Бахтин// М.: Искусство. – 1979. – С.361-373.

3. Выготский, Л.С. Психология искусства [Текст] / Л.С. Выготский// М.: Искусство. – 1968. – 344с.
4. Гессен, С.И. Основы педагогики: Введение в прикладную философию. [Текст]/ С.И. Гессен// М.: «Школа-Пресс» – 1995. – с. 32, 33
5. Дёмина, О.А. Технология формирования языковой профессиональной культуры у выпускников технических вузов : Дис. канд. пед. наук : 13.00.08 : Новосибирск. – 2001. – 246 с.
6. Коновалова, Л.И. Феномен воображения в художественном познании [Текст]/ Л.И. Коновалова// Спб.: Союз. – 1996. – 180с.
7. Крылова, Н.Б. Формирование культуры будущего специалиста [Текст]/ Н.Б. Крылова // М.: Высш.шк. – 1990. – 192с.
8. Рыбина, Е.П. Модель гуманитарной культуры студентов технических специальностей ВУЗа: структурно-функциональный анализ [Электронный ресурс]/ http://www.zpu-journal.ru/zpu/contents/2011/1/Rybina_Humanitarian_Culture
9. Семенова, Л. А. Социо-гуманитарное образование горных инженеров как педагогическая проблема. История и современное состояние вопроса // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 26. – С. 506–510. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/64402.htm>
10. Klim-Klimashevska A. Lifelong adult education in Poland // Lifelong education: the XXI century. 2015. No. 1 (9). DOI: 10.15393/j5.art.2015.2723, с. 2.
11. Теплов Б.М. Психология музыкальных способностей // Теплов Б.М. Избранные труды в 2-х т. Т. I. – М.: Педагогика, 1985. – 328 с.
12. Топор, А.В. Искусство как средство эколого-педагогического образования будущих учителей начальных классов [Текст]/ Искусство и образование. – М. – 2011. – № 6 (74). – С. 61-65.

Опыт использования гис-систем в горнодобывающей промышленности

В данной области проблем горного дела продемонстрирован опыт применения ГИС-технологий в практике работы одного из ведущих горнодобывающих предприятий Курской области – АО Михайловский ГОК им. А.В. Варичева. Показана история решения задачи информационного обеспечения горных работ на предприятии. Описаны результаты проектирования и создания автоматизированных картографических информационных систем для решения широкого круга инженерных и научных задач горного производства – горно-технических, экологических и социально-экономических проблем, возникающих при освоении недр. Проведен анализ информационного обеспечения горных работ АО Михайловский ГОК им. А.В. Варичева

Вопросы безопасности и экономической эффективности горного производства во многом зависят от геологической и маркшейдерской информации, получаемой при планировании производственных работ. При этом возникает вопрос о том, что прежде всего необходимо для быстрого и качественного обеспечения горных работ. Практика, сложившаяся за период конца 20 – начала 21 веков показывает, что именно автоматизация горно-транспортного комплекса, управление технологическим процессом дробления и обогащения, процессов сбора информации дает возможность повышения эффективности горного производства. Анализ информационного обеспечения горных работ, представленный далее, позволяет утверждать, что геологическая и геодезическая базы являются доминирующими при обеспечении горных работ, а значит и прибыли исследуемого предприятия, поэтому первичным становится анализ обеспечения геолого-маркшейдерских работ АО Михайловский ГОК им. А.В. Варичева. [1]

Формирование системы информационного обеспечения горных работ на предприятии началось еще в 70-е годы 20 века. К концу 1977 года были разработаны методы создания цифровой модели месторождения по данным эксплуатационной разведки и ее поддержки на базе вычислительных машин советского производства. Подобная работа имела и свои недостатки: результаты работ были представлены только на бумажных носителях, значительная часть данных не вносилась в базу данных. [2, С.4–6]

К концу 80-х годов система представлялась как ряд автоматизированных рабочих мест геологов и маркшейдеров рудоуправления. Основное назначение системы – ускорение и облегчение инженерного труда, обеспечивающих документацией производственные участки. Процесс разработки технического задания превратился фактически в постановку задач с описанием алгоритмов в соответствии с требованиями ГОСТ и инструкций.

Уже к 1990-му году специалистами комбината были разработаны «технические требования» к системе автоматизированного планирования горных работ (САП ГР). Этот документ отобразил новое представление о САП ГР как о комплексе взаимосвязанных задач, объединяющих сбор и интерпретацию первичных данных, работу всех производственно-технических служб и проектировщиков в единый комплекс. Одновременно с этим специалистами комбината заключаются договоры с фирмой «Геомар» [3, pp. 64–77.], специализирующейся на создании математической модели месторождения карьера, а также разработке методов оптимизации горных работ на уровне долгосрочного планирования. Ими была предложена программа, позволявшая отображать на экране ПЭВМ основные элементы карьера, полученные в результате тахеометрической съемки и стереосъемки. Совместно была разработана структура базы данных маркшейдерской модели, которая позволила оцифровать, как минимум, все элементы, отображающиеся на плане горных работ. [4, pp. 30–32.]

Для получения исходных данных и построения цифровой модели поверхности карьера, отвалов и находящихся там объектов комбинат внедрил технологию использования электронных тахеометров, спутниковых систем позиционирования. Совместно с фирмой «Геокосмос» была выверена опорная геодезическая сеть комбината, разработан механизм перерасчета географических координат в условную систему координат предприятия.

Одновременно выполнялись работы по актуализации работы базы геолого-разведочных данных. В СУБД «Paradox» создана более совершенная база данных для хранения и сетевого использования с помощью персональных компьютеров. Данные, хранящиеся на ЕС, были отформатированы и экспортированы в базу данных, созданную на сервере для последующего использования на рабочих местах геологов и маркшейдеров. Дополнительно здесь же были введены данные опробования более 800 глубоких разведочных скважин и 10 тыс. скважин взрывного бурения. Произведена выверка баз данных методом повторного независимого ввода, сравнения и устранения разночтений.

Кроме основных атрибутов, введенных ранее в базу данных по скважинам, в нее были добавлены атрибуты, характеризующие минеральный состав, литографическую принадлежность, содержание второстепенных химических веществ (серы, фосфора, глинозема и т.п.).

Одновременно с этим коллектив маркшейдеров таким же образом создал первичную компьютерную модель поверхности карьера. Большая часть данных были введены с помощью дигитайзеров. Результаты вновь проводимых съемок вводились непосредственно с электронных полевых приборов (тахеометров и спутниковых систем).

Внедрение данных технологий позволило внедрить практически безбумажную технологию геолого-маркшейдерского обеспечения горных работ, при этом на бумажном носителе остается и сохраняется та документация, которая требует дополнительного рассмотрения, подписей и хранения.

Недостатками проведенных внедрений можем считать:

- отсутствие алгоритмов и программ обработки трехмерных данных;
- триангуляционная модель поверхности просматривалась вручную для поиска аномальных значений абсолютных отметок и уклонов отдельных элементов;
- сохранялась возможность несанкционированного доступа.

На Михайловском ГОКе с начала 90-х годов используется пакет DATAMINE и TECTHBASE. В самом начале эти программные пакеты используются на следующих рабочих местах: геологи, маркшейдеры, проектировщик-горняк. При этом были разработаны стандарты изображения графики на экране компьютера и при выводе на графопостроитель для получения бумажных копий.

В это время начинается создание первой блочной модели геологического строения месторождения. Она отображала разделение массива на рудно-скальные отдельности, отнесенные к рыхлым породам, богатым рудам, неокисленным кварцитам и сланцам.

Затем была разработана методика моделирования содержаний второстепенных свойств. Методами 2D моделировались маркшейдерские поверхности (фактические, ожидаемые и плановые выемки).

Для успешной работы маркшейдерской службы специалистами комбината разработано узкоспециализированное программное обеспечение – пакет «Марк 32». Именно данный пакет

позволил поставлять предварительные данные для загрузки в TECHBASE. Эта технология дала значительное преимущество для проектировщика, т.к. это позволяло обрабатывать несколько видов годовых программ, сложных локальных проектов, а также приступил к проектированию пятилетних планов.

Эта программа определяла основные направления развития горных работ, соотношения сортов руд, скорректировала текущий коэффициент вскрыши. Это же послужило толчком для развития транспортной системы карьера, спроектированной для предотвращения роста себестоимости перевозок и обеспечения добычи руд с наиболее продуктивных нижних горизонтов.

Внедрение компьютерных технологий позволило наращивать производственную мощность карьера одновременно с планированием.

Ссылки на источники:

1. Наговицын О.В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения [Текст]/ О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. – № 7. – С. 71–83.

2. Семенова, Л.А. Повышение эффективности горного производства посредством геоинформационного обеспечения горных работ на ПАО Михайловский ГОК [Текст]/ Л.А. Семенова, Е.И. Семенова// Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых . 14 международная научная школа молодых ученых и специалистов. – М. – 2019 г. – С.86.

3. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Геоинформационные системы в горном деле [Электронный ресурс] / [сайт] . URL: <http://masters.donntu.org/2006/ggeo/osipova/library/int3.htm>, (дата обращения 2020).

4. Шек, В.М. Открытые программные системы с применением геоинформационных технологий в горной промышленности / В.М. Шек, Е.А. Конкин. [Текст] // Программные продукты и системы. – №1. – 2007. – С.18.

2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Г.И. НОСОВА»

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА

Геотехнология

Проведены научно-исследовательские работы по реконструкции Кочкарского месторождения рудного золота подземным способом с применением буровзрывных работ до горизонта 700-712м, разработан вариант реконструкции подземного рудника при соблюдении условий безостановочности и непрерывности производственных процессов, а также при соблюдении условия максимального использования существующей инженерно-технической инфраструктуры действующего предприятия. Представлено обоснование рациональной производственной мощности, срока существования рудника, а также определение направлений совершенствования основных производственных процессов с использованием современного горнотехнического оборудования.

В работе проведен сбор, обработка и систематизация исходной информации по расположению рудных тел жильного типа, зон минерализации и участков, подлежащих повторному освоению, подсчет запасов Кочкарского месторождения. Проведена оценка современного состояния горных работ на подземном руднике. Определены основные направления совершенствования технологии добычи в соответствии с требованиями Заказчика. В частности, определены порядок выхода рудника на проектную мощность, этапность и сроки набора объемов, технологические решения, обеспечивающие выполнение программы развития горных работ.

Предложена концепция освоения дорабатываемых запасов Кочкарского месторождения, заключающаяся в вовлечении в разработку забалансовых запасов и использовании современных технологий добычи на основе высокопроизводительного самоходного оборудования, что позволяет вести эксплуатацию месторождения с объемом добычи до 3,6 млн. т./год.

Наличие дополнительных запасов и возможность их прироста за счет глубоких горизонтов, развитой инфраструктуры обеспечивает эффективное функционирование предприятия в течение длительного периода.

С учетом распределения запасов по горизонтам и темпам наращивания производственной мощности рудника проработаны возможные варианты вскрытия запасов, для чего была проведена инвентаризация оборудования и выработок существующей схемы вскрытия и установлено, что при объемах добычи до 2,5 млн.т./год проводить дополнительные вскрывающие выработки не требуется. Выдача горной массы в данном количестве обеспечивается вертикальным скиповым стволом и наклонными съездами. При увеличении производственной мощности подземного рудника до объема 3,6 млн.т./год потребуются изменение схемы вскрытия в части строительства дополнительного вертикального ствола шахты «Скиповая-2» для возможности перераспределить объемы выдачи.

Анализ геологических данных и построения зон сдвижения от выработанного пространства показал, что отработка более 70% жил приведет к подработке охраняемых объектов. Учитывая данный факт возникает необходимость в применении систем разработки с закладкой выработанного пространства. Оставшиеся 30% запасов будут отработаны системами разработки с последующим принудительным обрушением целиков и вмещающих пород.

Отработку запасов Кочкарского месторождения необходимо осуществлять камерными системами разработки подэтажных штреков с применением самоходного оборудования на доставке и переносного на подэтажах для участков кварцевых жил; самоходного оборудования на всех стадиях отработки – для участков минерализованных пород. При этом отличительной особенностью конструкции системы разработки при повторной отработке техногенно-измененных запасов является использование имеющегося очистного пространства в качестве отрезной щели.

Экономическая оценка, проведенная с целью определения оптимальных объемов добычи, показала на данном этапе преимущество варианта строительства рудника мощностью 2,5 млн т/год. При производственной же мощности 5 млн т/год был получен наиболее низкий индекс доходности в связи со значительными инвестициями на первоначальный момент времени.

Обогащение полезных ископаемых

Проведен анализ автоматических систем непрерывного контроля энергодисперсионных РФС. Разработан авторский итерационный метод деконволюции спектров, основанный на методе наибольшего правдоподобия. Проведены опыты по улучшению спектра. Относительная погрешность определения элементного состава по авторской методике на 7-10% меньше, чем используемая.

Проведен анализ методов определения влаги в потоке. Наиболее приемлемым является инфракрасная спектроскопия при использовании многофакторного дисперсионного анализа результатов. Точность определения влаги в коксе 0,05 относительных процентов.

Проведен анализ проб известняка месторождения «Алексеевское 2» на соответствие нормативным документам для флюсовых и стекольных известняков. Результаты опытной варки стекла и получения агломерата доказали, что исследуемый материал может без ограничения применяться в доменном, сталеплавильном и стекольном производствах.

Изданы:

Актуальные проблемы горного дела. // Научно-технический журнал. – 2020. – №1 (9). – 48 с.

2.24. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ)

Центром разработки программ устойчивого развития горных территорий (Центр «Горы») и Автономной некоммерческой организацией «Международный инновационный научно-технический центр «Устойчивое развитие горных территорий «Горы» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (СКГМИ (ГТУ) (далее именуемые совместно – Центр «Горы») в 2020 году были проведены работы по реализации научно-исследовательских и научно-практических программ и проектов. Ниже приводится краткая информация по их выполнению.

I. Научные форумы

I.1. Форумы, организованные и проведённые в ФГБУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»

I.1.1. II Всероссийская научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации»

В целях развития и повышения эффективности, а также дальнейшей популяризации научно-исследовательской деятельности в СКГМИ (ГТУ) с 12 по 14 мая 2020 года была проведена II Всероссийская научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» в организации которой принимали участие и сотрудники Центра «Горы».

I.2. Иногородние и Международные научные форумы

Сотрудники Центра «Горы» СКГМИ (ГТУ) в 2020 году приняли участие в следующих всероссийских и международных форумах:

I.2.1. В Симферополе на базе ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» 22–25 сентября 2020 г. прошла международная научно-практическая конференция «Четвертые ландшафтно-экологические чтения, посвященные Г.Е. Гришанкову». Организаторами форума выступили Российское отделение Международной ассоциации ландшафтной экологии, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Таврическая академия, кафедра физической географии, океанологии и ландшафтоведения, Крымский международный ландшафтный центр ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Крымское отделение Русского географического общества, Крымское отделение Общества почвоведов имени В.В. Докучаева. По итогам конференции вышел сборник трудов «Ландшафтоведение и ландшафтная экология: коадаптация ландшафта и хозяйственной деятельности: материалы международной научно-практической конференции «Четвертые ландшафтно-экологические чтения, посвященные Г. Е. Гришанкову», Симферополь, 22 –25 сентября 2020 г. / ред. Е. А. Позаченюк [и др.]. – Симферополь: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, 2020. – 430 с.

I.2.2. В г. Грозный, Чеченская Республика, с 14 по 17 октября 2020 г. на базе ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технологический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» была проведена X Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», посвященная 100-летию ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова. Организаторы конференции: Российская академия наук, ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Академия наук Чеченской Республики, Департамент по недропользованию по СКФО. К началу конференции был издан сборник статей «Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Том X (в 2 частях).

I.2.3. 22–23 октября 2020 года в г. Ростов-на-Дону на базе кафедры физической географии, экологии и охраны природы Института наук о Земле ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» была проведена IX Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», посвящённая 105-летию Южного федерального университета и 105-летию кафедры физической географии, экологии и охраны природы. Организовали форум Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Институт наук о Земле, Кафедра физической географии, экологии и охраны природы, НОЦ «Глобальные и региональные географо-экологические исследования инновационные технологии», Российско-французская международная ассоциированная лаборатория «Трансформация загрязняющих веществ в аквальных экосистемах и оценка их уязвимости», Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество». По итогам форума вышел сборник трудов «Экологические проблемы. Взгляд в будущее [Электронный ресурс]: сб. трудов IX Международной научно-практической конференции (БП и СОТ «Витязь» – БП и СОТ «Лиманчик», 22–23 октября 2020 г.) / Южный федеральный университет / под ред. Ю. А. Федорова. – Ростов-на-Дону–Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020.

1.2.4. На площадке ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет» (г. Горно-Алтайск, Республика Алтай) 26-27 ноября 2020 года прошла II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Алтай- трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии». Организаторами форума выступили Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Горно-Алтайский государственный университет» (Россия, г. Горно-Алтайск), Федеральное государственное бюджетное учреждение «Алтайский государственный природный биосферный заповедник» (Россия), Алтайское республиканское отделение Русского географического общества. Конференция проводилась с целью привлечь внимание общественности к вопросам экологической безопасности и устойчивого развития особо охраняемых территорий Российской Федерации и других стран, в особенности высокогорных и арктических, сохранения биологического и этнокультурного разнообразия в контексте глобальных изменений, изучения динамики природных процессов. По итогам конференции был издан сборник статей, который размещен на сайте <http://www.gasu.ru/> и в научной электронной библиотеке elibrary.ru; сборник также зарегистрирован в базе РИНЦ.

1.2.5. Кроме указанных форумов в 2020 году были подготовлены материалы и направлены в Оргкомитеты двух конференций, которые из-за проблем связанных с пандемией коронавируса были перенесены на 2021 год, это:

- III Международная научно-практическая конференция «Развитие регионов в XXI веке», посвященная 100-летию создания Северо-Осетинского государственного университета имени Коста Левановича Хетагурова, 100-летию географического образования в Северо-Осетинском государственном университете имени Коста Левановича Хетагурова, 85-летию доктора исторических наук, Лауреата государственной премии имени Коста Левановича Хетагурова, Генрия Измаиловича Кусова и памяти доктора географических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки России Бориса Мацкоевича Бероева, 2-3 октября 2020 года в Северо-Осетинском государственном университете, г. Владикавказ.

- Первая Международная научно-практическая конференция «Социопропространственное развитие территорий Большого Кавказа: социальное, экономическое и политико-правовое моделирование стратегий и практик», 16 – 17 декабря 2020 г. в г. Нальчик, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

II. Северо-Кавказское Научное Сотрудничество (СКНС)

II.1. Общие сведения

СевероКавказское научное сотрудничество (СКНС) было создано во время проведения очередной конференции в Чеченском государственном университете, г. Грозный 10 октября 2014 г. с целью активизация научного сотрудничества в области устойчивого развития горных регионов Северного Кавказа. Инициатором создания СКНС была Горная группа МАБ-6 (ЮНЕСКО) Института географии Российской академии наук.

Одновременно с организацией СКНС было решено использовать современные коммуникационные возможности, создав сайт, способствующий деятельности СКНС.

СевероКавказское научное сотрудничество является свободной ассоциацией представителей широкого спектра научных направлений, обеспечивающих реализацию устойчивого развития горных регионов, сохранению биологического и культурного разнообразия социально-природных систем в условиях современных рисков и изменения климата.

Главная миссия СКНС – координация и организация мероприятий, направленных на обмен информацией, теоретическим и практическим опытом, объединение научной мысли и выработка практических рекомендаций для различных органов власти и учреждений. Кроме того, координацию научных программ и проектов, мобилизацию экспертного сообщества и развитие научной методологии и методов в области обеспечения геоэкологической безопасности Северного Кавказа и устойчивого развития его горных и высокогорных территорий.

Сайт СКНС (<https://ncscnew.jimdo.com/>) является билингвальным, который регулярно пополняется новыми данными о членах СКНС и новостями из мира горных стран и регионов. На сайте размещены библиографические ссылки на публикации участников СКНС и полезные

ссылки на различные информационные ресурсы, в том числе на электронные журналы, согласно сведениям, Государственной публичной научно-технической библиотеки России (ГПНТБ).

В 2020 году на сайте появилась новая рубрика под названием «Горный семинар» (см. ниже), в котором даётся информация о прошедших онлайн-семинарах, в т.ч. и видеозапись докладов и обсуждений. Кроме того, во время этих мероприятий обсуждаются и организационные вопросы функционирования СКНС и др.

Для оперативного информирования участников СевероКавказского Научного Сотрудничества, ежемесячно администрацией сайта СКНС осуществляются информационные рассылки о событиях, прошедших за истекший месяц и предстоящих в будущем.

II.1.2. Горный семинар СКНС

СКНС в 2020 году сделало важный шаг в укрепление взаимодействия ученых, занимающихся проблемами горных территорий путём организации и проведения постоянно действующего дистанционного (он-лайн) семинара по актуальным вопросам и проблемам развития горных территорий. В прошедшем году было организовано 10 Горных семинаров, заслушано 13 докладов, проведен круглый стол на тему «О критериях отнесения муниципальных образований Российской Федерации к горным территориям», отпразднован Международный день гор (11 декабря) и проведено широкое обсуждение принятия 27 ноября Модельного закона МПА СНГ «О развитии и охране горных территорий». В условиях пандемии и удаленной работы СКНС стал площадкой для обмена идеями в области устойчивого развития горных территорий, консолидации.

24 апреля 2020 г. состоялся видео-семинар СКНС. Участниками семинара были обсуждены текущие проблемы сотрудничества, связанные с новыми условиями и форматом общения.

05 мая 2020 г. состоялся видео-семинар СКНС. Был заслушан и обсужден доклад Е.Я. Колбовского, сопровождавшийся презентацией, а также обсужден и решен ряд организационных вопросов по СКНС.

19 мая 2020 г. состоялся Горный семинар СКНС. Были заслушаны и обсуждены выступления Ю.П. Баденоква и Ш.С. Мудуева относительно «Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года», в частности о подготовке предложений по критериям отнесения муниципальных образований к горным территориям. Было заслушано сообщение Атаева З.В. об уникальных горных ландшафтах Дагестана и изучении вновь образовавшегося озера. Обсуждены организационные вопросы.

01 июня 2020 г. состоялся очередной дистанционный Горный Семинар СКНС. В преддверии Международного Дня охраны окружающей среды (5 июня) был заслушан доклад З.В. Атаева, к.г.н., профессора, директора НИИ биогеографии и ландшафтной экологии ДГПУ на тему «Географические аспекты сохранения биологического и ландшафтного разнообразия на Восточном Кавказе: состояние, проблемы, перспективы».

Затем с докладом на тему «Ландшафтная структура горных территорий как фактор неоднородности экономического развития (по материалам СевероКавказской экспедиции)» выступил А.Н. Гуня, доктор географических наук, профессор, старший научный сотрудник Института географии РАН.

Представленные доклады были дистанционно обсуждены на Горном Семинаре. Была намечена дорожная карта основных направлений научной деятельности Горного Семинара СКНС на предстоящий летний сезон.

8 июня 2020 г. состоялся Горный семинар СКНС. Был заслушан доклад В.В. Онищенко «К вопросу преобразования заповедников России в национальные парки (на примере Тебердинского государственного биосферного природного заповедника)» и проведено последующее обсуждение тематики данного доклада. Также были рассмотрены некоторые вопросы о функционировании Горного Семинара на ближайшую перспективу.

17 июня 2020 г. была организована очередная сессия Горного семинара СКНС. Был представлен доклад Е.Ю. Колбовского, посвящённый проблемам определения рекреационной ёмкости в связи с развитием туристских территорий. Также была заслушана первая часть доклада Ш.С. Мудуева о Модельном законе СНГ и перспективах горных регионов России в кризисных условиях.

24 июня 2020 г. было организовано виртуальное собрание Горного семинара СКНС. В повестке дня был доклад Ш.С. Мудуева, посвящённый истории становления горной политики Республики Дагестан и её практической реализации. Заявленная тематика вызвала продолжительную дискуссию.

1 июля 2020 г. была организована виртуальная сессия Горного семинара СКНС. Был заслушан доклад Ю.И. Караева, Директора Автономной некоммерческой организации «Международный инновационный научно-технологический центр «Устойчивое развитие горных территорий» (АНО МИНТЦ «Горы») по теме «Глобальные геопарки ЮНЕСКО: основные характеристики и преимущества при организации комплексного природопользования территорий».

8 июля 2020 г. в дистанционном формате состоялся Горный семинар СевероКавказского Научного Сотрудничества. Тема выступления именовалась как «Современные социально-экономико-географические исследования сельской местности горных территорий (на примере Чеченской Республики)». Доклад был подготовлен и презентован к.г.н., зав. кафедрой социально-экономической географии и туризма Ярославского педагогического университета Т.Ю. Кондаковой.

22 июля 2020 г. состоялась дистанционная сессия Горного семинара СКНС, в ходе которой был заслушан доклад Ю.П. Баденкова на тему «Концепция непрерывного сохранения биоразнообразия IUCN: базовые положения и российский опыт в Алтае-Саянском экорегионе». Данная проблематика предоставила слушателям различные перспективы для дальнейшей работы с экологическими сетями и коридорами на региональном уровне.

5 августа 2020 г. состоялась дистанционная сессия Горного семинара СевероКавказского Научного Сотрудничества. В ходе мероприятия Ш.С. Мудуевым и Ю.П. Баденковым были изложены проект доклада по развитию горных территорий Российской Федерации, представленный в письме первого заместителя министра Минэкономразвития России М.В. Бабича, а также предложения региональных и научных стейкхолдеров по внесению корректив в проектную документацию законодательного акта. Упомянутые документы можно скачать на странице сайта СКНС «[Горные территории](#)».

Во второй части семинара был заслушан и обсуждён доклад З.В. Атаева по изучению предгорных ландшафтов Российского Кавказа как экотонных зон.

12 августа 2020 г. состоялся Круглый стол Горного семинара СКНС в формате видеоконференции Zoom, в рамках которого были рассмотрены проект доклада по развитию горных территорий Российской Федерации, представленный в письме первого заместителя министра Минэкономразвития России М.В. Бабича, а также предложения региональных и научно-исследовательских организаций по внесению корректив в вышеуказанный законопроект, изложенные в письме Минэкономразвития Республики Дагестан по региональным предложениям определения горных муниципалитетов Министра Минэкономразвития Республики Дагестан Г.Р. Султанова и в письме с предложениями научного коллектива Института географии РАН по критериям определения горных муниципальных образований, представленные канд. геол.-минерал. наук., вед. науч. сотр. Баденковым Ю.П. Было предложено, с одной стороны, обеспечить сотрудничество с органами государственного управления на федеральном и региональном уровнях в форме технического задания, с другой стороны – работа в академическом (научном) контексте с учётом монтологического аспекта формирования концепции устойчивого развития горных территорий в рамках учреждённой Стратегии пространственного развития России до 2025 г., в виде подачи заявок в РФФИ и РНФ. Помимо указанных направлений деятельности, на Круглом столе также были рассмотрены идеи рассматривать горные территории с позиции геостратегической значимости и с позиции экосистемного потенциала.

11 декабря 2020 г. на базе Горного семинара СКНС был проведён вебинар, посвящённый Международному Дню Гор–2020. Главной темой данного мероприятия послужило обсуждение принятого 27 ноября Модельного закона МПА СНГ «О развитии и охране горных территорий». Вниманию участников вебинара был представлен доклад инициатора разработки Модельного закона О.С. Хацаева и секретаря Постоянной комиссии МПА СНГ по аграрной политике, природным ресурсам и экологии Н.И. Амбурцевой. Также был заслушан доклад Ш.С. Мудуева – д.г.н., проф. Дагестанского государственного университета народного хозяйства – на тему «Трансформация и развитие горных районов Дагестана: тысячелетняя история и адаптация к глобальным изменениям XXI-го века». Участники вебинара приняли активное участие в обсуждении представленных докладов.

III. Проекты и программы научных исследований

В разделе приведены основные проекты и программы научных и научно-прикладных исследований устойчивого развития горных территорий.

III.1. В 2019 году университет приступил к реализации, а в 2020 году продолжил работы по новому проекту «Научное обоснование организации и функционирования на территории Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горы Осетии»

III.2. В отчётном периоде были продолжены исследования по переходящим проектам и программам:

III.2.1. Проект «Актуальные проблемы и тенденции развития горных и предгорных территорий на муниципальном уровне».

III.2.2. Проект «Пропаганда и апробация методов и методик природопользования национальных парков в горных регионах».

III.2.3. Проект «Разработка индикаторов устойчивого развития горных муниципальных образований».

III.2.4. Проект «Основные проблемы горных территорий с предприятиями-недропользователями».

IV. Полевые исследования

В связи с известными событиями, связанными с коронавирусом и рядом ограничительных мер, связанных с пандемией, полевые работы и исследования в рамках Северо-Кавказской комплексной экспедиции в текущем году не проводились.

В то же время, в связи с возможностью выезда в горные районы Республики Северная Осетия-Алания и началом работ по теме «Научное обоснование организации и функционирования на территории Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горы Осетии» сотрудники Центра «Горы» с коллегами и студентами университета нашли возможность провести исследования «каменных грибов», других объектов геологии, представляющих интерес в рамках указанного проекта по геопарку и др. Результаты этих исследований изложены в статьях научных журналов и докладах конференций (см. пп. 1, 6, 7, 11 в разделе «V. Научные публикации»)

V. Научные публикации

Ниже приведён перечень публикаций, которые выполнены на основе материалов проводимых исследований сотрудниками Центра «Горы» как самостоятельно, так и совместно с коллегами из других подразделений университета и других учреждений:

1. Караев Ю.И., Васьков И.М., Дарчиева А.Е., Хосаев Х.С. Потенциал для развития Глобальных геопарков ЮНЕСКО на Кавказе // Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Том X (в 2-х частях). Часть 2 / Научные редакторы: академик РАН А.О. Глико, д.ф.-м.н., профессор И.А. Керимов. М.: ИИЕТ РАН, 2020. 730 с.

2. Гуня А.Н., Петрушина М.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Лысенко А.В., Гагаева З.Ш., Петров Л.А., Эльмурзаев Р.С., Серитханов С.М. Картографирование среднегорных и высокогорных ландшафтов Чеченской Республики для обоснования перспективных ареалов и осей освоения (по результатам VI Северо-Кавказской комплексной экспедиции) // Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Том X (в 2-х частях). Часть 2 / Научные редакторы: академик РАН А.О. Глико, д.ф.-м.н., профессор И.А. Керимов. М.: ИИЕТ РАН, 2020. 730 с.

3. Alexey Gunya, Umar Gairabekov, Yuri Karaev, Alexey Lysenko, RuslanElmurzaev, Halimat-Janibekova Post-Soviet Transformations in Pastoral Systems in the North Caucasus: The Development of Hybrid Institutions. Mountain Research and Development, Vol 39, No 4, pp. R49–R59

4. Гуня А.Н., Петрушина М.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Гагаева З.Ш., Петров Л.А., Р.С. Эльмурзаев, Серитханов С.М. Исследование ландшафтов горных районов Чеченской Республики (по материалам VI Северо-Кавказской комплексной экспедиции). Материалы Международной научно-практической конференции. Четвёртые ландшафтно-экологические чтения, посвящённые Г.Е. Гришанкову «Ландшафтоведение и ландшафтная

экология: коадаптация ландшафта и хозяйственной деятельности», 22-25 сентября 2020 года, Республика Крым, г. Симферополь, КФУ.

5. Дегтярева Т.В., Мельничук В.В., Караев Ю.И. Закономерности формирования микро-элементного состава горнолесных почв Западного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. № 2 (44). Сс. 211-220

6. Васьков И.М., Караев Ю.И., Дзарахохов Г.С., Кокоев Д.А., Тамаева М.Р. К вопросу о некоторых особенностях динамики Мацутинского оползня (Центральный Кавказ) // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2020. Том 5, № 1 (19). Сс. 5-16

7. Васьков И.М., Караев Ю.И., Тамаева М.Р., Баскаев Р. Загадка каменных «грибов» долины р. Архондон (Центральный Кавказ, Северная Осетия) // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2020. Том 5, № 3 (21). С. XX-XX. DOI

8. Караев Ю.И., Васьков И.М., Хосаев Х.С. Глобальные геопарки ЮНЕСКО и трансграничное сотрудничество // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Алтай-трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии» [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. и прогр. (12,6 Мб). – Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2020. – 202 с.

9. Караев Ю. И., Хосаев Х. С. Глобальные геопарки ЮНЕСКО как оптимальная форма воплощения на практике Концепции ООН Устойчивое Развитие в условиях горных территорий // Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» [Электронный ресурс] (БП и СОТ «Витязь» – БП и СОТ «Лиманчик», 22-23 октября 2020 г.): / Южный федеральный университет / Под ред. Ю. А. Федорова. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – 788 с.

10. Гуня А.Н., Хадзарагова Е.А., Хетагуров В.Н., Караев Ю.И. Междисциплинарные аспекты устойчивого развития горных территорий: роль социально-культурных факторов // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. № 4 (46). Сс. 609-619.

11. Васьков И.М. Тамаева М.Р. К вопросу о происхождении селей высокой плотности и возможности их локального прогноза. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. №5, с. 40-52.

VI. Международный научный журнал «Устойчивое развитие горных территорий»

Со второй половины 2009 года в СКГМИ (ГТУ) ежеквартально выходит Международный научный журнал «Устойчивое развитие горных территорий» (<http://naukagor.ru/>), который входит в список изданий, рекомендуемых ВАК, а также в международную систему цитирования Scopus.

На основании заключения Президиума ВАК Минобрнауки РФ от 23.03.2019 г. статьи для публикации в Международном научном журнале «Устойчивое развитие горных территорий» принимаются по нижеприведённым отраслям и группам наук:

• Технические науки: 05.05.06 – Горные машины; 25.00.13 Обогащение полезных ископаемых; 25.00.20 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика; 25.00.22 Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

• Географические науки: 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов; 25.00.24 Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география.

Помимо этого, в международной базе цитирования Scopus, тематика журнала ориентирована на следующие отрасли и группы наук:

- Технические науки (Engineering);
- Науки о Земле и планетарные науки (EarthandPlanetarySciences);
- Наука об окружающей среде (EnvironmentalScience).

В 2020 году, как обычно, было подготовлено и вышло четыре очередных номера журнала «Устойчивое развитие горных территорий», том 12, №№ 1-4. Всего в 2020 году в четырёх номерах журнала было опубликовано 62 работы более чем 160 авторов, из них по направлению «Науки о Земле» – 36 (14 работ 35 зарубежных авторов, 18 работ 53 российских авторов и 4 совместные работы 9 российских и 6 зарубежных авторов), по направлению «Технические науки» – 19 (2 работы 6 зарубежных авторов и 17 работ 44 российских авторов), а также в рубриках «Научное мнение» – 7 работ 22 авторов (из них 1 работа 4 зарубежных авторов, 1 – совместная двух

отечественных и двух зарубежных авторов и 5 работ 15 российских авторов) и «Хроника» – 1 материал.

В 2020 г. на кафедре «Горное дело» под руководством доц. Евдокимова С.И. выполнялись научно-исследовательские работы со студентами и молодыми учеными по направлению «Развитие обогащения полезных ископаемых в системе горных наук».

Наиболее значимыми результатами работы за 2020 год являются исследования по 3 темам. Тема 1: «Разработка организационно-экономического подхода и экологически безопасных комбинированных физико-технических и физико-химических технологий освоения техногенной минерально-сырьевой базы золота малыми горными предприятиями».

При исследовании механизмов и закономерностей процессов извлечения золота из руд и россыпей, имеющие научную новизну и практическую значимость, получены следующие наиболее важные результаты.

Разработаны способы и их аппаратурное оформление, позволяющие исследовать поверхностные силы в дисперсных системах: 1. Измерения краевого угла смачивания по скорости смещения мениска под действием постоянной разности давления на ограниченном участке капилляра; используется для решения задачи нахождения величин параметров структурных сил по экспериментальным значениям краевых углов, известным потенциалам поверхностей и константам Гамакера; 2. Измерения размера газовых дисперсий, в основе которого лежит установленная зависимость между величиной индукционного сигнала в катушке и размером пузырька; 3. Измерения сил в контактах между твердыми частицами, обеспечивающие возможность вести расчет сил в контактах между ними; 4. Измерения времени утончения и прорыва симметричных и смачивающих пленок в условиях, моделирующих процесс флотации, взаимодействий между монодисперсными и полидисперсными частицами.

Выполнено исследование вещественного и химического состава представительных проб золотосодержащей руды и отходов россыпной золотодобычи, выбранных в качестве объекта исследования

Разработаны оптимальные горно-технологические параметры разработки специально сгруппированных малообъемных месторождений золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи.

Обоснован состав экспериментального образца установки переработки обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи в виде последовательно установленных разработанных аппаратов: реактора вакуум-термического вскрытия обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи газообразным цинком → центробежного дезинтегратора → аппарата для сепарации в ферромагнитной жидкости.

Разработан способ аэрозольной колонной флотации золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи на основе выполненных работ, связанных с разработкой способа измерения размеров паровоздушных пузырьков и исследования их распределения по размерам и выявленных закономерностей тепломассообмена при внезапном контакте паровоздушного пузырька с недогретой жидкостью в условиях аэрозольной колонной флотации.

Разработан способ вакуум-термического вскрытия обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи газообразным цинком.

Разработан способ центробежной дезинтеграции на основе результатов исследования механизма центробежной дезинтеграции обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи.

Разработан способ сепарации в ферромагнитной жидкости на основе результатов исследования физико-механических закономерностей сепарации в ферромагнитной жидкости золотосодержащих обогащенных руд и отходов россыпной золотодобычи.

Разработана эскизная конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец установки переработки обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи. Экспериментальный образец установки переработки обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи включает: реактор вакуум-термического вскрытия золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи газообразным цинком, вертикальную мельницу для центробежной дезинтеграции золотосодержащих руд и отходов россыпной золо-

тодобычи, сепаратор золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи в ферромагнитной жидкости.

Разработан лабораторный технологический регламент переработки обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи.

Проведены исследовательские испытания экспериментального образца установки переработки обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи по разработанной программе и методикам исследовательских испытаний. Проведена обработка и дана интерпретация результатов исследовательских испытаний экспериментального образца установки переработки обогащенных золотосодержащих руд и отходов россыпной золотодобычи.

Тема 2: «Исследование равновесных и динамических свойств тонкого слоя воды между гидрофобными и гидрофильными поверхностями в процессах извлечения флотацией из руд и россыпей микродисперсий золота»

Проект направлен на разработку физико-механических и физико-химических технологий эффективного извлечения микродисперсий золота на основе получения новых знаний в области физикохимии поверхностных явлений в процессах флотации.

Получение новых знаний о природе и механизмах сил, определяющих устойчивость дисперсных систем, имеет фундаментальное значение и составляет одну из наиболее важных задач в области теории поверхностных сил, ортокинетической гетерокоагуляции, устойчивости симметричных и смачивающих пленок, позволяет разработать целенаправленный подход к созданию новых высокоэффективных процессов извлечения микродисперсий золота флотацией.

Новизна работы заключается в развитии и теоретическом обосновании неизвестных ранее механизмов дальнедействующих поверхностных сил в микродисперсных системах.

Значимость для науки о поверхностных явлениях и дисперсных системах имеет планируемое создание ряда новых методик и устройств для исследования поверхностных сил в микродисперсных системах.

Научным результатом исследования является обоснование возможности переноса представлений о поверхностных силах, развитых для молекулярных систем, на микродисперсные системы природных минералов и золота.

Показано, что причиной улучшения смачивания твердой поверхности водой является действие сил структурного гидрофильного отталкивания. Наоборот, проявление сил гидрофобного притяжения ответственно за резкий рост краевых углов.

Достигнута цель проекта – извлечь несколько фундаментальных фактов из данных о проскальзывании – наблюдаемому увеличению потока жидкости по сравнению с ожидаемым вдоль гидрофобной стенки. Показано, что эксперимент может быть описан количественно, если допустить, что скорость жидкости на границе раздела фаз пропорциональна напряжению сдвига, а строгое рассмотрение равновесия требует учета вклада линейного натяжения в полную свободную энергию системы с линией трехфазного контакта.

Учет выявленных закономерностей в поведении тех микродисперсных систем, где ими, обычно, пренебрегают, но оно может играть важную роль, имеет значение для решения задач теории и практики флотации микродисперсий золота.

Тема 3: «Разработка научных основ синтеза наномангнетита методом гетерогенной химической конденсации и его коллоидной стабилизации методом «двойной добавки» в процесса производства магнитной жидкости для целей извлечения золота из россыпей методом магнитогравиметрической сепарации в условиях малых горных предприятий»

Известен способ получения наномангнетита методом гомогенной химической конденсации, который заключается в том, что сначала получают золь мангнетита, смешивая водные растворы солей двух- и трехвалентного железа при 25-40 °С и при постоянном перемешивании (для ограничения роста частиц), и добавляя к ним в полуторном (сверх стехиометрического) избытке водный раствор аммиака. При этом образование зародышей новой фазы и их рост до нанодисперсных частиц мангнетита происходят одновременно – методом гомогенной конденсации. При гомогенной конденсации получение мангнетита с требуемым распределением частиц по размерам и однородными физико-химическими свойствами поверхности удается осуществить в небольшом количестве. С увеличением объемов участвующих в реакции растворов значительно увели-

чивается количество грубодисперсных частиц, и, что особенно важно – немагнитных оксидов (вюстита, гематита) и гидрооксидов (гетит) железа. Гомогенная химическая конденсация существенно снижает производительность процесса – массовость получения нанодисперсного магнетита.

Затем магнетит переводят в жидкость-носитель (углеводород или воду) методом пептизации раствором олеиновой кислоты при температуре 60-90 °С. Наиболее стабильные магнитные жидкости получаются при условии образования на поверхности химически адсорбированного плотного монослоя олеата железа. Физико-химическая неоднородность поверхности при гомогенной массовой кристаллизации из растворов приводит к конкуренции за наиболее активные участки на поверхности магнетита с образованием над слоем химически адсорбированного олеата железа обратно ориентированного слоя физически сорбированных молекул и молекулярных образований, например, мицелл. Мозаичная полимолекулярная адсорбция молекул стабилизатора (олеиновой кислоты) является причиной низкой агрегативной устойчивости магнитной жидкости – образования крупных флокул с расслоением магнитной жидкости.

Настоящий проект был направлен на разработку нового метода сначала синтеза наномагнетита, а затем нового метода коллоидной стабилизации, полученного наномагнетита.

Новизна метода синтеза наномагнетита заключается в том, что для его синтеза осуществляют не гомогенную химическую конденсацию, а гетерогенную химическую конденсацию – на затравках в виде внесенных в раствор заранее полученных частиц магнетита молекулярного размера. Преимущества метода заключаются в возможности массового получения наномагнетита с узким распределением частиц по размерам – монодисперсного магнетита.

Вначале получают затравочный золь с частицами молекулярного размера. Например, практически это может быть достигнуто путем вливания концентрированного раствора одного компонента в очень разбавленный раствор другого при сильном перемешивании. При высокой скорости возникновения зародышей и сравнительно малой скорости конденсации частиц увеличивается вероятность образования частиц молекулярного размера, а не грубодисперсного осадка. Отличительной особенностью процесса является то, что затравочный золь получают *в условиях воздействия магнитного поля и мощных наносекундных электромагнитных импульсов*.

Затем частицы магнетита молекулярного размера укрупняют до предельных размеров, при которых они, все еще участвуя в тепловом движении (хаотичной броуновской осцилляции), приобретут явно выраженные магнитные свойства. Для этого в аммиачный затравочный золь вливают основное количество металлосодержащих реагентов, при котором новые зародыши уже не образуются, а идет только массовый рост уже имеющихся. Для повышения намагниченности насыщения частиц магнетита их рост сопровождают *воздействием магнитного поля и мощных наносекундных электромагнитных импульсов*.

Перед стабилизацией золь его промывают водой для удаления электролитов.

Новизна метода коллоидной стабилизации полученного наномагнетита заключается в том, что для стабилизации раствора наномагнетита применяют так называемый метод «двойного избытка». Суть метода сводится к тому, что к определенному объему раствора наномагнетита, на поверхности частиц которого сорбировано двойное против оптимального количество стабилизатора, добавляют раствор наномагнетита незащищенными стабилизатором частицами. Преимущества метода заключаются в получении раствора наномагнетита – магнитной жидкости – с высокими магнитными характеристиками, высокая коллоидная устойчивость которой сохраняется при работе в сильных неоднородных (градиентных) магнитных полях.

Для малых горных предприятий стратегической линией является создание производства по переработке золотосодержащих концентратов на месте с получением конечной высоколиквидной товарной продукции в виде слитков сплава Доре. Актуальность такого подхода определяется высокими затратами на страховку и транспортировку (0,30 руб/г) и аффинаж (8,4 руб/г), расхождениями между поставщиком и переработчиком в определении ценности товарных концентратов, долговременностью и ненадежностью расчетов за поставленные продукты, низким извлечением золота из бедных концентратов, что существенно сказывается на экономике предприятия.

При стоимости переработки 4,4 % от количества химически чистого золота в концентрате извлечение золота увеличивается от 85 до 95 % с ростом содержания золота в концентрате от 2 до 10 %. Следовательно, при сдаче не аффинаж бедных концентратов предприятие теряет до 20 % химически чистого золота.

Отрицательное влияние на результаты плавки шлихового золота оказывают сульфиды цветных металлов и железа: они образуют на поверхности слитка лигатурного золота плотный слой штейна, удаление которого весьма трудоемко и сопряжено с потерями драгметаллов. Если сплав Доре содержит большое количество сульфидов цветных металлов и железа, аффинажный завод потребует дополнительную плату (0,3 USD за унцию серебра и 0,70-1,50 USD за унцию золота в сплаве), а также произведет вычеты за сам факт содержания недргоценных металлов.

Только сочетание окислительного обжига (при температуре 600-700 °С) и царсководочного выщелачивания (4 ч при температуре 80 °С) позволяет получать золотины без пассивирующих пленок (состава Ag-Cl и Al-Si-Fe толщиной от 10 до 100 мкм) и извлекать металл с высокими технологическими показателями. Разработана технология экстракции золота в продукт, соответствующий требованиям аффинажа: золото извлекают в расплавленный свинец, перемешиваемый со шлихами и щелочью при температуре 400-550 °С. Сложное аппаратное оформление и высокая стоимость металлургических способов переработки золотосодержащих концентратов не позволяют рекомендовать их для малых горных предприятий.

Конкурентоспособной технологией подготовки шлихового золота к плавке является разработанная авторами настоящего проекта магнитогравиметрическая сепарация в несмешивающихся разноплотных магнитных жидкостях с предварительным выделением сульфидов цветных металлов и железа методом вакуум-термической сублимации (возгонки).

Процесс магнитогравиметрической сепарации (МЖ-сепарации) основан на появлении в ферромагнитной жидкости (ФМЖ) дополнительной к гравитационной объемной пондеромоторной силы неоднородного магнитного поля.

Намагничивание ФМЖ в неоднородном магнитном поле магнитожидкостного сепаратора (МЖ-сепаратора) приводит к росту пондеромоторных сил и, как следствие, градиента давления в ФМЖ. Такое явление можно рассматривать как квазиутяжеление ФМЖ от физической до эффективной плотности и, следовательно, разделение по плотности немагнитных (намагниченность которых мала по сравнению с намагниченностью ФМЖ) тел можно регулировать величиной градиента магнитного поля, например, за счет изменения тока в обмотке возбуждения электромагнита.

В настоящем проекте разрабатывается способ сепарации неоднородного (контрастного) по плотности потока твердых частиц на поверхности раздела двух несмешивающихся разноплотных магнитных жидкостей, квазиутяжеленных неоднородным внешним магнитным полем.

Методом магнитогравиметрической сепарации из шлихов выделяют продукт, содержание золота в котором позволяет перерабатывать его на слиток лигатурного золота (сплав Доре) бесколлекторной плавкой.

Тема 4: «Исследование механики и термодинамики бинарных систем несмешивающихся нанодисперсных магнитных жидкостей с линией трехфазного контакта в сильных градиентных полях в процессах извлечения благородных металлов из минерального сырья»

Проект направлен на исследование силового воздействия высокоградиентного внешнего магнитного поля на бинарную систему из несмешивающихся магнитных жидкостей, подверженных действию неустойчивости Рэлея-Тейлора, в процессах извлечения благородных металлов из минерального сырья.

Отличительной особенностью бинарной системы из двух магнитных жидкостей является наличие линии трехфазного контакта в процессах разделения твердых потоков неоднородных (контрастных) по плотности материалов.

Объект исследования – аналитические методы расчета параметров магнитных полей для получения и изодинамической поляризации несмешивающихся нанодисперсных магнитных жидкостей, подверженных действию неустойчивости Рэлея-Тейлора.

Предмет исследования – процессы извлечения золота прецизионной гравитационной сепарацией твердых потоков в бинарной системе изодинамически поляризованных несмешивающихся нанодисперсных магнитных жидкостей разной плотности.

Повышенный интерес исследователей к нанобъектам вызван обнаружением у них необычных физических и химических свойств, что связано с проявлением так называемых «квантовых размерных эффектов». Последние возникают в том случае, когда размеры исследуемых систем сравнимы с длинами де-бройлевских волн распространяющихся в них электронов, фононов или экситонов.

Особое место среди физических свойств наночастиц занимают магнитные свойства, в которых наиболее отчетливо проявляются различия между массивным (объемным) материалом и наноматериалом, у магнитных наноматериалов обнаружен ряд необычных свойств – гигантское магнитосопротивление, аномально большой магнитокалорический эффект и др.

Ряд интересных эффектов при взаимодействии с электромагнитным полем проявляют магнитные жидкости (МЖ), представляющие собой коллоидные растворы ферри- и ферромагнетиков.

Физические свойства МЖ во многом определяются взаимодействием частиц с внешним магнитным полем и происходящими в результате этого структурными превращениями в таких средах. Исследование особенностей взаимодействия МЖ с магнитным полем, связанной с этим взаимодействием структурной организации коллоидных частиц требует дальнейшего развития. В реальных условиях, при применении магнитных жидкостей в технике, их структурное состояние, обусловленное действием магнитного поля, может претерпевать существенные изменения за счет действия сдвиговых деформаций и течений. Эти процессы необходимо учитывать как для прогнозирования работоспособности уже известных устройств, так и при проектировании новых. Однако эти вопросы остаются неисследованными. Все это позволяет заключить, что в настоящее время актуальными являются исследования структурной организации коллоидных частиц в магнитных жидкостях при воздействии на них магнитного поля, структурные превращения при воздействии сдвиговых напряжений и их влияние на реологические и электрические свойства таких сред. Кроме того, представляет также интерес исследование структурной организации частиц немагнитного наполнителя в МЖ, связанных с ней особенностей физических свойств жидких намагничивающихся композиционных сред, созданных на основе магнитных жидкостей.

В золотодобывающей промышленности принципиально новые возможности для извлечения трудно извлекаемых физическими методами форм золота появились при создании процессов разделения минералов в квазиутяжеленной магнитным полем ферромагнитной жидкости.

Физические свойства магнитных жидкостей во многом определяются взаимодействием частиц и происходящими в результате этого (а также при взаимодействии с внешними полями) структурными превращениями в таких средах. В настоящее время некоторые свойства магнитных жидкостей считаются хорошо изученными (магнитные, реологические, оптические и др.). Вместе с тем, исследование особенностей взаимодействия магнитных жидкостей с магнитным полем магнитожидкостного сепаратора, связанной с этим взаимодействием структурной организации коллоидных частиц, требует дальнейшего развития. При применении магнитных жидкостей в технике их структурное состояние, обусловленное действием магнитного поля, может претерпевать существенные изменения за счет действия сдвиговых деформаций и течений. Эти процессы необходимо учитывать как для прогнозирования работоспособности уже известных устройств, так и при проектировании новых. Однако эти вопросы остаются неисследованными.

Для анализа физических закономерностей процесса сепарации необходимо иметь аналитическое описание поля сил, действующих на частицу минерального сырья. Это возможно в случае, когда известно поле напряженностей магнитных полей. Расчет магнитостатических полей основан на математической теории поля и потенциалов с использованием уравнения Максвелла.

Разработка аналитических методов расчета магнитостатических полей велась на основе фундаментальных разработок по теории электромагнитного поля. Анализ таких исследований показывает, что до настоящего времени не существовало аналитических методов расчета магнитостатических полей на плоскости. Методики расчета основывались на приближенных методах или применялись эмпирические формулы, что не давало возможности прогнозировать оптимальные параметры сепараторов, а в некоторых случаях получать необходимую точность и даже корректность получаемых результатов. В последние годы появились разработки по созданию аналитических методов расчета поля сил постоянных магнитов с использованием теории функций комплексного переменного.

Научная новизна проекта заключается в получении новых знаний о физической природе и механизмах эффектов, обусловленных структурной организацией наночастиц ферромагнитных материалов и немагнитных микрочастиц в магнитной жидкости при ее взаимодействии с магнитным полем, позволяющих создать эффективные технологии магнитожидкостной сепарации неоднородных твердых потоков, системы управления процессом.

Поставленная задача решена за счет наличия научного задела в области расчета полей магнитных индукций и напряженностей магнитного поля с использованием фундаментальных методов теории электромагнитного поля, расчетов полей токов и математической теории потенциалов на комплексной плоскости, в частности с использованием интегралов типа Коши и интеграла Коши, численных методов расчета.

Наиболее полно выбранное направление исследования отражены в следующих публикациях (2020 г.):

1. ИНДЕКСИРУЕМЫХ В СИСТЕМЕ SCOPUS:

1.1 Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е. Использование шлихового золота в качестве минералов-носителей при флотации золотосодержащих руд //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 2. – С. 139-151.

1.2 Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Дмитрак Ю.В., Байматов К.К. Организационный механизм и технология освоения отходов россыпной золотодобычи //Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 1 (43). – С. 116-127.

1.3 Евдокимов С.И., Дмитрак Ю.В., Герасименко Т.Е. Утилизация лежалого клинкера ОАО «Электроцинк» //Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 2 (44). – С. 291-301.

2. ИНДЕКСИРУЕМЫХ В СИСТЕМЕ РИНЦ:

2.1 Троценко И.Г., Герасименко Т.Е., Алкацев В.М., Евдокимов С.И. Совершенствование технологии переработки отходов твердых сплавов. часть 2. определение оптимальных условий реализации технологии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18. – № 1. – С. 31-39

2.2 Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е. Теория и практика получения и применения магнитной жидкости // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 47-55.

3. УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ, СОВЕЩАНИЯХ, ФОРУМАХ:

3.1 Международная конференция «Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения-2020), Апатиты, 21-26 сентября 2020 г.

2.25. 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.

• В 2020 г. завершены исследования по проекту «**Строение, структурно-вещественные комплексы и геодинамические особенности эволюции палеорифтов и пассивной окраины Восточно-Европейской платформы в пределах Беларуси (в связи с оценкой минерагенического потенциала)**» и получены следующие результаты:

По анализу структурно-вещественных комплексов (СВК): выявлены особенности строения син- и пострифтовых этажей дислоцированности герцинского комплекса Припятского прогиба. Установлены региональные и зональные факторы нефтеносности Припятского прогиба и их взаимосвязь с литолого-стратиграфическими, петрологическими и структурно-тектоническими элементами бассейна. По методике физико-геологического моделирования построены карты фундамента, среднего и нижнего слоев земной коры, создан банк плотностных, магнитных, сейсмо-плотностных и сейсмо-магнитных разрезов глубинного строения Припятского прогиба.

Выполнен анализ структурно-вещественных комплексов, строения и палеогеодинамических особенностей эволюции Балтийско-Приднестровской пассивной окраины в связи с оценкой минерагенического потенциала недр Беларуси.

Юго-западная пассивная окраина Восточно-Европейской платформы (ВЕП), протянувшаяся более чем на 2000 км, образовалась, в основном, на каледонском тектоническом этапе. В ее пределах по простиранию чередуются отрицательные тектонические элементы в виде структурных заливов и положительных структурных выступов.

В пределах Беларуси расположена часть восточной периферии Балтийско-Приднестровской пассивной окраины ВЕП, в тектоническом плане представленная, в основном, **Подляско-Брестской впадиной**. Ее западная часть находится на территории Польши. Подляско-Брестская впадина простирается в субширотном направлении и имеет вид структурного залива, центриклинально замыкающегося на востоке и открывающегося к западу. Здесь впадина примыкает к линии Тейссейра-Торнквиста, восточная ее граница условно проведена по изогипсе $-0,5$ км по поверхности фундамента. С севера и юга Подляско-Брестская впадина ограничена разломами субширотного простирания – Свислочским и Северо-Ратновским. Свислочский разлом отделяет ее от Белорусской антеклизы на севере, а Северо-Ратновский – от Луковско-Ратновского выступа на юге. В указанных границах впадина вытянута примерно на 350 км, ширина ее изменяется от 90 до 130 км.

В платформенном чехле Подляско-Брестской впадины геофизическими исследованиями выявлены две основные системы разломов субширотного и северо-восточного направления; подчиненное значение имеют разломы северо-западного простирания. Разломы этих систем нарушают поверхность фундамента и проникают в платформенный чехол до нижнедевонских отложений включительно, т.е. пересекают нижне- и верхнебайкальский и каледонский структурные комплексы. Все системы разломов разновозрастные, и движения по ним проявились в течение одного или нескольких этапов развития Подляско-Брестского осадочного бассейна и окружающих структур. Разломы северо-восточного направления наследуют доплатформенную разломную сеть фундамента, которая была реанимирована на ранне- и позднебайкальском, каледонском и герцинском этапах развития региона. Разломы субширотного и северо-западного направлений заложены на герцинском этапе и вдоль них произошли крупноглыбовые перемещения, с которыми связано образование и ограничение таких крупных структур как Подляско-Брестская впадина, Полесская седловина, Луковско-Ратновский выступ, Львовско-Люблинский прогиб, а также горстов и грабенов более низких порядков.

Локальные структуры Подляско-Брестской впадины, как и всей Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий, представляют особый интерес при нефтепоисковых работах, а также могут быть использованы как резервуары для подземного хранения газа. Наибольшее количество локальных структур (более 200) выявлено в Балтийской синеклизе. В белорусской части Подляско-Брестской впадины сейсмическими исследованиями установлены и подтверждены бурением 2 локальных поднятия – Прибугское и Кустинское.

Прибугское поднятие в настоящее время используется в качестве подземного хранилища газа. Поднятие расположено в крайней юго-западной части Подляско-Брестской впадины и представляет собой брахиантиклиналь северо-восточного простирания размерами $2 \times 8,7$ км (по кровле спановской свиты в пределах замкнутой изогипсы -920 м). В качестве резервуара хранения используются кембрийские отложения спановской свиты.

Юго-восточное крутое крыло Прибугского поднятия сопряжено с дизъюнктивными нарушениями, представляющими собой ступенчатый продольный взброс (рисунок 1), фиксируемый сейсморазведкой МОВ как зона потери корреляции, по которому структура взброшена в юго-восточном направлении. Амплитуда нарушений около 200 м, ширина зоны разломов 300 м, длина – 30 км. Амплитуда ступеней достигает 90 м. С юго-востока к дизъюнктивным нарушениям примыкает погруженная зона.

Строение поверхности страдечских отложений унаследовало черты нижезалегающих верхнепротерозойских отложений. Поверхность страдечского горизонта залегает на абсолютных глубинах от минус 1320 на погруженном крыле до минус 990-992 в скв.61 – на приподнятом. Амплитуда разлома по этим отложениям меняется от 40 до 50 м. В пределах взброшенного блока выделяется субширотно вытянутая брахиантиклиналь с крутым юго-восточным (угол наклона $25-44^\circ$) и пологим северо-западным крыльями. Структура на юго-востоке примыкает к разрывному нарушению.

Все основные структурные характеристики Прибугской антиклинали относятся и к **Кустиному локальному поднятию**. В 1967-1969 гг. в пределах структуры Калинковичской НРЭГБ треста «Белнефтегазразведка» пробурено 7 структурных и одна опорная скважины.

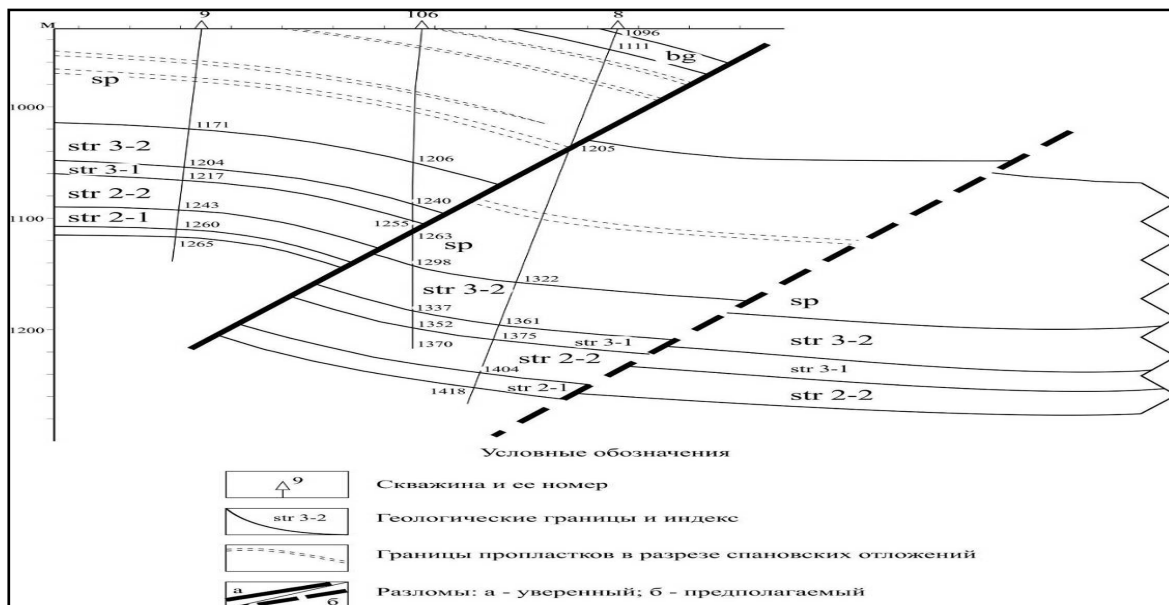


Рисунок 1 – Прибугская площадь Геологический разрез по линии скважин 9–106–8
(составили В.Г. Левашкевич, Я.Г. Грибик)

В своде структуры, в районе скв. № 13-к наблюдается пережим, разделяющий поднятие на два купола. Купола вскрыты скважинами №№ 18-к (юго-западный купол) и 16-к (северо-восточный купол). По поверхности пласта-коллектора нижнекембрийских отложений $\epsilon 1str2-1$ прослеживается замыкание ловушки по изогипсе -1150 м площадью 16 км². Пласт-покрышка – глинистый пласт $\epsilon 1str2-2$, непосредственно вышезалегающий, перекрывающий и полностью повторяющий контуры пласта-коллектора (рисунок 2).

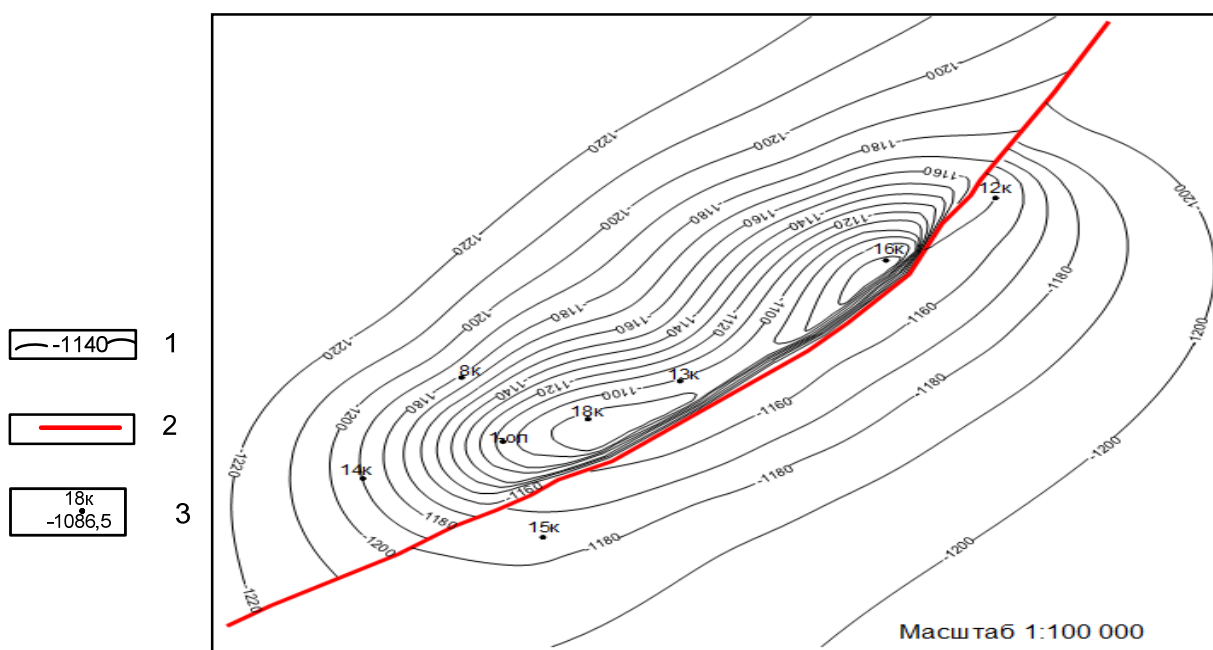


Рисунок 2 – Кустинская площадь. Структурная карта по поверхности пласта-коллектора $\epsilon 1str2-1$ страдечских отложений нижнего кембрия
(составил С.Е. Шпак)

1 – Изогипсы по поверхности пласта-коллектора $\epsilon 1str2-1$ страдечских отложений нижнего кембрия; 2 – тектоническое нарушение; 3 – скважина: в числителе номер скважины, в знаменателе – абсолютная отметка

Амплитуда северо-западного крыла 89 м. Амплитуда юго-западной периклинали – 103 м, а северо-восточной периклинали – 80 м. Амплитуда разлома в юго-западной части купола составляет 80 м, в северо-восточной – 100 м. Выше по разрезу залегает пласт-покрышка $\epsilon_{1str3-2}$ – «синие глины». Мощность его составляет 52 – 38 м. Амплитуда структуры по этому пласту на северо-западном крыле составляет 86,5 м. Амплитуда юго-западной периклинали 90 м, северо-восточной периклинали – 70 м. Амплитуда разлома в юго-западной части купола составляет 70 м, в северо-восточной – 100 м.

Кустинская структура в настоящее время представляет интерес для использования в качестве подземного хранилища газа.

Определен минерагенический потенциал, типы и виды полезных ископаемых региона. По анализу СВК Подляско-Брестской впадины и эволюции на этапах геологического развития от ортоплатформенного до киммерийско-альпийского определены тектонические особенности формирования структурных форм региона. Минерагенический потенциал по традиционному и нетрадиционному углеводородному сырью неоднозначный. По анализу выполненных гравиметрической и магнитной съемки, глубинных геофизических исследований уточнены отдельные элементы глубинного геологического строения земной коры, а также строение фундамента.

Выполнен анализ геологического строения и структурно-вещественных комплексов **Оршанской впадины**. По новым представлениям, базирующихся на результатах региональных сейсмических исследований и бурения отдельных параметрических скважин существенно меняется представление о строении Оршанской впадины, в первую очередь о глубине залегания поверхности фундамента, роли разрывных нарушений и их количестве, а также о возможном характере сочленения впадины с близлежащими структурами. Смоленский разлом, разделяющий впадину Оршанским горстом на Витебскую и Могилёвскую мульды, характеризуется амплитудой до 500 м, а также установлено более глубокое залегание поверхности фундамента в пределах мульды.

Выполнены исследования тектонического развития бассейна в позднепротерозойское время на конкретных участках с использованием разрезов пробуренных скважин по профилю скважин Оршанская 4 на юг до скважины Червеньская 3.

Установлено, что в среднем и позднем рифее на территории Оршанской впадины существовал осадочный седиментационный бассейн, сменившийся с лапичского времени рифея на замедленные тектонические погружения, сопровождавшиеся интенсивной эрозией.

На следующем этапе тектонического погружения фундамента с блонского времени венда характерно нарастание скорости погружения фундамента в юго-западном направлении и к началу ратайчицкого времени венда происходило погружение и южной части Оршанской впадины. Сформировавшийся Центрально-Оршанский горст испытывал общее возвышение на фоне погружения Витебской и Могилёвской мульды.

На протяжении среднедевонско-среднетриассовского времени территория Оршанской впадины как периклинали запада Русской плиты ознаменовалась общим погружением с полным выклиниванием палеозойских отложений в западной части.

Современный изученный минерагенический потенциал региона весьма невысокий из-за низкой геотектонической активности в период герцинско-альпийского этапов, а также изученностью бассейна, находящейся на региональной стадии. Прогнозируется установление в бассейне железей углеводородов (газовые, газоконденсатные, газогидратные).

Установлен рифейско-вендский рассолоносный комплекс с минерализацией рассолов до 167 г/дм^3 . Находятся в разработке верхнедевонские (саргаевско-семилукские) доломиты на месторождении Руба.

Установлено развитие в геологическом разрезе Оршанской впадины на границе рифей-венд трапповой формации на глубинах 1-1,5 км мощностью около 600-700 м.

На основании комплексной интерпретации геофизических полей, сейсмических данных по профилю Чериков-Орша-Усвяты, материалов геотрансекта МТЗ VII-VII и глубинных сейсмических зондирований по профилям построена модель глубинного строения литосферы Оршанской впадины. Установлено, что впадина в глубинном отношении имеет сложное строение; мощность литосферы оценивается более, чем 80 км, при этом поверхность астеносферы углубляется с юга на север, как и поверхность Мохо, и поверхность кристаллического фундамента; верхние

горизонты кристаллического фундамента уплотняются с юга на север. Такой «перекося» основных границ литосферы Оршанской впадины, по-видимому, обусловлен особенностями протекания тектонофизических процессов в период ее формирования. В целом литосферный блок Оршанской впадины характеризуется относительно повышенной плотностью. Для астеносферы ее плотность существенно ниже, чем вышележащий блок литосферы.

По результатам анализа магнитометрических исследований в пределах Оршанской впадины предполагается широкое распространение трапповой формации на границе осадочного чехла и пород кристаллического фундамента (рисунок 3).

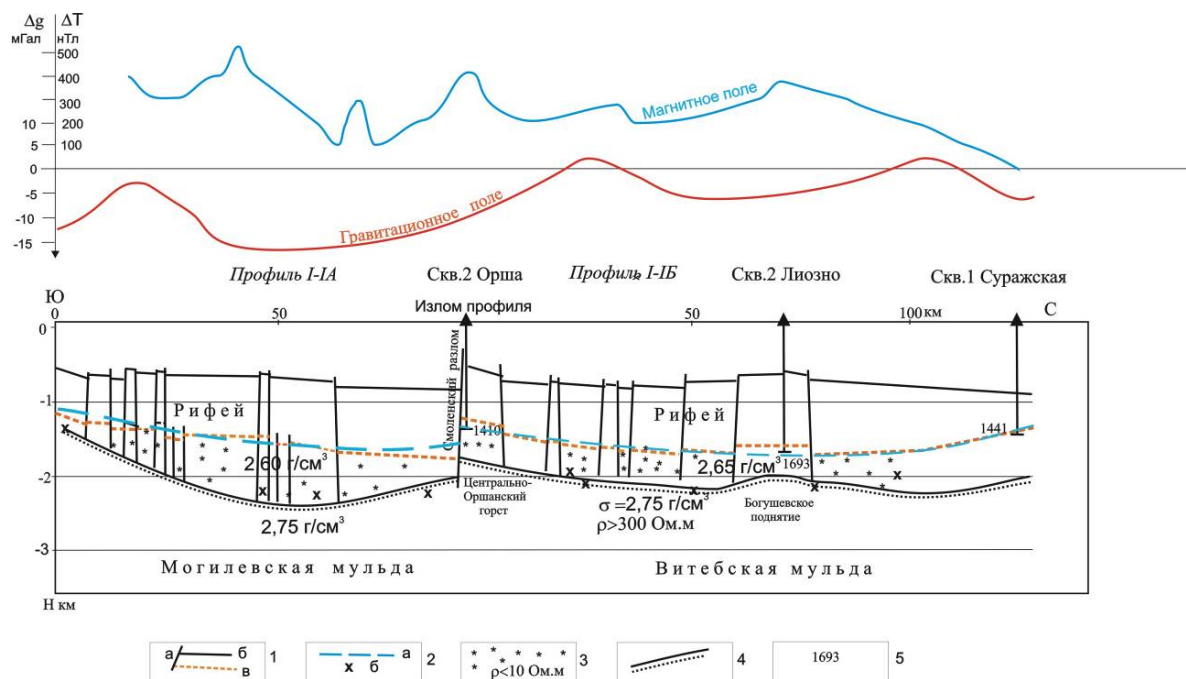


Рисунок 3 – Комплексный физико-геологический разрез по сейсмическому профилю Чериков-Орша-Усвяты с учетом материалов по профилю МТЗ VII-VII

1 – сейсмические границы: а – разломы, б – поверхность рифейских отложений, в – поверхность «сейсмического» фундамента; 2 – данные интерпретации магнитного поля: а – поверхность магнитоактивной трапповой толщи, б – глубины залегания верхних кромок магнитных тел, расположенных в зоне поверхности кристаллического фундамента; 3 – высокоэлектропроводящая зона; 4 – поверхность кристаллического фундамента; 5 – абсолютные отметки забоя скважин

Предполагается залегание поверхности кристаллического фундамента по геофизическим данным на глубинах свыше 2.2-2.5 км.

Установлено, что расчетный вековой ход во времени гравитационного поля контролирует смену палеогеодинамических обстановок при переходе от этапа к этапу в процессе формирования платформенного чехла.

На основании палеогеодинамического анализа расчетного векового хода гравитационного поля показано существенное различие палеогеодинамических обстановок формирования Витебской и Могилевской мульды.

Построены карты аномального магнитного и гравитационного полей для возмущающего влияния магнитных и плотностных неоднородностей вещественного состава фундамента; дана их комплексная геологическая интерпретация; построена карта рельефа поверхности фундамента.

Показано, что кристаллический фундамент Оршанской впадины сложен микашевичским комплексом (граниты, плагиоклаз-микроклиновые, гранодиориты, диориты), аналогичным фундаменту Осницко-Микашевичскоговулкано-плутонического пояса. Для этой структуры характерно широкое распространение плутонических пород, представленных серией пород от диоритов до гранитов, обладающих общностью минерального состава.

Установлено, что подошва земной коры представляет собой плоскость, падающую с юга на север примерно на 5 км с глубины 45 км; непосредственно под поверхностью Мохоровичича выявлен слой небольшой мощности с отрицательной плотностью $-0,015 \text{ г/см}^3$, показано, что поверхность астеносферы залегает на глубине более 80 км и падает в пределах Оршанской впадины с юга на север.

● В 2020 г. завершены исследования: **Анализ флюидодинамических характеристик девонских нефтеносных комплексов Припятского прогиба в связи с изменением горнотехнических условий в районе разрабатываемых месторождений.** В процессе более чем полувековой истории разработки основных месторождений Припятского прогиба установлено изменение пластовых давлений в районе отбора нефти, повлекшие изменение флюидодинамических параметров пластовых резервуаров в контуре и за пределами залежей нефти. По результатам динамических исследований кернового материала, в условиях близких к пластовым, установлено изменение напряженно-деформационного состояния пластов-коллекторов, влияющих на их фильтрационно-емкостные свойства (рисунок 4).



Рисунок 4 – Динамика коэффициента вытеснения нефти водой и перепада давления по составной керновой модели семилукской (D_{3m}) залежи Речицкого месторождения

В одних и тех же коллекторах динамика напряженного состояния массива горных пород вследствие снижения пластового давления в нефтяных залежах может приводить как к негативным последствиям (особенно в низкопроницаемых трещиноватых), так и способствовать увеличению нефтеотдачи пластов. В совокупности это свидетельствует о важности учета изменения напряженно-деформированного состояния геологической среды, а также о необходимости дальнейшего специального адресного изучения деформационных процессов с целью рационального использования пластовой энергии в залежах, и, как следствие – повышения геологической эффективности проводимых работ в области нефтедобычи.

По многочисленным замерам пластовых давлений во флюидонасыщенных комплексах Припятского прогиба установлены зависимости изменения пластовых давлений от глубин (рисунок 5). Пластовое давление во флюидодинамической системе межсолевого комплекса изменяется с глубиной по зависимости $P = (H - 404,96)/72,101$ и характеризуется более высоким энергетическим потенциалом, чем давление в подсолевом комплексе, изменяющееся по зависимости $P = (H - 290,6)/79,618$.

В качестве сравнительных параметров флюидодинамических систем проанализированы такие параметры как пластовое давление, гидростатическое давление, горное давление и градиент пластового давления. В качестве градиента пластового давления (ГПД) принято отношение величины пластового давления к глубине залегания пласта, т.е. изменение величины пластового давления на единицу глубины. В более ранних исследованиях, когда давление измерялось в атмосферах (кгс/см^2) градиент пластового давления определялся на 10 м глубины. В настоящее

время, когда единицей давления в системе СИ принят Паскаль, градиент определяется в размерности МПа на 100 м глубины. Оценка ГПД играет важную геологическую роль, поскольку характеризует энергетику флюида в пласте, а также технологическую роль, позволяющую определяться с выбором плотности бурового раствора при вскрытии перспективных горизонтов при бурении и параметров их испытания.

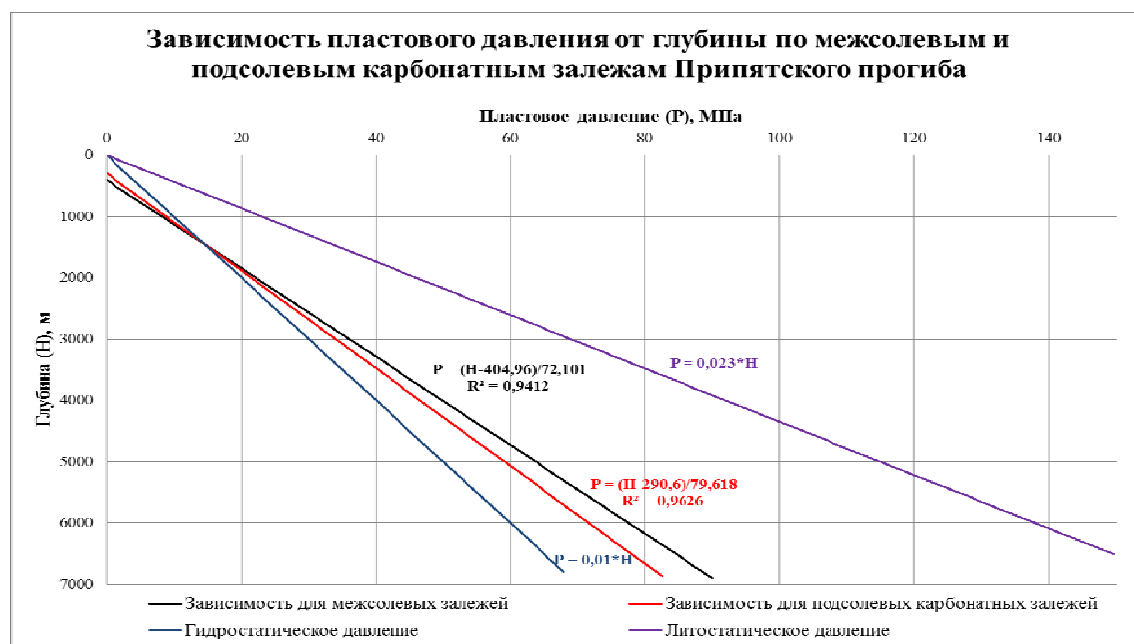


Рисунок 5

По результатам анализа изменения пластового давления с глубиной, а также градиента давления установлена зависимость, характеризующая изменения параметра для подсолевого карбонатного и межсолевого комплексов.

Таблица 1

Значения начальных пластовых давлений и градиентов межсолевого и подсолевого карбонатного комплекса Речицко-Вишанской зоны

Глубина, м \ Комплекс	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Межсолевой	15,57 1,03	22,50 1,12	29,43 1,18	36,37 1,21	43,30 1,24	50,24 1,26	57,17 1,27	64,10 1,28
Подсолевой карбонатный	15,23 1,01	21,57 1,08	27,90 1,12	32,24 1,14	40,58 1,16	46,92 1,17	53,25 1,18	59,59 1,19

Верхнее значение строки в таблице 1 – значение начального пластового давления МПа, нижнее – градиент пластового давления, МПа/100 на соответствующей глубине.

Установленные закономерности изменения пластовых давлений и их градиентов представлены в графическом виде (рисунок 6). Из графика и таблицы 1 отмечаются следующие визуальные особенности:

- до глубины 2000 м различие между ГПД комплексов незначительное;
- до глубины около 2500 м рост градиента пластового давления в комплексах с глубиной более интенсивный по сравнению с нижезалегающими отложениями;
- на одной и той же глубине значение начального пластового давления и его градиента для межсолевого комплекса будет выше по сравнению с подсолевым карбонатным. К примеру, на глубине 3000 м в межсолевом комплексе начальное пластовое давление примерно на 2 МПа и градиент на 0,07 МПа/100 м выше по сравнению с ПСК. Это свидетельствует о более высокой энергетической напряженности в межсолевом комплексе.

Об изменении геофлюидных давлений даже при незначительном объеме отбора флюида из резервуара свидетельствует анализ, выполненный нами ранее. По результатам сопоставления пластовых давлений, зарегистрированных при испытании в процессе бурения ИП и при освоении этих же пластов-коллекторов в эксплуатационной колонне установлены расхождения в их значениях. Анализ выполнялся как для месторождений Беларуси (Хуторское, Славянское, Южно-Оземлинское, Мармовичское), так и для месторождений Западной Сибири (Ем-Еговское, Талинское) и установлен факт регистрации более низкого значения пластового давления на 3-6 МПа в эксплуатационной колонне по сравнению с замерами при испытании ИП.

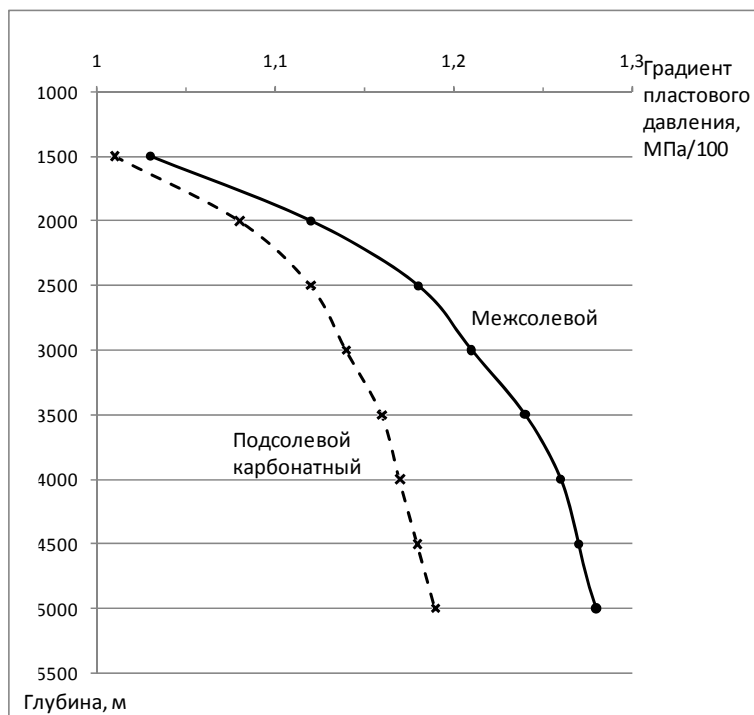


Рисунок 6 – Зависимость градиента начального пластового давления от глубины для межсолевого и подсолевого карбонатного комплексов Речицко-Вишанской зоны

Замеры в эксплуатационной колонне выполнялись в соответствии с действующими плановыми и нормативными документами, т.е. после отработки скважины на двух-трех режимах с отбором определенного объема нефти. Объем отбора нефти в таких случаях составлял не более 200-500 м³, однако даже эта величина сказывалась на уменьшении пластовых давлений залежи на 2-3 МПа.

Настоящий анализ по изменению флюидодинамических данных выполнен для Речицко-Вишанской зоны Припятского прогиба по трем блокам, к которым приурочены основные крупные месторождения, находящиеся в четвертой стадии разработки. Блок представляет собой месторождение, выступающее в качестве депрессионного источника с тестовыми скважинами, располагающимися в ближней и дальней зоне от месторождения. Для межсолевого комплекса анализ выполнен по одному Осташковичскому блоку, а для подсолевого карбонатного по Вишанскому и Речицкому блокам. Ниже приведен результат анализа по Речицкому блоку.

Речицкий блок

В пределах Речицкого блока проанализированы флюидодинамические параметры по резервуару семилукского горизонта верхнедевонского подсолевого карбонатного комплекса. Семилукский резервуар выбран в качестве тестового в связи с тем, что основным депрессионным источником в восточной части Речицко-Вишанской зоны по подсолевым отложениям является залежь семилукского горизонта Речицкого месторождения. Методика анализа заключалась в сравнительном анализе градиентов текущих пластовых давлений в тестовых скважинах на дату замера по сравнению с начальным ГПД на тестовом участке. Значение начального пластового

давления и ГПД определялось по графику (рисунок 5), а также по замерам при первом испытании залежей. В качестве тестовых проанализированы данные по Днепровской (скв. 1, 2, 15, 16, 23), Ребусской (скв. 1, 2), Салтановской (скв. 3, 4), Демеховской (скв. 201), Вибраторной (скв. 1), Озерщинской (скв. 29), Западно-Александровской (скв. 1, 2, 3, 8) и Западно-Гировской (скв. 1) площадей (рисунок 7).

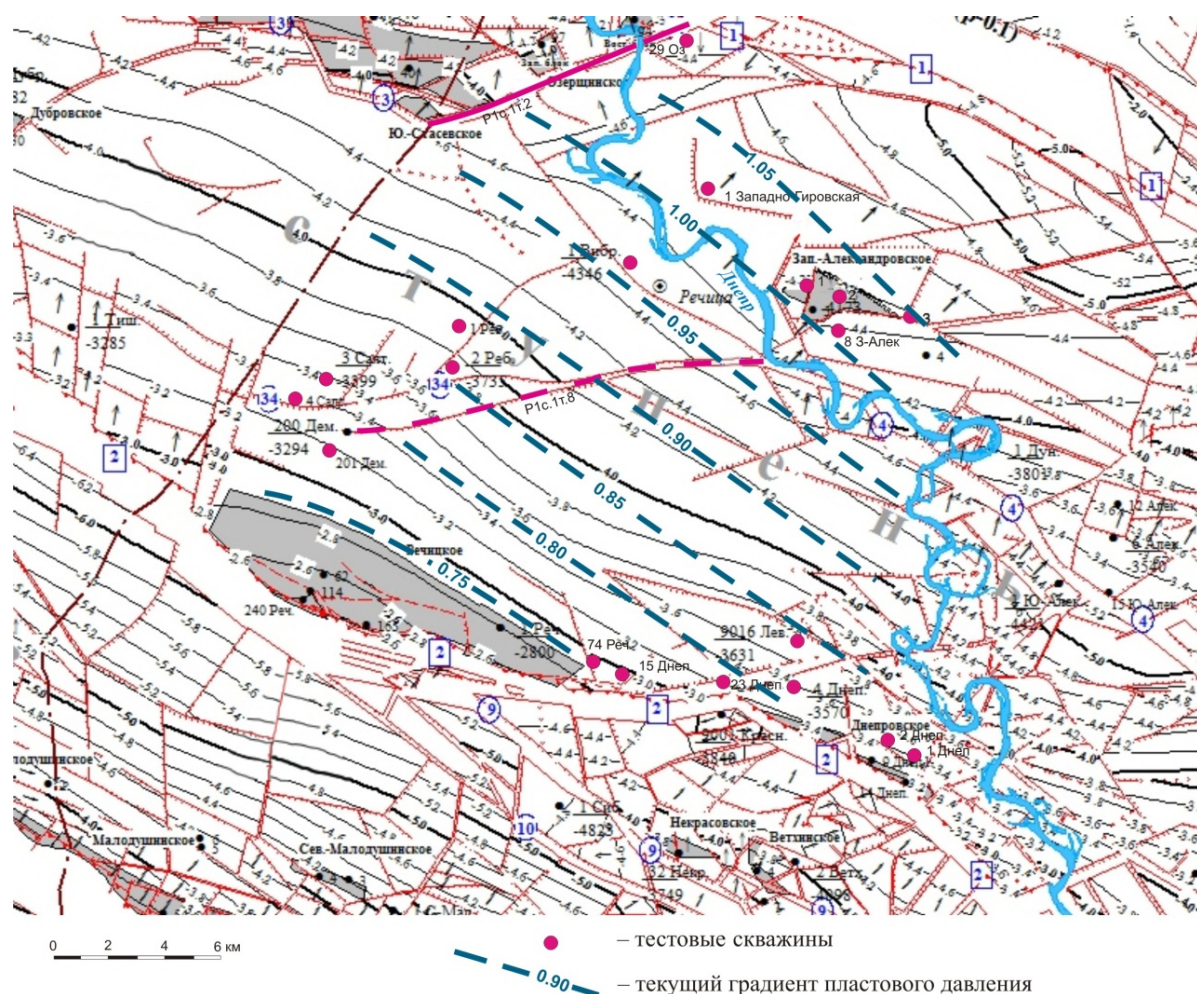


Рисунок 7 – Речицкий блок. Карта текущих градиентов пластового давления с расположением тестовых скважин на базе карты поверхности подсолевых терригенных отложений

Сокращения, используемые в наименовании скважин: Реч – Речицкая; Днеп – Днепровская; Лев – Левашовская; Реб – Ребусская; Дем – Демеховская; Салт – Салтановская

Семилукская залежь Речицкого месторождения введена в эксплуатацию 1 мая 1965 г. скважиной 6 фонтанным способом с начальным дебитом 106, 1 т/сут безводной нефти. Начальное пластовое давление приведенное к отметке ВНК (-2797 м) составило 30,2 МПа.

В период пробной эксплуатации до 1967 г. залежь разрабатывалась тремя скважинами (6, 9, 7) на естественном режиме. В период 1967-1975 гг. на месторождении было пробурено 56 скважин и добывающий фонд составил 31 скважину. Ввод в эксплуатацию новых скважин в этот период показал хорошую гидродинамическую связь по всей семилукской залежи, так как новые скважины показывали текущие пластовые давления как в контуре залежи, так и в законтурных участках в скважинах по ППД (скв. 10, 17, 74, 87). Организованная (середина 1967 г.) закачка воды в залежь через скв. 17 не оказала воздействия на поддержание энергетики пласта, так как в этом году было закачено всего 89 тыс.м³ воды, а накопленный отбор нефти из залежи к концу 1967 г. составил 602,8 тыс. т. Поэтому пластовое давление продолжало снижаться и к началу 1968 г. оказалось на уровне 23,6 МПа. В последующем была активизирована работа по поддержанию пластового давления.

Максимальный уровень добычи нефти в 2,13-2,18 млн. т был достигнут в 1971-1972 гг.

С 1989 г. залежь разрабатывалась с поддержанием пластового давления путем закачки воды в приконтурные скважины 10, 33 и внутриконтурные скважины 1, 111, 52.

За период 1988 – 2000 гг. отборы нефти постепенно снижались с 98,5 тыс.т до 79,7 тыс.т (1999 г.). Добыча жидкости за этот период изменялась от 707,0 тыс.т до 605,0 тыс. т. Обводненность залежи постепенно увеличивалась до 87,5 %.

Таким образом, система поддержания пластового давления оказалась не особо эффективной.

В последующем на залежи проводились геолого-технические мероприятия, направленные на улучшение состояния разработки (интенсификация притока, изоляционные работы, оптимизация насосного оборудования, бурение вторых стволов). Все это позволяло в отдельные годы уменьшать обводненность и увеличивать добычу нефти.

В настоящее время в действующем фонде добывающих скважин по залежи семилукского горизонта 15 скважин и 5 скважин нагнетательных. Добыча ведется обводненностью 91%. Накопленная добыча жидкости по залежи за период 1995-2010 гг. составила 50,3 млн.м³, а накопленная закачка за этот период составляет 51,5 млн.м³. Накопленная общая компенсация составляет 93,9%, а текущая – 84,7%. Пластовое давление составляет 22,1 МПа, соответствующее градиенту 0,75.

Отбор нефти по семилукской залежи Речицкого месторождения, снижение пластового давления, значительная общая недокомпенсация по залежи оказывают влияние на участки, расположенные в ближней и дальней зоне вокруг залежи.

Результаты снижения пластового давления уже в период пробной эксплуатации залежи до закачки воды были зафиксированы в приконтурных скважинах в августе 1968 г. в скважине 74, находящейся в 0,5 км к северу от ВНК. ГПД в этой скважине составил тогда 0,84 и соответствовал пластовым давлениям в зоне отбора, что свидетельствует о хорошей гидродинамической связи с законтурной областью. Об этом свидетельствуют также данные по замерам пластовых давлений более дальних скважин. Так в скважине Днепровская 15, расположенной в 1,2 км к северу от ВНК ГПД составлял 1,07 в декабре 1987 г. (рисунок 7). В связи с хорошими емкостными свойствами семилукского резервуара «гидродинамическое эхо», отражающее либо падение пластового давления или его подъем в связи с ППД (рисунок 8) последовательно передавалось на близлежащие тестовые скважины.

По результатам анализа вариации ГПД на север по удалению от семилукской залежи Речицкого месторождения наблюдается тенденция его уменьшения, однако не совсем однозначная. Тестовые скважины, расположенные к северо-западу от семилукской залежи на Ребусской (скв. 1, 2), Салтановской (скв. 3, 4), Демеховской (скв. 201), Вибраторной (скв. 1) площадях (рисунок 7) отделяются от контура гидродинамического слияния казалось бы тектоническим нарушением P1c.1т8. Амплитуда этого нарушения составляет по поверхности подсолевого терригенного комплекса около 100 м. Однако зарегистрированные в них ГПД на уровне 1,06-1,11 свидетельствуют о возможной гидравлической взаимосвязи на отдельных участках этих блоков.

Представляется интересным проанализировать гидродинамические особенности семилукского резервуара почти у подножья Речицко-Вишанской тектонической ступени, в частности в районе Зап.-Александровской, Западно-Гировской и Озерщинской площадей.

Западно-Александровское месторождение, расположенное в 17 км к северо-востоку от Речицкого месторождения, открыто в 1984 г. поисковой скважиной 1. Промышленной на месторождении являются газоконденсатная залежь семилукского горизонта, газоконденсатная воронежская и нефтяная петриковская залежи нефти. По подсолевым отложениям месторождение разрывными субмеридиональными нарушениями делится на два блока. В пределах блока I пробурены скважины 2, 3, 5, а в пределах блока II – скважина 1.

По результатам анализа представляется, что Западно-Александровская площадь уже в 1987 г. до открытия газоконденсатной залежи в семилукском горизонте находилась в зоне депрессионного воздействия Речицкого месторождения. Тестовый участок Озерщинской площади в районе скважины 29 обособлен от собственно располагающегося к западу Озерщинского месторождения крупноамплитудным тектоническим нарушением P1c.1т.2 амплитудой более 1000 м (рисунок 7) очевидно, что этот участок не находится в зоне депрессионного воздействия Озерщинского месторождения, а под влиянием более мощного воздействия, которым может являться семилукская залежь Речицкого месторождения.

В 2017 г. при бурении скважины 1 на Западно-Гировской площади и ее испытании в процессе бурения и семилукского горизонта из интервала 5173,5-5195,2 м получен приток воды с газом дебитом 54,1 м³/сут. Пластовое давление оказалось равным 46,8 МПа на глубине 5176 м по стволу и 4567 м по вертикали, что соответствует ГПД– 1,02. Такое низкое значение градиента можно было бы объяснить воздействием ближнего депрессионного источника, в частности, Западно-Александровского месторождения, расположенного в 6 км на юго-восток от Западно-Гировской площади.

Поисковые объекты по подсоловому карбонатному комплексу как Западно-Александровская, Западно-Гировская и другие находятся в контуре масштабного длительного депрессионного воздействия Речицкого месторождения. Об этом свидетельствует карта текущих градиентов пластовых давления по семилукскому резервуару Речицкого блока, представленная на рисунке 7.

По результатам флюидодинамического анализа по Речицкому блоку по семилукскому резервуару установлены следующие особенности.

– Интенсивный отбор нефти в период пробной эксплуатации и последующей разработки залежи нефти семилукского горизонта Речицкого месторождения в период 1965-1973 гг. сопровождался значительным снижением пластового давления в залежи, законтурных областях на удаленной от залежи в пределах Днепровской, Левашовской площадей, удаленных на расстоянии до 7-8 км от залежи.

– Некоторые поисковые объекты к северо-западу от месторождения в пределах РебуССкой, Демеховской, Салтановской, Вибраторной площадей находятся в зоне депрессионного влияния Речицкой семилукской залежи.

– Недокомпенсированный отбор нефти из залежи семилукского горизонта Речицкого месторождения при текущем градиенте пластового давления равного 0,75 оказывает депрессионное воздействие на гидродинамически взаимосвязанный резервуар на расстоянии до 17 км, включая районы Западно-Александровской, Западно-Гировской, восточной части Озерщинской площадей.

• Создана новая установка для исследования сдвиговых характеристик мерзлых грунтов, путем комбинации прибора двухплоскостного среза, разработанного в Институте природопользования НАН Беларуси и приборного комплекса «АСИС» ООО НПП «Геотек» (г. Пенза). Показана работоспособность автоматизированной установки и возможность исследования с ее помощью предельно-длительных сдвиговых характеристик и ползучести замороженных грунтов в условиях независимой вариации нормальной и сдвигающей нагрузок. Это позволяет в перспективе дополнить методы исследования ползучести горных пород в условиях независимой вариации всестороннего давления и сдвигающей нагрузки, необходимых для оценки деформационно-прочностных характеристик замороженных горных пород при разработке проектов проходки шахтных стволов калийных рудников с использованием искусственного замораживания.

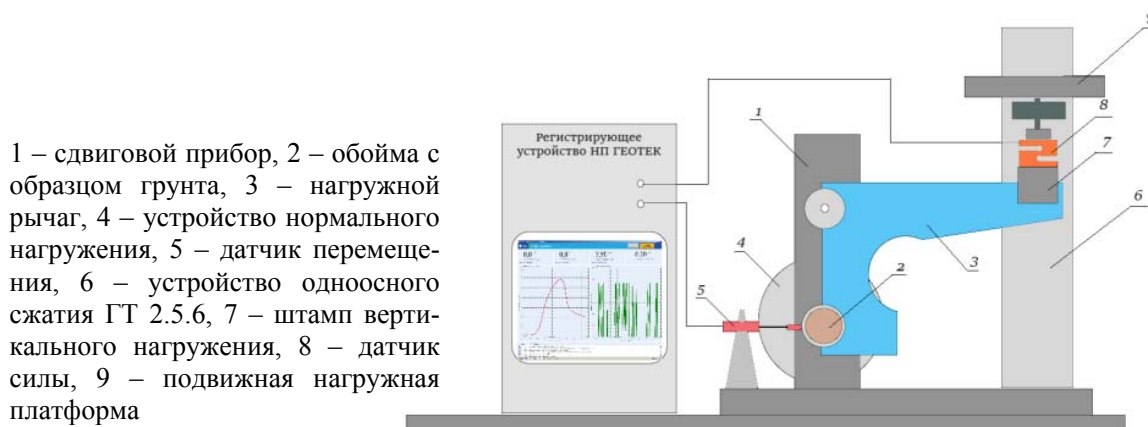


Рисунок 8 – Схема согласования устройства двухплоскостного среза и устройства осевого нагружения ООО НПП «Геотек»:

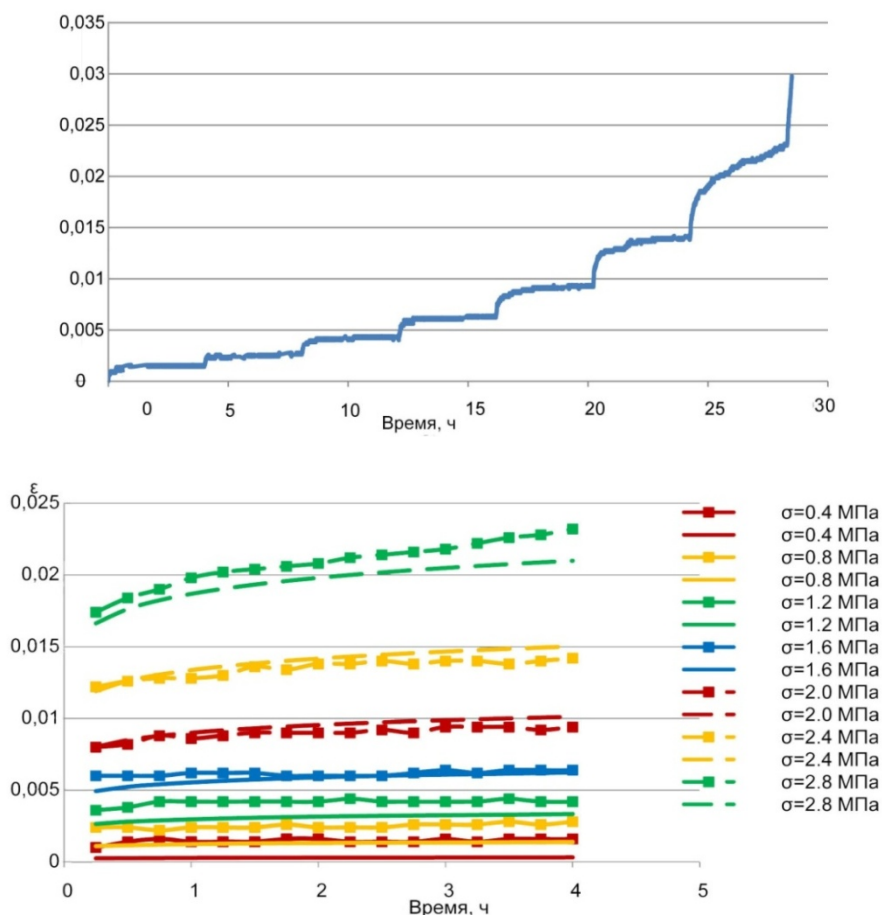


Рисунок 9 – Реологическая кривая ползучести (а) и ее аппроксимация (б).
 Порода – мел, температура – -15°C . Ступени нагружения: 1 – 0,4 МПа, 2 – 0,8 МПа, 3 – 1,2 МПа, 4 – 1,6 МПа, 5 – 2,0 МПа, 6 – 2,4 МПа, 7 – 2,8 МПа.

Исследованы физико-механические свойства 165 проб горных пород, вскрытых при проходке шахтных стволов Нежинского горно-обогатительного комплекса; из них 85 по скиповому стволу и 80 по клетевому с определением их плотности и естественной влажности. Определены условно-мгновенные значения предела прочности на одноосное сжатие, значения модуля упругости, коэффициента Пуассона, условно-мгновенного значения структурного сцепления, угла внутреннего трения для всех литологических разностей.

Исследован химический состав 21 пробы на содержание ионов: K^+ , Ca^{2+} , M^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , Br^- , нерастворимого в воде остатка и влаги гигроскопической.

Выполнен анализ полученных данных с оценкой глубины залегания литологических разностей на их физико-механические свойства и распределение химических элементов.

Проведены исследования 7 типовых литологических разностей образцов горных пород Дарасинского рудника для определения условно-мгновенных и предельно-длительных значений предела прочности на одноосное сжатие, структурного сцепления и угла внутреннего трения в интервале температуры -2°C – -25°C при 7 различных значениях температуры.

Проведены реологические исследования 7 типовых литологических разностей образцов горных пород на ползучесть при различных отрицательных температурах и времени нагружения с целью определения деформационных характеристик (параметров аппроксимации реологических кривых: коэффициента нелинейной деформации A_0 , коэффициента упрочнения замороженных пород (коэффициента нелинейности по напряжениям) m , коэффициента нелинейности во времени α). Выполнены обобщение и анализ полученных данных.

Выполнены обобщение и анализ полученных данных. Установлено, что увеличение прочностных характеристик для более слабых горных пород в исследуемом диапазоне температуры

происходит в 4-5 раз. В то же время для более прочных пород такое увеличение составляет 3-3,5 раз. Из этого следует, что понижение температуры способствует уменьшению относительного различия прочностных характеристик различных пород. Это можно объяснить замерзанием основного количества воды в породах, уменьшающих прочностные характеристики тонкодисперсных горных пород при температурах, близких к температуре начала замерзания воды в породах.

Литература

Мурашко А.А. Автоматизация установки двухплоскостного среза и методики испытания грунтов на сдвиг при отрицательной температуре/ А.А. Мурашко А.Г. Бровка, И.В. Дедуля, К.А. Агутин. //Природопользование. – 2020. – №1 – С. 132- 137.

2.26. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА

По научно-технической программе № BR05235618 «Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан» (научный руководитель, д.т.н., проф., академик НАН РК Ракишев Б.Р.) в 2019 году получены следующие результаты:

По направлению – Разработка месторождений полезных ископаемых

Проект 1. Создание систем автоматизированного проектирования рациональных параметров буровзрывных работ и их результатов на карьерах Казахстана (научный руководитель д-р техн.наук, профессор, академик НАН РК Ракишев Б.Р.)

Этап 3. Разработка нового алгоритма объединения методов определения технологических характеристик взорванной горной массы для создания САПР БВР, а также информационной экспериментальной площадки (ИЭП) для имитации, визуализации результатов взрывов и управления ими в режиме реального времени

Объединены методы определения технологических характеристик взорванной горной массы для создания САПР БВР. Разработана информационная экспериментальная платформа (ИЭП) для имитации, визуализации результатов взрывов и управления ими в режиме реального времени. Совокупность разработанных программно-технических модулей составляет систему автоматизированного проектирования рациональных параметров буровзрывных работ и прогнозирования их результатов на карьерах Казахстана (САПР БВР). Использование разработанных методов и программного комплекса для проектирования БВР обеспечит требуемую кусковатость взорванных пород, компактное их размещение в развале. В результате объем буровых работ может быть уменьшен на 15-20 %, удельный расход ВВ – на 12-15 % против фактических, а также повышена производительность выемочно-погрузочного оборудования на 10-15 %.

Проект 2. Создание методологии проектирования процесса перехода на циклично-поточную технологию (ЦПТ) в глубоких карьерах с автомобильно-железнодорожным транспортом (научный руководитель д.т.н., проф. Молдабаев С.К.)

Этап 3. Разработка технологического регламента производства горных работ с ЦПТ

Разработан технологический регламент производства горных работ с циклично-поточной технологией (ЦПТ). Сокращение объемов вскрышного отставания на 25,8 % позволило сократить на 3 года срок освоения проектной производственной мощности Качарского карьера. До подхода горных работ к предельному поверхностному контуру глубокого карьера с автомобильно-железнодорожным транспортом для доработки приконтурных запасов под целиками железнодорожных путей и после перехода этой границы в глубинной его зоне в качестве перегрузочного устройства рекомендуется разработанная транспортная установка. Установлено, что наиболее рациональный режим горных работ на карьерных полях округлой формы достигается при совместном переходе на отработку уступов пород скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях сверху вниз и ЦПТ в глубинной зоне карьера.

Проект 3. Разработка и внедрение технологии, систем и средств активного крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния массива приконтурных пород (научный руководитель д.т.н., проф. Демин В.Ф.)

Этап 3. Разработка технологии проведения, крепления и поддержания горных выработок на основе цифрового моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и схем упрочняющего воздействия. Техничко-экономическая оценка технологических решений. Изготовление промышленных партий систем и средств крепления и испытания их в шахтных условиях

Произведена разработка технологии проведения, крепления и поддержания горных выработок на основе цифрового моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и схем упрочняющего воздействия на базе моделирования геомеханических параметров при одно- и двухуровневом креплении кровли горных выработок с интерпретацией результатов исследований. Созданы прогрессивные технологические решения по технологии многоцелевого крепления пород кровли горной выработки: технологии многоцелевого крепления на пологих и наклонных угольных пластах; поддержание выработок в зонах повышенного горного давления. Выполнена технико-экономическая оценка технологических решений: эффективности применения технологии анкерного крепления; расчёт экономического эффекта применения анкерного крепления при проведении и поддержании выработок с одно- и двухуровневым (в зонах с повышенным горным давлением) анкерными средствами; использования составных анкеров; определение затрат на погонный метр проводимой выработки. Изготовлены опытно-промышленные партии систем, средств крепления (составные и канатные анкера) и произведены их стендовые и шахтные опытно-промышленные испытания. Сформирована техническая документация на системы и средства крепления.

Проект 4. Разработка технологии выемки и извлечения золота из бедных рудных жил (научный руководитель д.т.н., проф. Юсупов Х.А.)

Этап 3. Выбор оптимальной степени активации рабочего раствора для выщелачивания

По результатам лабораторных работ определена необходимая степень активации раствора от 5 минут до 7 минут в зависимости от времени выщелачивания, что позволит повысить содержание золота в продуктивном растворе среднем на 28% по сравнению с базовой технологией. Разработана конструкция и изготовлен активатор для полупромышленных испытаний. Отобрана и подготовлена проба руды, проведены полупромышленных испытаний при базовой и предлагаемой технологиях. Получены зависимости содержания золота, величины рН и остаточной концентрации реагента от времени выщелачивания при активации раствора, доказана, что активация выщелачивающего раствора приводит к интенсификации процесса выщелачивания на 14,7% за счет повышения содержания золота в продуктивном растворе.

Проект 5. Разработка и внедрение геоинформационной системы управления рисками в условиях повышенной интенсивности освоения месторождения (научный руководитель д.т.н., проф. Байгурин Ж.Д.)

Этап 3. Создание геоинформационной системы горно-экологического мониторинга (ГИСГЭМ) территории месторождения

Разработана структура формирования базы данных геоинформационной системы горно-экологического мониторинга (ГИСГЭМ). Создана геоинформационная система управления рисками (ГИСУР) в условиях повышенной интенсивности освоения месторождения. Создание тематических слоев (результаты КРИ, топографо-геодезические измерения зонного районирования) и их нанесение на топографическую основу исследуемой территории. Проведен сравнительный анализ абсолютных значений проседания земной поверхности методами дифференциальной интерферометрии (0,8 см) и наземными измерениями (1,0 см) в районе 27 репера профильной линии 1 – 33. Степень корреляции составила $r \approx 0,75 - 0,83$. Создана карта абсолютных значений смещения земной поверхности при помощи КРИ и высокоточного нивелирования. Построена непрерывная прогнозная ситуационная карта месторождения.

*По направлению – Системы обогащения, комплексного извлечения, переработки при-
родного и техногенного рудного сырья*

Проект 9. Разработка технологии извлечения вольфрамового, медного, молибденового и оловянного концентратов из лежалых хвостов (научный руководитель к.т.н., проф. Шауменов М.Р.)

*Этап 3. Разработка технологических регламентов на технологию получения вольфрамо-
вого, молибденового, медного, оловянного концентратов из хвостов Жамбылской ОФ*

Разработаны технологические регламенты на технологию получения вольфрамового, молибденового, медного и оловянного концентратов из лежалых хвостов Жамбылской ОФ. Разработан технологический регламент по получению кондиционного вольфрамового концентрата с массовой долей WO₃ 66,8 % при извлечении в него WO₃ 92,7% от операции и оловянного концентрата с массовой долей Sn – 54,10%, с извлечением 62,20 % от операции. Вольфрамовый концентрат соответствует требованиям ГОСТ 213-83 и металлургического производства для получения легированных сталей. Полученный оловянный концентрат является товарной продукцией, пригодной для дальнейшей переработки. Разработан технологический регламент по получению кондиционного молибденового концентрата при ЭХХ с массовой долей молибдена 50,5 % при извлечении в него молибдена 72,5 % по отношению к медно-молибденовому промпродукту. Полученный молибденовый концентрат отвечает требованиям ГОСТ 212-76 «Концентрат молибденовый КМФ-4». Разработан технологический регламент по получению кондиционного медного концентрата с массовой долей меди 45,9 % при извлечении меди по отношению к промпродукту и продуктивному раствору 113,06 % из 117,26 %, выход медного концентрата – 16,92 %. Марка полученного медного концентрата КМО отвечает требованиям ГОСТ Р 52998-2008 «Концентрат медный. Технические условия».

Проект 10. Внедрение промышленной биотехнологической установки для интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана (научный руководитель к.т.н., проф. Турысбекова Г.С.)

Этап 3. Исследовать воздействие бактериального окисления железа на содержание урана в откачных скважинах

Проведены опытно-промышленные испытания на установке БОЖ при подаче. Внедрена опытно-промышленная биотехнологическая установка для интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана. Исследовано воздействие бактериального окисления железа на содержание урана в откачных скважинах. Разработаны рекомендации для промышленного применения биотехнологической установки для интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана. Исследования в проточном режиме на биотехнологической установке подтвердили, что бактериальное окисление железа позволяет увеличить содержание урана в продуктивном растворе на 10-15 % на блоке №61 ТОО «Семизбай». Производительность одного биореактора объемом 1 м³ составляет 7,5 тыс. м³/год. Установлена связь между содержанием железа и окислительно-восстановительным потенциалом раствора. Эксплуатационные затраты при использовании данной технологии в 6-8 раз ниже чем при использовании химических окислителей, которые используются в настоящее время на урановом руднике.

Проект 11. Разработка технологии переработки отработанного активированного угля с получением золотосодержащего продукта на золотоизвлекательных фабриках (научный руководитель к.т.н. Бектай Е.К.)

Этап 3. Переработка отработанного активированного угля в объеме свыше 5 тонн на золотоизвлекательной фабрике

Проведены опытно-промышленные испытания на установке для переработки. Разработана технология переработки отработанного активированного угля с получением золотосодержащего продукта на золотоизвлекательных фабриках. Разработанная технология по извлечению золота из активированного угля была использована при подземном скважинном выщелачивании урана для доизвлечения сопутствующих металлов из выщелачивающих растворов. Смонтирована и введена в опытно-промышленную эксплуатацию установка на основе активированного угля, которая установлена на месторождении «Семизбай». Через установку пропущено свыше 5 тонн вы-

щелачиваемого продукта в течение 3 месяцев. Результаты анализа пробы активированного угля показали технологическую возможность получения золота и получения золотосодержащего продукта по разработанной технологии. Это открывает новые перспективы по расширению выпускаемой продукции на данном руднике. Переработан отработанный активированный уголь в объеме 5 тонн на одной из золотоизвлекательной фабрик. Использование технологии переработки извлечения золота из активированного угля позволило извлечь целевой металл с извлечением 71 % в золотосодержащий продукт.

По результатам проведенных работ по ПЦФ №BR0523561 в 2020 году опубликованы 2 монографии, 22 статей, в том числе 12 статей в научных изданиях, индексируемых базами данных Web of Sciences и Scopus, 21 докладов на международных конференциях (1 доклад – в базе данных Scopus); получено 4 патента Республики Казахстан и 3 объекта интеллектуальной собственности.

Основные публикации:

1. Rakishev B. R., Rakisheva Z. B., Orynbay A. A. Computer-aided creation of coordinate grid for blasted rock block // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. – 2020. – №8- С.40-51. [InRuss].
2. Ракишев Б.Р. Формирование гранулометрического состава взорванных пород при уступной отбойке // журнал ФТПРПИ -2020.- №1- С.41-53.
3. Bayan Rakishev, Zaure Rakisheva, Alma Auezova and Asfandiyar Orynbay Automated determination of internal points of the coordinate grid of the blasted rock mass. 06 May 2020. E3S Web of Conferences 168 II International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine. DOI:
4. Moldabayev S.K., Adamchuk A.A., Toktarov A.A, Aben Ye., Shustov O.O. Approbation of the technology of efficient application of the excavator-automobile complexes in the deep open mines // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu (Scientific Bulletin of the Open Mining University), 2020. – № 4. – pp. 30-38 (CiteScore 2018 – 0.77, Процентиль по категории Earth and Planetary 36).
5. Sultanbekova Zh., Zh., Tsekhovoy A.F., Moldabayev S.K., Sarybaev N.O. Risk management in the operation of combined modes of transport in open cast mining // 20 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. – Albena, Bulgaria, 2020. (CiteScore 2018 – 0.25, Процентиль по категории Earth and Planetary 16-й).
6. Демин В.Ф., Исабек Т.К., Жумабекова А.Е., Кайназарова А.С. Обоснование параметров двухуровневой анкерной и обрезной крепей для поддержания выработок позади лавы. Горный журнал Казахстана, № 3, 2020.–С. 30–35.
7. Yusupov Kh. A, Rustema S.T., Bakhmagambetova G.B., IMPROVEMENT OF ORE RAGGING QUALITY USING INITIAL POTENTIAL IN BREAKING MASS. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Volume 2, p.92-93 (April 1–3, 2020, Ivano-Frankivsk).
8. Imansakipova B.B., Baygurin Zh., Altayeva A.A., Kanapiyanova D.G., Myngzhasarov B. Development of an effective method for zoning the earth's surface in heterogeneity of the rock mass. ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362, Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020, № 3. С.53-58 (входит в базу данных SCOPUS).
9. Калыбеков Т., Рысбеков К.Б. Планирование развития горных работ с учетом подготовленности запасов и усреднения содержания руд // Вестник КазНУ – 2020. -№1(137). – С.556-561
10. K. Rysbekov, A.Toktarov, T.Kalybekov, S.Moldabayev, T.Yessenzhulov & G.Bakhmagambetova, (2020) Mine planning subject to prepared ore reserves rationing. II International Conference Essays of Mining Science and Practice / E3S Web of Conferences Volume 168, 00016.
11. S. Kuzmin, O. Kadnikova, G. Altynbayeva, A. Turbit, Z. Khabdullina Development of a New Environmentally-Friendly Technology for Transportation of Mined Rock in the Opencast Mining // Environmental and Climate Technologies – 2020/24 – pp. 341 – 354.
12. Kuzmin S., Turbit A., Salko O. Substantiation of efficiency of container technologies application for transportation of rock in deep pits // «Journal of Mining and Geological Sciences», 63rd International Conference. Mining and Geological University named after «St. Ivan Rilski» – Sofia, Bulgaria Vol. 63, 2020 – pp.
13. K.Yelemessov, L.Krupnik, S. Bortebayev, B.Beisenov, D.Baskanbayeva,* and A.Igbayeva. (2020) Polymer concrete and fibre concrete as efficient materials for manufacture of gear cases and pumps. E3S Web Conf. Volume 168, 2020. II International Conference Essays of Mining Science and Practice. Published online. 06 May 2020.
14. Н.Н. Әбіласан, Н.Т.Аққазина, науч. рук. М.Р. Шаутонов. Исследования по переработке вольфрамсодержащих лежалых хвостов // Труды «Саптаевские чтения – 2020» – Том-1 – С.488-491.

По грантовому финансированию научных исследований в 2020 году получены следующие результаты

По приоритету: 1. Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции.

Проект 1. Разработка новой технологии подземного выщелачивания урана с применением комплекса химических реагентов синергетического действия для скважинной добычи урановых руд – AP05131477 (научный руководитель д.т.н., проф., академик НАН РК Ракишев Б.Р.)

Краткие выводы по результатам НИР: на основе исследований осадкообразований из месторождений урана Сырдарьинской депрессии была установлена их структура, свидетельствующая о наличии карбонатов в осадках, составляющих основу образований, достигающих от 30 до 70% от общей массы. Произведен отбор проб kernового материала и проведенные исследования минералогического и гранулометрического состава, а также микроскопические исследования вмещающих пород, в результате которого установлены количественно-качественные параметры руд и вмещающих пород, состав алеврито-глинистых частиц в пробе достигает до 25% от массы пробы. Выбраны химические реагенты в состав комплекса синергетического действия сульфаминовая кислота (САК), лигносульфонат аммония (ЛСТ), бифторид аммония (БФА) имеют различные выгодные свойства для интенсификации геотехнологических параметров. Проведены лабораторные работы по агитационному выщелачиванию урана из kernовых проб, а также исследования по выщелачиванию урана в трубках с применением комплекса химических реагентов синергетического действия. Анализ результатов исследований показал, что при добавлении комплекса происходит повышение содержания извлечение урана. Проведены опытно-полевые испытания по интенсификации геотехнологических параметров скважинной добычи урана на месторождениях «Ирколь» и «Северный Харасан» с применением разработанного комплекса химических реагентов синергетического действия. Мониторинг и анализ результатов показали повышение содержания урана в ПР на 10 – 20 %, восстановление проницаемости продуктивных пластов, удлинение периода бесперебойной работы скважин на 20 – 30 %, и ускорение извлечение урана из недр на 10 – 15 % %. Рассчитанные технико-экономические показатели применения комплекса химических реагентов синергетического действия при интенсификации скважинной добычи урана в сложных горно-геологических условиях показал сокращение эксплуатационных затрат на добычу на 15–20 %. Разработанные научно-методические рекомендации по применению комплекса химических реагентов синергетического действия в различных горно-геологических условиях способствуют повышению эффективности скважинной добычи урана.

Результаты оценки технико-экономической эффективности разработки: разработаны и обоснованы эффективные параметры применения комплекса химических реагентов синергетического действия при интенсификации скважинной добычи урана в сложных горно-геологических условиях. Эти данные позволят разработать эффективные методы повышения извлечение, разрушения и предотвращения осадкообразования при скважинной добычи урана, восстанавливать проницаемость продуктивного горизонта, повышать производительность и период бесперебойной работы технологических скважин.

Перечень опубликованных работ по теме за 2020 год:

1. Rakishev, B., Kenzhetayev, Z., Shampikova, A., Toktaruly. B. Increase of filtration characteristics in ore bodies by borehole uranium mining. E3S Web Of Conferences, 168, 00014. doi: 10.1051/e3sconf/202016800014

2. Rakishev, B., Mataev M.M., Kenzhetayev, Z., Shampikova, A., Tohtaruly B. Исследования выщелачивания урана из kernовых проб в трубках с применением поверхностно-активных веществ. Mining of Mineral Deposits, 2020 (4) P.

3. Rakishev, B., Mataev M.M., Kenzhetayev, Z., Shampikova, A., Tohtaruly B. Innovative methods for intensifying borehole production of uranium in ores with low filtration characteristics Известия Национальная академия наук. Республики Казахстан Серия «Геологии и Технических наук» 2020 №6

Проект 2. «Разработка бесцианидной технологии извлечения золота из труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья» – АР05133041 (научный руководитель д.т.н., проф. Бегалинов А.Б.)

Краткие выводы по результатам НИР. На основании проведенных исследований согласно календарного плана работ на 2020 год можно сделать следующие выводы:

Разработан новый способ электрохимического осаждения золота непосредственно из бедных тиосульфатных растворов, который позволяет упростить и удешевить технологический процесс за счет исключения громоздких переделов сорбции и десорбции золота перед электролизом.

Способ электрохимического извлечения золота из тиосульфатных растворов, заключающийся в том, что

1. С целью селективного и интенсивного извлечения золота из бедных по содержанию металла растворов, процесс осаждения золота производят в виде сульфидного соединения золота на катоде при низком напряжении в электрохимических ячейках, например, 2-3 в и высоких плотностях тока на катоде, например, выше 140 А/м².

2. Способ по п. 1., отличающийся тем, что для снижения потерь электрического тока во внешних сетях, вызванных использованием в процессе электролиза высоких плотностей тока, процесс проводят в условиях биполярного электролиза, где электролит выполняя роль проводника второго рода исключает использование внешних сетей и контактов.

Способ по п.п. 1, 2 отличающийся тем, что получающиеся катодные осадки сульфида золота с примесями элементной серы перерабатывают по известным технологиям, включающим обжиг – плавку осадка с получением из огарка золотосодержащего слитка, а из обжиговых газов при санитарной очистке щелочными реагентами получают тиосульфатный реагент, используемый для выщелачивания золота из исходного сырья.

В целях повышения эффективности нового способа электрохимического осаждения золота непосредственно из тиосульфатных растворов разработана конструкция биполярного электролизера обеспечивающий ускоренную эвакуацию продуктов процесса из межэлектродного пространства: твердых за счет сил гравитации вниз, а газообразных также за счет естественных причин строго вверх, предотвращая их взаимный контакт.

Биполярный электролизер с плоско-параллельными биполярными электродами, погруженными вертикально в электролит отличающийся тем, что:

1. С целью снижения прохождения вторичных реакций в межэлектродных пространствах и повышения за счет этого показателей процесса электролиза, электроды устанавливают в электролит параллельно с наклоном к горизонтальной поверхности с зеркалом катодной поверхности обращенной вниз и анодной вверх при формировании твердого целевого продукта на катоде, при этом линия нижнего среза предыдущего электрода не должна заходить за проекцию линии верхнего среза каждого последующего электрода.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что с целью минимизации времени пребывания и контактов продуктов электрохимического процесса в межэлектродном пространстве ширина электродов по размерам должна превышать высоту при сохранении требуемой поверхности электродов.

3. Способ по п.1 и п.2 отличающийся тем, что при формировании целевых продуктов в электролизере на анодной поверхности, например, при получении диоксида марганца и т.п., наклон электродов меняется в обратную сторону или меняются в другую сторону электрические полюса.

В результате обобщения результатов испытания нового способа электрохимического осаждения золота непосредственно из бедных тиосульфатных растворов с применением новой конструкции биполярного электролизера подана заявка на изобретение.

Оценка полноты решения поставленных задач. Предлагаемая технология переработки сырья, по сравнению с используемой в настоящее время цианидной технологией, является экологически безопасной и экономически эффективной. Существенно упрощается аппаратное оформление технологических переделов извлечения золота, уменьшается капиталоемкость производства, достигается мультипликативный эффект.

Перечень опубликованных работ по теме за 2020 год:

1. Begalinov, A., Almenov, T., Zhanakova, R., Bektur, B. «Analysis of the stress deformed state of rocks around the haulage roadway of the beskempir field (Kazakhstan)» Satbayev University, Almaty, 50013, Kazakhstan. Mining of Mineral Deposits. Volume 14, Issue 3, 2020, Pages 28-36.
2. Begalinov, A., Khomiakov, V., Serdaliyev, Y., Iskakov, Y., Zhanbolatov, A. «Formulation of methods reducing landslide phenomena and the collapse of career slopes during open-pit mining» (Conference Paper). Satbayev University, Kazakhstan. Volume 168, 6 May 2020, Номерстатья 000062nd International Conference Essays of Mining Science and Practice, RMGET 2020; Dnipro; Ukraine; 22 April 2020.
3. Zhanakova, R.^a, Pankratenko, A.^b, Almenov, T.^a, Bektur, B.^a «Rational selection of the form of support for the formation of genetic composition of rocks in the conditions of the Beskempir». ^aKazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (Satpayev University), Almaty, Kazakhstan. ^bNational University of Science and Technology (MISIS), Moscow, Russian Federation. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences Volume 1, Issue 439, 2020, Pages 106-113
4. Бегалинов А.Б., Шаутонов М.Р., Алменов Т.М., Бектур Б.К., Искаков Е.Е. Монография/ Бесцианидная технология переработки золотосодержащего минерального сырья – Алматы: Издательство КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2020. -332 с.
5. А. Бегалинов, М.Р. Шаутонов, Т.М. Алменов, Жанакова Р.К., Б.К. Бектур. Учебное пособие / Переработка труднообогатимого золотосодержащего природного и техногенного сырья – Алматы. Издательство КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2020. -229 с.
6. А. Бегалинов, М. Шаутонов, С. Юсупов, Т.М. Алменов, С.Б. Юлусов Заявка на патент / Способ извлечения золота из тиосульфатных растворов. 2020.

Проект 3. «Комплектация, оптимальное размещение и высокопроизводительное использование комплексов циклично-поточной технологии при доработке глубоких железорудных карьеров» – АР05133548 (Научный руководитель – д.т.н., проф. Молдабаев С.К.)

Краткие выводы по результатам НИР. Основные результаты исследований заключаются в следующем:

1. Комплектация и обоснование комплексов циклично-поточной технологии (ЦПТ) для условий Качарского карьера приведено в «Технико-экономическое обоснование целесообразности перехода на транспортирование горной массы комбинированным автомобильно-конвейерно-железнодорожным видом транспорта и выбор типа автосамосвалов на Качарском карьере АО «ССГПО».
2. Повышение эффективности применения ЦПТ обеспечат разработанные на уровне изобретений: сквозной пункт разгрузки автосамосвалов (патент РК на изобретение № 34570 и заявка РСТ по ней переводится в национальную фазу), исключая их маневрирование и обеспечивающий на постоянной основе максимальную равномерную загрузку конвейерного подъемника; устройство для перегрузки с конвейера в думпкары с сокращением ширины транспортно-погрузочных площадок в 1,5 раза; транспортная установка для доработки приконтурных запасов под целиками железнодорожных путей, позволяющая производить расконсервацию нерабочего борта с одновременной установкой на нем комплекса ЦПТ в условиях увеличения результирующего угла откоса борта карьера.
3. Разработан алгоритм оптимизации по глубине зон эксплуатации сверху вниз железнодорожного транспорта, автомобильного транспорта на подъем с перегрузкой горной массы в железнодорожный транспорт, а также на спуск и подъем с перегрузкой горной массы на конвейерный подъемник. Его апробация выполнена для оставшихся в предельных контурах сверхглубокого Качарского карьера объемов горной массы (пород рыхлой и скальной вскрыши, руды). По сравнению с применением только автомобильного транспорта себестоимость транспортирования оставшегося объема горной массы можно снизить на 50,8% (меньше на 6,4 млрд. USD).
4. На новые элементы комплексов ЦПТ разработана технологическая документация. Для разработанного нового перегрузочного устройства с автотранспорта на конвейер с обеспечением сквозного проезда автосамосвалов над бункером ширина площадки концентрационного горизонта уменьшится в 2 раза. Подготовлены рекомендации по расчету количества перегрузочных пунктов и обслуживающих их автосамосвалов для этого устройства перегрузки

с автосамосвалов на конвейер. В диапазоне годовой производительности по руде 18–40 млн. т в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов (90–450 т) количество перегрузочных пунктов изменяется от 1 до 3. Установлено, что наиболее эффективно применять одновременно 25–55 автосамосвалов с учетом календарного плана работы горного предприятия.

5. Установлены параметры расположения на двух горизонтах устройства для перегрузки скальных пород с крутонаклонного конвейера (КНК) в железнодорожный транспорт. За счет сокращения ширины транспортно-погрузочной площадки на 25–30 м объем выемки пород вскрыши по разному северо-западного борта Качарского карьера можно снизить до 250–280 тыс. м³. Рациональное использование выемочно-погрузочного и транспортного оборудования в одной линии при одновременной загрузке локомотивосоставов через два горизонта непосредственно с конвейера и через штабель сокращает время их погрузки на 24–33%, в зависимости от распределения объемов перегрузки между этими горизонтами.

6. В качестве подъемно-транспортного оборудования предлагается использовать крутонаклонный конвейер под углом 42° с высокими перегородками и гофрированными бортами, на котором расчетный подпорный элемент создаст необходимые условия для отсутствия скатывания груза вниз.

7. Системные положения по проектированию циклично-поточной технологии для глубоких и сверхглубоких карьеров разработаны для карьерных полей округлой формы и основаны на разработанных технологиях производства горных работ в зоне рыхлых пород драглайнами в комплексе с ж.д. транспортом и зоне скальных пород крутонаклонными слоями, наиболее адаптированные под ЦПТ и разработанные новые элементы комплектации его комплексов: с автотранспорта на конвейер; с конвейера на ж.д. транспорт и для глубинной зоны доработки приконтурных запасов подъемно-транспортным устройством.

8. Положения по комплектации, оптимальному размещению и высокопроизводительному использованию комплексов ЦПТ при доработке глубоких железорудных карьеров содержат основные результаты работы за 2018–2020гг.:

- комплектация комплексов ЦПТ сокращает разнос бортов глубокого карьера под концентрационный горизонт в 2 раза и обеспечивает проектную производительность крутонаклонного конвейера (КНК) за счет устранения недозагрузки конвейера и простоев в ожидании порожних локомотивосоставов;
- методика установления границ применения ж.д. транспорта, КНК и комбинированных видов транспорта апробирована через ТЭО, подготовленное для АО «ССГПО».

Перечень опубликованных работ по теме за 2020 год:

МОНОГРАФИИ

1. Молдабаев С.К., Шустов А.А., Султанбекова Ж.Ж., Адамчук А.А. Горнотранспортные системы глубоких и сверхглубоких карьеров: монография. – Алматы: SatbayevUniversity, 2020. – 482 с. ISBN 978-601-228-261-0.

СТАТЬИ

1. Babets D.V., Kovrov O.S., Moldabayev S.K., Terescuk, Sosna D.O. Impact of water saturation effect n sedimentary rocks strength properties // NaukovyiVisnykNatsionalnohoHirnychohoUniversytetu (Scientific Bulletin of the Open Mining University), 2020. – № 4. – pp. 76-81 (CiteScore 2019 – 1,5, Процентильпокатегории Earth and Planetary 45-50). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/076>

2. Moldabayev S.K., Sdvizhkova E.A., Babets D.V., Rysbekov K.B., SarybaevN.O. Taking into account stochastic range of properties of rocks in the design of mining // 20 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. – Albena, Bulgaria, 2020. (Scopus, CitScore 0,25).

3. Патент РК на изобретение № 34570 от 11.09.2020г. по заявке № 2019/0143.1 от 21.02.2019г. Устройство для перегрузки скальных пород с автотранспорта на конвейерный подъемник. Заявители НАО «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» и АО «ССГПО». / Молдабаев С.К., Кузьменко С.В., Калужный Е.В., Дриженко А.Ю., Адамчук А.А.

4. InternationalapplicationNoWO 2020/171683 от 27 августа 2020 по заявке NoPCT/KZ2019/000012 patentcooperationtreaty «Устройство для перегрузки скальных пород с автотранспорта на конвейерный подъемник». Internationalfilingdate 22 July 2019. Prioritydate 21 February 2019. Заявители НАО «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» и АО «ССГПО». / Moldabayev S.K., Kuzmenko S.V., KaluzhnyiY.S., DrizhenkoA.Y., AdamchukA.A.

Проект 4. Совершенствование управления технического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель на открытых горных работах – АР05131591 (научный руководитель к. т.н., доц. Рысбеков К)

Краткие выводы по результатам НИР.

По результатам выполненных исследований разработаны рекомендации по совершенствованию управления технического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель в условиях техногенного загрязнения горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Изучены нарушения ландшафта, почв и растительного покрова в процессе ведения горных работ с использованием наземного лазерного сканирования и обоснование направления рекультивации нарушенных земель, пути интенсификации почвообразовательных процессов и формирования поверхности плодородного горизонта для создания благоприятных условий для роста и развития растений.

Для выявления экологических условий Донского горно-обогатительного комбината изучена интенсификация почвообразовательных процессов и формирование на рекультивируемой поверхности плодородного горизонта для создания благоприятных условий роста и развития растений. Произведена эколого-геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами территорий. Получены химические и физико-химические свойства отобранных почв: по разрезу Р1 на горизонте А гумуса содержится 0,57 %, на горизонте В уменьшается до 0,29 %, на разрезе Р2 горизонта А – 0,32 %, горизонта В – 0,25 %, что свидетельствует о слабой гумусированности. Отобранные почвы на целине имеют более высокую гумусированность по сравнению на разрезах Р1 и Р2. В легкоглинистых разновидностях разреза Р3 на верхнем аккумулятивном горизонте А гумус составляет – 2,26 %, с уменьшением на горизонте В – до 1,61 %.

Выявлено, что при ведении горных работ происходит антропогенная трансформация почв и растительности (среды обитания почвенной микобиоты), которая приводит к истощению и сокращению биоразнообразия, изменению их состава, численности, структуры и заражению растений вредными микроорганизмами. При протекании процессов, приводящих к антропогенной трансформации микобиоты, происходят изменения и в растительном покрове, в этих условиях естественная растительность вместе с почвенными микроорганизмами выступает как мощный природный биологический фильтр и биогенный преобразователь.

При определенных условиях и пороговых уровнях аккумуляции многих техногенных элементов наступают негативные изменения растительных сообществ и создается реальная опасность нарушения окружающей среды с вытекающими серьезными последствиями. Тяжелые металлы вызывают резкое снижение численности микромицетов в почве, при этом повышается чувствительность микробного населения к поллютантам.

Грибные сообщества почвенных образцов, наземной части растений и их ризосферы характеризуются конкретным видовым разнообразием, специфической группой доминантных видов. Видовой состав грибов, выделенных с листьев и стеблей растений свидетельствует о высоком содержании фитопатогенных грибов (78,57 % от общего числа) и только 21,43 % составили анаморфные грибы. Среди ризосферных грибов преобладают сапротрофные гифомицеты, составившие более 70 % от их общего числа, практически отсутствуют биотрофные паразиты.

Фитопатогенные грибы, идентифицированные с наземных органов (стебли и листья) растений – хозяев, относятся к 44 видам из 5 родов и 3 семейств головневых и ржавчинных грибов, почвенные микромицеты представлены 12 видами анаморфных грибов.

В природных условиях все виды высших растений не могут нормально расти и развиваться в условиях специфической среды субстратов промышленных отвалов. Олиготрофность видов, а также их засухоустойчивость и солеустойчивость являются важными характеристиками при выборе ассортимента видов для рекультивации нарушенных земель. Наибольший эффект для биологической рекультивации может быть получен при использовании видов с широкой экологической амплитудой, способных в короткий срок сформировать высокопродуктивное растительное сообщество.

В результате геоботанического описания растительности объектов исследования и прилегающих территории был составлен список потенциальных видов-фитомелиорантов, со-

стоящих из представителей 23 родов растений, пригодных для осуществления биологического этапа рекультивации техногенно нарушенных земель степной зоны Казахстана.

Разработаны рекомендации по совершенствованию биологического этапа рекультивации, включающие также опытно-агрономические исследования, выбор ассортимента культур и применения технологии внесения микробиологического препарата при биологической рекультивации нарушенных земель.

Перечень опубликованных работ по теме за 2020 год:

Kalybekov T., Rysbekov K.B., Sandibekov M.N., Zhakypbek Y., Begymzhanova Y.Y. (2020). The study of rational technology of reclamation of the mine-out quarry space. *Journal of Advanced research in natural science*. №9. P.63-70.

Т. Калыбеков, М.Н. Сандибеков, К.Б. Рысбеков, Ы. Жакыпбек, Н.Н. Каирбеков Обоснование рациональных способов рекультивации откосов внешних формируемых отвалов. **Сборнике представлены материалы конференции Сатпаевские чтения.– Алматы: КазНИТУ, 2020. – С. 383-387.**

T. Kalybekov, K. Rysbekov, M. Sandibekov, Y.Li Bi, A.Toktarov. (2020) Substantiation of the intensified dump reclamation in the process of field development. *Miningmineraldeposit*. 2020. 14(2): P.59-65. (CiteScore – 1,7. Перцентиль 60)

Рысбеков К.Б., Усен К., Муканова Г.А., Жакыпбек Ы. Результаты исследования степной растительности и фитомелиорация отвалов. *Горный журнал Казахстана*, № 9, 2020. – С.41-49.

Т. Калыбеков, К.Б. Рысбеков, М.Н. Сандибеков, Ы. Жакыпбек, А.С. Эбен. Обоснование эффективности управления рекультивацией нарушенных земель. *Вестник КазНИТУ*, № 5, 2020. – С.77-81.

Калыбеков Т., Сандибеков М.Н., Рысбеков К.Б., Жакыпбек Ы., Усен К., Ахтаева Н.З., Муканова Г.А. Управление рекультивацией нарушенных земель на открытых разработках. Монография. – Алматы: 2020. – 284 б.

Kalybekov T., Bi Yin Li, Sandibekov M., Rysbekov K., Zhakypbek Y. Reclamation of disturbed lands at mining enterprises: – Almaty: Satbayev University, 2020 – 100 p.

Проект 5. «Разработка системы прогноза и методов геомониторинга за смещениями горного массива на опасных участках земной поверхности при освоении недр на основе инновационных методов ГИС-технологии» (научный руководитель – д. т. н., проф. Байгурин Ж.Д.)

Краткие выводы по результатам НИР:

1) разработан метод построения цифровых карт сдвижений и оседаний земной поверхности на основе инновационных технологий высокоточного геодезического наблюдения и методов ГИС;

2) выполнена корректировка методов прогнозирования, учитывающая структурный и физико-механические свойства горного массива.

3) обоснованы и построены цифровые карты смещений для прогноза возможного проявления рисков ситуации методами ГИС-технологии и комплексного геодезического инструментального наблюдения;

4) определена корреляционная взаимосвязь между превышениями в разных циклах наблюдений с коэффициентом корреляции от 0,28 до 0,72;

5) проведено геодезическое обеспечение геодинимического мониторинга по четырем профильным линиям;

6) разработаны рекомендации по оценки последовательности отработки и выемки балансовых запасов с учетом структуры и физико-механических свойств горного массива по цифровым картам смещений земной поверхности;

7) усовершенствован метод зонного районирования дневной поверхности месторождения по степени првалоопасности на основе геоэнергии, обеспечивающего точность определения границ провалоопасных зон на 75% выше чем существующий.

2.27. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д. А. КУНАЕВА»

В 2020 году в Институте горного дела им. Д.А. Кунаева (далее – Институт) выполнялись прикладные исследования по следующим программам и проектам:

● *по заданию Комитета науки МОН РК в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований на 2018-2020 годы»: Выполнялось 4 проекта по приоритетным направлениям:*

по приоритету: Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции.

по подприоритету: Геология и разработка месторождений полезных ископаемых.

1. Создание устройств и технологии поточной отбойки горных пород гиперзвуковыми выбросами гидрозарядов (руководитель: академик НАН РК Буктуков Н.С.).

Основные результаты:

Разработан технико-экономический расчет (ТЭР) отработки компактного рудного тела по поточной гидроимпульсной технологии на примере отработки крутопадающего вольфрамного штокверка месторождения Акмая. Получена рецензия на ТЭР специализированной экспертной организации. Выдан табличный материал результатов полной отработки месторождения Акмая. Новый метод обеспечивает полную отработку рудного тела с поверхности до отметки –450 м одной системой. Расчётный экономический эффект составляет 328056,7 тыс. \$.

2. Проектирование автоматизированной системы позиционирования и связи для мониторинга горнотранспортных процессов и принятия оперативных управленческих решений при открыто-подземных способах разработки месторождений полезных ископаемых (руководитель: член-корр. НАН РК Галиев С.Ж.).

Основные результаты:

Разработаны: автоматизированная система позиционирования и связи для мониторинга горнотранспортных процессов и принятия оперативных управленческих решений при открыто-подземных способах разработки месторождений полезных ископаемых, бортовой комплекс для подвижного транспорта и программное обеспечение при открыто-подземных способах разработки. Осуществлено тестирование и опытно-промышленное испытание разработок.

по подприоритету: Информационные системы и базы данных

3. Разработка программно-технического комплекса системы высокоточного спутникового позиционирования для месторождения АО «ССГПО» (руководитель: Балтиева А.А.).

Основные результаты:

Создан протокол передачи центра дифференциальной коррекции на предварительные испытания и разработан алгоритм проведения предварительных испытаний. Разработанная система успешно прошла все испытания и введена в промышленную эксплуатацию на Качарском карьере.

по подприоритету: Прикладные исследования в области естественных наук

4. Разработка методической инструкции по определению нормативных показателей потерь и разубоживания руды с рыночной оценкой добычи для проектирования и эксплуатации месторождений Казахстана открытым, подземным и комбинированным способами (руководитель: канд. техн. наук Джангулова Г.К.).

Основные результаты:

Рекомендован порядок применения комбинированной геотехнологии, связанный с закладочными работами в комбинации с ведением очистных работ с технологией самообрушения руды на этаже обрабатываемого горизонта в эксплуатационном блоке от центра к флангам и по вертикали при отработке блока горные работы ведутся сверху вниз. Разработанный Технологический регламент по применению комбинированной геотехнологии на глубоких горизонтах –480/-640 м шахты ДНК ДонГОКа согласован и рекомендован к применению на техническом совещании Донского ГОКа (Протокол ТС от 01.10.2020 г).

● по заданию Комитета науки МОН РК в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований на 2020-2022 годы»:

по приоритету: Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции
по подприоритету: Геология и разработка месторождений полезных ископаемых

1. **Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели (руководитель: PhD Съедина С.А.).**

Основные результаты:

Разработана инструкция по сбору исходных геотехнических данных при проведении инженерно-геологических изысканий, по обработке и анализу собранных геотехнических данных о прочностных и структурных особенностях массива горных пород. Разработана методика по выделению доменов по геолого-геотехническим характеристикам и построения геологической модели. Рассмотрены основные особенности и этапы создания геомеханической модели при разработке открытым способом. Построена трехмерная структурная модель карьера с нанесением основных геологических структур – тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости.

в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» подпрограмма 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности на 2018-2020 годы» по теме «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике» (руководитель – член-корр. НАН РК Шамганова Л.С.).

Проекты 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.).

7. ТОО «НИПИ «Казтехпроект»: «Развитие методологии проектирования горных работ с учетом цифровизации процессов» (руководитель: член-корр. НАН РК Галиев С.Ж.).

Основные результаты:

1. Разработан и отлажен комплекс оптимизационных экономико-математических моделей, алгоритмов и программ, обеспечивающий возможность решения этих задач на корпоративном, рудничном и внутрирудничном уровнях управления.

2. Разработаны принципы построения и топология архитектуры системы технологического менеджмента процессов на карьерах, обеспечивающие возможность гибкого нормирования на основе системного подхода с использованием метода имитационного моделирования работы горнотранспортного комплекса карьера.

3. Разработана «Методика динамического проектирования горнотранспортных работ с применением методов имитационного моделирования и пооперационного представления горнотранспортных процессов».

4. Разработана методика построения автоматизированной системы позиционирования персонала, подвижной техники и оповещения персонала и методика построения системы поиска людей под завалами на горнодобывающем предприятии. Получен Акт апробации методики. Разработано программно-техническое обеспечение системы поиска людей под завалами на горнодобывающем предприятии и расширены возможности системы позиционирования персонала,

подвижной техники и оповещения персонала на горнодобывающем предприятии. Разработанные методики прошли апробацию на ТОО «Восход-Oriel». Выполненные работы позволили начать коммерциализацию. На данный момент разработанная автоматизированная система позиционирования персонала и подвижной техники, оповещения персонала и поиска людей под завалами внедряется на руднике «Суздальский» АО «ФИК «АЛЕЛ».

5. На основе разработанных в 2018-2019 гг. эффективных и безопасных способов отработки наклонных залежей средней и малой мощности для конкретных условий Жезказганского месторождения разработан «Технологический регламент на проектирование опытно-промышленных испытаний нового варианта системы отработки». Он прошел процедуру согласования на Восточно-Жезказганском руднике ТОО «Корпорация «Казахмыс» и передан в Головной Проектный институт для дальнейшего внедрения.

6. Разработана технология взаимодействия комплекса горных машин для безвзрывной добычи. Разработана технологическая схема вторичного дробления горных пород с применением электромагнитного молота с цифровым управлением. Проведенный расчет показал, что безвзрывной способ с применением ЭММ эффективней шпурового в 7 раз.

7. Проведены экспериментальные работы на изготовленном модуле для моделирования процессов выщелачивания. Анализ результатов полупромышленных испытаний по выщелачиванию образцов шлакоотвала отходов медного производства подтвердил результаты лабораторных испытаний – процессы растворения при выщелачивании достигаются применением активированной воды в присутствии катализаторов, а автономность режима внешнего воздействия успешно реализуется узлом преобразователя энергии. Разработан и утвержден на руднике «Северный» ПО «ЖЦМ» ТОО «Корпорация «Казахмыс» «Технологический регламент на опытно-промышленную проверку разработанной технологии переработки ТМО».

8. Разработан технологический регламент на технологию получения, вяжущего с использованием золошлаков. Разработаны природоохранные мероприятия, позволяющие снизить негативное влияние золошлаков на окружающую среду. Разработана технология проведения биорекультивации золошлаков с использованием новых физиологически активных препаратов-стимуляторов роста растений из бурых углей, обеспечивающая подавление пыли и газа, исходящих с поверхностей золошлаковых отвалов. Для биологической рекультивации золошлаковых отвалов ТЭЦ АО «ССГПО» предложен агромелиоративный прием предпосевной обработки семян местных дикорастущих растений гуминовым препаратом.

Проекты по договору с РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», выполненные Институтом в 2020 году по программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности на 2018-2020 годы» по научно-технической программе BR05236263 «Создание основ серийного производства казахстанских источников возобновляемой энергии мирового уровня»:

1. «Разработка солнечных батарей с повышенным коэффициентом полезного действия порядка 45% по патенту РК № РК №31796 (вариант 7) (2016 г.) и/или по патенту РК №2320 (2017 г.)». (Руководитель: академик НАН РК Буктуков Н.С.)

Основные результаты:

Изготовлены детали солнечной батареи. Произведена сборка экспериментальной солнечной батареи, проведены экспериментальные исследования работы физической модели солнечной батареи. По результатам экспериментальных работ изготовлена опытная солнечная батарея, проведены испытания, установлен высокий потенциал и выявлены «узкие» места.

2. «Разработка, изготовление и испытание ветроэлектростанции (ВЭС) по патенту РК №31790 (2016 г.) выходной мощностью 5 кВт, работающей на ветрах резко континентального климата со скоростью до 50 м/с и с повышенными коэффициентами полезного действия, использования мощности и использования во времени». (Руководитель: Буктуков Б.Ж.)

Основные результаты:

Изготовлен опытный образец ветроэлектростанции, смонтирован в ветровом Чиликском коридоре у села Нурлы и сдан в опытную эксплуатацию. Подготовлена конструкторская документация на изготовление ветроэлектростанции.

Практическая деятельность

В рамках 6 хозяйственных работ Институт в 2020 году выполнил работы на сумму 35 424 тыс. тенге для 5 горнодобывающих предприятий Казахстана: АО «ССГПО», ТОО «Восток-Oriel», рудник «Суздальский», ТОО «ЭКОСЕРВИС-С», АО «AltynExCompany».

Патентно-лицензионная деятельность

С целью патентно-правовой защиты выполняемых разработок в 2020 году подано 5 заявок, в том числе: о выдаче патентов РК на изобретение – 0; о выдаче патента РК на полезную модель – 5.

С целью коммерческой реализации объектов промышленной собственности осуществлялось поддержание действия 1 охранного документа РК.

В отчетном году получено 3 отечественных заключения о выдаче охранных документов на объекты промышленной собственности, опубликовано 6 охранных документов, в том числе патент РК на изобретение – 6, зарубежных – 0.

Получено 9 свидетельств о внесении сведений в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом.

Издательская деятельность

За 2020 год опубликовано всего **37 публикаций**, в том числе:

– **1 монография**;

– **31 научных статей**, из них:

1. В рецензируемых научных журналах, входящих в 1-3 квартиль по данным JCRofCA или имеющих в БД Scopusпроцентиль не менее 35 – 0;
 2. В научных журналах, индексируемых РИНЦ и другими международными базами с ненулевым импакт-фактором – 22;
 3. В изданиях, рекомендованных ККСОН – 7;
 4. В научных изданиях – 2;
- **5 научных докладов** международного уровня.

Образовательная деятельность

В 2020 году работа по подготовке кадров осуществлялась в рамках реализации ранее подписанных договоров Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» с другими организациями.

В магистратуре обучались 3 сотрудника Института, в PhD-докторантуре обучались 6 сотрудников по специальностям «Горное дело», «Геодезия» и «Вычислительная техника и программное обеспечение». 1 сотрудник Института защитил *PhD-докторскую диссертацию* по специальности «Экология», 1 сотрудник защитил магистерскую диссертацию.

2.28. КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Разработка контурной технологии крепления выработок с управлением техногенным состоянием угле-породного горного массива вмещающих пород, УДК 622.267, МРНТИ 52.13.23, № гос.рег. 0118РК00715, договор №198-13 от 16.03.2018г. с Комитетом науки МОН РК, научный руководитель Демин В.Ф., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО КарГТУ

Основные результаты в 2020 г.

Реализация и внедрение в промышленных условиях систем контурного и многоцелевого заложения для крепления горных выработок инновационных технологических схем разноцелевого закрепления контуров выработок с воздействием на напряженные зоны околоконтурных пород. Изготовлены и проведены стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок. Выполнены опытно – промышленные испытания с внедрением в производство составных анкером на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» и внедрены в производство системы многоцелевого заложения для крепления горных выработок (протокол о намерениях внедрения технологии в произ-

водство). Произведена сертификационная оценка технических параметров систем многоцелевого заложения. Проведены производственные испытания и внедрение составных анкеров при креплении на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» и получен протокол о намерениях внедрения в производство.

Шахты проявили заинтересованность в сотрудничестве с кафедрой РМПИ КарГТУ в области совершенствования технологии, способов и средств анкерного крепления.

По результатам исследований опубликованы: монография в зарубежном и 3 монографии в казахстанском издательствах; три статьи в рецензируемом зарубежном научном издании с ненулевым импакт-фактором (база Scopus) и две – в международной базе данных ClarivateAnalytics; 6 статей в рецензируемом отечественном научном издании с ненулевым импакт-фактором (база КазБЦ, КК СОН РК); 4 тезисов на Международной научно-практической конференции в РК (в т.ч. 2 – совместно с Россией); учебник на английском языке и подано на публикацию учебное пособие в КарГУ. Получены 4 патента, объект интеллектуальной собственности РК; 4 положительных решения о выдаче патентов; подано 4 заявки на патент РК и одна – на Евразийский патент.

Выполнено изготовление и стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок

Произведена разработка конструкторской документации, скорректированной по результатам стендовых и шахтных испытаний на изготовление опытной партии образцов составного (наращиваемого, стыкуемого) металлического сталеполимерного анкера с использованием возможностей конструкторской службы и базы станочного оборудования ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум» и механического цеха шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» – рисунок 1.

Испытаны различные конструкции соединительных муфт – см. рисунок 1.2. Звенья стержней анкера соединены между собой анкерной соединительной муфтой: диаметр наружный 25 мм под шпур диаметром 28 мм из стали марки 30ХГСА, 35, 40 ГСА, или КГСА с цементированием.

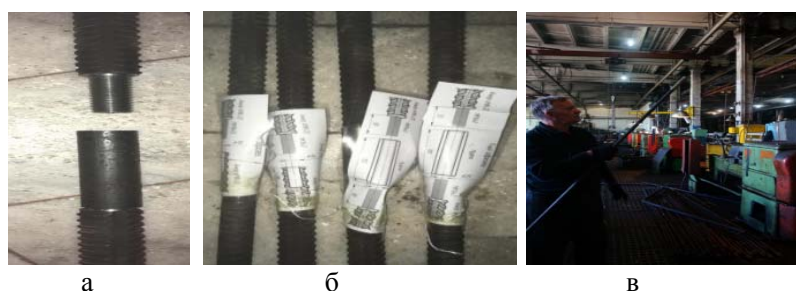


Рисунок 1– Соединительные муфты, типы метрических резьб для модификаций составного анкера
в – образцы на испытание; – готовый анкер

Стендовые испытания на разрывное усилие опытно-промышленных образцов, изготовленных в механическом цехе шахты «Абайская» проведены на канатно-испытательной станции предприятия «Углесервис» ПУ «Энергоуголь» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» (рисунок 2).

Стендовые испытания показали, что: при составном анкере с внутренним диаметром 20 мм, резьба М1,5 мм разрывное усилие составило 12,5–13,0 т с разрывом по сечению соединительной муфты с наружным диаметром 25 мм, внутренним 20,5 мм с минимальной толщиной стенки 2,5 мм; при анкере с диаметром в месте накручивания соединительной муфты 17,5 мм – резьба М1,5 мм, толщине стенки муфты 3,7 мм разрывное усилие составило 15,1– 15,5 т и разрыв произошел также по муфте; при анкере с диаметром в месте соединения 16 мм муфтой разрывное усилие составило 14 т при разрыве самого анкерного стержня.

Произведены опытно – промышленные испытания с внедрением в производство составных анкеров при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

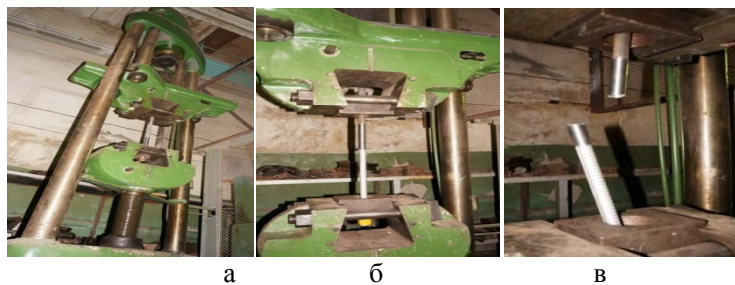


Рисунок 2 – Стендовые испытания конструкций составных анкеров в Управлении «Углесервис» ПУ «Энергоуголь» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»
 а – общий вид стенда; б – установка составного анкера в обоймы на полноразмерном стенде;
 в – разрыв соединительной муфты составного анкера при нагружении на растяжение

Отдельные виды по процессам и последовательности установки составных анкеров представлены при опытно – промышленных испытаниях составных анкеров при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» (рисунок 3).

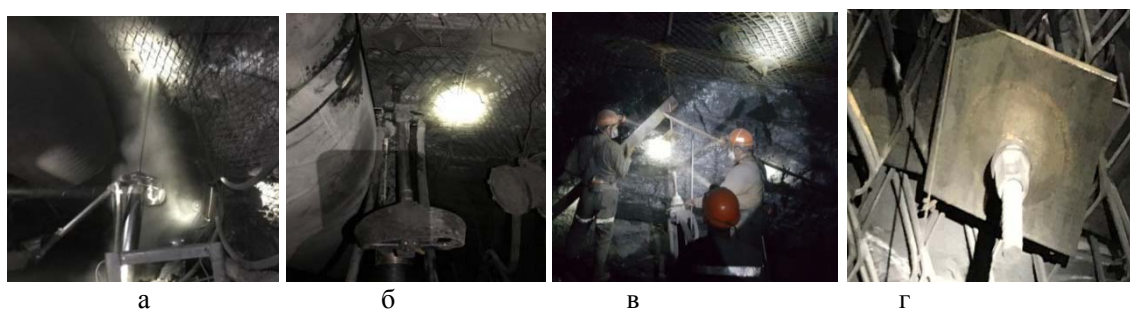


Рисунок 3 – Последовательности установки составных анкеров представлены при опытно – промышленных испытаниях составных анкеров при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»
 а – бурение шпуров; б – установка анкеров; в – возведение прогонов; г – установленный анкер; наращивание стержня анкера

Проведение промышленного эксперимента на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» состояло в следующем. При проведении горных выработок и разработке угольных пластов вследствие нарушения равновесия горных пород и перераспределения естественных напряжений в шахтах возникают геомеханические процессы в виде деформаций, разрушений, перемещений и сдвижений массивных структур горного массива, при этом на процесс хода горного давления, в результате взаимодействия угле-вмещающих пород с горными выработками оказывают влияние геологические, горнотехнические и технологические факторы.

Произведено изготовление и стендовые испытания комбинированных канатно-тросовых анкеров глубокого заложения на ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум» и на производственной площадке ТОО КЛМЗ (Карагандинский литейно-механический завод ТОО «Корпорация Казахмыс»).

Соединение троса и металлического стержня достигается следующим образом. Металлический анкер, состоящий из стержня арматурного проката винтового профиля диаметром 25 мм и канат, из 6 сплетенных проволок диаметром 6 мм и установленным в середине стержнем диаметром 6 мм.

На рисунке 4 демонстрируется комбинированный анкер глубокого заложения со стальной опорной частью и пружинной несущей прочной проволочной основой с расположением ее по длине скважины.

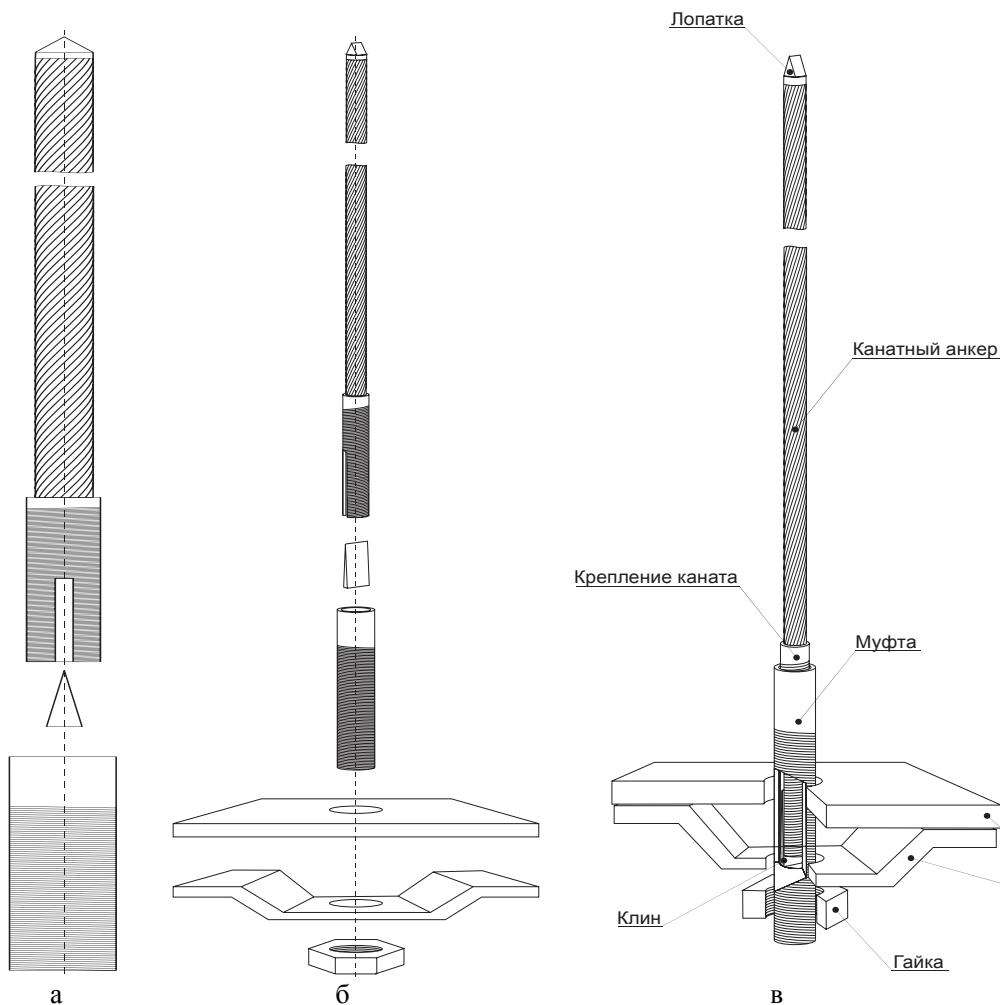


Рисунок 4 – Комбинированный анкер с металлической (стержень) и проволоочной (витковая) частями

а – сборка конструкции; б – элементы и составные части; в – технология эксплуатации с анкером собранным виде

Выполнена апробация полученных результатов в виде отчета и актов об испытаниях и внедрении в производство систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок с получением протокола о намерениях внедрения технологии в производство. разработка бизнес-плана реализации проекта. сертификационная оценка технических параметров систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок

Проведены производственные испытания и внедрение составных анкеров при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

Опытно-промышленные испытания и производственное внедрение составных анкеров произведены при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Ниже представлен отчет об испытаниях. Апробация разработанных технологических решений проведены на шахте «Абайская» Угольного департамента АО АрселорМиттал Темиртау» по креплению составными анкерами (рисунок 5) длиной 4,8 м (10 шт.) конструкции КарТУ на сопряжении конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ – рисунок 6.

В шпур, пробуренные анкероустановщиком СБР (производства Россия) (рисунок 7) диаметром 28 мм и длиной 4,9 м, из которых 3,1 м – заполнено скрепляющим химическим составом.

Крепё составная анкерная состоит из стержня, соединительной муфты, шайбы опорной и гайки, применяется с подхватками различных конструкций и ампулами с быстродействующими полиэфирными составами, время отверждения которых после перемешивания 15–170 с. Закреп-

ление стержней в шпурах диаметром 28 мм осуществляется твердеющим полиэфирным составом, расфасованным в ампулы.

Установка анкерной крепи осуществляется в следующей последовательности. После продвижения забоя выработки на требуемую паспортном крепления величину, производится обработка кровли и боков выработки от отслоившихся кусков угля и породы, устанавливаются на стойках временной крепи подхваты и укладываются на них затяжки. Через отверстия в подхвате бурятся шпуры диаметром 27 – 30 мм необходимой длины под углами установленными паспортном крепления выработки. Стержень анкера с установленными на него шайбой и гайкой вставляется в специальное устройство (адаптор) электросверла буровой установки.

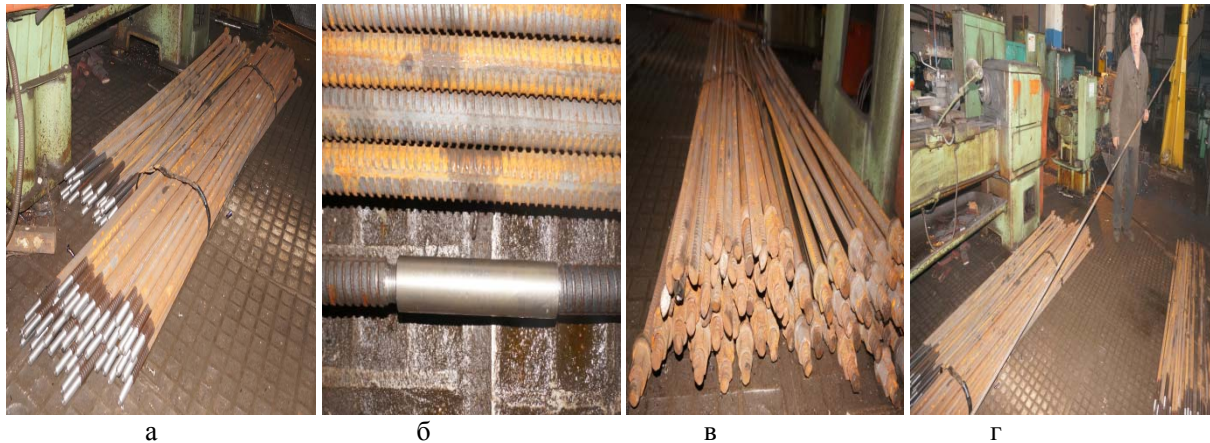


Рисунок 5 – Составной анкер конструкции КарТУ
 а – средняя часть с резьбовым соединительным участком; б – соединительная муфта;
 в – устьевая часть с опорной поджимной гайкой; г – в сборе

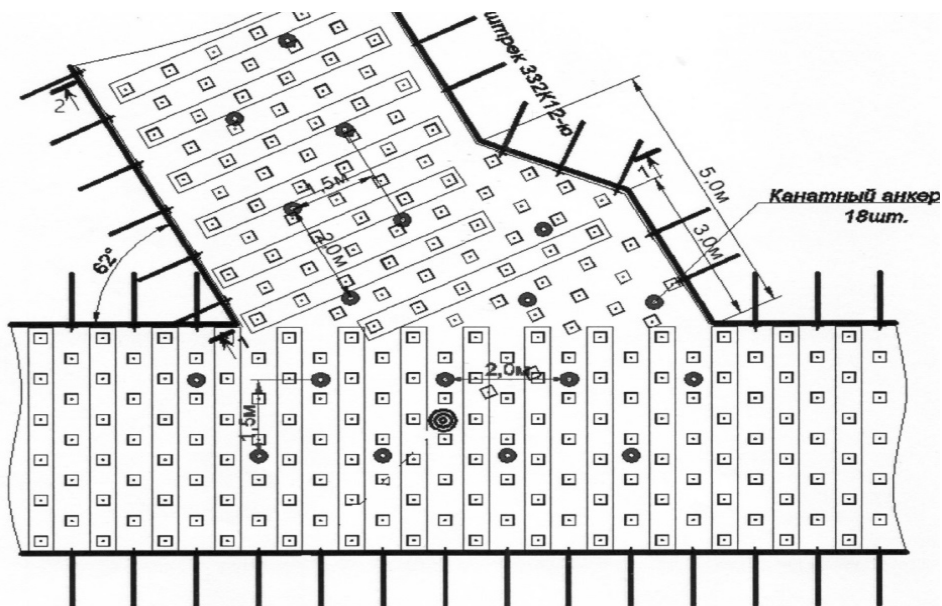


Рисунок 6 – Производственные испытания и внедрение составных анкеров при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

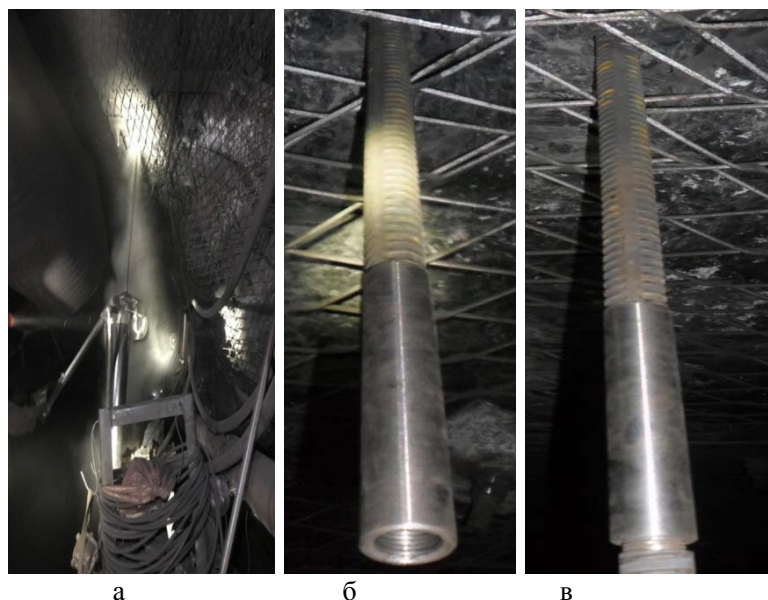


Рисунок 7 – Выполнение процессов бурения шпура анкероустановщиком СБР (а) и монтажа в шпур составного анкера (б, в – соответственно средней и нижней части стержня) в кровлю сопряжении конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀

На технологической схеме представлено расположение составных анкеров (рисунок 8), установленных в кровлю выработки, что положительно повлияло на устойчивость контуров сечения.



Рисунок 8 – Технология установки составных анкеров в условиях сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

а, б – соответственно бурение шпуров в кровлю выработки

Подписан Протокол о намерениях внедрения в производство систем многоцелевого заложения (составных анкеров) для крепления горных выработок на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» и внедрения в учебный процесс результатов научно-прикладных исследований и в учебный процесс при подготовке бакалавров, магистров и PhD докторантов специальности «Горное дело» в КарГТУ.

Разработан бизнес-план коммерциализации и реализации научного проекта «Разработка контурной технологии крепления выработок с управлением техногенным состоянием углепородного горного массива вмещающих пород» (приложение Ж) по внедрению составных анкеров на шахтах Карагандинского угольного бассейна, который включает следующие разделы: описание ситуации на рынке и в отрасли; преимущества; долгосрочные и краткосрочные цели; значимость в национальном и международном масштабе; потребность в инвестициях; место

реализации проекта; ключевые экономические показатели эффективности; этапы выполнения; риски, которые могут возникнуть во время реализации – анализ рисков; описание технологии; конкуренты; анализ применяемых технологий; ожидаемые изменения спроса и предложения; анализ барьеров вхождения на рынок; SWOT-анализ; план производства; бюджет; экологический раздел; стратегия реализации; анализ вариантов коммерциализации; вариант продажи объектов интеллектуальной собственности; необходимость получения лицензии либо разрешения; организационный план; финансовый план; заключение.

Произведена сертификационная оценка технического изделия – анкера металлического составного АС22.

Государственный стандарт РК на «Анкер металлический составной АС22», разработан ТОО «Карагандинский Институт Качества» и КарГТУ в соответствии с опытом применения анкерной крепи в дальнем и ближнем зарубежье, включающий: общие технические условия: область применения, нормативные ссылки, определения и обозначения, классификация, основные параметры и размеры крепи, общие технические требования (характеристики крепи, требования к материалам и покупным изделиям, комплектность, маркировка, упаковка), требования безопасности, правила приёмки, методы контроля, транспортирование и хранение, указания по эксплуатации, гарантии изготовителя, и Настоящий стандарт распространяется на анкерные крепи и определяет размерные, материальные и технологические (эксплуатационные) требования к элементам системы анкерного крепления, включая металлические анкера, стеклопластиковые анкера, смолы, срезные штифты и сферические плитки; ограничения применения различных конструкций анкеров в зависимости от горно-геологических условий проведения выработок.

При разработке проекта ГОСТа на анкер металлический составной АС22) использованы результаты опытно-технологических работ применения анкерной крепи на угольных и рудных предприятиях Казахстана, информация о достижениях отечественной и зарубежной науки, техники и технологии, отчёты Британской компании RMT по применению анкерной крепи на шахтах угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау».

Разработан паспорт на анкер металлический составной АС22, предназначенный для крепления кровли выработок с прочностью пород и углей на сжатие соответственно не ниже 12 и 5 МПа и бортов выработок с прочностью углей и пород на сжатие соответственно не менее 5 МПа при закреплении в шпуре ампулами на основе минеральных композиций или полиэфирных смол (ампульный способ), нагнетанием минеральных композиций или органоминеральных смол (нагнетательный способ), или их сочетанием (ампульно-нагнетательный способ). Выработки, закрепленные анкерами, служат для транспортирования горной массы, доставки оборудования и материалов, передвижения людей и др., включающий следующие разделы: назначение, технические характеристики, комплектность и состав изделия, устройство и принцип работы, указание мер безопасности, подготовка к работе, опробование и испытание, гарантии изготовителя, свидетельство о приемке и упаковке, лист регистрации изменений.

Составной анкер состоит из следующих элементов: анкер металлический составной АС 22, состоит из двух металлических стержней (по 2,4 м) общей длиной 4,8 м, соединенных муфтой, закрепляется ампульным способом ампулами с полиэфирной смолой или быстротвердеющей минеральной композицией. Стержни арматурные с условным диаметром 22,0 мм, условным пределом текучести 1410 Н/мм² (144 кгс/мм²) ГОСТ 13840-68 или ГОСТ Р 53772-2010, соединены муфтой из высокопрочного материала (сталь 30ХГСА 30), гайки, трубы и опорных элементов (шайбы); закрепляющий состав ампул – полиэфирная смола или быстротвердеющая минеральная композиция.

Конструктивно анкер металлический составной АС 22 состоит из следующих элементов: стержней из стали с гомогенной структурой: длина анкера – 3,7...7,0 м; про филь-витой, номинальный диаметр 21,3 мм; материал: предел текучести стали–0,57–0,62 кН/мм²; предел прочности на разрыв составляет минимум на 20 % больше предела текучести; при растяжении анкер не выходит из строя при нагрузке менее 295 кН; плита опорная, изготовлена из стального проката толщиной 6 мм с размером квадрата 200x200 мм с центральным отверстием; сферическая гайка, изготовленная из одной или двух частей (сферической шайбы и гайки): высота сферы 22 мм; высота гайки под ключ 26 мм; стержни анкера соединены между собой анкерной соединительной

муфтой: диаметр наружный (под шпур диаметром 28 мм)–25 мм длина муфты–150 мм; материал для анкерной соединительной муфты – круг диаметром 25 мм из стали марки 30ХГСА.

По результатам выполненных исследований поданы 4 заявки в РГП на ПХВ «НИИС» МЮ РК для проведения формальной экспертизы заявки на изобретение по патентам – полезная модель: «Способ крепления кровли горной выработки»; «Способ крепления выемочной выработки в зоне влияния очистных работ»; «Способ крепления демонтажной камеры»; «Комбинированный анкер»; опубликована 3 научных статьи в зарубежном издании, индексируемом в базе Скопус; зарубежная и 3 казахстанских монографии; 5 статьи в изданиях базы ККСОН; приняли участие и опубликованы 4 тезисов докладов на Международных конференциях, 2 тезиса доклада на студенческой конференции; получены 4 патента РК и в процессе экспертизы находится заявка на евразийский патент.

Опубликована статья в периодической печати (газета «Индустриальная Караганда») с информацией по результатам работ по проекту для Карагандинского региона. Руководитель проекта Демин В.Ф. стал номинантом регионального конкурса инновационных идей «Zamandas».

«Разработка интеллектуальных информационных систем для расчета технологических параметров процессов горного производства», УДК 622.267, МРНТИ 52.13.23, № гос.рег. 0118РК00717, договор №198-12 от 16.03.2018г. с Комитетом науки МОН РК, научный руководитель Исабек Т.К., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО КарГТУ

Основные результаты работы в 2020г. Произведено изготовление партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок и сертификационная оценка их технических параметров (сертификат соответствия) и их внедрение в промышленных условиях. Испытаны и внедрены в промышленных условиях канатные анкера на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Представлена экономическая оценка технологических рекомендаций по повышению безопасности и эффективности ведения очистных и горно-подготовительных работ с использованием автоматизированной геоинформационной системы. Произведена сертификационная оценка технического изделия – канатного анкера АК 19/5 и апробированы полученные результаты при испытаниях технологии на производстве. Производственные испытания и внедрение канатных анкеров произведены на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» и подтверждены намерения о внедрении в производство систем многоцелевого заложения (канатных анкеров). Разработан бизнес-план реализации проекта по внедрению канатных анкеров и информационных автоматизированных систем.

Научная новизна и публикации. Получены три патента РК и свидетельство на объект интеллектуальной собственности; поданы две заявки на патент-полезная модель. Остальные публикации – произведены по плану.

Произведено изготовление партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления горных выработок и сертификационная оценка их технических параметров (сертификат соответствия) и их внедрение в промышленных условиях

На ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум» изготовлена опытно-промышленная партия канатных анкеров с прогрессивными новшествами, реализованными в поданных заявках на патенты по изобретениям.

Технология изготовления канатно-тросовых средств крепления включает следующие технологические процессы: выпрямление пружинной проволоки из круговых бухт; изготовление натяжных гаек, фиксирующей муфты, опорной плитки (рисунок 9; монтаж опорной плитки, фиксирующей муфты и ее расклинивание; скручивание прудков проволок (рисунок 10); запрессовка кольцевого концевика на торец; установка по длине средства крепления фиксирующих проволок.

Проведенные лабораторные исследования пружинной проволоки на разрыв подтвердили ее техническую характеристику, которая составляет 1830 н/мм². Для увеличения разрывной характеристики предложено в средствах крепления использовать только пружинную проволоку диаметром 6 мм.



Рисунок 9 – Изготовление и монтаж опорной плитки, фиксирующей муфты и ее расклинивание



Рисунок 10 – Скручивание прутков проволок на смежно разнесенных станках
а – общий вид станков; б – проволоки в патроне

На рисунке 11 представлены изготовленные опытные образцы канатных анкеров на ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум».



Рисунок 11 – Изготовленные опытные образцы канатных анкеров на ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум»
а, б – виды соответственно с торца и сбоку

Проведены стендовые испытания канатных анкеров на испытательном стенде карагандинского института ТОО «Промстройпроект».

Проведенные лабораторные исследования пружинной проволоки на разрыв подтвердили ее техническую характеристику, которая составляет $1,83 \text{ кН/мм}^2$ (рисунок 12). Для увеличения разрывной характеристики было предложено в анкерах использовать только пружинную проволоку диаметром 6 мм.

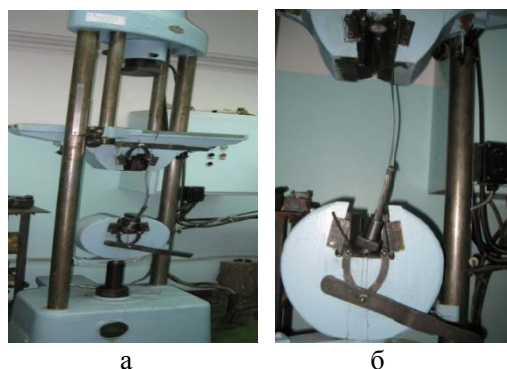


Рисунок 12– Испытания конструкций канатных анкеров (ТОО «Промстройпроект»)
а–общий вид стенда; б–испытание проволоки на разрыв

Стендовые испытания канатных и тросовых анкеров проведены на испытательном полигоне завода КЛМЗ ТОО «Корпорации Казахмыс» (рисунок 13).



Рисунок 13 – Стендовые испытания канатных анкеров
а, б – подготовленные для разрыва соответственно канатные и тросовые анкера;
в – разорванный канатный анкер

Испытания концевиков стальных (металлических) анкеров проведены на КЛМЗ ТОО «Корпорации Казахмыс» (рисунок 13).

Для определения несущей способности сталеполимерной анкерной крепи с различной формой концевиков стального (металлического) анкера проведен комплекс экспериментальных исследований в лабораторных условиях, который представлял собой бетонный блок высотой и шириной – 0,2 м, длиной – 0,6 м. Прочность на одноосное сжатие бетонного блока составляет 35 МПа (соответствует прочности на одноосное сжатие породы – аргиллита). В соответствии с методикой испытаний выдергивание анкеров производилось гидравлическим прибором (штанговывергиватель ПКА – 3) с фиксацией показателей по индикатору манометра.

На рисунке 14,а представлен анкер, заведенный в шпур (а) и установленный на химические ампулы (14,б). На одном конце анкерного стержня была нарезана резьба на М22 длиной 0,1 м, другой конец анкерного стержня был срезан под углом 60° в виде долота.

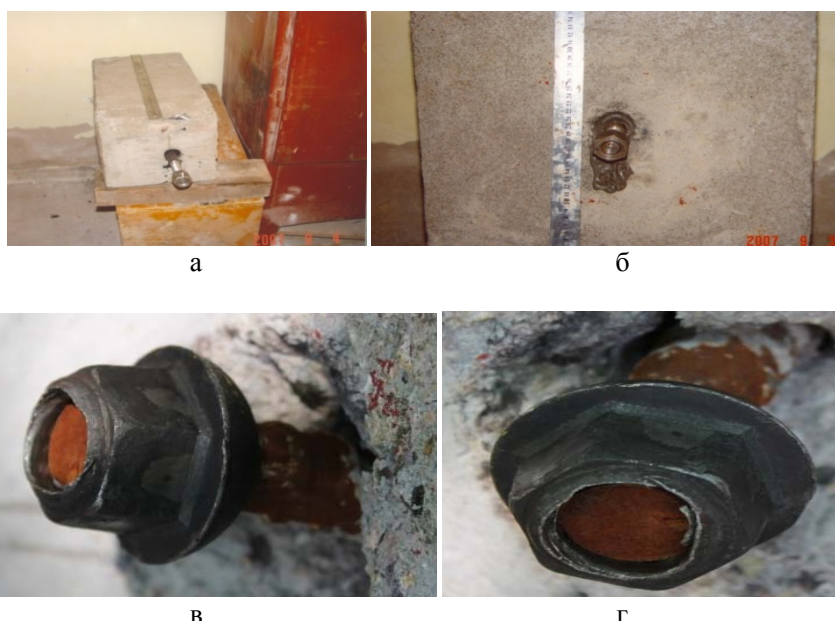
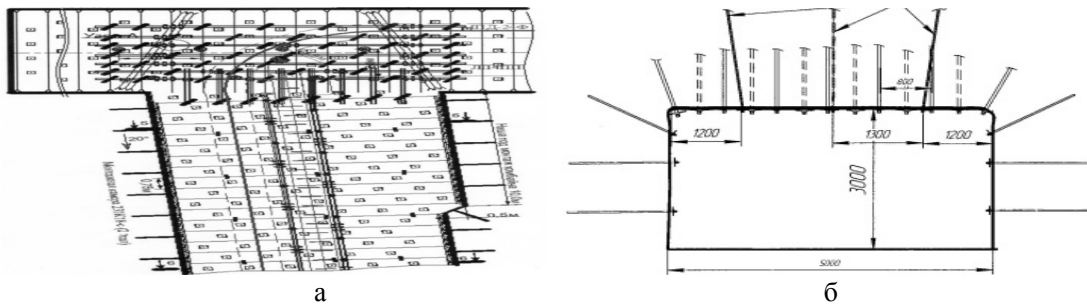


Рисунок 14 – Определение несущей способности полимерно – стальной анкерной крепи

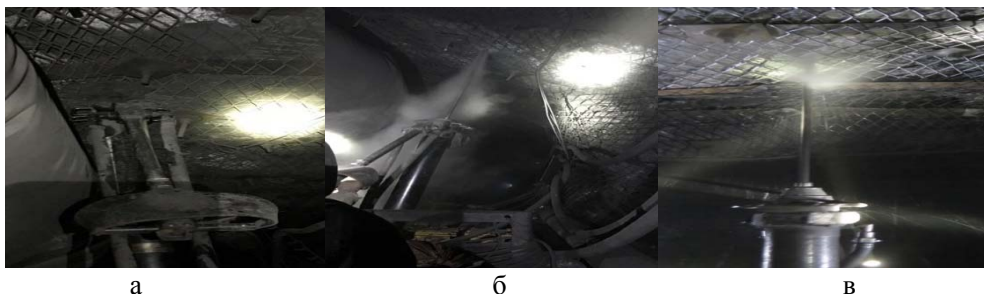
а – анкер, заведенный в шпур; б – анкер, установленный на химические ампулы;
в, г – торцевой и вид сбоку;

Произведено внедрение в промышленных условиях при испытаниях канатных анкеров при креплении сопряжения конвейерного штрека 332к₁₂-ю с вентиляционным уклоном к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» – рисунки 15, 16.



а – план; б – сечение

Рисунок 15 – Опытно – промышленные испытания канатных анкеров при креплении сопряжения вентиляционного штрека 231к₁₈-с с монтажной камерой 231к₁₈-с шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»



а б в

Рисунок 16 – Установка канатных анкеров при проведении испытаний в шахтных условиях
а – бурение забурником; б – бурение средней части; в – бурение заключительной части скважины

Испытание на вытягивание при коротком участке схватывания применялось для определения поведения системы анкер-смола-массив. Испытание проводилось в подземных условиях и является основным испытанием несущей способности системы «анкер-смола-массив». В нем должны с точностью воспроизводиться операции, материалы и оснащение, которое используется для возведения крепи.

Оценку несущей способности применяемых анкеров при проведении выработок проведены при помощи штанговывергивателя ПКЗ. Испытание несущей способности анкерной крепи в действующих горных выработках производилось путем ее нагружения до 0,6 несущей способности анкера, кН (рисунок 17).



а б

Рисунок 17 – Испытание несущей способности канатного анкера
а – установка в рабочее состояние; б – испытание на выдергивание

Опробование технологии производилось установкой двух канатных анкеров. Для испытания прочности закрепления анкера в шпуре в данных горно-геологических условиях он нагружался штанговывергивателем ПКЗ до максимальной расчетной нагрузки на один анкер с фиксацией его податливости (скольжения). При получении нагрузки ниже 186 кН испытания повторялись на 2 – 3 контрольных анкерах. Если при повторном испытании получены фактические нагрузки ниже расчетных, то при незначительном (не более 10 %) отклонении фактической прочности закрепления стержня в шпуре от расчетной в паспорт крепления вносятся изменения в плотность установки анкеров.

При испытании несущей способности канатного анкера посредством прибора на выдерживание ПК-3 была дана нагрузка на анкер 26 т (60 бар), вытягивание (смещения) канатного анкера не произошло.

При опытно-промышленных шахтных испытаниях для крепления горных выработок использованы канатные анкера АК 19/5 конструкции КарГУ в качестве крепи усиления для проведения демонтажа очистного механизированного комплекса на линии остановки лавы 332к₁₂-ю на конвейерном штреке 332к₁₂-ю шахты «Абайская» Карагандинского угольного бассейна.

Выполнена сертификационная оценка технического изделия – канатный анкер. Государственный стандарт РК на «Анкер канатный АК 19/5», разработан ТОО «Карагандинский Институт Качества» и КарГУ в соответствии с опытом применения анкерной крепи в дальнем и ближнем зарубежье, включающий: общие технические условия: область применения, нормативные ссылки, определения и обозначения, классификация, основные параметры и размеры крепи, общие технические требования (характеристики крепи, требования к материалам и покупным изделиям, комплектность, маркировка, упаковка), требования безопасности, правила приёмки, методы контроля, транспортирование и хранение, указания по эксплуатации, гарантии изготовителя, а также: возможные конструкции канатных анкеров, условия применения канатных анкеров (сопряжения, широкие выработки, выработки, поддерживаемые за линией очистного забоя и т.п.) той или иной конструкции; ограничения применения различных конструкций канатных анкеров в зависимости от горно-геологических условий проведения выработок.

При разработке проекта ГОСТа использованы результаты опытно-технологических работ применения анкерной крепи на угольных и рудных предприятиях Казахстана, информация о достижениях отечественной и зарубежной науки, техники и технологии, отчёты Британской компании RMT по применению анкерной крепи на шахтах угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау».

Разработан паспорт на анкер канатный АК 19/5, предназначенный для крепления кровли выработок с прочностью пород и углей на сжатие соответственно не ниже 12 и 5 МПа и бортов выработок с прочностью углей, и пород на сжатие соответственно не менее 5 МПа при закреплении в шпуре ампулами на основе минеральных композиций или полиэфирных смол (ампульный способ), нагнетанием минеральных композиций или органоминеральных смол (нагнетательный способ), или их сочетанием (ампульно-нагнетательный способ). Выработки, закреплённые канатными анкерами, служат для транспортирования горной массы, доставки оборудования и материалов, передвижения людей и др., включающий следующие разделы: назначение, технические характеристики, комплектность и состав изделия, устройство и принцип работы, указание мер безопасности, подготовка к работе, опробование и испытание, гарантии изготовителя, свидетельство о приемке и упаковке, лист регистрации изменений.

Канатный анкер состоит из следующих элементов: канат арматурный условным диаметром 15,0 и 18,0 мм с условным пределом текучести 1410 Н/мм² (144 кгс/мм²) ГОСТ 13840-68 или ГОСТ Р 53772-2010, спиралью опорной на головном конце, соединённой с канатом муфты, гайки, трубы и опорных элементов (шайбы); закрепляющий состав ампул – полиэфирная смола или быстротвердеющая минеральная композиция.

Произведены производственные испытания и внедрение канатных анкеров при креплении сопряжения вентиляционного штрека 231к₁₈-с с монтажной камерой 231к₁₈-с на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

Апробация разработанных технологических решений (канатных анкеров длиной 5 м в количестве 30 штук и диаметром каната 19 мм) проведены при креплении сопряжения вентиляционного штрека 231к₁₈-с с монтажной камерой 231к₁₈-с шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Результаты производственных испытаний и внедрение канатных анкеров произведены при креплении сопряжения вентиляционного штрека 231к₁₈-с с монтажной камерой 231к₁₈-сна шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Установлены канатные анкера длиной 5,0 м с диаметром каната 19 мм на две химические ампулы. При испытании несущей способности посредством анкеродерживателя POWER TEAM RH 302 Model C было достигнуто избыточное давление 500 бар (28 т), что соответствует более 0,6 от давления предельной технической характеристики канатного анкера, что позволяет сделать вывод о соответствии его параметров заяв-

ленной технической характеристике. В качестве химических скрепляющих средств использованы полиэфирные ампулы АРП600 длиной 600 мм со временем затвердения 120 с. При установке анкеров использован адаптер с гнездом под шестигранник на 36 мм.

Подготовлены намерения о внедрении в производство систем многоцелевого заложения (канатных анкеров) на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Подписан также Протокол о намерениях внедрения в производство систем многоцелевого заложения (составных анкеров) для крепления горных выработок на шахте «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» и в учебный процесс при подготовке бакалавров, магистров и PhD докторантов специальности «Горное дело» в КарГТУ.

Разработан бизнес-план коммерциализации научного проекта «Разработка интеллектуальных информационных систем для расчета технологических параметров процессов горного производства» реализации проекта, который включает следующие разделы: описание ситуации на рынке и в отрасли; преимущества; долгосрочные и краткосрочные цели; значимость в национальном и международном масштабе; потребность в инвестициях; место реализации проекта; ключевые экономические показатели эффективности; этапы выполнения; риски, которые могут возникнуть во время реализации – анализ рисков; описание технологии; конкуренты; анализ применяемых технологий; ожидаемые изменения спроса и предложения; анализ барьеров вхождения на рынок; SWOT-анализ; план производства; бюджет; экологический раздел; стратегия реализации; анализ вариантов коммерциализации; вариант продажи объекта интеллектуальной собственности; необходимость получения лицензии либо разрешения; организационный план; финансовый план; заключение.

По результатам проведенных научно-прикладных исследований опубликованы: монографии в зарубежном и две в казахстанских издательствах; 3 статьи в рецензируемом зарубежном научном издании с ненулевым импакт – фактором (база Scopus); 2 статьи в журналах, рекомендованных ККСОН МОН РК и КазБЦ РК; 4 тезиса Международных научно-практических конференций. Получены: три патента РК и свидетельство на объект интеллектуальной собственности, поданы: заявка на патент и две заявки на патент-полезная модель РК; опубликовано 2 учебных пособия в РК и подано на публикацию учебное пособие в КарГТУ.

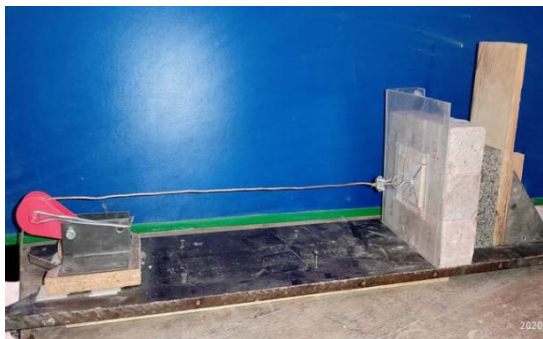
2.29. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Проект: Разработка технологических и экономических методов рационального освоения природных и техногенных месторождений

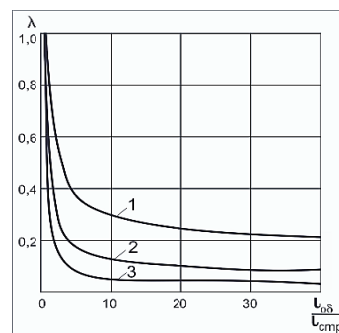
Важные результаты

Экспериментально на моделях установлено сопротивление сдвигу по контактам блоков при объемном нагружении. Установлена зависимость коэффициента структурного ослабления массива блочного строения от соотношения высоты уступа и размера блока.

Обосновано внедрение в расчеты ТЭО изменения качества массива для снижения рисков в связи с повышенной тектоникой и труднодоступностью месторождений.



Модель для определения сопротивления сдвигу блоков в блочном массиве



1 – изотропный массив, 2 – блочный и слоистый массив 3 – массив блочного строения при малом сцеплении по трещинам

Проект: Мониторинг опасных природно-техногенных процессов, оценка геоэкологических рисков и совершенствование методов их прогнозирования на территориях интенсивного освоения природных ресурсов Кыргызстана

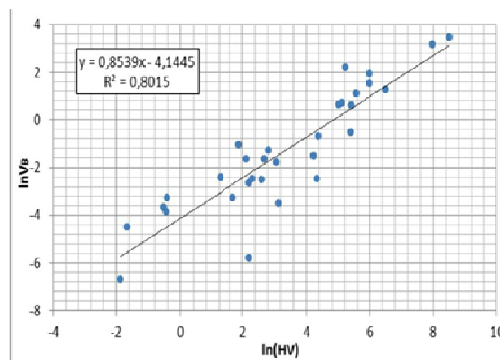
Важные результаты

Установлены принципиальные основы обеспечения безопасности хвостохранилищ после завершения их активной эксплуатации.

Разработаны и переданы в МЧС КР для практического использования рекомендации оперативной оценки риска в зонах поражения при разрушении дамб хвостохранилищ;



Выброс хвостов обогащения руды после разрушения дамбы хвостохранилища



Регрессионная зависимость возможности прогноза объема выброса V_b по характеристикам хвостохранилища NV

Выявлены причины и триггерные механизмы крупного техногенного оползня, возникшего в декабре 2019 г. на отвалах высокогорного рудника Кумтор, размещённых в бассейне ледника Лысый и вызвавшего значительный экономический ущерб и человеческие жертвы;

Для оценки риска выполнена дрон-съёмка оползнеопасных склонов в окрестностях села АюуУзгенского района Ошской области, обустроена системы локального мониторинга оползнеопасных участков и разработаны рекомендации по предотвращению оползневого риска в селе Аюу.



Техногенный оползень, на отвалах высокогорного рудника Кумтор (2019 г)



Панорама оползнеопасных склонов в окрестностях с.АюуУзгенского района Ошской области

Проект: Обоснование геомеханических и технологических рекомендаций по рациональной и безопасной разработке рудных и угольных месторождений Кыргызской Республики

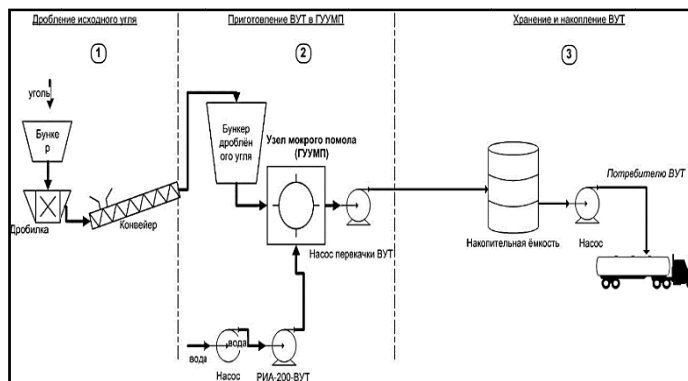
Важные результаты

Разработаны и переданы в ЗАО «КумторГолдкомпани» рекомендации по устойчивости рабочих бортов карьера Сары-Тор Кумторского месторождения;

Разработаны рекомендации по применения водоугольного топлива (ВУТ) в котельных и ТЭЦ города Бишкек с целью улучшения экологической ситуации.



**Рабочий борт карьера Сары-Тор
(месторождение Кумтор)**



**Схема приготовления ВУТ с гидроударным узлом
мокрого помола и роторно-импульсным аппаратом**

Научно-инженерный центр «ГЕОПРИБОР» выполнил:

1. По контракту с Международным центром экологического менеджмента (ICEM) в рамках проекта Азиатского Банка Развития (АБР) ТА-9726 KGZ «Предлагаемый проект по управлению рисками оползней в Кыргызской Республике – подготовка технико-экономического обоснования инвестиций» научно-исследовательские работы (НИР) по оценке рисков оползней на юге Кыргызстана, обустройству системы мониторинга на пилотном участке в селе АюуУзгенского района Ошской области.

2. По договору подряда с ЗАО «КумторГолд Компани» НИР по «Оценке геотехнических и экологических рисков, связанных с разработкой золоторудного месторождения Кумтор».

3. По договору с Каскадом Токтогульских ГЭС НИР по «Мониторингу потенциально неустойчивых массивов на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС».

4. В инициативном порядке работы по мониторингу геодинамических процессов на оползне Туюк-Суу в Мин-Куше, где в настоящее время завершаются подготовительные работы по переносу хвостохранилища «Туюк-Суу» на безопасный участок, т.е. реализуется рекомендация НИЦ «ГЕОПРИБОР», переданная в МЧС КР в 2008 г.

Научно-проектный центр «ГЕОСЕРВИС» выполнил:

1. По договору с ЗАО «КумторГолд Компани» НИР «Определение физико-механических свойств грунтов из основания отвала Лысый».

2. По договору с Нарынским филиалом АО «ТодиниКоструциониДженералиС.п.А» НИР «Определение физико-механических свойств пород, отобранных на участках проекта Север-Юг, III фаза 2Б Эпкин-Башкууганды км 113+558-117+310»

3. По договору с ЗАО «КумторГолд Компани» НИР «Оценка и прогноз устойчивости отвалов Рудника Кумтор в долинах Чон-Сарытор и Кичи-Сарытор и в долине ручья Лысый».

4. По договору с ОсОО «Альянс Алтын» НИР «Расчет и оценка устойчивости отвала пустых пород «Южный» на месторождении Джеруй».

5. По договору с ООО «КАЗ МинералзБозымчак» Экспертное заключение на отчет НИР: «Геомеханическое сопровождение и оценка устойчивости прибортовых массивов карьера с учетом изменений горнотехнических условий».

**2.30. РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ,
ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Фундаментальные и прикладные исследования проводятся в рамках следующих основных направлений научных исследований РАНИМИ: «Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых», «Исследования

ния деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные наземные сооружения разработка мероприятий их защиты», «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды».

В 2020 году Институт проводил научные исследования по 7 темам ведомственной тематики Министерства образования и науки и Государственного комитета по науке и технологиям, в том числе по 5 фундаментальным и 2 прикладным темам.

Наиболее значимые результаты по направлению «Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых»:

«Разработка нормативного документа «Расположение, охрана и поддержание горных выработок на угольных шахтах Донецкого бассейна».

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. На основании комплексного исследования формирования зоны необратимых деформаций вокруг горных выработок, включающего теоретические построения, анализ обширного фактологического материала на наблюдательных станциях и численного моделирования полей напряжений и деформаций установлен критерий потери устойчивости вмещающего массива. (рисунок 1).

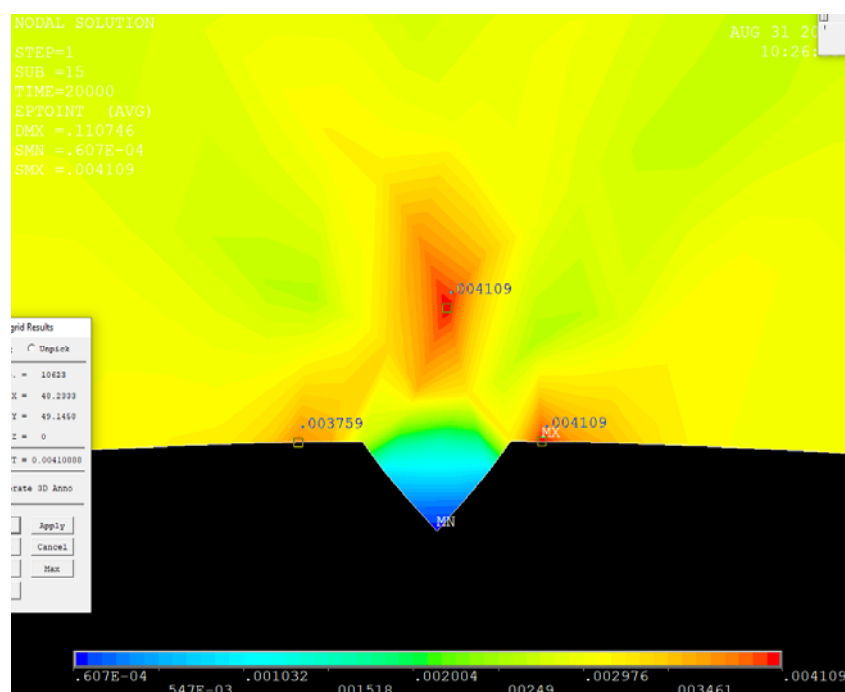


Рисунок 1 – График поля интенсивности деформаций модели с равновесной нагрузкой и следующими параметрами: прочность массива 20 МПа, $\varphi = 20^\circ$, $k_y = 1,0$, длина анкеров 3 м

2. Установлена зависимость теоретического критерия от компонентов прочности материала в модели Кулона-Мора (рисунок 2).

3. Уточнены значения ширины зоны опорного давления в районе угольного пласта, разрабатываемого на большой глубине (рисунок 3), и разработаны технологические схемы охраны подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ с использованием локального закрепления нарушенных пород скрепляющими составами, требования к выбору размеров локальных зон и способ расчета потребного количества скрепляющего состава.

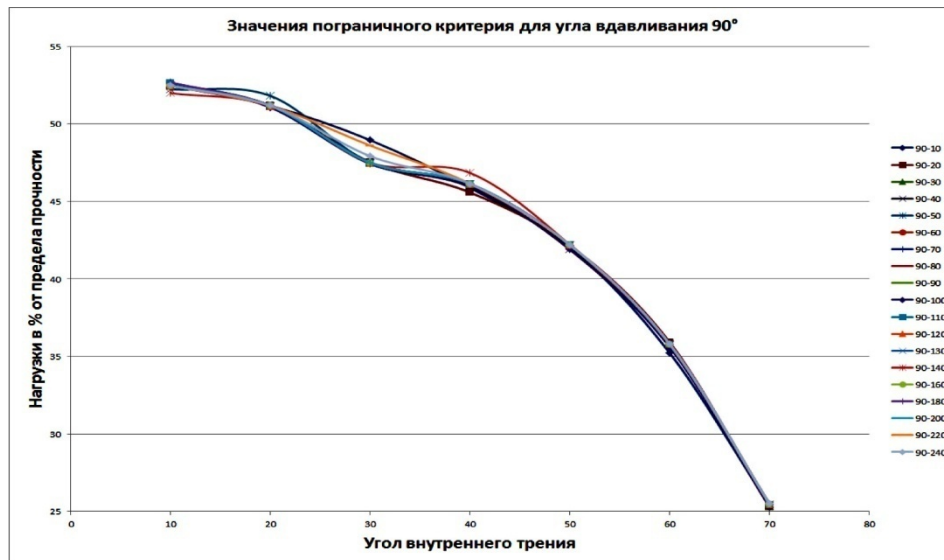


Рисунок 2 – Графики частных равновесных нагрузок от прочности в %

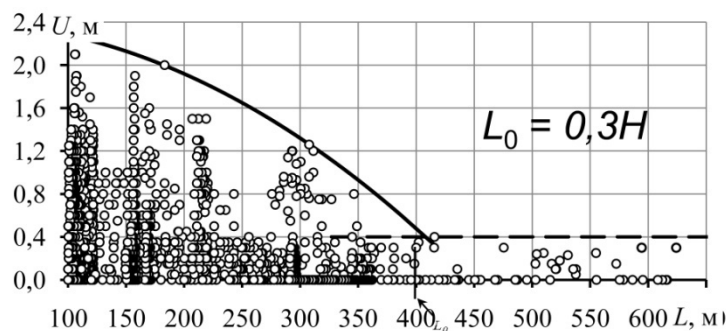


Рисунок 3 – Размеры зоны опорного давления в районе угольного пласта, разрабатываемого на большой глубине

4. Установлены зависимости оценки состояния сопряжений глубоких стволов от геомеханических факторов, что позволит повысить безопасность труда, снизить затраты на проведение, охрану и поддержание горных выработок.

5. На основе проведенного математического моделирования объемного напряженно-деформированного состояния массива горных пород при подработке дизъюнктивов установлен геомеханический критерий потери устойчивости горных выработок в сложных горногеологических условиях (равенство расчетных деформаций на контуре выработки и в ядре аномалии в начальной стадии процесса смещений) и выявлены механизмы критического деформирования вмещающего массива, в частности, путем клинообразования.

6. Разработан и согласован с Гортехнадзором Донецкой Народной Республики энергетикой руководящий документ «Расположение, охрана и поддержание горных выработок на угольных шахтах Донецкого бассейна». Документ состоит из десяти разделов, охватывающих вопросы обеспечения устойчивой работы всего комплекса горных выработок, включая вертикальные шахтные стволы, технические скважины, вскрывающие и подготавливающие выработки, подготовительные выработки на пологих и наклонных пластах, подготовительные выработки на крутонаклонных и крутых пластах, способы управления состоянием и свойствами горного массива и девяти приложений.

«Разработка научно-технических основ выбора рациональных технологических параметров очистных работ».

В результате проведенных исследований и компьютерного моделирования сдвижения горного массива над выработанным пространством получены следующие основные научные и практические результаты:

1. При достижении несущим слоем предельного пролета, на верхней его кромке, в зоне опорного давления, начинает образовываться магистральная трещина, пересекающая слой по всей мощности под углом $76^\circ - 80^\circ$ к плоскости залегания пласта.

2. При компьютерном моделировании сдвига породных слоев над выработанным пространством с использованием программы «Ansys» установлено, что в результате изгиба, в пределах упругости, в несущем слое формируются горизонтальные растягивающие и сжимающие напряжения (рисунок 4).

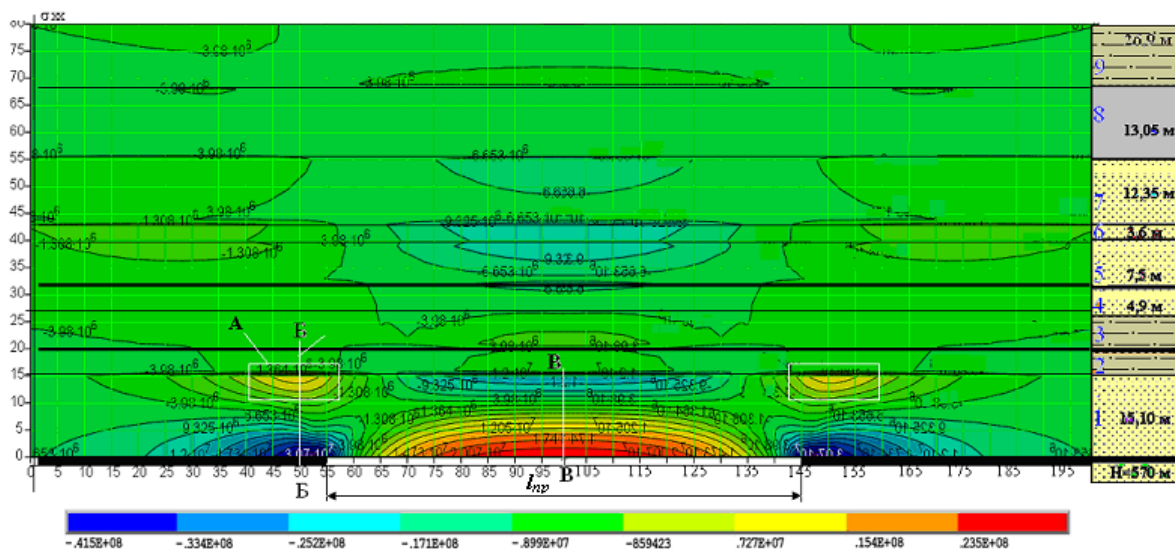


Рисунок 4 - Распределение горизонтальных напряжений в слоистом изгибающемся, породном массиве: А – зона максимальных растягивающих напряжений над пластом; Б – Б и В – В - опасные сечения; 1...9 - номера слоев.

Прочность контактов между изгибающимися слоями значительно ослабевает за счет горизонтальных касательных напряжений, сформированных горизонтальными сжимающими и растягивающими напряжениями на контакте (рисунок 5).

3. Установлены закономерности сдвига горного массива над выработанным пространством, определяющие формирование опорного давления и позволяющие определять параметры управления горным давлением в очистных забоях.

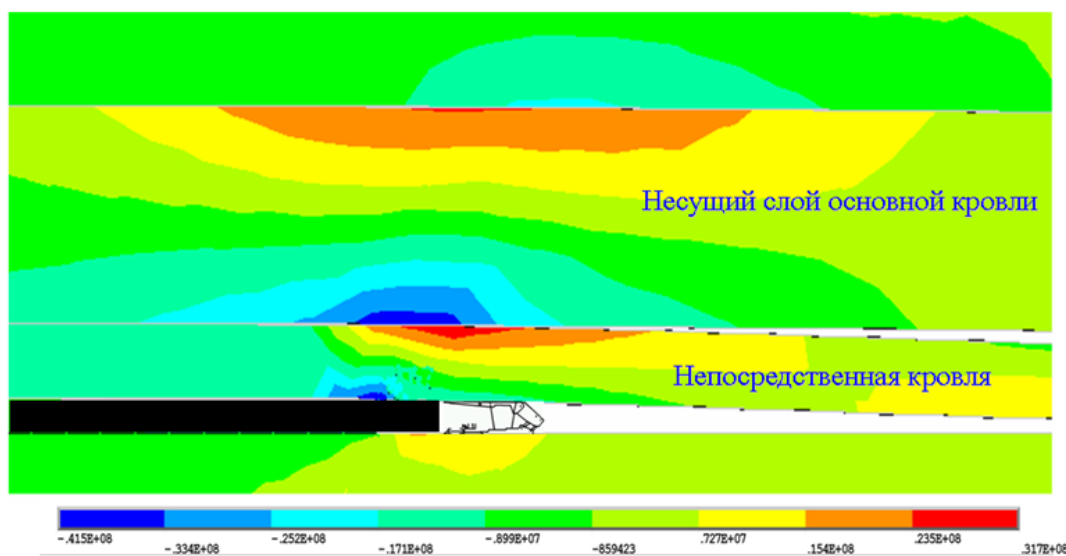


Рисунок 5 - Распределение горизонтальных напряжений на контакте между слоями

«Разработка основ управления гидродинамическим режимом при пологом залегании угольных пластов в условиях массового закрытия и консервации угольных предприятий».

При закрытии угольных предприятий происходит частичная или полная инверсия техногенного режима подземных вод на огромных территориях. При этом возникает острая необходимость в прогнозировании тех или иных негативных последствий возникающих процессов. Одним из наиболее эффективных методов прогноза и изучения изменений техногенного режима подземных вод является построение математических моделей. При такой постановке вопроса обеспечивается единый подход к изучению и прогнозу техногенного режима подземных вод.

В рамках выполненной работы была создана математическая модель фильтрации с источниками наследственного типа. Эта модель учитывает все нетривиальные особенности процессов подземной гидродинамики в подработанном горном массиве. Среди этих особенностей следует отметить выраженную фильтрационную неоднородность среды, нестационарный и нелинейный характер изучаемых явлений и масштабность рассматриваемых задач.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Решены начально-граничные задачи теории фильтрации при параллельном расположении линий тока и линий неоднородностей, а также при перпендикулярном расположении линий тока и линий неоднородностей.

2. Вычислены коэффициенты пропорциональности между вектором средней скорости фильтрации и вектором градиентом давлений, отвечающие полученным решениям. Они могут считаться эффективными характеристиками сложных макронеоднородных объектов. Сопоставление полученных коэффициентов и значений макронеоднородностей позволило определить алгоритмы получения эффективных параметров единичного расчетного элемента для обеих схем.

3. Разработана и откалибрована математическая модель «затопления-откачки» системы гидравлически связанных горных выработок для условий пологого залегания угольных пластов с учетом различных геометрических характеристик выработок, источников поступления воды и фильтрационных свойства массива, которая позволяет оценивать проницаемость горных пород гидравлически связанных горных выработок и выявлять закономерности изменения фильтрационных свойств массива в зависимости от его напряженно-деформированного состояния.

Модель была апробирована при разработке прогноза изменения гидрогеологического состояния комплекса шахт «Куйбышевская», «Лидиевка», им. Е.Т. Абакумова и им. А.А. Скочинского ПО «ДУЭК» при отключении водоотлива на шахте «Лидиевка».

Данные, приведенные на рисунке 6, характеризуют изменение параметров процесса затопления выработанного пространства пласта k_8 ш. «Лидиевка» при отключении водоотлива, которые определяют режим перетекания воды по гидросвязям шахт «Куйбышевская» и «Лидиевка», а также перетекания в специальную водоспускную выработку, пройденную на шахте им. Е.Т. Абакумова и в стволы шахты им. А.А. Скочинского, пересекающие выработанное пространство пласта k_8 шахты «Лидиевка».

Сделанный на основании результатов моделирования прогноз изменения

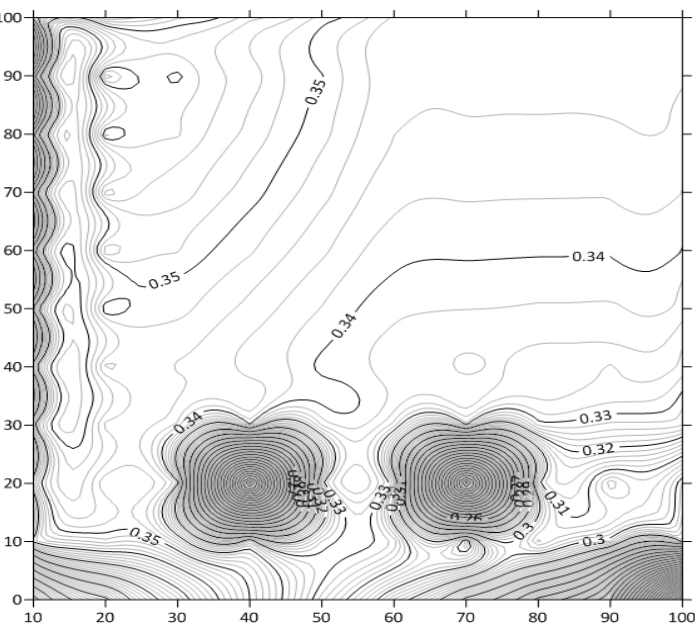


Рисунок 6 - Распределение уровней затопления выработанного пространства пласта k_8 шахты «Лидиевка» в новом равновесном (стационарном) состоянии

гидрогеологического состояния комплекса шахт имеет большое практическое значение и подтверждается соблюдением калибровочных установок объекта исследований и математической модели в настоящее время.

«Исследования деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты»:

«Разработка проекта нормативно-правового акта «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом».

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Разработана методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности с учетом параметров трапецевидной мульды сдвижения при отработке наклонных угольных пластов, на основе математической модели прогноза деформаций при отработке наклонных угольных пластов.

Анализ алгоритма расчета сдвижений и деформаций, основанного на использовании типовых единичных кривых оседаний, показывает, что в мульде сдвижения имеются участки (зоны) с различным характером деформирования земной поверхности, каждая из которых относится к одному из трёх основных типов:

I тип – зоны, в которых наблюдаются сдвижения земной поверхности как в направлении простирания пластов, так и вкрест их простирания. Они присутствуют во всех случаях подработки (полной и неполной), это угловые участки мульды сдвижения;

II тип – зоны, в которых наблюдаются сдвижения земной поверхности только в одном направлении (по простиранию пластов либо вкрест их простирания);

III тип – зоны, в которых отсутствуют деформации (плоское дно мульды сдвижения).

Зоны II и III типа появляются только в случаях полной подработки. При этом зоны II типа образуются, когда полная подработка имеет место только в каком-то одном направлении (по простиранию пластов либо вкрест их простирания).

Разработанная методика применялась для прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности при определении безопасного уровня затопления горных выработок пяти закрывающихся шахт в г. Горловке и четырех закрывающихся шахт в г. Енакиево.

2. Разработана новая методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности с учетом мезорельефа подрабатываемой территории с использованием цифровой модели рельефа и динамической глубины разработки. Разработана математическая модель влияния мезорельефа на точность прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчеты показывают, что для средних глубин разработки от 500 м до 1000 м при перепаде высот мезорельефа до 50-100 м, в пределах горного отвода шахты, погрешности расчета оседаний могут составить 40-60 мм, наклонов – $0,3-1,1 \times 10^{-3}$, горизонтальных деформаций – $0,3-0,8 \times 10^{-3}$. Для ряда охраняемых объектов погрешности прогноза относительных деформаций (наклонов, кривизны, деформаций сжатия и растяжения) от влияния мезорельефа достигает 40-50% допустимых значений.

На рисунке 7 показано изменение границы сдвижения земной поверхности при отработке горной выработки с учетом мезорельефа земной поверхности.

Для учета влияния мезорельефа разработан алгоритм расчета деформаций земной поверхности, основанный на двух новых факторах. Во-первых, это использование цифровой модели рельефа (ЦМР) для описания ее рельефа. Обязательным условием формирования ЦМР для подрабатываемой территории является

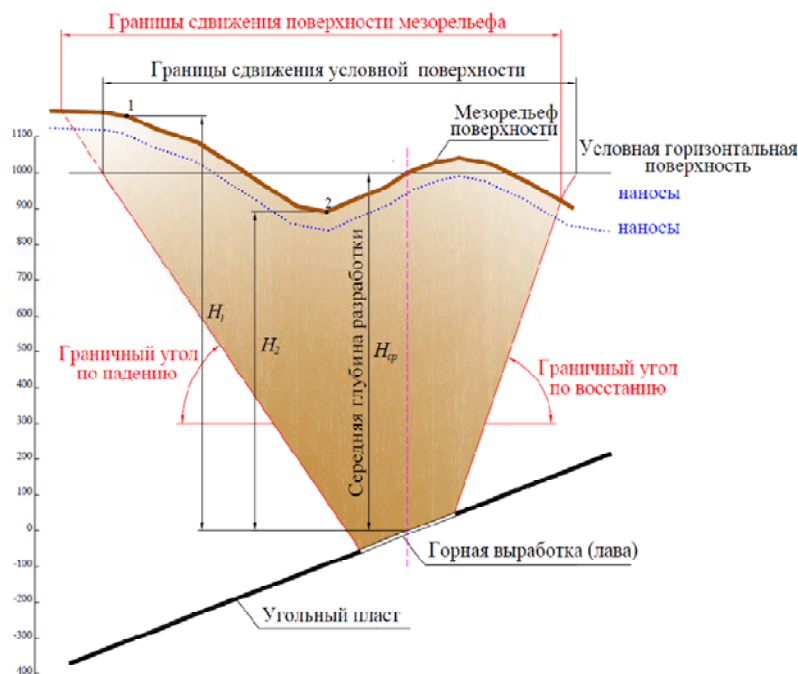


Рисунок 7 – Границы сдвижения земной поверхности с учетом мезорельефа земной поверхности

наличие высотных отметок точек ЦМР. Во-вторых, в расчет деформаций вводится понятие динамической глубины разработки.

Разработанный алгоритм расчета деформаций в мульде сдвижения основан на более полной пространственной модели ее формирования, является более точным по сравнению с ныне действующим алгоритмом и предоставляет новые возможности для прогноза и оценки состояния объектов на подрабатываемых территориях за счет учета влияния мезорельефа земной поверхности.

Применение методики позволит выполнять уточненные прогнозы сдвижений и деформаций земной поверхности с учетом влияния мезорельефа, локализацию мест возможного затопления подрабатываемых территорий при затоплении закрытых шахт и обеспечение безопасности населения и объектов социальной и производственной инфраструктуры городов и посёлков Донбасса от негативного влияния подземных горных работ.

Разработанная методика применялась для прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности при определении безопасного уровня затопления горных выработок пяти закрываемых шахт в г. Горловке и четырех закрываемых шахт в г. Енакиево.

3. Разработана методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности над движущейся очистной выработкой с учётом характера нарастания деформаций во времени на основе математической модели прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности с учетом динамики движения очистной выработки.

В результате проведенных исследований, установлен характер нарастания деформаций земной поверхности во времени. Этот характер нарастания деформаций во времени описывается с помощью логистической функции $P(t)$, откалиброванной по параметрам, установленным в действующих «Правилах подработки...» для различных стадий процесса сдвижения (начальной, активной стадии и стадии затухания).

В целом разработанные методики позволят повысить точность прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности для обеспечения рациональной выемки угля при одновременном обеспечении эксплуатационной пригодности подрабатываемых зданий и сооружений и обеспечении экологической безопасности подрабатываемой территории, повысить точность прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности при определении безопасного уровня затопления горных выработок закрываемых шахт.

«Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды»:

«Создание новых принципов геолого-геофизической оценки газоносности угленосных отложений Донбасса».

В результате проведенных исследований разработаны новые принципы геолого-геофизической оценки газоносности угленосных отложений Донбасса.

Первый принцип относится к углям, второй – к углеводородным породам. Согласно первому принципу задача оценки содержания, связанного (сорбированного) метана, нерешаемая напрямую геофизическими методами, находит решение путем определения геолого-генетических параметров углей (мацерального состава, восстановленности и метаморфизма) по геолого-геофизическим данным с использованием для этого формационного анализа угленосных отложений, а также путем учета современных условий (температуры, давления, влажности) залегания угольных пластов.

Учитывая, что газоносность углей практически полностью представлена связанной формой газа, множество факторов газоносности сведено к трем генетическим и одному термодинамическому параметру. Генетическими параметрами являются показатели метаморфизма (Пм), восстановленности (Пв) и мацерального состава (Пс). Термодинамические параметры (температура, давление газа) и влажность заменены одним показателем, представленным глубиной залегания пласта (Н).

Для реализации рассматриваемого принципа создана система геолого-геофизического определения газоносности углей. В ней выделяются ядро и сопровождающий его инструментарий.

Ядро предназначено для определения газоносности в зоне стабилизации и для приведения данной газоносности к условиям залегания пласта. В ядро входят связи природной газоносности (X) с параметрами P_m , P_v , P_c и H (рисунок 8). Эти связи используются для определения газоносности по указанным параметрам.

Инструментарий системы состоит из набора лабораторных и геолого-геофизических методов определения параметров P_m , P_v и P_c . Лабораторные методы, включающие углепетрографическое исследование и технический анализ углей, используются для определения параметров P_m , P_v и P_c . Петрофизические методы применяются для определения параметра P_m . Методом кавернометрии определяется показатель P_v . Фациально-циклический метод также применяется для определения параметра P_v . При этом используется строение циклита, границы которого проводятся по подошве угольных пластов. Строение циклита устанавливается по фаціальным реперам и гранулометрической кривой, построенной по данным ГИС. Циклиты характеризуются мощностями трансгрессивной (m^T) и регрессивной (m^P) частей и расстоянием от угольного пласта до ближайшего сверху морского горизонта (l). По этим показателям определяется параметр P_v (рисунок 9).

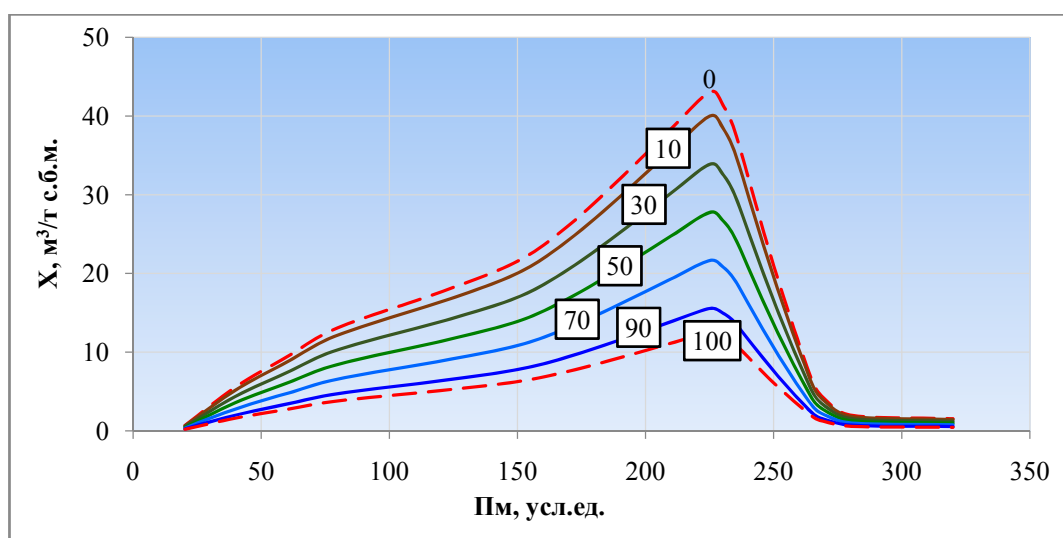


Рисунок 8 – Связь газоносности углей (X) с параметрами метаморфизма (P_m) и восстановленности (P_v) клареновых углей Донбасса в зоне стабилизации
Шифр кривых – параметр P_v .

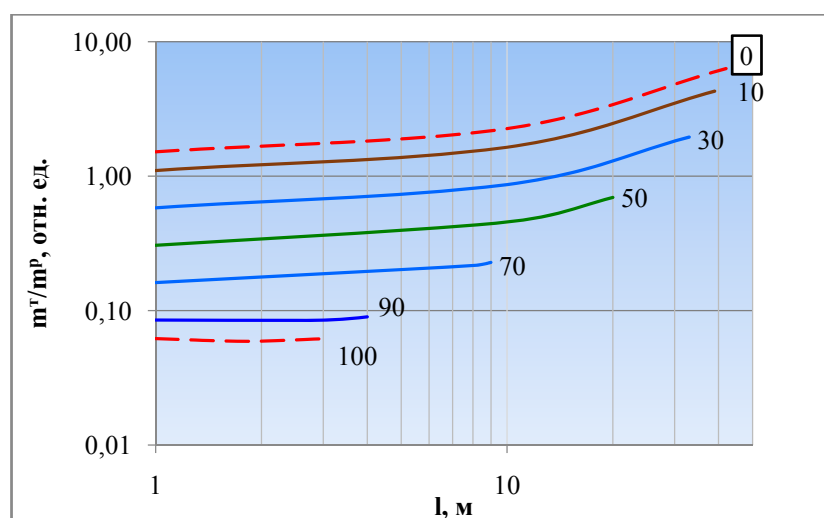


Рисунок 9 – Связь параметра восстановленности угля (P_v) со строением циклита:
 m^T – мощность трансгрессивной части циклита, м; m^P – мощность регрессивной части циклита, м; l – расстояние от угольного пласта до ближайшего сверху морского горизонта, м; шифр кривых – показатель P_v , усл. ед.

В соответствии со вторым принципом задача оценки содержания свободного газа в углевмещающих породах, нерешаемая угольным комплексом геофизических методов из-за дефицита геофизических параметров, находит решение по данным электротомии и при условии количественного учета генетических и эпигенетических изменений мешающих факторов (гранулометрии, карбонатности, минерализации пластовых вод и температуры).

Газоносность пород по свободному газу определяется по отношению удельного электрического сопротивления ($УЭС$) газоносного пласта к $УЭС$ в его водонасыщенном состоянии, используя уравнение Арчи-Дахнова. $УЭС$ водонасыщенного пласта рассчитывается по петрофизическим данным, используя определяющие его параметры – степень катагенеза, тип породы, коэффициент открытой пористости, температуру и минерализацию пластовых вод.

Газоносность пород по связанному газу определяется по газоносности ближайших угольных пластов, пересчитывая ее на содержание рассеянного угольного вещества ($C_{РОВ}$). Показатель $C_{РОВ}$ определяется по его связи с размером зерен пород (d_3) неморского типа, а показатель d_3 – по данным ГИС.

Разработанная геолого-геофизическая система позволяет послойно оценивать газоносность углей и газоносность углевмещающих пород по связанному и свободному газу непрерывно по разрезу, используя угольный комплекс ГИС. Погрешность данной системы в 1,5–2 раза меньше по сравнению с методиками, применяемыми при разведке угольных месторождений.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Обоснована возможность определения показателя восстановленности углей по строению циклита на основе использования явления расщепления угольного пласта, а также путем увеличения точности определения восстановленности углей по строению циклита за счет стратиграфической индивидуализации их связей.

2. Проведена верификация системы оценки газоносности углей и определена величина погрешности данной системы. Установлено, что среднеквадратичная погрешность системы оценки газоносности равна $6,2 \text{ м}^3/\text{т}$ сухой беззольной массы, что в 1,5 раза меньше, чем по результатам геологической разведки, полученным по тем же исходным данным.

При верификации системы оценки газоносности углевмещающих пород определена величина погрешности системы по свободному и связанному газу. По свободному газу (при средней величине газоносности $4,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$) среднеквадратичная погрешность составляет $2,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ или 52 %, что является в два раза точнее, чем по геологоразведочным данным. По связанному газу (при ее средней величине $0,38 \text{ м}^3/\text{м}^3$) среднеквадратичная погрешность равна $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ или 26 %.

3. Уточнена система геолого-геофизической оценки газоносности углей в части использования аналитического выражения связи газоносности с глубиной для приведения величины газоносности к условиям залегания пласта и к зоне стабилизации. Указанное выражение обеспечивает решение прямой и обратной задачи изучения газоносности.

4. Создана единая система для определения газоносности углей и вмещающих пород в связи с их генетическими и эпигенетическими изменениями, позволяющая по результатам геофизических исследований скважин оценивать связанную газоносность углей, а также связанную и свободную газоносность углевмещающих пород.

5. Впервые на формационной основе создана и верифицирована геолого-геофизическая система оценки газоносности углей, использующая связь газоносности с определяющими ее генетическими параметрами метаморфизма, восстановленности и мацерального состава, а также связи данных параметров с признаками строения циклитов, свойствами углей и вмещающих пород.

«Разработка теории и методических основ сейсмического прогноза структуры углепородного массива из полевых выработок».

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Выполнено моделирование и анализ волновых полей, возбужденных в условиях полевых выработок, для прогноза параметров и структуры горного массива. Разработан алгоритм математического моделирования и проведена серия тестовых экспериментов для разработки оптимальных параметров моделей.

2. Разработан ряд моделей и проведено моделирование волновых полей, ориентированное на решение следующих задач:

- исследование вопроса о возможности оценки пространственной ориентации сместительной дизъюнктивной в плоскости, перпендикулярной сечению выработки;
- исследование вопроса об особенностях и эффективности сейсмического прогноза дизъюнктивов в зависимости от их ориентации относительно профиля наблюдений.

3. В ходе исследований установлен ряд закономерностей взаимодействия сейсмических колебаний, возбужденных в условиях полевых выработок, с геологическими нарушениями угольных пластов.

Установлено, что при выполнении сейсмических экспериментов из полевых выработок, использование сейсмоприемников, расположенных по сечению на боковых, относительно пункта возбуждения, стенках выработки, обеспечивает возможность определения не только положения нарушения, но и оценки его ориентации в плоскости сечения выработки. Это важный в методическом плане результат, позволяющий интерпретировать природу отражающих границ, зарегистрированных методами шахтной сейсмической разведки. При расположении системы наблюдений по предлагаемой схеме границы раздела пород будут выделяться по критерию несовпадения с плоскостью напластования.

По результатам анализа зависимости информативности методов сейсморазведки от угла ориентации дизъюнктива в плоскости профиля наблюдений установлено, что если дизъюнктив расположен таким образом, что системой наблюдений на профиле могут быть зарегистрированы волны отраженные от нарушения, то представляется возможность оценки не только расположения, но и ориентации нарушения (см. рисунок 10).

Метод эллипсов позволяет построить общую касательную к системе эллипсов, построенных по годографу отраженной волны на основе использования актуальных значений скоростей распространения информативных сейсмических волновых пакетов. Метод дифрагированных волн позволяет получить изображение нарушения в виде характерных полос синфазности.

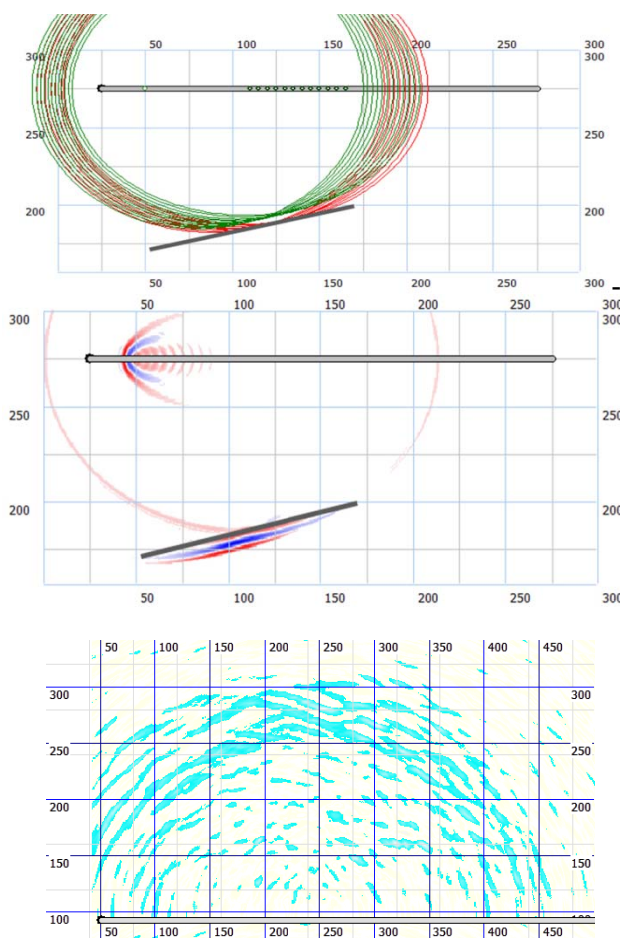


Рисунок 10 - Результат прогноза модельных и реальных тектонических нарушений по отраженным волнам методом эллипсов и методом дифрагированных волн

Если дизъюнктив расположен таким образом, что на профиле наблюдений могут быть зарегистрированы волны, рассеянные крайними зонами нарушения, представляется возможность только определить расположение данного края (см. рисунок 11).

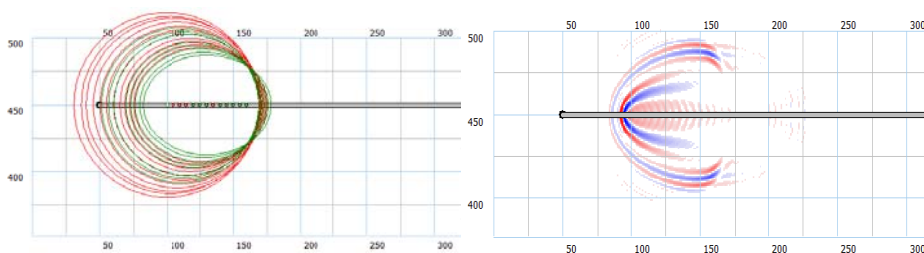


Рисунок 11 - Результат прогноза модельных и реальных тектонических нарушений по рассеянным волнам методом эллипсов и методом дифрагированных волн

Метод эллипсов не позволяет построить общую касательную, а только область их пересечения. Метод дифрагированных волн генерирует изображение края нарушения как область, в которой полосы синфазности резко прерываются. При расположении нарушения перпендикулярно профилю наблюдений сейсмоакустическим методом, можно лишь детектировать зону ближайшего к профилю края. Протяженность нарушения и его ориентацию определить не представляется возможным.

Установленные закономерности взаимодействия сейсмических колебаний, возбужденных в условиях полевых выработок, с геологическими нарушениями угольных пластов позволяют уточнить критерии определения положения и ориентацию нарушений сейсмоакустическим методом из полевых выработок.

«Создание модели эволюции рудообразующих процессов в геологических комплексах Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита (УЩ) для поисков и прогноза ресурсов полезных ископаемых».

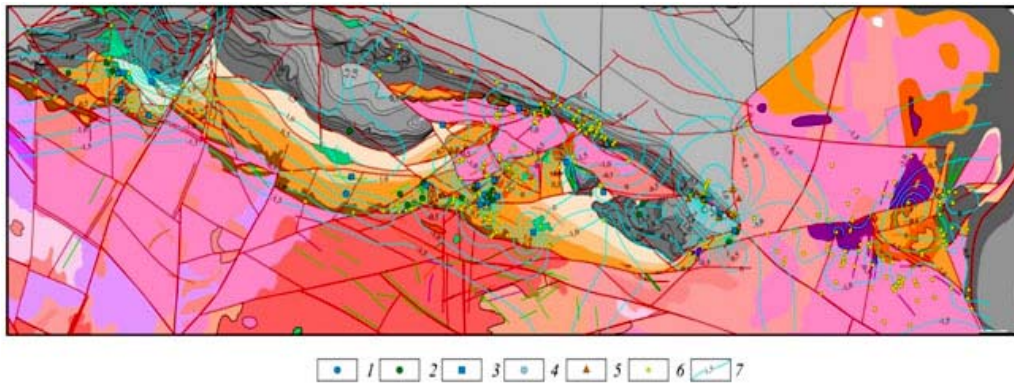
Проведено моделирование главных рудообразующих процессов в блоках геологического строения Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита. На основе анализа количественной и качественной информации из документации керна геологоразведочных скважин были установлены рудообразующие факторы пространственной локализации рудной и вторичной минерализации. Разработано признаковое пространство для факторной модели, отражающей интенсивность рудообразующих факторов и пространственное распределение минерализации. Это позволило дифференцировать интенсивность их проявления в виде скопления различных рудных и нерудных минералов не только в крупных структурах изучаемого региона, но и в отдельных мелких блоках, слагающих тектоническую структуру изучаемого региона.

Размерность признакового пространства составила 45 признаков, поэтому основным методом моделирования принят факторный анализ. Он позволил выявить группы признаков, связанных с каждым из рудообразующих факторов. Полученная факторная модель в графическом варианте отражает пространственное распределение минерализации на всей изученной площади. По количественной характеристике генерального фактора в блоках всей изученной площади были выделены наиболее перспективные участки для локализации рудопроявлений и месторождений

Полученные результаты количественной оценки рудообразующих факторов различных блоков Зоны сочленения были заверены на полевых маршрутах. Полученные результаты будут использованы для разработки критериев поиска месторождений в Зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Разработана методика моделирования рудообразующих факторов, основанная на математической обработке пространственно-привязанных данных.
2. Построена региональная модель распределения рудной минерализации в пределах Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита.



Пункты минерализации в скважинах: 1 - Pb (галенит), 2 - Cu (халькопирит, самородная медь), 3 - Cu, Pb, Zn (халькопирит, галенит, сфалерит), 4 - Zn (клеюфан в ассоциации с пиритом), 5 - флюорит, 6 – скважины перебурившие породы фундамента, 7 – изолинии распределения генерального фактора. Остальные услов. см. рис. 1.1

Рисунок 12 – Факторная модель оруденения Зоны сочленения

3. Установлены закономерности распределения рудообразующих процессов и разработана модель их эволюции, которая позволяет выполнить комплексную оценку площадей на перспективность наличия минерального сырья.

4. По результатам исследований построена карта интенсивности распределения минерализации на изученной площади региона исследования и выделены наиболее перспективные участки для локализации рудопроявлений на площади исследований.

2.31. ООО «ГЕОСЕРВИС» (Республика Армения, г. Ереван)

В консалтинговой компании ООО «ГЕОСЕРВИС» в 2020 г. были продолжены научно-исследовательские работы в рамках подготовки докторской диссертации заместителя директора по научной работе к.т.н. А.Ю.Агабаляна.

Основное внимание было уделено разработке методологических основ промышленной оценки рудных месторождений при открытой геотехнологии

Для достижения поставленной цели была проведена систематизация задач оптимального освоения рудных месторождений

До рассмотрения задач оптимального недропользования и их возможной систематизации, определен понятийный аппарат решения задач.

Способом решения любой конкретной задачи является **«метод»** (греч. methodos – путь исследования) – совокупность приемов и операций познания и практической деятельности; способ достижения определенных результатов в познании и практике. Применение того или иного метода определяется целью познавательной или практической деятельности, предметом изучения или действия и условиями, в которых осуществляется деятельность.»

Совокупностью методов для решения группы задач является **«методика»** (греч. methodike — совокупность методов) – совокупность методов, приемов практического выполнения чего-либо.»

Теоретической основой, обоснованием правомерности методик и их совокупности для решения проблем конкретного научного направления является **«методология»** (греч. methodos и logos – учение, мысль, слово) – 1. Наука о методе. 2. Система наиболее общих принципов, подходов и методов, составляющих основу для данной науки. 3. Совокупность приемов исследования, применяемых в данной науке.

Методология – учение о путях научного исследования. Однако содержание методологии шире. Оно включает изложение основных принципов, онтологических предпосылок, подходов, методов, обосновывающих и объясняющих способы получения научного знания, его приращения, развития и применения.»

Методология, кроме совокупности методик, базируется также на принципах – **«принцип»** (от лат. principium – основа, начало) – основное, исходное положение какой-либо теории, учения, науки и т. п. Научное начало, правило, основа, которой придерживаются.»

Таким образом, для детального рассмотрения принципов промышленной оценки месторождений и возможностей их совершенствования, необходимо выявление и понимание методологических основ, а также четкое осознание места и роли данного объекта исследования в общем процессе недропользования.

Процесс недропользования, начиная от региональных поисков до рекультивации нарушенных земель отработанного месторождения, является многостадийным. Многостадийные процессы существуют в разных областях человеческой деятельности и хорошо изучены с философской точки зрения. В результате многовекового изучения, начиная от древнегреческих философов и до наших дней, выработались универсальная терминология, определения и свойства. Рассмотрим их с точки зрения применения к процессу недропользования.

Каждая стадия любого процесса характеризуется поставленной *задачей* – переводом ситуации с известным начальным состоянием в необходимое конечное состояние, «причём алгоритм достижения конечного состояния от начального известен (в отличие от проблемы, в случае которой алгоритм достижения конечного состояния системы неизвестен)».

Другое, более конкретное определение задачи формулируется как – «проблемная ситуация с явно заданной целью, которую необходимо достичь; в более узком смысле задачей также называют саму эту цель, данную в рамках проблемной ситуации, то есть то, что требуется сделать».

Необходимое конечное состояние формулирует *цель* - конечный результат, на который преднамеренно направлен процесс.

«Если процесс, воздействующий на некоторый объект, прекращается при достижении цели, то цель называют *конечной*. Если нет, то *промежуточной*.

В случае прямой постановки конечной цели на пути к её достижению могут выделять несколько промежуточных целей.

На практике обычно промежуточные цели выделяют для длительных процессов, либо же процессов, очень сильно воздействующих на качественные характеристики их объектов».

Совокупность последовательных процессов, которые преследуют решение определенных задач, с поставленными промежуточными и конечными целями, можно представить в виде единой системы.

«Потребность в использовании термина «система» возникает в тех случаях, когда нужно подчеркнуть, что *что-то* является большим, сложным, не полностью сразу понятным, при этом целым, единым. В отличие от понятий «множество», «совокупность» понятие системы подчёркивает упорядоченность, целостность, наличие закономерностей построения, функционирования и развития».

«*Система* – совокупность интегрированных и регулярно взаимодействующих или взаимозависимых элементов, созданная для достижения определённых целей, причём отношения между элементами определены и устойчивы, а общая производительность или функциональность системы лучше, чем у простой суммы элементов».

Совокупное рассмотрение последовательных процессов в виде объектов системы представляет системный подход.

«Системный подход – направление философии и методологии науки, специально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем. Системный подход ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих ее механизмов, на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую теоретическую картину».

«Роль системного подхода в развитии научного, технического и практически ориентированного знания состоит в следующем. Во-первых, понятия и принципы системного подхода выявляют более широкую познавательную реальность по сравнению с той, которая фиксировалась в прежнем знании (например, понятие биосферы в концепции В.И.Вернадского, понятие биогеоценоза в современной экологии, оптимальный подход в экономическом управлении и планировании и т.п.). Во-вторых, в рамках системного подхода разрабатываются новые по сравнению с предшествующими этапами развития научного познания схемы объяснения, в основе которых лежит поиск конкретных механизмов целостности объекта и выявление типологии его связей. В-третьих, из важного для системного подхода тезиса о многообразии типов связей объекта следует, что любой сложный объект допускает несколько расчленений. При этом крите-

рием выбора наиболее адекватного расчленения изучаемого объекта может служить то, насколько в результате удастся построить «единицу» анализа, позволяющую фиксировать целостные свойства объекта, его структуру и динамику».

Системный подход является теоретической и методологической основой *системного анализа*.

«Системный анализ – совокупность методов и средств, используемых при исследовании и конструировании сложных и сверхсложных объектов, прежде всего методов выработки, принятия и обоснования решений при проектировании, создании и управлении социальными, экономическими, человеко-машинными и техническими системами».

В условиях разветвления научно-технической революции во 2-й половине XX века происходит дальнейшее уточнение содержания системного подхода – раскрытие его философских оснований, разработка логических и методологических принципов, дальнейший прогресс в построении *общей теории систем*.

Основоположителем общей теории систем является австрийский биолог Карл Людвиг фон Бергаланфи.

«Общая теория систем – специально-научная и логико-методологическая концепция исследований объектов, представляющих собой системы. Общая теория систем тесно связана с системным подходом и является конкретизацией и логико-методологическим выражением его принципов и методов».

Системный подход предусматривает 3 основных этапа изучения явлений:

- 1) детализация (расчленение);
- 2) систематизация (изучение взаимозависимостей, взаимодействий и соподчиненности);
- 3) обобщение (синтез; когда из множества факторов отделяются от случайных типичные, главные и решающие факторы, влияющие на результат).

Применим вышеприведенную методологическую основу теории познания и системного подхода ко всему процессу недропользования.

Первым этапом системного подхода является расчленение или точнее, анализ, каждой стадии недропользования, которая характеризуется поставленной задачей или комплексом задач с начальным состоянием, промежуточной целью и конечным состоянием.

На втором этапе формируется связь между стадиями недропользования, в которых результаты решения одних задач с промежуточным результатом одной стадии является исходной основой, начальным состоянием для решения последующих задач следующей стадии.

Образованная таким образом взаимосвязь стадий, формирует динамическую систему последовательных взаимосвязанных задач недропользования, которая подчинена к продвижению всего процесса к достижению поставленной конечной цели.

И наконец, на последнем, третьем этапе системного подхода проводится обобщение, синтез сформированной системы с выделением главного фактора для достижения конечной цели системы. Этот этап наиболее ответственен и отражается на анализе всех стадий, так как характеризует всю систему и формулирует поставленную цель.

Конечная цель должна учитывать совокупное влияние всех факторов и должна обеспечить наилучшее освоение недр (месторождения) из всех возможных вариантов, то есть должна быть оптимальной (от латинского *optimus* – наилучший). Кроме этого, изменяющаяся во времени от начального до конечного состояния система называется динамической.

Таким образом, все стадии недропользования объединены в единую динамическую систему задач оптимального освоения недр (месторождений).

В табл. 1 представлено динамическое описание системы задач оптимального освоения рудных месторождений.

Рассмотрим более подробно стадии единой системы, в свете решаемых задач, начальных состояний, поставленных целей и достигнутых конечных состояний.

Первую стадию недропользования, укрупненно можно представить в виде поисков и разведки месторождений. Строго говоря, это две абсолютно разные стадии, с разными задачами и подходами, зависящих от типа полезного ископаемого, однако в рамках данного исследования их можно объединить. Процесс поисков месторождений начинается с анализа прямых (выходы полезных ископаемых на поверхность, следы старых горных выработок и исторические сведения

и т.д.) и косвенных (гидрогеологические, ботанические, топонимические и т.д.) поисковых признаков.

Далее проводятся поисково-оценочные работы – переходная стадия от поискового этапа к разведочному. «В задачи этих работ входит определение геолого-промышленного типа месторождения и минеральных типов полезных ископаемых, оконтуривание площади месторождения в плане с подтверждением наличия промышленных концентраций на глубинах до нескольких сотен метров, выборочная оценка условий залегания, морфологии и строения тел полезных ископаемых, прогнозная оценка технологических свойств минерального сырья и горно-геологических условий разработки месторождения, сбор исходных данных для обоснования браковочных кондиций и комплексная оценка прогнозных ресурсов месторождения».

На основе результатов поисково-оценочных работ проводится промежуточная оценка – технико-экономические соображения (ТЭС) и принимается решение о переходе к разведочной стадии, первой из которых является предварительная разведка – «стадия геологоразведочных работ, проводимая с целью получения достоверных данных для геолого-экономической оценки выявленных при поисковых работах месторождений твёрдых полезных ископаемых или подземных вод».

По окончании предварительной разведки проводится вторая промежуточная оценка – технико-экономический доклад (ТЭД) с обоснованием перехода к детальной разведке – «стадия геологоразведочных работ, проводимая на месторождениях твёрдых полезных ископаемых и с целью подготовки их к промышленному освоению».

Составление ТЭС и ТЭД были обязательными при плановой экономике и государственном финансировании работ. При частных инвестициях эти промежуточные оценки уже не являются обязательными для предоставления государственным органам, однако в любом случае, частная компания хотя бы для своего внутреннего пользования, естественно, проводит соответствующие оценки, как бы они не назывались.

Таким образом, динамическое развитие первой стадии недропользования представлено процессом от анализа поисковых признаков (начальное состояние) до детально разведанного участка недр (конечное состояние), с пакетом выявленных топо-географических и горно-геологических условий.

Полученный пакет информации является исходным (начальное состояние) для следующей решающей стадии становления месторождения – совокупной оценки полученных данных и обоснования целесообразности промышленного освоения месторождения.

В русскоязычной литературе наиболее распространенным названием данной окончательной оценки полученных данных, которое попало также в ряд нормативных документов, является – *геолого-экономическая оценка*.

Рассмотрим насколько правомерно такое название и насколько оно соответствует сути, структуре и предназначению данной оценки.

Термин «геолого-экономическая оценка месторождений» имеет разные формулировки. Например, определение советского времени: «геолого-экономическая оценка месторождений — комплексная оценка геологических и горно-технологических особенностей месторождений, промышленной ценности полезных ископаемых и вероятного экономического эффекта от использования добытого минерального сырья в народном хозяйстве».

Далее там же раскрываются значения составляющих понятий геологической и экономической оценок: «Геологическая оценка месторождений основана на результатах проведённых геологоразведочных работ, которые обобщаются при подсчёте запасов полезных ископаемых на основе кондиций, учитывающих геологические особенности месторождений, требования горной технологии, а также условия, обеспечивающие рентабельность, рациональное использование недр и охрану окружающей среды.» Как видно, сугубо к геологическим аспектам оценки здесь относятся только «результаты проведённых геологоразведочных работ», а все остальное относится к вопросам горной технологии.

Таблица 1

Динамическая система задач оптимального освоения рудных месторождений

Стадии	Задачи	Начальное состояние	Цель	Конечное состояние
	2	3	4	5
Поиски и разведка	Поиски проявлений Поисково-оценочные работы Предварительная разведка Детальная разведка	Прямые и косвенные поисковые признаки	Подготовка проявления для промышленной оценки	Систематизированный вид природных условий: - топо-географические; - горно-геологические
	Анализ природных условий Выбор геотехнологии и технологии переработки руд	Необходимый состав исходных данных	Обоснование геотехнологии и способа переработки руд	Обоснованные способ разработки и метод переработки руд
Промышленная оценка	Геозология	Способы разработки месторождения и переработки руд	Определение граничных условий возможной эксплуатации.	Допустимость строительства ГОКа и эксплуатации месторождения по экологическим соображениям
			Разработка мероприятий по минимизации текущего и долговременного воздействия на окружающую среду	Комплекс мероприятий по минимизации влияния эксплуатационных работ на окружающую среду Оценка охраны окружающей среды и схемы рекультивации
	Комплексное освоение месторождений	Характеристика компонентов горной массы	Оптимальное извлечение осевых и попутных компонентов и минимизация отходов производства Использование техногенных полостей	Реализация попутных компонентов, максимальное использование текущих отходов производства и техногенных полостей

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Промышленная оценка (продолжение)	ТЭО оптимальных параметров кондий и показателей обогащения руд	Данные детальной разведки и технологических испытаний Системы разработки	ТЭО параметров кондий по способам разработки и предельных контуров подчета запасов	Оконтуренные по способам разработки и экономической значимости рудные тела Предельная глубина подчета запасов
	ТЭО оптимальных параметров кондий и показателей обогащения руд	Технологический регламент переработки руд	Оптимизация показателей переработки руд	Оптимальные показатели переработки руд
Проектирование ГОКа	Подсчет запасов руды и металлов по принятой классификации	Контурные компоненты горной массы и границ карьера	Обоснование промышленной значимости качества и количества балансовых запасов руды	Утвержденные уполномоченным органом: - Балансовые запасы руды. - Забалансовые запасы руды
	Производительность ГОКа Вскрытие месторождения Режим горных работ Технология горных работ Технология переработки руд Список оборудования Капитальные вложения Экономика производства Проект рекультивации	Оконтуренные рудные тела и границы разработки Качество и количество компонентов горной массы	Разработка последовательности безопасной и экологически приемлемой технологической деятельности по выпуску товарной продукции обособованного качества и количества, с минимальными эксплуатационными затратами	Утвержденный уполномоченным органом и соответствующий всем нормам технологического проектирования «Проект добычи и переработки руды»
Эксплуатация	Мониторинг и анализ данных эксплуатационной разведки Производство товарной продукции с минимальными эксплуатационными затратами	Проект добычи и переработки руд	Реализация товарной продукции и получение прибыли	Техногенно измененные недра Отвалы вскрышных пород Хвостохранилища
Рекультивация	Восстановление нарушенных земель	Техногенно измененные недра и поверхность земли	Максимальное устранение нанесенного ущерба	Безопасные для проживания и пригодные для использования земли

«Экономический аспект оценки месторождений базируется на результатах подсчёта запасов и включает анализ показателей, определяющих эффективность эксплуатации месторождения (оптимальная годовая производительность горного предприятия, выпуск товарной продукции и её себестоимость, прибыль и рентабельность эксплуатации) и эффективность капитальных вложений в строительство промышленного комплекса (удельные капитальные затраты, общая сумма и сроки окупаемости капиталовложений, рентабельность на вложенные средства)». Здесь также все основано на технологических показателях эксплуатации месторождения (производительность и выпуск товарной продукции).

В настоящее время обобщающее определение звучит более лаконично: «геолого-экономическая оценка осуществляется для определения промышленной ценности месторождений полезных ископаемых при геологическом изучении недр и при постановке запасов полезных ископаемых на государственный баланс».

Выше было отмечено, что окончательная оценка должна быть совокупной, то есть учитывать все аспекты освоения месторождения – природные, в том числе, геологические, технологические и экономические. Очевидно, что сугубо геологические аспекты не могут привести к экономическим результатам, для достижения которых требуются основные процессы освоения месторождения – технологические. Последние состоят из технологии извлечения полезного ископаемого из недр – геотехнологии и технологии извлечения ценных компонентов из добытого полезного ископаемого – переработки (обогащения) руды. Следовательно, в названии «геолого-экономическая» оценка месторождения отсутствует ключевая технологическая составляющая, благодаря которой, выявленное на геологической стадии полезное ископаемое может стать товарным рыночным продуктом и привести к положительному экономическому эффекту.

Кроме этого, если данная оценка «осуществляется для определения промышленной ценности месторождений» и для передачи месторождений для промышленного освоения, то не логичнее ли ее назвать «промышленной оценкой»?

С этой точки зрения, термин «промышленная оценка месторождения» представляется наиболее соответствующим сути и предназначению данного исследования.

Стадия промышленной оценки месторождения является самой ответственной, так как именно от ее результатов зависит станет ли проявление месторождением или нет.

Месторождение полезных ископаемых — природное или техногенное скопление минерального сырья, которое по своим качественным, количественным, горнотехническим, географо-экономическим и геоэкологическим параметрам соответствует условиям его рентабельной разработки.

Процесс промышленной оценки месторождения начинается с анализа топографических и горно-геологических исходных данных, на основании которых обосновывается выбор геотехнологии и технологии переработки руд.

Обоснованный выбор должен быть обязательно проверен на соответствие граничным экологическим условиям возможности строительства и эксплуатации горно-перерабатывающего комбината (ГПК) – «красных линий», которые нельзя переступать во избежание непредсказуемых, неуправляемых и необратимых опасных последствий для окружающей среды.

В общем случае, следует отметить, что если такие запрещающие обстоятельства выявлены лишь на стадии промышленной оценки детально разведанного объекта, то необходимо признать допущенный брак на геологической стадии работ. Указанные выше промежуточные оценки ТЭС и ТЭД обязаны предвидеть возможные риски эксплуатации объекта и степень их опасности для окружающей среды и, при необходимости, обоснованно остановить работы на возможно раннем этапе.

Далее, если экологических препятствий нет или они преодолимы альтернативными решениями, то промышленная оценка должна вестись с учетом комплексного освоения месторождения, которое является составной частью более общего понятия проблем комплексного освоения недр.

До перехода к основной части промышленной оценки месторождения – ТЭО оптимальных параметров кондиций и показателей обогащения руд, особого внимания требует анализ возможностей комплексного использования отходов производства и геоэкологические проблемы эксплуатации месторождения.

Положительное решение по первой группе задач может явиться источником дополнительного экономического эффекта, а реализация мероприятий по минимизации ущерба окружающей среде приведет к дополнительным затратам. Таким образом, решения обеих групп проблем непосредственно влияют на экономические показатели освоения запасов базового полезного ископаемого и, следовательно, на параметры кондиций.

Целью ТЭО параметров кондиций являются оконтуренные по экономической значимости компоненты горной массы карьера - балансовые и забалансовые контуры рудных тел в предельных границах подсчета запасов, а также оптимальные показатели переработки руд.

Заключительным этапом стадии промышленной оценки рудных месторождений является подсчет и утверждение запасов руд и металлов.

На основании утвержденных запасов составляется проект эксплуатации горно-перерабатывающего комбината. К основным решаемым задачам этого этапа относятся: определение производительности карьера (рудника) по горным возможностям, схема вскрытия месторождения, обоснование режима горных работ, детализированный список оборудования, уточненный расчет капитальных вложений и экономики производства, проект рекультивации и пр.

Утвержденный проект разработки месторождения является начальным состоянием следующей стадии – эксплуатации горно-перерабатывающего комбината, основной задачей которого является производство и реализация товарной продукции с минимальными эксплуатационными затратами.

Результатом эксплуатации месторождения являются техногенно измененные недра (полости) и, нарушенный отвалами и хранилищами отходов производства, рельеф местности.

С началом практической деятельности и до конца, в результате строительства и эксплуатации инженерных и иных сооружений, комплексов и технических средств, взаимодействующих с природной средой, начинает формироваться геосистема — совокупность взаимодействующих природных и искусственных объектов.

Восстановление нарушенных земель с максимальным устранением нанесенного ущерба и создание безопасных для проживания условий окружающей среды являются задачей, целью и конечным состоянием конечной стадии недропользования – рекультивации.

Возвращаясь к понятийному аппарату методологических основ, отметим, что инструментом для решения задач системы (табл.1) являются методы (2-ой столбец), группы задач, объединённых в определенные стадии недропользования (1-ый столбец) – методики, а реализация всех методик – является методологией оптимального освоения рудных месторождений.

Таким образом, динамическая система задач оптимального освоения рудных месторождений представляет весь процесс недропользования – от анализа поисковых признаков до рекультивации нарушенных земель отработанного месторождения.

В проведенном исследовании для определения терминов и понятий были использованы работы В.К.Батоврина, В.Н.Волковой, А.А.Денисова, Л.Берталанфи, И.В.Блауберга, В.И.Кириллова, Д.Клиланда, В.Кинга, В.Н.Садовского, О.К.Тихомирова, А.И.Умова, Л.М.Фридмана, Э.Г.Юдина, а также материалы соответствующих энциклопедий, справочников и словарей.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Климент Николаевич Трубецкой
Александр Германович Красавин

**ОТЧЕТ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН
И КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ
УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАН СНГ В 2020 ГОДУ**

Техническое редактирование и верстка Н.А. Вдовина, Н.А. Малышева

Подписано в печать с оригинал-макета 11.06.2021 г. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 29 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 260.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.