

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 2021 ГОДУ**

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

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

МОСКВА 2022

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 2021 году. Составители: акад. К.Н.Трубецкой, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2022. – 192 с.

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2021 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	11
2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН).....	11
2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А.САДОВСКОГО РАН (ИДГ РАН)	20
2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН).....	26
2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН	32
2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ СО РАН)	36
2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В.ЧЕРСКОГО СО РАН (ИГДС СО РАН)	51
2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН)	61
2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН).....	72
2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УрО РАН. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН)	85
2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (Гои КНЦ РАН)	94
2.11. ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА КНЦ (ИППЭС КНЦ РАН).....	101
2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН).....	107
2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУК ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН	108
2.14. ИНСТИТУТ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ	109
2.15. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ»	116

2.16. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРЖДОНКИДЗЕ.....	124
2.17. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДФУ)	127
2.18. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ	128
2.19. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТулГУ).....	132
2.20. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ).....	140
2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».....	142
2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И.НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА	144
2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ)	145
2.24. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.....	150
2.25. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА».....	154
2.26. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И.САТПАЕВА	157
2.27. КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ	163
2.28. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	174
2.29. РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ	176

I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА

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

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

По традиции Научный совет РАН по проблемам горных наук был одним из организаторов и активным участником проведения совместно с Горным институтом НИТУ «МИСиС» 25–29 января 2021г. в г. Москве XXIX Международного научного симпозиума «**Неделя горняка - 2021**».

С докладами на пленарном заседании научного симпозиума «**Неделя горняка - 2021**» выступили:

- *Марек Цала*, председатель Всемирного горного конгресса, Польша.

Доклад: «**Горное дело будущего: технологии, ограничения, изменения**».

- *Трапезин Владимир Александрович*, директор по автоматизации и информационной трансформации производства, технический директор программы «Технологический прорыв» ПАО «ГМК «Норильский никель»».

Доклад: «**Технологический прорыв 20-е годы трансформации**».

- *Книжников Алексей Юрьевич*, руководитель программы по экологической ответственности бизнеса WWF России.

Доклад: «**Экологические задачи горнодобывающих проектов**».

- *Барях Александр Абрамович*, директор Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН.

Доклад: «**Региональный научно-образовательный центр (НОЦ) «Рациональное недропользование» как интегратор горных наук и образования**».

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

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

- *Мясков Александр Викторович*, директор Горного института НИТУ «МИСиС».

Доклад: «**Кадровый вызов горной промышленности: возможности и вклад университета**».

I. В рамках программы научного симпозиума 29 января 2021 года под председательством члена Бюро Научного совета РАН по проблемам горных наук чл.-корр. РАН *В.Н.Захарова* было проведено заседание Научного совета РАН по проблемам горных наук с участием ведущих специалистов ИПКОН РАН, Горного института НИТУ «МИСиС» и ряда отечественных и зарубежных представителей организаций горного профиля.

Заседание проходило как «вживую», так и в онлайн режиме. В заседании приняли участие более 40 ученых и специалистов горного профиля.

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад директора научно-исследовательского центра (НИЦ) «Прикладная геомеханика и конвергентные технологии» Горного института НИТУ «МИСиС» докт.техн.наук, проф. РАН *Виталия Андреевича Еременко* на тему: «**Проблемы разработки месторождений твердого минерального сырья на основе конвергентных технологий**».

Антагонистическое противоречие между биологической сущностью человека и биологичными способами получения им энергии Солнца для создания пищевой базы и среды своего обитания является определяющим фактором, формирующим образ нашей технократической цивилизации. С появлением в составе экосистемы планеты Земли нового биологического вида – Homo Sapiens, живущего вне природного баланса солнечной энергии, возникла новая форма развития биосферы этой экосистемы – **антропогенный кризис**. Такие кризисы возникали на всех этапах формирования человеческой цивилизации, они имели разный характер, но одну причину: несоответствие уровня и структуры потребления человека с ресурсными возможностями геосфер нашей планеты.

Сложившееся соотношение темпов роста народонаселения Земли и постоянного увеличения удельного объёма добычи минеральных ресурсов, не только отражает опережающий рост потребностей общества в минеральных ресурсах, но и наглядно свидетельствует об экстенсивном характере развития процесса недропользования. Экологические последствия такого развития цивилизации позволяют добавить в упомянутую выше классификацию ещё один тип кризиса, который может быть назван **кризисом геосфер** и характеризуется тем, что созданная человеком антросфера поглощает остальные четыре геосферы Земли в объёмах, которые в глобальном масштабе становятся соизмеримыми с внутренними защитными возможностями их самовосстановления, а в масштабах локальных – превосходят эти возможности. Именно поэтому, сегодня, в рамках реализации принятой глобальной концепции устойчивого развития Природы и Общества, определено, что генеральной целью и смыслом понятия экологической безопасности технологии является сохранение естественной биоты Земли, как фундаментальной базы дальнейшего процветания человечества.

Для решения проблем такого системного уровня совершенно необходимо, чтобы требования по экологической безопасности предъявлялись не к отдельным операциям или процессам, а были бы заложены в основу перспективной общетеchnологической парадигмы таким образом, чтобы сохранение естественной биоты Земли стало обязательным требованием и неотъемлемым свойством создаваемых и применяемых технологий. В методологическом плане, представляется вполне очевидным, что технологические ответы на экологические вызовы следует искать путём изучения систем, где эти ответы уже получены, то есть в биологических системах естественной биоты Земли.

Развитие техносферы как основы современной цивилизации определяется простой функциональной триадой **знание-умение-результат** или **наука-технология-продукт**. Качественная характеристика элементов этой триады становится понятной при её рассмотрении в обратном порядке: необходимые для нас свойства продукта предопределяют внутреннее содержание технологии, а оно, в свою очередь, указывает на то, какую именно часть общего знания мы должны использовать при создании данной технологии. Поэтому часто применяемое сегодня словосочетание «**природоподобные технологии**» надо трактовать не как создание каких-то необычных технологий, а как **определение вектора приложения поисковых усилий** и как указание на то, что новые пути целенаправленного преобразования технологий **мы намерены найти на основе знаний о живой природе**. Тогда, в зависимости от предназначения и характера технологий, необходимо выделить два принципиально различных направления:

- поиск природоподобных решений для создания технологий, имеющих аналоги в живой природе;
- поиск природоподобных решений для создания технологий, не имеющих аналогов в живой природе.

В первом случае, когда инновационное развитие определённой группы технологий основано на дублировании уже существующих в живой природе процессов, можно говорить о **природовоспроизводящих технологиях**.

Во вторую группу попадают практически все технологии, благодаря которым создаётся искусственная среда обитания человека на территориях, которые ранее занимала естественная биота Земли. Поэтому здесь целью поиска становится не какая-то отдельная технология, а форма экологически уравновешенного (коэволюционного) взаимодействия антагонистических компонентов в ходе развития единой природно-технической системы. Поэтому второй тип

природоподобных технологий, **в рамках которых антропогенные процессы взаимодействуют в биоподобной функциональной структуре можно назвать конвергентными.**

Идея о принципиальной возможности создания таких технологий для разработки месторождений полезных ископаемых впервые родилась в ИПКОН РАН в виде выдвинутой и разработанной гипотезы о том, что уровень экологической безопасности техногенных геосистем по отношению к системам биологическим пропорционален степени единообразия принципов функционирования обеих систем (Грант РФФИ № 99-05-65475).

Применение методов гомеостатической трансформации при дальнейшем развитии этой идеи позволяет перейти от анализа принципов функционирования равновесных биологических систем к синтезу функциональной структуры горных технологий, экологические последствия использования которых будут сбалансированы с локальной устойчивостью естественной биоты, воспринимающей техногенную нагрузку.

В этом случае в природно-технической системе освоения недр управляемая гармония между несовместимыми её компонентами достигается за счёт подобия функциональных структур и ограничения уровня техногенных воздействий диапазоном толерантности структуроопределяющих элементов биоты природных экосистем.

Одновременная реализация теоретически разработанных биогенных принципов построения конвергентных горных технологий позволит структурировать во времени и пространстве процесс получения полезных ископаемых в полном соответствии с ограничениями экологического императива и устойчивого развития. В такой постановке основные элементы природно-технической системы освоения запасов месторождения можно представить в виде двух полиобъектных кластеров, которые «концентрируют усилия» в разных направлениях, но устремлены к единой системной цели. Производственно-технический кластер имеет своей целью эффективную и безопасную добычу полезного ископаемого, а природоохранный формируется как система действий и ограничений по коэволюционному взаимодействию экологических и технологических объектов при локальном разрушении литосферы. Каждый из этих кластеров состоит из нескольких монокластеров низшего порядка, которые, в свою очередь, формируются из функциональных систем различного назначения.

В рамках решения проблемы по разработке научных основ построения конвергентной геотехнологии подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых были проведены теоретические и экспериментальные исследования по изучению особенностей формирования вторичного поля напряжений в техногенно изменяемых участках литосферы. На основе гомеостатической трансформации в техносферу эволюционно-бифуркационной модели развития биологических систем впервые предложен универсальный, для всех морфологических типов месторождений, методологический подход к реализации принципа превентивности в составе исполнительного кластера конвергентной горной технологии, заключающийся в опережающем устранении, за счет изменения пространственно-временной конфигурации технологии, тех факторов, которые обладают наибольшим факторным весом при формировании конечных показателей эффективности добычных работ. В ходе дальнейших исследований была выдвинута и частично разработана гипотеза о соответствии конфигурации вторичного поля напряжений, возникающего в процессе добычных работ на месторождении, характеру и величине анизотропии элементов залегания рудных тел. Это позволило использовать методы вепольного анализа при доработке методологической концепции формирования природно-технических систем разработки месторождений твердых полезных ископаемых и предложить новый показатель для количественной оценки изменения исходного поля напряжений в процессе ведения очистных работ – **коэффициент влияния**, который определяется через соотношение геометрических параметров взаимодействующих элементов: площади внешнего контура рассматриваемой горной конструкции к площади внешнего контура, сформированной в горном массиве зоны растягивающих деформаций с критическими для конкретного типа горной породы значениями микродеформаций.

В процессе обоснования новой концепции развития геотехнологии на основе гомеостатической трансформации функциональной структуры биологических систем в техносферу, были впервые исследованы взаимные регуляторные влияния техногенных и экологических факторов и сформулированы общие принципы построения перспективных конструкций систем разработки для рудных месторождений различной мощности и морфологического типа.

На основе полученных результатов натурных исследований, численного и физического моделирования установлены зависимости, характеризующие влияние геометрических параметров очистных выработок, традиционно применяемых и создаваемых конвергентных горных технологий на степень изменения исходного поля напряжений. Для количественной оценки напряжённо-деформированного состояния горнотехнических систем в поле вторичных напряжений впервые использовался адаптированный критерий прочности Хука-Брауна, а созданные численные модели были адаптированы, с использованием метода Терцаги, к условиям, лимитирующим применение программы численного моделирования Map3D и геомеханических программ Dips, RocData, Unwedge и PicSure. Одновременно была разработана методика изготовления физических моделей из эквивалентных материалов с использованием созданной в рамках реализации проекта установки и специализированного стенда для воспроизводства моделей любой сложности методами 3D моделирования.

На основе численного моделирования процессов развития вторичного поля напряжений в горнотехнических системах подземной разработки рудных месторождений выявлены механизмы потери устойчивости конструктивных элементов и определены оптимальные параметры систем, способных эффективно противодействовать внешним нагрузкам, а также были установлены параметры физических моделей новых каркасных и сотовых горных конструкций в составе конвергентной технологии освоения месторождения.

Проведение комплекса шахтных измерений дало локальное подтверждение установленного характера и динамики формирования вторичного поля напряжений в техногенно изменяемом участке литосферы, что позволило эффективно калибровать применяемые геомеханические модели.

В целом, результаты выполненного этапа исследований показали, что модернизация технологической парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса в направлении постепенного перехода к конвергентным технологиям позволит разрешить в этой сфере деятельности глобальное антагонистическое противоречие между техно- и биосферой путём его трансформации в цепь локальных противоречий между конкретным добывающим предприятием и реальной экосистемой. Каждое локальное противоречие преодолевается за счёт целенаправленного создания и применения технологических решений, уровень экологического воздействия которых не выходит за рамки условий самовосстановления фитоценоза нарушаемых экосистем.

По докладу были заданы вопросы *чл.-корр. РАН Д.Р.Каплуновым, чл.-корр. РАН Захаровым В.Н., проф., д.т.н. С.Д.Викторовым, проф., д.т.н. Ткачем С.М., д.т.н. Бобиным В.А., д.т.н. Малинниковой О.Н., проф., д.т.н. Рыльниковой М.В., д.т.н. Кулибабой С.Б.*

По докладу выступили *чл.-корр. РАН Каплунов Д.Р., проф., д.т.н. Викторов С.Д., проф., д.т.н. Рыльникова М.В., д.т.н. Кулибаба С.Б., чл.-корр. РАН Захаров В.Н.*

По докладу директора научно-исследовательского центра (НИЦ) «Прикладная геомеханика и конвергентные технологии» Горного института НИТУ «МИСиС» д.т.н., проф. РАН *Виталия Андреевича Еременко* на тему: **«Проблемы разработки месторождений твердого минерального сырья на основе конвергентных технологий»** были сделаны следующие выводы и решения Научного совета РАН по проблемам горных наук:

- проблемы, освещенные в докладе, важны, перспективны и актуальны;
- доклад можно отнести к новой классификации недропользования;
- междисциплинарные знания и проблемы, озвученные в докладе, сопряжены с натурными исследованиями;
- предложен новый подход к преобразованию массива;
- вопросы, возникшие по каркасным технологиям надо решать и требуют особого подхода к характеристикам массива.
- участники заседания в целом одобрили основные положения представленного доклада и рекомендовали автору продолжить научно-исследовательскую работу в данной области и пожелали успехов в выполнении дальнейших исследований.

Участниками заседания было отмечено, что доклад был интересен, полезен и хорошо преподнесен аудитории.

Докт.техн.наук, проф. РАН *Еременко В.А.* поблагодарил участников заседания за вопросы и конструктивные предложения, отметив при этом, что надо о многом поразмыслить и по

возможности поднять связи с горным производством и о готовности сотрудничать с академическими, учебными учреждениями и горнодобывающими предприятиями.

II. 25-28 октября 2021 года в Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН была проведена **15-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».**

Организаторы школы - Министерство образования и науки Российской Федерации, Российская академия наук, Отделение наук о Земле, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Научный совет РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, Институт проблем комплексного освоения недр РАН им. академика Н.В. Мельникова, Совет молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН.

В работе научной школы приняли участие представители академических и отраслевых институтов, вузов, горно-обогатительных предприятий России, Вьетнама, Германии, Казахстана, Монголии, Донецкой Народной Республики и Украины. В их числе ИПКОН РАН (г. Москва), НИТУ МИСиС (г. Москва), Санкт-Петербургский горный университет, ЗабГУ (г. Чита), МГТУ им. Г.И. Носова (г. Магнитогорск), Российский университет дружбы народов (г. Москва), КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), УрФУ (г. Екатеринбург), Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (г. Мирный), РАНИМИ (г. Донецк, ДНР), ГоИ КНЦ РАН (г. Апатиты), ИГД ДВО РАН, «Московский государственный университет геодезии и картографии», Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (г. Москва), ИГД им. Чинакала СО РАН (г. Новосибирск), «Монмаг» (Монголия), ООО «ПИК МАЙНИНГ» и др., представители научно-технических журналов и изданий – «Маркшейдерский вестник», «Маркшейдерия и недропользование» и др.

Число зарегистрированных участников составило более 240 человек. На конференции представлено 103 доклада, из них заслушано 48 докладов, в том числе 7 пленарных. В работе конференции приняли участие 2 академика РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 40 докторов наук, 51 кандидатов наук, около 50 аспирантов и студентов.

Участники осветили последние достижения в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Представлены результаты новых исследований по таким направлениям как проблемы геомеханики, разрушения горных пород и газодинамических явлений, геоинформационные технологии, совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых, управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр, комплексная переработка природного и техногенного минерального сырья, техника безопасности и охрана окружающей среды при недропользовании.

Конференция отметила, что в представленных докладах содержатся современные теоретические и практические подходы к решению указанных проблем, основанные на крупных исследованиях, выполненных за последние годы научными коллективами. *Основная часть докладов была заслушана на четырех специализированных секциях.*

1. Проблемы геомеханики, разрушения горных пород и газодинамических явлений. Геоинформационные технологии.
2. Совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых. Цифровые технологии при недропользовании. Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр.
3. Проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья.
4. Охрана окружающей среды при недропользовании.

Участники конференции получили сертификаты об участии в 15 Международной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».

По материалам конференции издан сборник трудов (352 страница, 103 доклада); ISBN 978-5-6041085-6-7.

Решение школы молодых ученых и специалистов:

1. Продолжить развитие фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям комплексного освоения и сохранения недр Земли.
2. Расширить сотрудничество Совета молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН с молодыми учеными России, ДНР, Германии, Вьетнама, Казахстана, Монголии, Украины.
3. Наиболее интересные доклады, отмеченные по результатам работы секций, опубликовать в виде статей в журналах Маркшейдерия и недропользование, Маркшейдерский вестник.

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

5. Провести 16 Международную научную школу молодых ученых и специалистов в октябре-ноябре 2023 г.

6. Отметить высокий уровень подготовки и проведения конференции и вынести благодарность ее организаторам, руководству ИПКОН РАН, оказавшему техническую и финансовую поддержку, редакциям научно-технических и производственных журналов - «Маркшейдерия и недропользование», «Маркшейдерский вестник».

III. В целях укрепления научного и образовательного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов в 2021 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 2020 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 разосланы почтой во все организации, предоставившие важнейшие результаты своих научно-исследовательских работ, проведенных в 2020 году.

Научный совет РАН в 2020г. и в начале 2021г. понес невосполнимые утраты.

29 декабря 2020г. ушел из жизни член Бюро Научного совета РАН по проблемам горных наук, академик РАН, председатель совета директоров АО «Механобр-техника» **Вайсберг Леонид Абрамович**.

04 января 2021г. ушел из жизни член Научного совета РАН по проблемам горных наук, член-корреспондент РАН, главный редактор «Горного журнала» **Пучков Лев Александрович**.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Важнейшие результаты фундаментальных исследований по базовому бюджетному финансированию

При освоении глубокозалегающих рудных месторождений в условиях высоконапряженных горных массивов на основе рейтинговой классификации Бартона, видеоэндоскопии и ультразвукового каротажа, структурных физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния раскрыт механизм формирования и параметры зон разрушения горных пород вокруг выработок в динамике их проходки, как основа обоснования технологий проведения и длительного поддержания подземных горных выработок при разработке удароопасных месторождений в поле действия повышенных тектонических напряжений, что позволило повысить устойчивость горных выработок, увеличить скорости их проведения и ввести в эксплуатацию 2 удароопасных участка апатит-нефелиновых руд месторождения «Олений ручей» (рисунок 1).

Авторы: академик К.Н., Трубецкой, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунов, д.т.н. И.И. Айнбиндер, д.т.н. В.А. Еременко, к.т.н. П.Г. Пацкевич, к.т.н. А.П. Аверин, Е.В. Красюкова, в рамках темы «Разработка научно-методических основ устойчивого развития горнотехнических систем на базе установления закономерностей взаимодействия природных и инновационных технологических процессов в условиях интенсивного комплексного освоения недр Земли», FMMS-2021-0001, номер гос. регистрации 01201354608

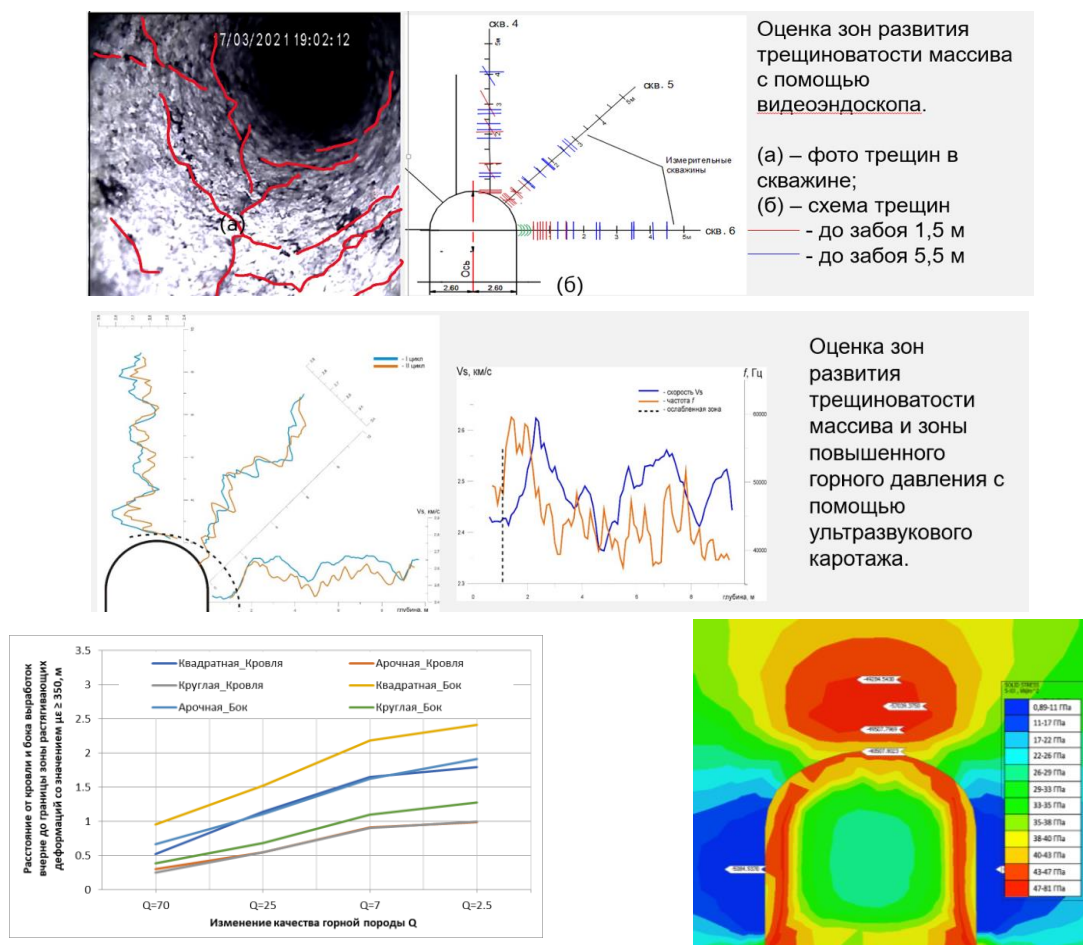


Рисунок 1 - Формирование зон разрушения вокруг контура выработки в поле действия тектонических напряжений

Публикации:

1. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В., Аверин А.П. Обоснование стратегии поддержания устойчивости подземных горных выработок в условиях действующих повышенных анизотропных напряжений. Горный журнал, 2022, № 1 (в печати).

На основе комплекса современных методов исследования воздействия мощных наносекундных энергетических импульсов (МЭМИ), диэлектрического барьерного разряда (ДБР) и ультразвука на структурно-химические, механические и физико-химические свойства эвдиалита и золошлаковых отходов при их кислотном выщелачивании вскрыт механизм интенсификации процесса извлечения циркония (Zr), рения (Re) и редкоземельных элементов (РЗЭ), заключающийся в разупрочнении и деструкции минерала, что обеспечивает повышение извлечения ценных компонентов (рисунки 2-4, таблица 1).

Авторы: академик В.А. Чантурия, д.т.н. Т.Н. Матвеева, д.т.н. И.Ж. Бунин, к.т.н. В.Г. Миненко, проект РФ Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802).

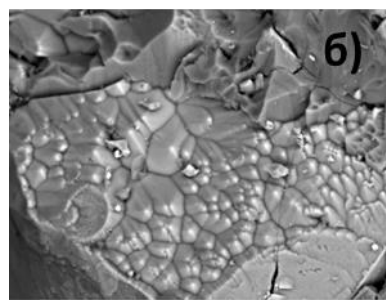
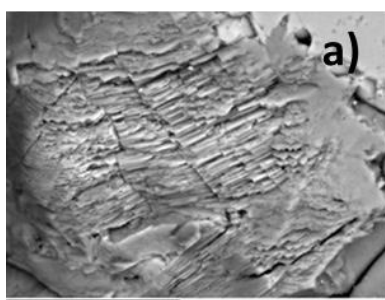


Рисунок 2 - Поверхность перовскита после воздействия МЭМИ (а) и ДБР (б)

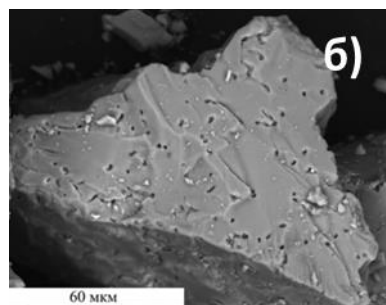
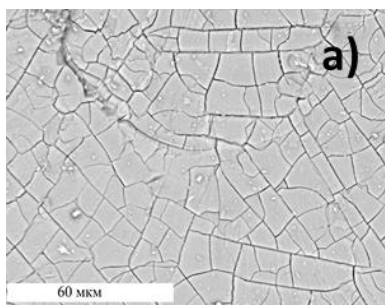


Рисунок 3 - Поверхность эвдиалита после воздействия МЭМИ (а) и ДБР (б)

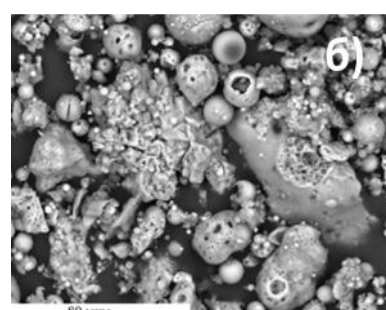
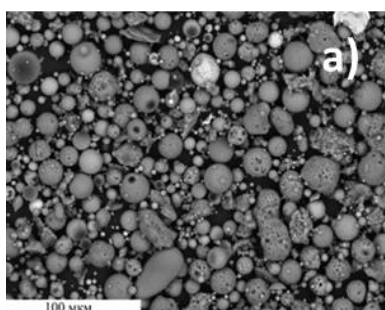


Рисунок 4 - Микросферы ЗШО до (а) и после (б) УЗ обработки в азотной кислоте

Влияние энергетических воздействий на извлечение редких и РЗЭ

Условия обработки	Эвдиалитовый концентрат		Золошлаковые отходы		Молибденовый концентрат	
	Извлечение, %					
	Zr	РЗЭ	РЗЭ	РЗЭ	Re	Re
Без обработки	86.6	87.7	50.2	50.2	68.5	68.5
МЭМИ	90.9	89.5	54.2	54.2	-	-
ДБР	90.6	89.2	-	-	-	-
УЗ обработка	92.3	91.0	68.4	68.4	-	-
Автоклавное выщелачивание	-	-	-	-	97.6	97.6

Публикации:

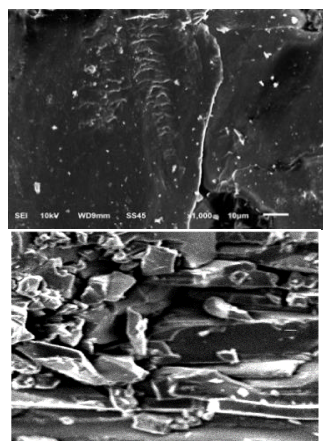
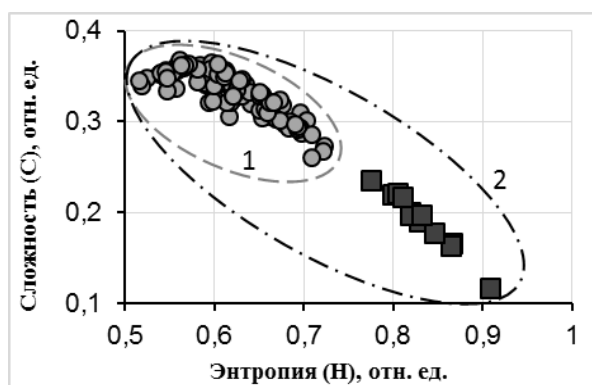
1. Бунин И.Ж., Рязанцева М.В., Миненко В.Г., Самусев А.Л. Влияние мощных электромагнитных импульсных воздействий на структурно-химические свойства и эффективность выщелачивания эвдиалитового концентрата. // Обогащение руд. №5, 2021 г, С. 10-15. DOI: 10.17580/or.2021.05.02.

2. Матвеева Т.Н., Чантурия В.А., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю., Громова Н.К. Применение нового композитного реагента для флотационного выделения целевых минералов в коллективный медно-молибденовый концентрат. // Горный информационно-аналитический бюллетень. / Mining Informational and Analytical Bulletin, - 2021. - №11. - С. 80-94. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_80.

3. Chanturia, V.A., Bunin, I.Z., Ryazantseva, M.V., E. V. Koporulina, N. E. Anashkina. EFFECT OF ELECTROMAGNETIC PULSES ON STRUCTURAL, PHYSICOCHEMICAL AND FLOTATION PROPERTIES OF EUDIALYTE // *Journal of Mining Science*. 57, P. 96–105 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1062739121010117>.

4. Чантурия В.А., Самусев А.Л., Миненко В.Г., Кожевников Г.А. Извлечение редких и редкоземельных элементов из силикатного геля – продукта выщелачивания эвдиалитового концентрата. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.- 2021. - № 6.

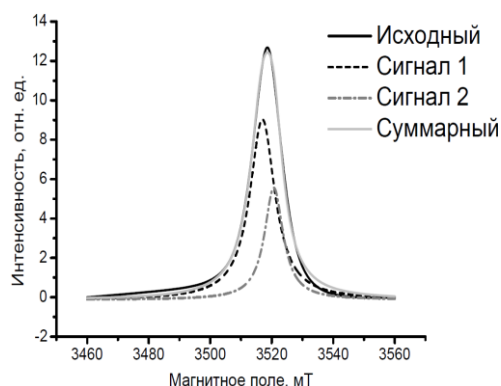
Исследования образцов угля с применением диаграмм «энтропия-сложность», спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), микроскопии и метода термогравиметрии показали, что угли одинаковой степени метаморфизма, отличаются неоднородностью микроструктуры, различным соотношением количества ароматических и алифатических соединений, способностью накапливать и удерживать метан и склонностью к самовозгоранию. Угли с более неоднородной структурой (с значениями энтропии $H = 0,5 \div 0,9$, рисунок 5) лучше накапливают и удерживают метан, за счет нарушенности и большего количества парамагнитных центров (ПМЦ) в их алифатической составляющей (линия 1 на рисунке 6), который может выделяться в выработки при добыче угля, и более склонны к самовозгоранию, что отражается в большей величине набора массы за счет сорбции кислорода углем при нагревании (рисунок 7).



Угли с
 $Q = 1,3 \text{ м}^3/\text{т}$
 $H = 0,5 \div 0,72$
 (область 1, рис. 1)

Угли с
 $Q = 11,26 \text{ м}^3/\text{т}$
 $H = 0,5 \div 0,91$
 (область 2, рис. 1)

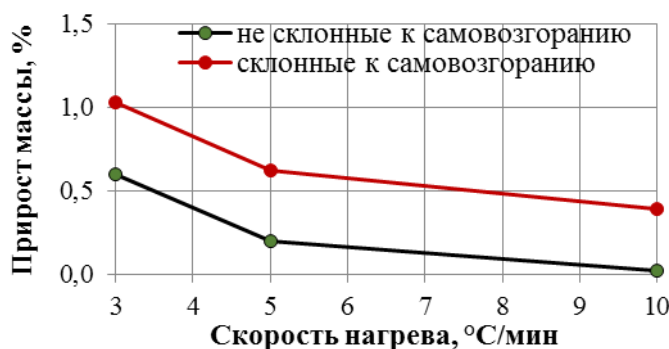
Рисунок 5 - Неоднородность микроструктуры углей из пластов с остаточной газоносностью призабойной зоны Q



Количество ПМЦ, определенное по площади под линией сигнала от: 1 – алифатической и 2 – от сопряженных систем, преимущественно в ароматической части углей

$Q, \text{ м}^3/\text{т}$	линия	ПМЦ $\times 10^{17}$, спин/г	N_1/N_2
1,3	1	7,4	0,7
	2	11,1	
11,3	1	8,8	2,1
	2	4,1	

Рисунок 6 - Пример разложения спектров исходного сигнала ЭПР на две линии ($Q = 11,26 \text{ м}^3/\text{т}$)



Угли склонные к самовозгоранию, при нагревании в термогравиметре в интервале температур 200–250°C значительно активнее поглощают кислород из воздуха, что отражается в большем увеличении их массы в сравнении с углями из не склонных к самовозгоранию пластов.

Рисунок 7 - Изменение массы образцов угля при нагревании в термогравиметре со скоростью 3; 5 и 10°C/мин

Авторы: чл.-корр. РАН В.Н. Захаров, к.т.н. А.В. Шляпин, д.т.н. О.Н. Малинникова, д.т.н. Е.В. Ульянова, к.т.н. А.В. Харченко, вед.инж. М.О. Долгова, вед.инж. А.Б. Палкин, асп. Б.Н. Пашичев, асп. А.И. Докучаева

Публикации:

1. Захаров В.Н., Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н. Влияние петрографического состава угля на его способность к удержанию метана. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12. – С. 88–98. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_88.
2. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Харченко А.В., Пашичев Б.Н. Микроструктура метановых угольных пластов. // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – М., 2021. – № 3.
3. Пашичев Б.Н., Ульянова Е.В., Ульянов А.Н., Малинникова О.Н. Связь количества парамагнитных центров в угле со склонностью пластов к опасным явлениям. // X Международный Российско-Казахстанский Симпозиум «Углекислота и экология Кузбасса»: Сб. тез. докл. 12 – 13 июля 2021 г. Кемерово, ФИЦ УУХ СО РАН. – 2021.
4. Малинникова О.Н., Палкин А.Б., Докучаева А.И. Термогравиметрический анализ углей для определения их склонности к самовозгоранию. // Углекислота и экология Кузбасса: X Международный Российско-Казахстанский Симпозиум: Сб. тез. докл. 12 - 13 июля 2021 г. Кемерово. / ФИЦ УУХ СО РАН. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2021. – С. 57.
5. Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Ульянова Е.В., Долгова М.О. Изменение скорости термического разложения углей в зависимости о склонности к самовозгоранию. // Материалы международной конференции «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2021), 04-08 октября 2021 г., Владикавказ, Из-во СКГМИ (ГТУ). – С. 400-404.
6. Пашичев Б.Н., Ульянова Е.В., Малинникова О.Н. Влияние на свойства угольного пласта микроструктуры петрографических составляющих. // Материалы Международной

конференции «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения - 2021), 04-08 октября 2021 г., Владикавказ, Изд-во СКГМИ (ГТУ). – С. 215-218.

Установлены характеристики угольных пластов, насыщенных метаном в сорбированном состоянии, которые обеспечивают пластам в состоянии нетронутом разработкой выполнять функцию непроницаемых слоев, изолирующих атмосферу Земли, от проникновения глубинных мантийных газов, формирующихся в результате ее водородно-метановой дегазации (рисунок 8).

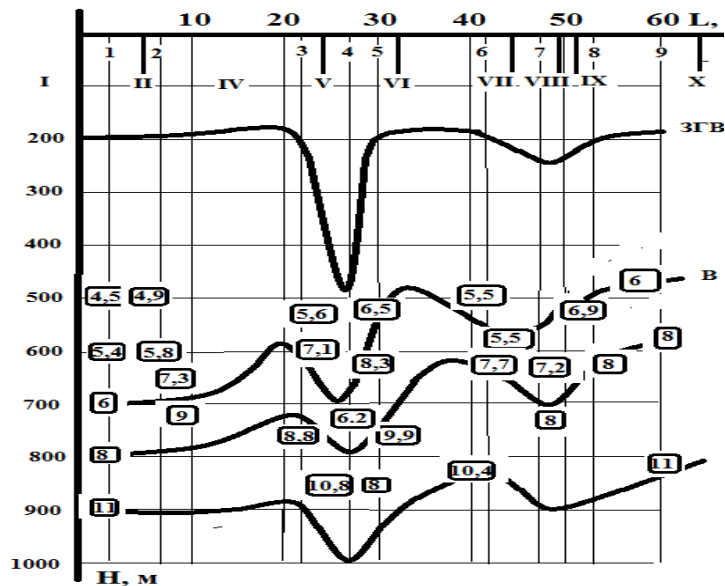


Рисунок 8 - Характер изменения газоносности вдоль Главной антиклинали Центрального района Донбасса: 3ГВ – зона газового выветривания, В – изогазы

Установлен факт существенного снижения газоносности в пластах m2, m3 и m5 в поле шахт имени В.И.Ленина (позиция 4 на рисунке 8) и «Красный Профинтерн» (позиция 8), через которые происходит интенсивный (выше среднего) сток метана (парникового газа) в атмосферу Земли, подтвержденный размерами их зон газового выветривания, которые составляют соответственно 480 м (тектоническое нарушение типа сброса) и 240 м (Софиевское тектоническое нарушение).

Исследование содержания газов в углях и интенсивности их выделения при техногенном воздействии в зависимости от условий залегания, напряженно-деформированного состояния, вещественного состава и микроструктуры угля, а также возможного влияния водородно-метановой дегазации Земли на сорбционные, и термодинамические процессы.

I. Исследование образцов угля, отобранных из призабойных зон угольных пластов с различными значениями остаточной газоносности, проводилось методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

В сигнал ЭПР поглощения углей вносят вклад два типа парамагнитных центров (ПМЦ): слабое обменное взаимодействие неспаренных электронов сопряженных систем и неспаренные электроны, локализованные в участках разрыва связей или ненасыщенные химические связи с образованием свободной валентности. Поэтому спектры ЭПР каменных углей состоят, как минимум, из двух линий: узкой от систем сопряжения (связанных преимущественно с ароматической составляющей угля) и широкой, представленной разорванными и деформированными эфирными и метиленовыми мостиковыми межзатомными связями алифатической части угля, от ПМЦ свободно-радикального типа (рисунок 9).

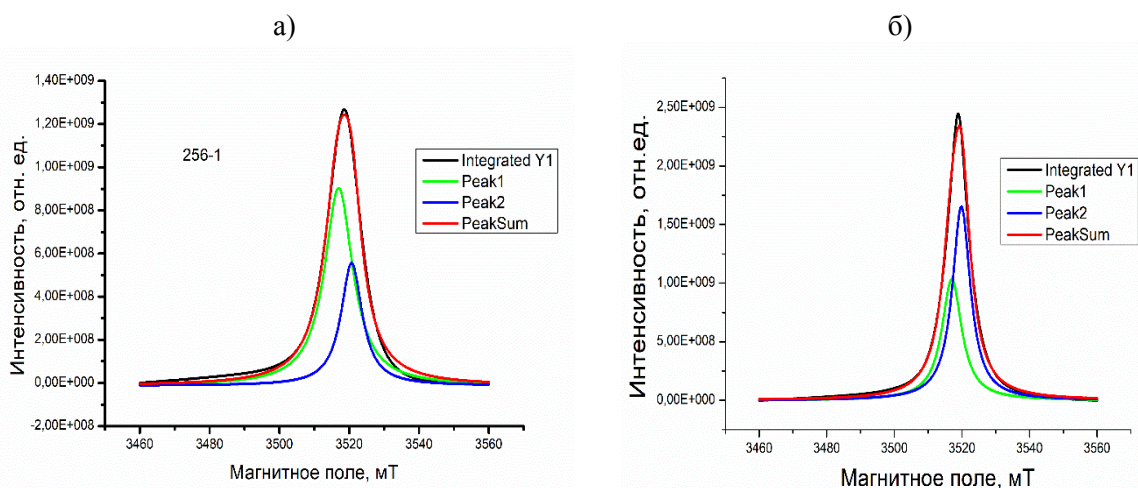


Рисунок 9 - Разложение спектров ЭПР (PeakSum) на две линии :Peak1 – от алифатической и Peak2 – от ароматической части угля; (а) – уголь с содержанием метана 9,4 м³/т; (б) – уголь с содержанием метана 2,3 м³/т

Проведенные исследования показали, что в ЭПР-спектрах углей, содержащих большее количество метана (около 10 м³/т), сигнал от алифатической части угля (Peak1) по площади под кривой и по интенсивности (высота пика) преобладает над сигналом (Peak2), представляющим парамагнитные центры систем сопряжения (рисунок 9а), то есть преобладают ПМЦ алифатической части.

В образцах углей с небольшой остаточной газоносностью (рисунок 9б) ситуация обратная: ПМЦ в алифатической части мало. То есть, метан удерживается в угле парамагнитными центрами его алифатической части. Это хорошо согласуется с нашими предыдущими исследованиями, показавшими, что для углей с более высокой остаточной газоносностью характерна большее рыхлая, неоднородная микроструктура.

Публикации:

1. Захаров В.Н., Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н. Влияние петрографического состава угля на его способность к удержанию метана. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12. – С. 88–98. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_88.
2. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Харченко А.В., Пашичев Б.Н. Микроструктура метановых угольных пластов. // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – М., 2021. – № 3.
3. Пашичев Б.Н., Ульянова Е.В., Ульянов А.Н., Малинникова О.Н. Связь количества парамагнитных центров в угле со склонностью пластов к опасным явлениям. // X Международный Российско-Казахстанский Симпозиум «Углекислотная химия и экология Кузбасса»: Сб. тез. докл. 12–13 июля 2021 г. Кемерово, ФИЦ УУХ СО РАН. – 2021.

II. При нагревании угля в термогравиметре с доступом кислорода при температуре, превышающей диапазон испарения влаги, угли, склонные к самовозгоранию, значительно активнее, чем несклонные, поглощают кислород, что можно контролировать по увеличению массы образца угля в интервале температур 200–250 °С (рисунок 10).

На рисунке 10 показано изменение массы образцов угля склонных (195, 196, 197, 198 – верхние линии) и не склонных к самовозгоранию (183, 184, 185 – линии, расположенные ниже) при скоростях нагревания 3, 5 и 10 °С/мин.

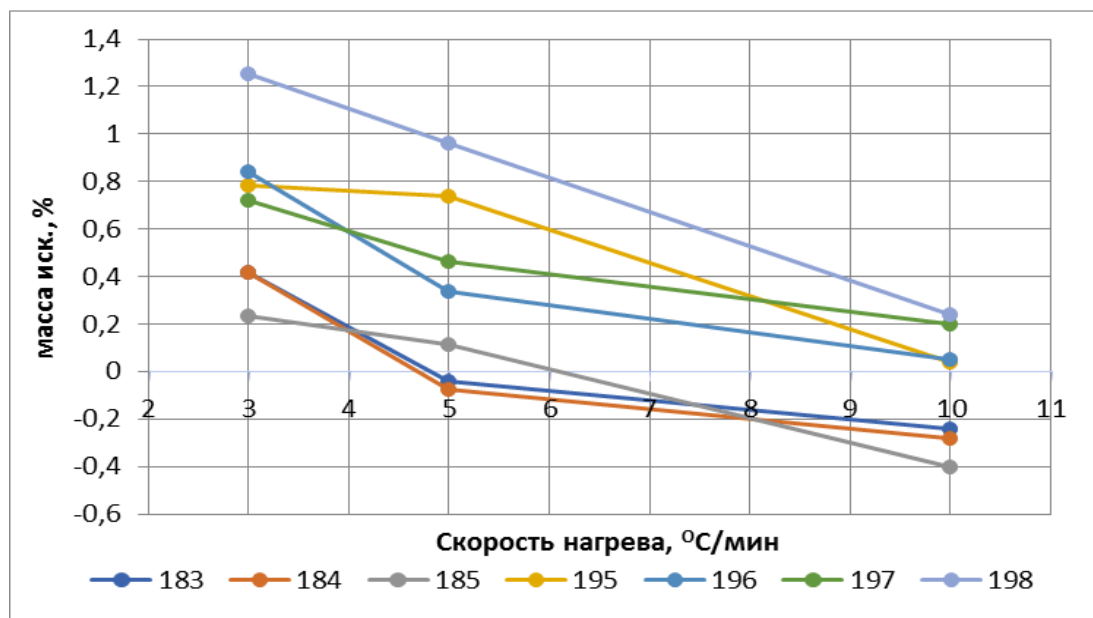


Рисунок 10 - Изменение массы угля в интервале температур 200–250°С для трех скоростей нагрева камеры анализатора

Для склонных к самовозгоранию углей в выбранном диапазоне температур при всех скоростях нагрева происходит набор массы, тем больше, чем медленнее происходит нагрев в диапазоне от 3 до 10°С/мин.

При скорости нагрева 10°С/мин не склонные к самовозгоранию угли показывают отрицательные значения изменения массы, то есть, они разлагаются с выходом летучих и уменьшением массы. У склонных к самовозгоранию углей масса возрастает, процесс поглощения кислорода превышает потерю массы из-за выхода летучих.

Экспериментально установлено, что совокупность таких параметров, как: температура начала набора массы (Тнач), максимальный прирост массы (М), наклон ТГ-кривой и температура воспламенения (Ткр) при исследовании углей методом ТГА, также позволяют определить склонность углей к самовозгоранию.

Предварительные критерии отнесения углей к склонным к самовозгоранию в зависимости от скорости нагрева угля $v = 3; 5$ и $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ критериальные значения величины максимального набора массы $M_{кр} \approx 0,7; 0,3$ и $0,2\%$ от исходной массы образца соответственно. При превышении этих значений величиной М при соответствующей скорости нагрева образцов, угли следует относить к склонным к самовозгоранию.

Публикации:

1. Пашичев Б.Н., Ульянова Е.В., Ульянов А.Н., Малинникова О.Н. Связь количества парамагнитных центров в угле со склонностью пластов к опасным явлениям. // X Международный Российско-Казахстанский Симпозиум «Углекимия и экология Кузбасса»: Сб. тез. докл. 12–13 июля 2021 г. Кемерово, ФИЦ УУХ СО РАН. – 2021.

2. Малинникова О.Н., Палкин А.Б., Докучаева А.И. Термогравиметрический анализ углей для определения их склонности к самовозгоранию. // Углекимия и экология Кузбасса: X Международный Российско-Казахстанский Симпозиум: Сб. тез. докл. 12-13 июля 2021 г. Кемерово/ ФИЦ УУХ СО РАН. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2021. – С. 57.

3. Докучаева А.И., Малинникова О.Н., Ульянова Е.В., Долгова М.О. Изменение скорости термического разложения углей в зависимости о склонности к самовозгоранию. // Материалы международной конференции «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2021), 04-08 октября 2021 г., Владикавказ, Из-во СКГМИ (ГТУ). – С. 400-404.

На основе сопоставления результатов спектрально–корреляционного анализа пространственно-временных вариаций давлений в гидростойках секций крепи (рисунки 11, 12) механизированного забоя с параметрами, характеризующими рудничную атмосферу для лав длиной более 300 метров при отработки пластов с «тяжёлой» кровлей по обрушаемости установлена разномасштабная пространственная периодичность (20, 40 и 60 м, рисунок 13) в изменении напряженно-деформированного состояния углепородного массива характеризующая габариты обрушающихся блоков кровли и определяющая (рисунок 14) периодичность дополнительного выделения метана при продвижении фронта очистных работ.

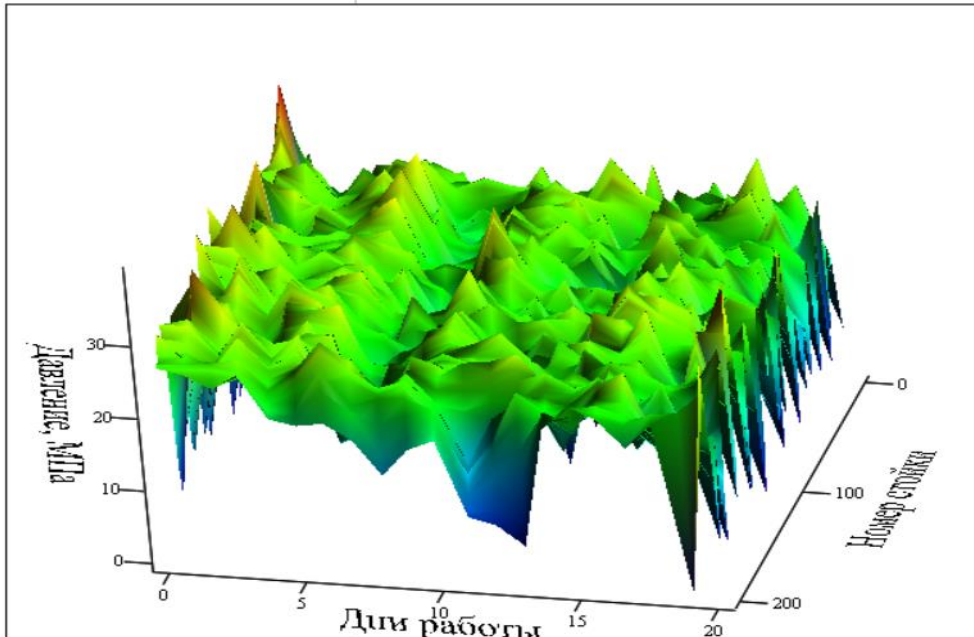


Рисунок 11 - Пространственно-временное распределение давления в гидравлических стойках механизированных крепей

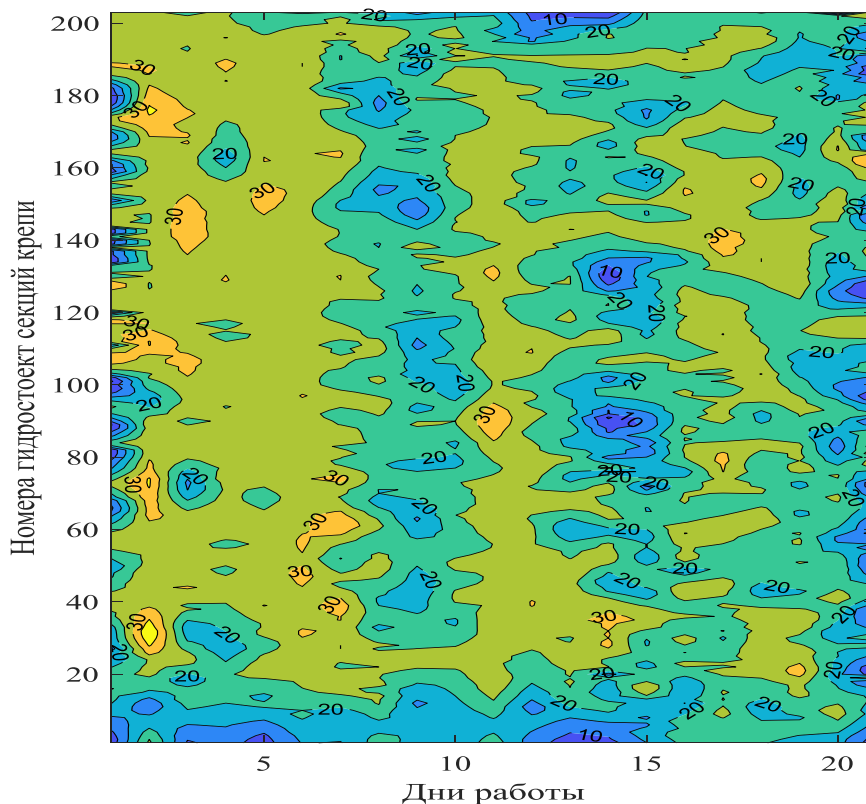


Рисунок 12 - Области равного давления в гидростойках крепей при продвижении фронта очистных работ

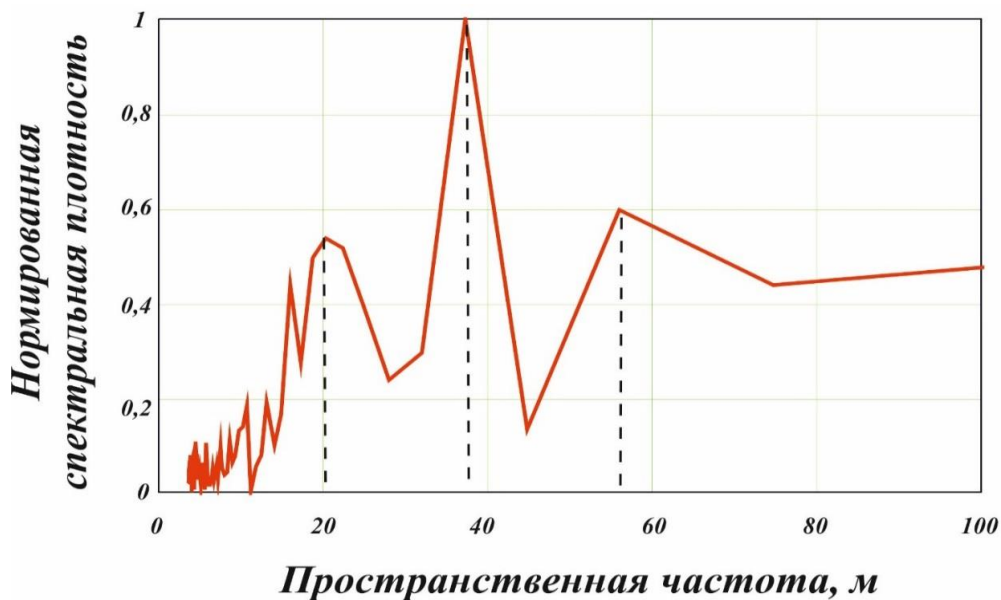


Рисунок 13 - Результат спектрально-корреляционного анализа пространственно-временных вариаций давлений в гидростойках секций крепи

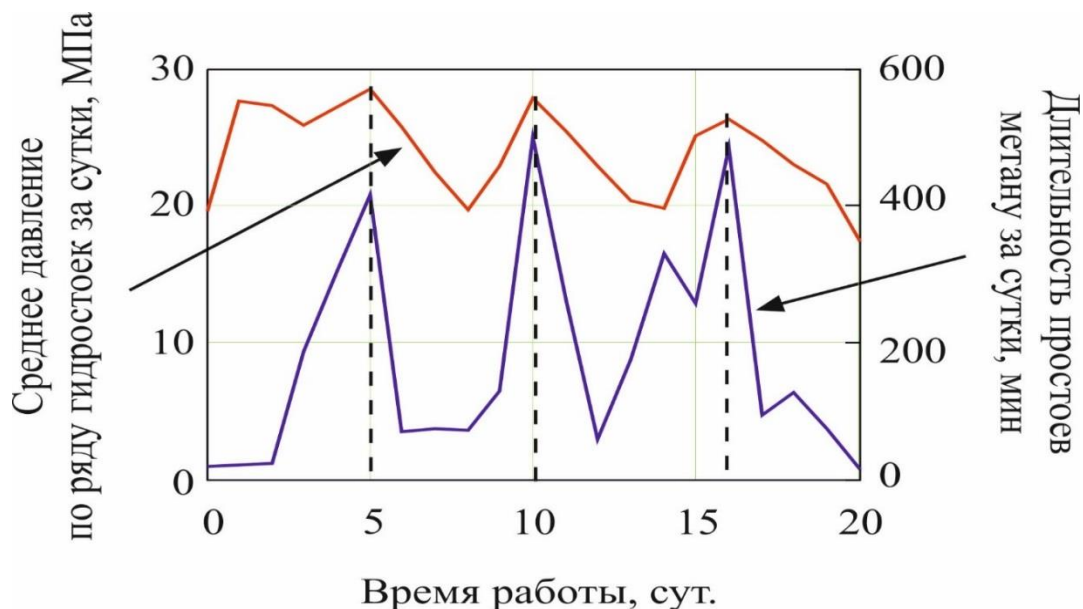


Рисунок 14 - Влияние изменения давления в стойках секций крепи на дополнительное выделение метана в очистной забой

Изменившиеся условия разработки угольных пластов подземным способом, заключающиеся в увеличении глубины ведения горных работ и, как следствие, увеличение газоносности угольных пластов, опасности выбросов угля, горной породы, метана и горных ударов, возросшие требования по снижению затрат при выемке угля определяющие увеличения геометрических параметров выемочных столбов – их протяженности с 2000–2400 метров до 5000 метров и длины лавы со 140 до 350–400 метров вызывают необходимость выполнения дополнительных технологических операций для обеспечения безопасных условий при выполнении подземных работ в процессе подготовки и отработки запасов (в том числе предварительная, опережающая, барьерная, пластовая и пр. дегазации), приводят к появлению ранее не наблюдавшихся особенностей пространственного распределения размеров блоков кровли, обрушающихся в выработанное пространство, особенно при отработки пластов с «тяжелой» по обрушаемости непосредственной кровлей. Новые особенности процесса формирования выработанного пространства и их влияние на горные работы выявлены на высокопроизводительных выемочных участках во всем мире. Результаты зарубежных и российских наблюдений и

исследований отражены в ряде научных публикаций, из которых следует отметить авторский коллектив под руководством *Reuter M.*, который на примере нескольких лав, оборудованных электрогидравлической системой управления фирмы «Магсо», в ряде работ показали связь между давлениями в стойках крепи и пространственно-временным распределением горного давления. Однако, основные выводы этих работ касались вопросов прогноза горных ударов. Связь указанных геомеханических процессов с параметрами рудничной атмосферы выемочно-го участка не исследовалась.

Механизм процесса повышенного выделения метана в очистной забой с «тяжёлой» кровлей по обрушаемости, по всей видимости следующий. При продвижении фронта очистных работ после выемки угля за механизированными секциями крепи сплошность горных пород нарушается. Породы кровли под действием гравитационного воздействия, вызванного влиянием вышележащих пород, начинают постепенно разрушаться и, в силу своих механических свойств, частично оказывают сопротивление деформированию, в результате наблюдается так называемое «зависание» блоков кровли на стойках крепи, что особенно характерно при обработке пластов с «тяжелой» по обрушаемости непосредственной кровли. При продвижении горных работ, протяжённость зависающих частей блоков кровли увеличивается, что ведет к увеличению давления в гидростойках секций крепи. При этом интенсивность растрескивания и дезинтеграция блоков кровли возрастают и особенно в их нижней части. В следствии этого возрастает и метановыделение в очистной забой. После обрушения в выработанное пространство блоков кровли, давление в гидростойках секций крепи снижается, формируются протяженные секущие трещины, по которым выделяющийся метан подымается вверх и уносится в выработанное пространство и метановыделение в очистной забой уменьшается.

На основании результатов теоретических расчётов и экспериментальных исследований разработаны математическая модель, способ и устройство (Патент РФ № 2748911 от 01 июня 2021г.) магнитного гидроциклона, конструкция которого предусматривает установку сверхпроводящих магнитов для снижения энергозатрат при обогащении слабомагнитных руд, а использование переменного магнитного поля обеспечивает эффективность извлечения сильномагнитных минералов (рисунок 15).

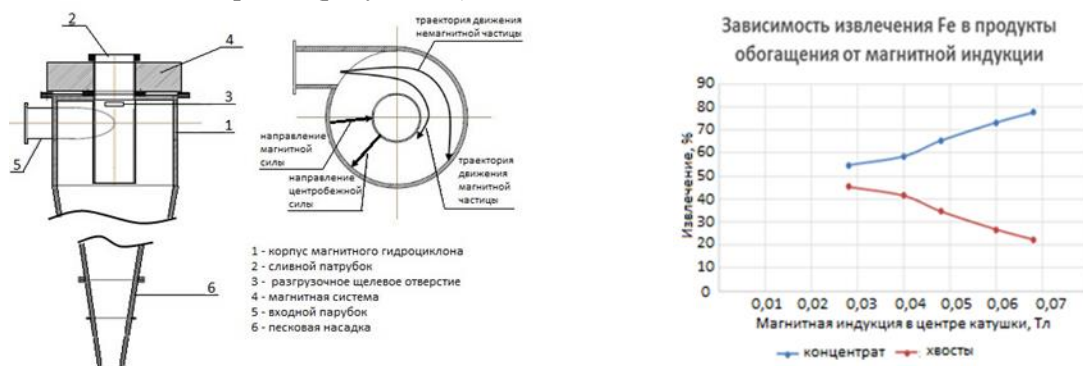


Рисунок 15.

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

В 2021 году научно-исследовательские работы горной направленности велись в ИДГ РАН по следующим темам государственного задания:

- Разработка методик 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.
- 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 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 теме «Разработка методик прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры при эндогенных и экзогенных воздействиях».

Аннотация

Для карьерных разработок проведены модельные оценки возможности инициирования сильных техногенных землетрясений и оценки последствий таких землетрясений для района. На примере Бачатского землетрясения показано, что остаточные вариации напряжений даже крупного землетрясения с $M_L \sim 6$ быстро убывают по мере удаления от его источника; что очаги большинства зарегистрированных афтершоков этого крупного сейсмического события расположены в области положительных изменений до 1,5 бар величины кулоновского напряжения на оптимально ориентированных нарушениях. Таким образом, нет оснований предполагать возможность кардинальной перестройки поля напряжений в районе горных работ в результате одного – даже крупного – землетрясения. Проведена оценка действия массовых взрывов на окружающих карьеры территориях.

Созданы и функционируют стационарные сейсмические пункты для регистрации и анализа сейсмического и акустического действия массовых взрывов в районе КМА (Лебединского ГОК, Михайловского ГОК, шахты им. Губкина).

1. Оценка воздействия горных работ на сейсмичность района их проведения

Известно по крайней мере несколько сотен землетрясений с $M > 2,8$, которые связывают с добычей твердых полезных ископаемых на предприятиях Австралии, Китая, России, Южной Африки и других регионов. При этом очаги некоторых из них расположены на весьма значительной глубине – от 3 до 20 км – практически вне зоны непосредственного антропогенного воздействия. Так что регулярно возникают сомнения в природе их возникновения. Нами было продемонстрировано, что для подобных событий следует рассматривать антропогенную причину возникновения при естественном источнике энергии деформации.

Землетрясения в районе Бачатского карьера – в том числе крупное Бачатское землетрясение 2013 года – привлекли много внимания [Еманов и др., 2016, 2020; и ссылки там]; как и серия землетрясений с $M > 3,7$ в районе Горловского бассейна Новосибирской области – в том числе крупное Колыванское землетрясение 2019 года [Еманов и др., 2019; и ссылки там].

Расчеты, проведенные в ИДГ РАН [Кочарян и др., 2019], показывают, что непосредственное инициирование крупных землетрясений сейсмическими колебаниями от массовых взрывов представляется крайне маловероятным из-за малых амплитуд воздействий на глубине расположения очага. Исключения могут составлять те случаи, когда значительная площадь разлома находится в предельно напряженном состоянии, например, в результате многолетней выемки породы: примером такого события является землетрясение $M_{4,8-5}$ 16.04.1989 г. В Хибинах [Сейсмичность., 2002].

В отличие от воздействия сейсмических волн массовых взрывов, выемка и перемещение породы при ведении работ в крупном добывающем карьере с характерными линейными размерами километры (и сотни метров в глубину) может являться серьезным инициирующим фактором [Кочарян и др., 2018, 2019]. Для крупных карьеров размеры зоны, в которой изменение кулоновских напряжений на плоскости разлома превышает несколько десятых МПа, значительно превышают размер зоны нуклеации землетрясений с магнитудой $M \leq 6$. При этом следует отметить, что перемещение породы в ходе открытых горных работ способно лишь приблизить момент землетрясения, если будет воздействовать на уже «подготовленный» к скольжению разлом. Это означает, что энергия деформации, накопленная в массиве, рано или поздно реализовалась бы здесь именно в виде динамической подвижки; независимо от антропогенной деятельности.

Помимо взгляда на воздействие массовых взрывов как на непосредственную причину роста сейсмичности района их проведения [Еманов и др., 2016, 2019, 2020], в отечественной литературе периодически ссылаются на то, что «в результате сильного техногенного землетрясения, имевшего характерный размер очага порядка 10 км, произошла кардинальная перестройка всего поля напряжений» [Куприш и др., 2019].

В ходе наших работ была проведена оценка возможности такого сценария на примере Бачатского землетрясения 2013г. С этой целью были рассчитаны вызванные сейсмодислокацией вариации поля статических напряжений. Под статическими изменениями будем понимать изменения, которые в рамках упругой модели возникают практически мгновенно в результате подвижки по разлому в очаге землетрясения.

Одним из наиболее часто используемых условий, определяющих разрушение в горных породах, является критерий Кулоновского разрушения. Оценка изменения Кулоновского напряжения $\Delta\sigma_c = \Delta\tau - \mu(\Delta\sigma_n - \Delta p)$ позволяет вычислить изменения сдвиговых и нормальных напряжений в окрестности инициирующего очага, так что ее используют для оценки изменений поля статических напряжений, вызванных землетрясением. Здесь τ – напряжение сдвига в плоскости разрушения, σ_n – нормальное напряжение, p – поровое давление, μ – коэффициент трения. Именно вычисления изменений кулоновского напряжения позволили [King et al., 1994] продемонстрировать, что облако эпицентров афтершоков наиболее насыщено там, где кулоновское напряжение на оптимально ориентированных разломах увеличилось более чем на 0,1 МПа, и наоборот, что афтершоки редко возникают в областях, где кулоновское напряжение упало на такую же величину.

Расчеты Кулоновских напряжений для Бачатского землетрясения производились с помощью программы Coulomb [Toda et al, 2011] в модели упругого полупространства с однородными изотропными упругими свойствами. В качестве разлома-источника были выбраны параметры очага Бачатского землетрясения. Полученные результаты расчета (рисунок 1 а – в) демонстрируют, что области положительного приращения кулоновского напряжения хорошо согласуются с областью регистрации большинства афтершоков на отмеченных глубинах. Заметно, что по мере достижения глубины плоскости инициирующего разлома величины изменения Кулоновских напряжений растут на все большей площади. Это совпадает с тенденцией, которая присутствует и на графиках распределения источников афтершоковых событий с глубиной y [Еманов и др., 2016] (см. рисунок 1 г).

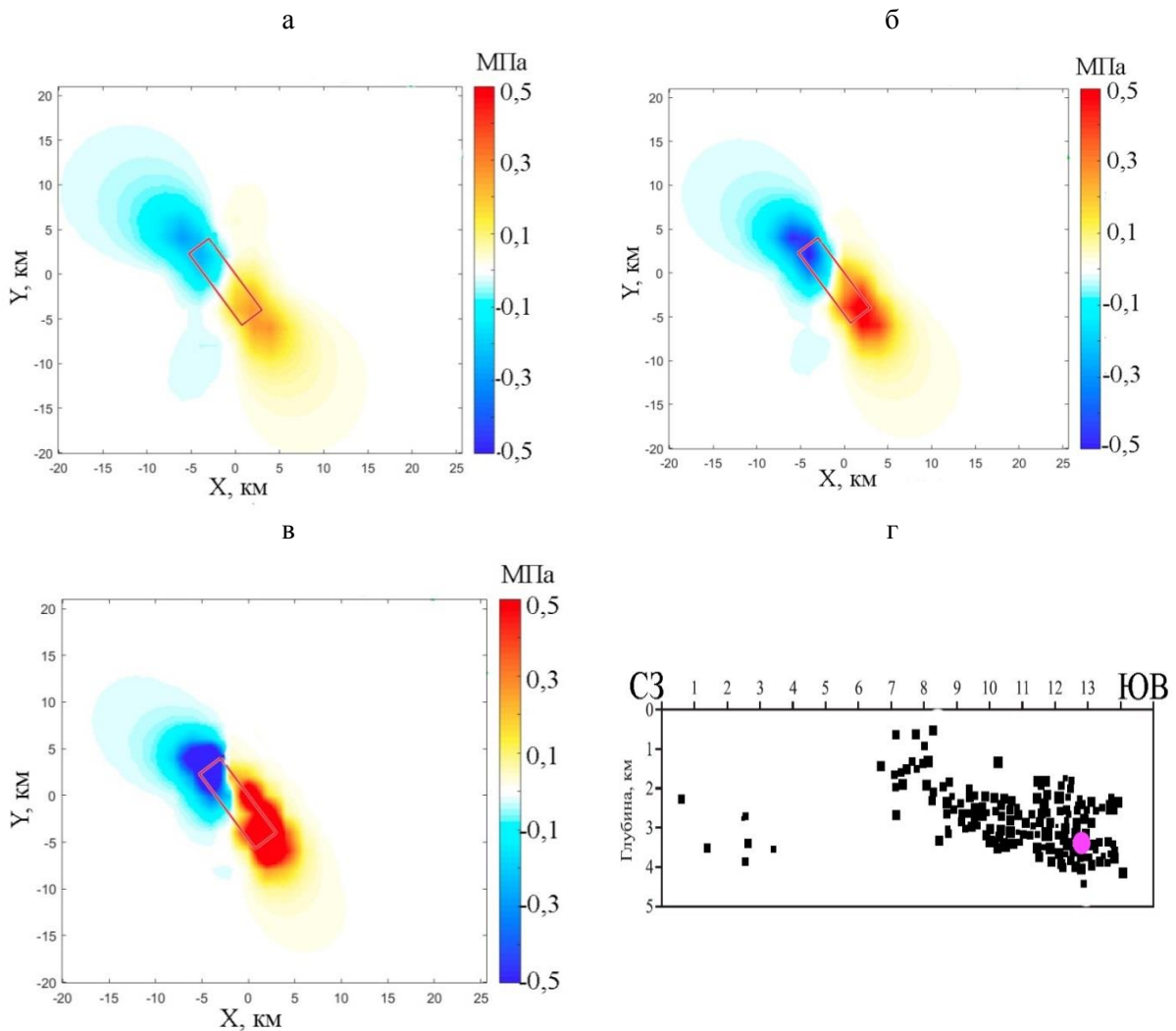


Рисунок 1 - Расчет изменения Кулоновского напряжения на глубинах 2, 3 и 4 км (а, б, в соответственно). Прямоугольник отмечает местоположение Бачатского карьера. На графике г представлено (по материалам [Еманов и др., 2016]) распределение глубин очагов афтершоков с $M_L > 1,5$ вдоль оси Бачатского карьера (в направлении СЗ-ЮВ). Круг отмечает местоположение очага Бачатского землетрясения

Таким образом, расчет показал, что вариации функции Кулона на глубине очага достигают величин около 1,5 МПа в непосредственной близости от разлома землетрясения (в нашем случае – прямо под карьером) и с удалением от него быстро снижаются до величин, меньших 0,1 МПа. Район, затронутый вариациями поля напряжений, фактически локализован в области производства горных работ, а амплитуда вариаций соответствует характерным значениям для статического инициирования афтершоков. Так что говорить о «кардинальной перестройке всего поля напряжений» по крайней мере не корректно.

Проведенные расчеты показывают, что потенциальная возможность влияния карьерных взрывов на сейсмическую обстановку ограничена районом радиуса не более нескольких километров (для самых больших по площади карьеров). При оценке сейсмической опасности района горных работ необходимо это учитывать, как и тот факт, что время землетрясения, подготовленного природным ходом событий, может быть несколько приближено, если очаг потенциального события окажется непосредственно под карьером.

2. Оценка действия массовых взрывов на инфраструктуру

Вопросы влияния горных работ на здания, сооружения и людей, имеют высокую социальную значимость и регулярно привлекают широкое внимание общественности. В связи с этим, параллельно с проведением научных изысканий, проводится оценка сейсмической

интенсивности карьерных и шахтных взрывов: изучение и оценка действия массовых взрывов – одно из традиционных направлений работ ИДГ РАН.

Предприятия, на которых проводится оценка сейсмической интенсивности взрывных работ, характеризуются наиболее масштабными для европейской части России массовыми взрывами. Лебединский и Михайловский горно-обогатительные комбинаты (ГОК), например, перешагнули рубеж 3000 тонн ВВ общей массы одного взрыва. В среднем в год регистрируются сейсмические и воздушные волны от 23 массовых взрывов на Лебединском карьере и от 45 взрывов в шахте им.Губкина. В районе этих предприятий размещаются постоянные и мобильные сейсмические станции для мониторинга взрывных работ. Для каждого зарегистрированного массового взрыва определяется интенсивность его сейсмического и акустического воздействия для территории в радиусе нескольких километров от карьера или около 1,5–2 километров от шахты.

Пример изосейст колебаний различной балльности для взрыва в шахте приведен на рисунке 2. Видно, что при проведении взрывных работ на шахте (им. Губкина) некоторые городские здания могут (в зависимости от расположения взрывных камер) попадать в зону интенсивности 5 баллов: в этой зоне оказалось около 10 жилых домов. Очевидно, что необходимо учитывать полученные оценки при планировании взрывных работ.



Рисунок 2 - Изосейсты массового взрыва 23.10.2021 в шахте им.Губкина. Суммарная масса ВВ в камере 27,4 т; камера расположена на глубине 283 м от дневной поверхности; цифры в квадратах соответствуют величине балльности в зоне, ограниченной окружностью

Список литературы

1. Кочарян Г.Г., Будков А.М., Кишкина С.Б. Об инициировании тектонических землетрясений при подземной отработке месторождений. // ФТПРПИ. – 2018. – № 4. – С. 34-44.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г.(ML=6.1) в Кузбассе — сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т.43, № 4. – С. 34–60.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с ML=6.1, I0=7 (Кузбасс). // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 48–61. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05>.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Павленко О.В. Колыванское землетрясение 09.01.2019 г. с ML=4.3 и особенности наведенной сейсмичности в условиях Горловского угольного бассейна. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2019. – №4. – С. 29-45.
5. Кочарян Г.Г., Батухтин И.В., Будков А.М., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В. Об инициировании динамических подвижек по разломам техногенным воздействием. // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18, № 3. – С.104–116. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-7>.

6. Сейсмичность при горных работах. // Под ред. Н. Н. Мельникова. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. — 318 с.

7. King, G.C.P., Stein, R.S., and Lin, J. Static stress changes and the triggering of earthquakes: *Bulletin of the Seismological Society of America*. — 1994. — v. 84, no. 3. — p. 935–953.

8. Куприш О.В., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Ребецкий Ю.Л., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение $M_L=6.1$: формирование наведенной сейсмичности в эпицентральной зоне, напряженное состояние. // *Материалы Шестой молодежной тектонофизической школы-семинара «Современная тектонофизика. Методы и результаты»*. — М.: ИФЗ РАН, 2019. — С. 132–137.

9. Toda S., Stein R.S., Sevilgen V., Lin J., 2011, Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching—user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1060. — 63 p. <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1060/>.

Список публикаций ИДГ РАН 2021 года в рамках научно-исследовательских работ горной направленности

1. Kishkina S.B., Kocharyan G.G., Budkov A.M., Ivanchenko G.N., Loktev D.N. Impact of open pit mining in Gorlovka coal basin on large earthquakes. // *Journal of Mining Science* 57(4):546-556 (2021) <https://doi.org/10.1134/S1062739121040025>

2. Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г. Изменения параметров поля напряжений участка земной коры в результате крупного землетрясения, инициированного горными работами. // *Динамические процессы в геосферах*. Вып.13 РФФИ 19-05-00378. https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_21. Номер: 13 Год: 2021 Страницы: 20-25.

3. Gorbunova, E.M., Besedina, A.N., Kabychenko, N.V. et al. Precision Hydrogeological Monitoring in Technogenically Disturbed Conditions: Organization, Execution, and Processing of Experimental Data. // *Seism. Instr.* 57, 600–613 (2021). <https://doi.org/10.3103/S0747923921050030>.

4. Krashennnikov A.V., Loktev D.N., Soloviev S.P., Khazins V.M. Transport of microparticles as stated by observation data in the open mining pit Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119165Y (16 December 2021); doi: 10.1117/12.2603277

5. Кочарян Г.Г., Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В., Шарафиев З.З., Каменев П.А. Иницирование обрушения склона сейсмическими колебаниями от разных источников. // *Физика Земли*. —2021. —№ 5. — С. 41-54. <https://doi.org/10.31857/S0002333721050112>.

6. Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Батухтин И.В., Петухова С.М. Реакция водонасыщенных коллекторов на динамическое воздействие (по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод). // *Физика Земли*. — 2021. — № 5. — С. 74-90. <https://doi.org/10.31857/S0002333721050070>.

7. Besedina A.N., Pavlov D.V., Sharafiev Z.Z. (2022) Triggering Landslides with Seismic Vibrations. In: Chaplina T. (eds) *Processes in GeoMedia—Volume IV*. Springer Geology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76328-2_34.

8. Кишкина С. Б., Бугаев Е. Г., Лободенко И. Ю. Разработка и реализация системы сейсмологического мониторинга на основе руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Сейсмологический мониторинг участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов» (РБ-142-18). // *Ядерная и радиационная безопасность*. — 2021. — № 1 (99). — С. 28–42. <https://doi.org/10.26277/SECNRS.2021.99.1.003>.

9. Лукишов Б.Г. Швецова Н.П. Иванченко Г.Н. Термомеханические аспекты безопасного подземного захоронения ВАО в геологические формации. // *Горный журнал*. — 2021. — №3 — С. 113-115.

10. Кишкина С.Б., Татарин В.Н., Бугаев Е.Г., Гупало В.С., Забродин С.М. Подземная исследовательская лаборатория: преодоление неопределенностей в оценке сейсмических условий участка Енисейский Нижне-Канского массива. Радиационные отходы. — 2021. — 3(16). — С.80-94. <https://doi.org/10.25283/2587-9707-2021-3-80-93>

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

В 2021 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 геодинамического районирования и численного моделирования методом конечных элементов выполнена оценка поля напряжений в массиве Мало-Тулукуевского уранового месторождения, в котором максимальные сжимающие напряжения ориентированы по простиранию рудного тела ($\sigma_{пр}$ – продольные) по азимуту 155-180° и в 1,7-2,1 раза превышают вертикальную гравитационную составляющую тензора напряжений. Установлено, что процесс последовательной отработки рудных тел, приводит к росту исходных напряжений на отдельных его участках в 1,8-2,2 раза (во вмещающем массиве над- и под выработанным пространством, заложенным твердеющей закладкой, в уменьшающихся по мере отработки межполублочных целиках, а также вдоль контакта пород гранитов и трахидацитов). На конечной стадии отработки очистного блока максимальная концентрация горизонтальных сжимающих напряжений σ_x в уменьшающемся рудном целике высотой 12 м достигает значений 93 МПа (рисунок 1).

На основе технологий машинного обучения разработан метод классификации сейсмических волн в режиме реального времени. Полученная модель разработана с учётом разного типа регистрирующего оборудования, нечёткого сигнала от слабых землетрясений на уровне сейсмического шума и сильных техногенных помех в волновом потоке, и основана на анализе спектрограмм исходного сигнала, использует архитектуру на основе внимания (трансформер) без применения сверточных слоёв. Модель обладает лучшей обобщающей способностью и точностью для различных локальных сейсмических сетей по сравнению с существующими технологиями как на основе методов машинного обучения для данной предметной области, так и в сравнении с классическими триггерными алгоритмами на основе STA/LTA.

На основании анализа данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ): матриц высот рельефа SRTM30, SRTM03 и спутниковых снимков серии Landsat 8, принята модель латеральных тектонических потоков, адаптированная для Дальневосточного региона, согласно которой в верхней части литосферы происходит расслоение на отдельные тектонические слои, которые перемещаются в горизонтальном направлении. Вместе с этими потоками дрейфуют более инертные жесткие горные массивы - источники концентрации и аккумуляции горизонтальных напряжений. Данная модель используется при предварительной оценке вероятности опасных геодинамических событий. Основным инструментом было ГИС-приложение QGIS и разработанная в Институте горного дела ДВО РАН картографическая база данных FE-MI GIS, зарегистрированная в государственном Реестре баз данных под № 2019620057. Эти схемы использовались для объяснения и прогноза опасных геодинамических явлений.

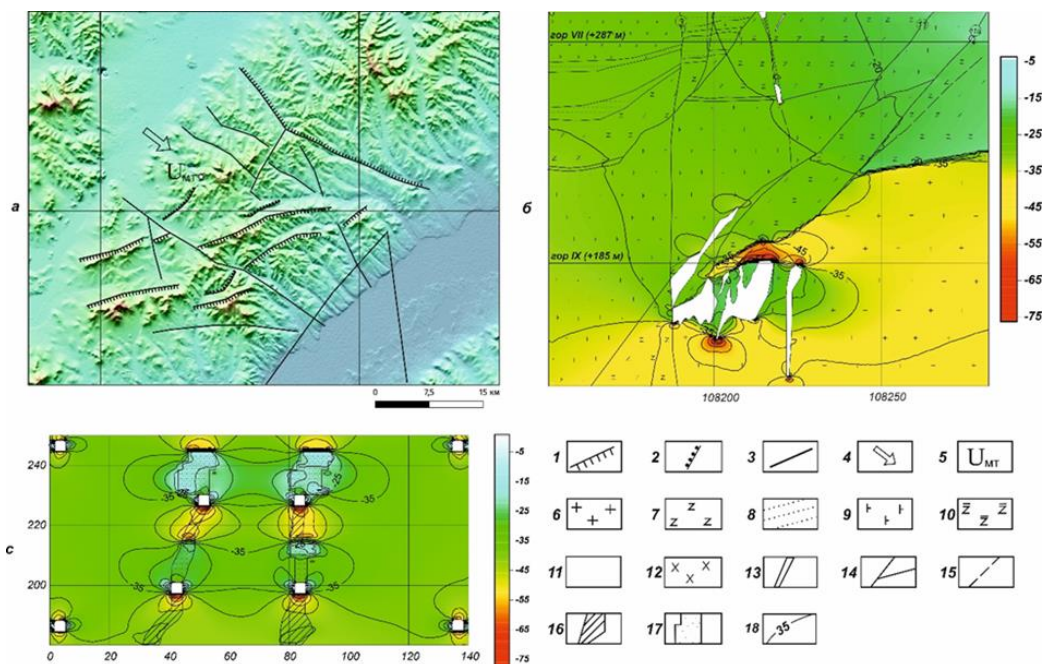


Рисунок 1 - Морфотектоническая схема Стрельцовского рудного поля (а) и распределение горизонтальных напряжений σ_x в массиве Мало-Тулукеевского месторождения после полной отработки рудных тел (в проекции на разрез 93) (б) и конструктивных элементах системы разработки (с)

1 – взбросы (бергитрихи направлены в сторону взброшенного крыла); 2 – сбросы; 3 – дизъюнктивные нарушения разной кинематики; 4 – направление тектонического потока; 5 – месторождение урановых руд Мало-Тулукеевское. Основа: Анаглифическая карта рельефа на базе матрицы SRTM03 (или SRTM30); 6 – граниты; 7 – трахидациты флюидальные; 8 – песчаники; 9 – базальты массивные; 10 – трахидациты; 11 – туфы; 12 – конгломераты; 13 – рудные тела; 14 – разломы первого порядка; 15 – разломы второго порядка; 16 – выработанное пространство; 17 – твердеющая закладка; 18 – изолинии напряжений σ_x

Разработаны методика, эффективные алгоритмы и программное обеспечение для оценки прогнозируемой погрешности расчета координат сейсмоакустических событий. Программа «AntennaCalc» позволяет рассчитывать как проектную, так и существующую конфигурацию приёмной сети геофонов в системе «Prognoz-ADS», а также дает возможность установить критерии расстановки датчиков в массиве горных пород, совершенствовать алгоритмы локации и повышать точность результатов сейсмоакустического мониторинга.

Разработаны 3D модели нижних горизонтов месторождения «Южное» (Дальнегорский городской округ, Приморский край) и месторождения «Мало-Тулукеевское» (Краснокаменский район, Забайкальский край), отражающие геолого-структурные особенности массива и основные горные выработки. В процессе геомеханического мониторинга с использованием автоматизированной системы контроля горного давления (АСКГД) 3D модели позволяют более надежно интерпретировать экспериментальные данные, производить более точный анализ природы возникновения сейсмоакустических событий, заблаговременно оценивать и прогнозировать геомеханическое состояние геосреды.

Создана база данных геомеханического мониторинга массива горных пород Николаевского месторождения (Приморский край), состоящая из 25 таблиц, взаимодействие с которыми происходит при помощи специализированного комплекса программных средств системы Prognoz-ADS. В число основных регистрируемых параметров автоматизированной системы контроля горного давления входят координаты и значения энергии акустических импульсов.

Геотехнология. В результате исследования золота техногенных образований Соловьевского золотоносного узла методом электронной микроскопии установлено присутствие изоморфной платины в самородном золоте, при этом минералов платины не обнаружено. Проведенный минералогический анализ позволил установить, что золото характеризуется измененным поверхностным рельефом (высокая пористость, мелкие трещины, образование шаровидных зерен); появлением частиц очень мелкого (менее 0,1 мм) пластинчатого золота в виде конгломератов, образующихся в результате цементирования пластинок и чешуек пленками

ртути; появлением новообразований в виде мельчайших округлых зерен «нового» золота на поверхности золотин. Полученный результаты позволяют определить перспективы освоения техногенных золотороссыпных объектов, а наличие платины в техногенном золоте несомненно повышает их ценность (рисунок 2).

Теоретическими и лабораторными исследованиями обоснованы параметры новой технологии отработки техногенных россыпных месторождений с формированием обогащенной зоны. Впервые для частного случая установлена регрессионная зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине от медианного размера частиц вмещающей горной массы. Экспериментально доказано, что при увеличении крупности частиц вмещающих пород миграция частиц золота происходит более эффективно.

Проведенное исследование экономической целесообразности освоения техногенного месторождения золота показывает, что применение технологии отработки техногенных россыпных месторождений с формированием обогащенных зон предполагает более рациональный организационно-технологический подход и позволяет вовлекать в отработку месторождения, эксплуатация которых ранее считалась нерентабельной. Предлагаемая организация добычи обеспечивает экономию финансовых, материальных и трудовых ресурсов, а также экономию времени работы технологического оборудования.

В результате опытно-промышленных исследований влияния литологических особенностей исходных песков на потери золота установлено, что данный фактор проявляется в первую очередь через степень глинистости песков. Для учета влияния фактора «литологический состав песков» на технологические потери предложено 4 повышающих коэффициента, отражающих содержание глины в исходных песках. Установлено, что высокие содержания золота в исходных песках в сочетании с невысоким коэффициентом эфельности (менее 50%) обуславливают формирование высокоперспективных техногенных россыпей отвального комплекса с содержаниями металла в них не менее 500 мг/м³. При сохранности отвального комплекса и наличии других позитивных параметров (объемы горной массы, отсутствие рекультивации) в отработанном пространстве россыпного месторождения можно с высокой долей верификации прогнозировать новую техногенную россыпь, отвечающую кондиционным требованиям.

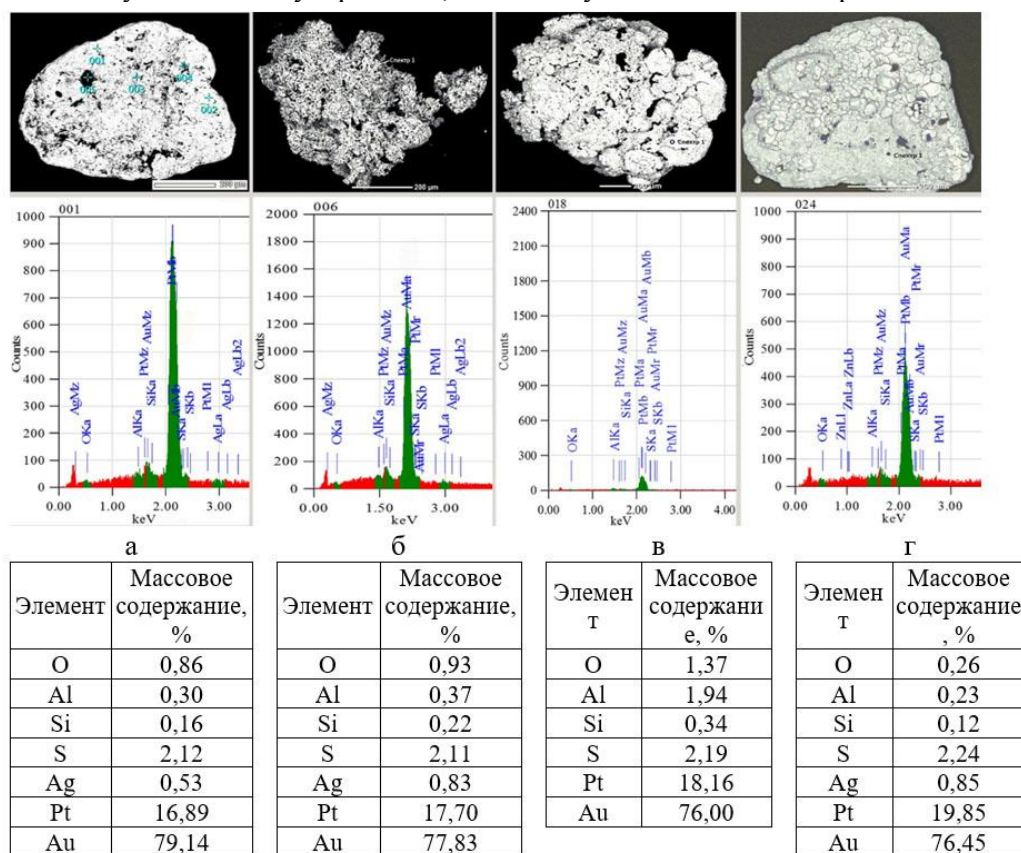


Рисунок 2 - Электронно-микроскопическое изображение частиц золота
а – пластинчатое золото; б – пористое золото; в – конгломераты золота; г – зернистое золото

Геоинформатика. По результатам комплексного анализа особенностей географо-экономического положения, масштабов развития продуктивных формаций, величин запасов и прогнозных ресурсов, степени освоенности и изученности, промышленной значимости и перспективности освоения выполнено геолого-экономическое районирование территории Дальневосточного региона на неметаллические виды минерального сырья в целях обоснования инвестиционной привлекательности. При ранжировании территории выделено 4 района и 36 площадей разного ранга перспективности.

На основе анализа состояния, структуры минерально-сырьевой базы рудных полезных ископаемых субъектов Дальневосточного федерального округа, а также потребности их разработки, методами исследования геосистем и территориальной организации производств разработана новая концепция освоения и внутрирегионального использования минерально-сырьевых ресурсов вольфрама и отраслевого интеграционного проекта его освоения и вовлечения в национальную промышленность, что будет способствовать развитию и заселению территории.

Выполнена оценка уровня эффективности территориально-промышленных узлов (ТПУ) и комплексов (ТПК) Хабаровского края с учетом основных индикаторов эффективности, на основании которых проведен факторный сравнительный анализ их развития. В результате оценены 7 ТПУ и 2 ТПК по уровню эффективности, что позволило их ранжировать по 4 группам: группа 1 – «высокая эффективность»; группа 2 – «средняя эффективность»; группа 3 – «низкая эффективность»; группа 4 – «не эффективные». Полученные результаты могут быть использованы в системе мониторинга и стратегического планирования экономического развития изучаемых территориальных комплексов.

Геоэкология. Анализ спутниковых снимков Landsat8 (рисунок 3) показал, что информативными являются изображения как в разных спектральных диапазонах, так и полученные в разные сезоны. Например, оконтуривание пылевого загрязнения местности производится в зимний (снежный) период. Оно производилось на угольных месторождения, в порту Ванино и Кимканском железорудном месторождении. По вегетационным индексам безлиственного периода определяются площади распространения наиболее ценных хвойных лесов. Результаты дополнили картографическую базу данных FE-MI GIS, зарегистрированную в государственном Реестре баз данных под № 2019620057.

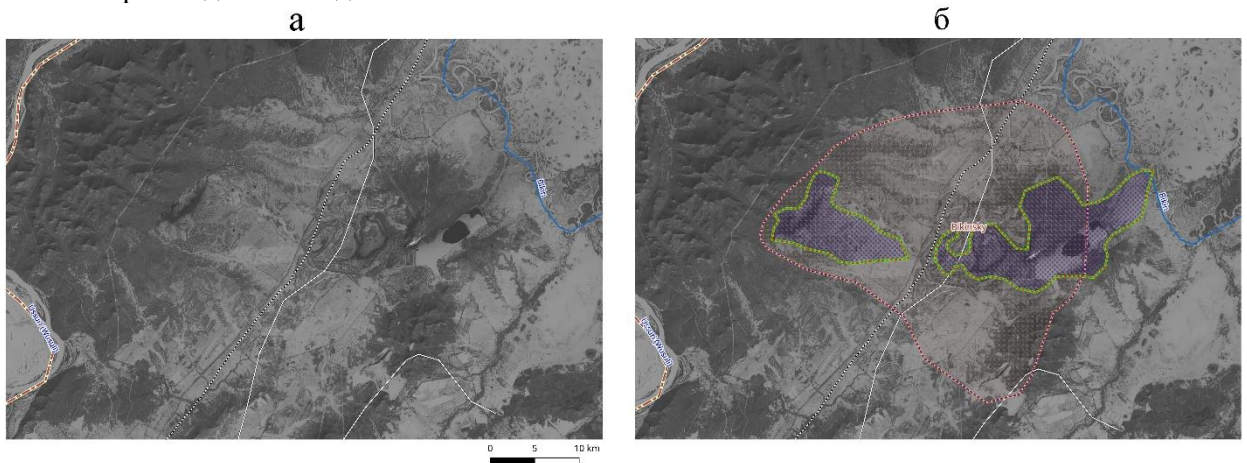


Рисунок 3 - Пылевое загрязнение территории Бикинского бурогоугольного месторождения по зимним спутниковым снимкам Landsat 8

а - снимок, панхроматический канал; б - оконтуривание загрязнения путем ручной классификации

По результатам натурных и экспериментальных микробиологических исследований проб воды, почвы и горных пород в зоне влияния крупного оползня, произошедшего в декабре 2018 г. в районе Бурейского водохранилища, определена активность микробных сообществ вокруг тела оползня по отношению к легкодоступным (пептон, лактат, крахмал) и трудно минерализуемым гуминовым соединениям. Методами спектрометрии и газовой хроматографии показано, что увеличение разнообразия ароматических соединений в воде сопровождалось ростом численности гетеротрофных бактерий. Среди доминирующих компонентов в воде обнаружен ряд токсичных веществ, включая метанол и метилированные производные бензола, концентрация которых увеличивалась после дренажа воды сквозь тело оползня и после взрывных работ.

Горная теплофизика. Теоретическими исследованиями выявлены условия возникновения гравитационной неустойчивости пароводяного течения в системе транспортировки теплоносителя при разработке геотермальных месторождений. Установлено, что наиболее опасными для возникновения неустойчивости являются участки вертикальных восходящих потоков, при этом теоретически определяемая предельная скорость потока (20,7 м/с для типовых условий Мутновского месторождения, обладающего развитой системой трубопроводов пароводяной смеси с различным рельефом трасс, рисунок 4) соответствует ранее используемому при проектировании трубопроводов критерию (соответственно, 19,9 м/с), полученному эмпирически, как условие, гарантирующие отсутствие неустойчивости, и не учитывающее наклон трубопроводов. Теоретически определяемые условия, учитывающие наклон трубопроводов, открывают новые возможности в проектировании и эксплуатации трубопроводов пароводяной смеси на геотермальных месторождениях.

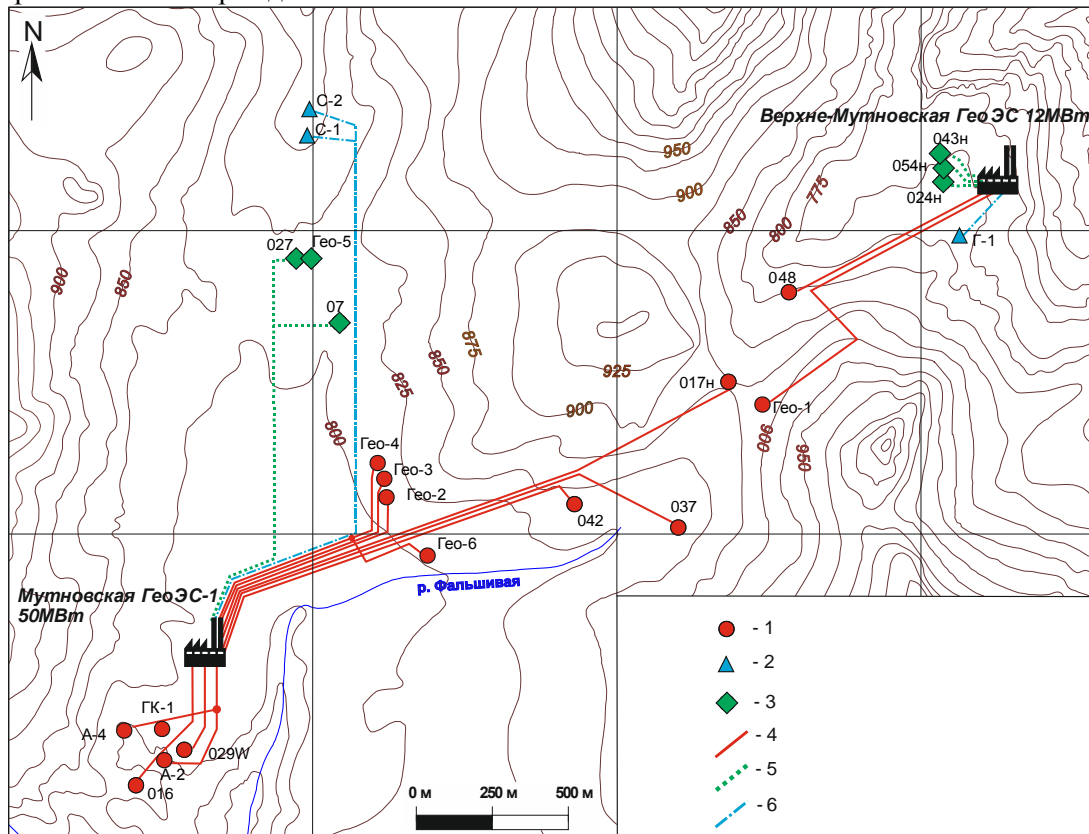


Рисунок 4 - Схема промысла Мутновского геотермального месторождения (Камчатка)
 1 – добычная скважина, 2 – скважина водозабора, 3 – реинжекционная скважина,
 4 – трубопровод пароводяной смеси, 5 – трубопровод реинжекции,
 6 – трубопровод холодного водоснабжения

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов. Установлена возможность извлечения ценных компонентов из первичных медно-порфировых руд месторождения Малмыж (основной диорит-порфировый тип) посредством их выщелачивания активированными растворами, обработанными в электро-фотохимическом реакторе. Экспериментальные исследования процессов активационного выщелачивания при циклическом режиме пропитки и перколяции - фильтрации рабочих растворов через мелкодробленую руду проводились по двум реагентным схемам: 1) Хлоридно-сернокислотной с азотнокисло-нитритным предокислением (Д1-I); 2) Хлоридно-сернокислотной с сернокислотно-нитритным предокислением (Д1-II). Извлечение золота по этим реагентным схемам, достигнутое для бедных упорных комплексных руд методом перколяционного выщелачивания, составляет 67-81,6%, что можно рассматривать как приемлемые показатели для данного типа сырья. Достигнуто извлечение меди 71-77%, что сопоставимо с показателями извлечения меди при использовании существенно более затратного производственного цикла «флотация измельченных руд - металлургическая переработка флотоконцентрата» (рисунок 5).

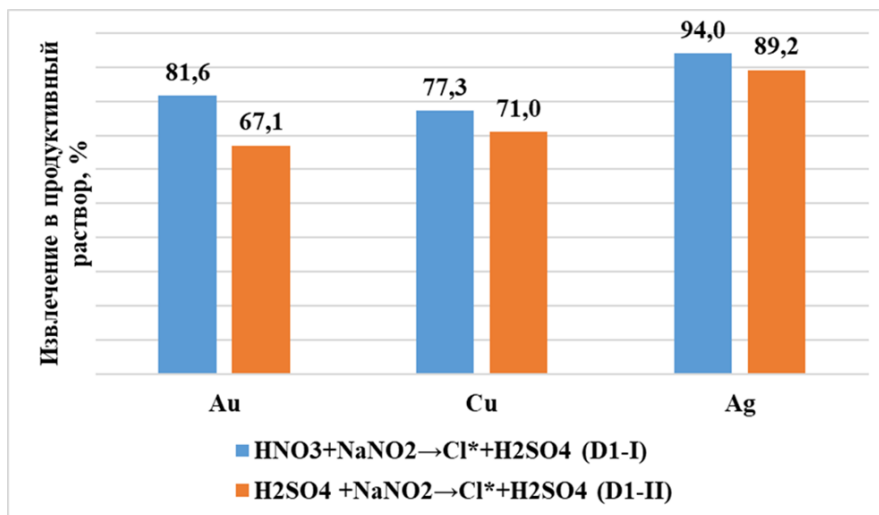


Рисунок 5 - Извлечение золота, меди и серебра в продуктивные растворы при активационном перколяционном выщелачивании из упорных руд

Минералогическими и технологическими методами выявлен рассеянный, поровый и агрегатный характер вкрапленности халькопирита и определены формы нахождения золота (1-20 мкм), серебра (1-7 мкм) в виде свободных зерен и включений в сульфидных минералах и платины (0,5-2 мкм) как примеси в золоте и включений в магнетите первичной золото-медно-порфириновой руды Малмыжского месторождения. Подтверждена эффективность использования селективного к пириту собирателя диизобутилдитиофосфата для флотации золотосодержащего халькопирита и свободного золота. Предшествующая медной флотации аэрация пульпы, обработка активным углем и динатрийфосфатом с целью десорбции собирателя с поверхности минералов коллективного концентрата, окисления и подавления пирита, способствует повышению селективности халькопирита и пирита и качества золотомедных концентратов. В концентраты медной селективности в замкнутом цикле извлекается 81,98% меди с содержанием 20,24% Cu; 16,25 г/т Au и 45,04 г/т Ag. Включения Pt (размером 0,5-2 мкм), примеси Ni, Cr, Co, V, Ti, Mn, выявленные в магнетите, свидетельствуют о целесообразности магнитной сепарации и выделения железных концентратов для повышения полноты извлечения ценных компонентов.

Обосновано применение собирателя БТФ-15221, смоделированного на основе диалкилдитиофосфатов, при обогащении сульфидных руд месторождения Восток-2. Установлено, что высокая эффективность собирателя основывается на росте суммарной площади активных участков поверхности сульфидных минералов и увеличении их гидрофобности. В результате лабораторных исследований установлено, что применение собирателя БТФ-15221 по сравнению с используемым реагентом ИМА-И413п позволяет повысить извлечение меди, золота и серебра и снизить содержание мышьяка в медном концентрате; прирост суммарного извлечения ценных минералов составил 4,8%. Основной прирост извлечения меди и снижение массовой доли мышьяка получен в цикле селективности.

В результате исследований, направленных на совершенствование технологии переработки лежалых хвостов Ярославской горнорудной компании, разработаны перспективные процессы структурной и физико-химической подготовки материала, обеспечивающие нейтрализацию остатков реагентов первичной переработки и различных новообразований. Исследованиями установлена высокая эффективность действия оксиэтилированных соединений из группы неололов, обладающих диспергирующими свойствами, снижающих процесс сегрегации шламов и повышающих селективность флотации. Качество концентратов при этом повышается как по содержанию основного компонента (CaF_2), так и по степени очистки от двуокиси кремния, являющейся строго лимитируемой вредной примесью, существенно влияющей на цену концентратов. Кроме того, исследования показали, что использование в завершающих доводочно-перечистных операциях воды, подготовленной методом электрохимической обработки, за счёт повышения гидрофильности силикатно-слюдистых минералов, обеспечивает снижение содержания в концентратах SiO_2 . Предложенные методы позволяют получить из труднообогатимого низкосортного сырья концентраты, содержащие 94-95,36% CaF_2 и 1,23-1,4% SiO_2 .

Публикации Института. Сотрудниками Института в 2021 году опубликовано 4 монографии, 107 статей в журналах, в том числе 32 – в зарубежных, 50 опубликованных докладов, в том числе 3 – в зарубежных; в изданиях из перечня ВАК опубликовано 31 статья, индексируемых в базе Web of Science – 12, Scopus – 30.

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

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

В 2021 году ИГД СО РАН получены следующие важнейшие результаты:

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

1. Разработана математическая модель горной породы с учетом иерархии ее структурных уровней и способности массива запасать энергию в виде внутренних самоуравновешенных напряжений. На основе численного моделирования показано, что ведение очистных работ вблизи зон высокой концентрации самоуравновешенных напряжений может спровоцировать динамические проявления в горном массиве и привести к завалу выработанного пространства.

Лабораторные эксперименты на образцах из эквивалентных геоматериалов показали, что предварительно сжатые образцы под действием многократных слабых ударов демонстрируют способность высвободить запасенную в них энергию, что приводит к их самопроизвольному удлинению (рисунок 1).

Полученные результаты носят фундаментальный характер и позволяют проводить моделирование процессов неустойчивого деформирования породного массива с целью возможного прогноза катастрофических проявлений горного давления.

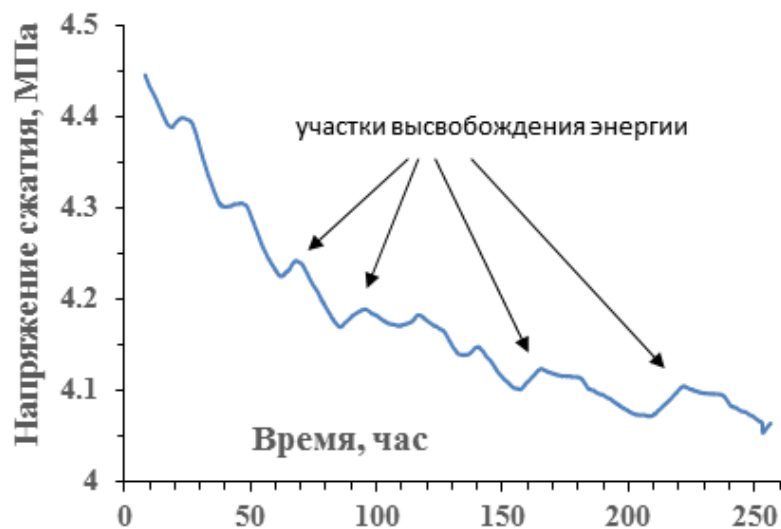


Рисунок 1 - Экспериментальная диаграмма релаксации напряжения в предварительно сжатом образце из эквивалентного геоматериала под действием многократных слабых ударов. Участки роста (показаны стрелками) соответствуют самопроизвольному удлинению образца за счет высвобождения энергии

2. Изучен минеральный состав хвостов флотационного обогащения свинцово-цинковой руды, определены причины потерь микронных зерен галенита (PbS) и вюртцита (ZnS) в сростках с другими минералами, в том числе с обладающим магнитными свойствами магнетитом (рисунок 2).

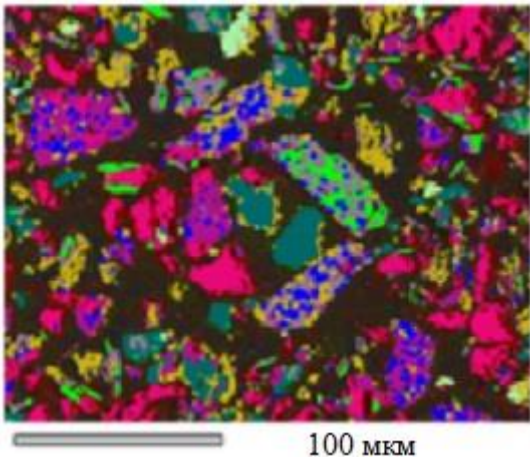


Рисунок 2 - Фотография шлифов хвостов свинцово-цинковой руды (цвет минералов: красный – кварц SiO_2 ; оранжевый – магнетит Fe_3O_4 ; салатный – пирит FeS_2 ; сине-зеленый - вюртцит, модификация сфалерита ZnS ; белый – галенит PbS ; темнозеленый – кальцит CaCO_3 ; фиолетовый – ортоклаз - $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, разновидность калиевого полевого шпата; бежевый - герцинит- FeAl_2O_4)

Обоснована целесообразность применения радиационного воздействия для направленной модификации технологических свойств мелких классов хвостов обогащения. Наличие в них магнетита позволяет использовать для увеличения содержания и извлечения, дефицитных Pb и Zn в концентрате, магнитную сепарацию (рисунок 3), обеспечивающую дополнительно повышение экологической безопасности отходов предприятий.

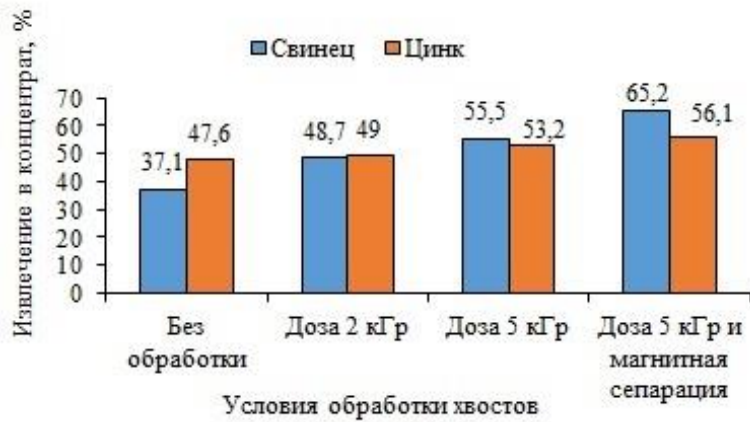


Рисунок 3 - Результаты обогащения хвостов флотации свинцово-цинковой руды с использованием радиационной обработки на ИЛУ-6 и магнитной сепарации

3. На основе установленных линейных зависимостей магнитуды сейсмических событий, энергетического класса геодинамических явлений от массы взрывчатых веществ (ВВ) на рудных месторождениях Горной Шории разработан способ разрушения горных пород, включающий одновременно-последовательное инициирование зарядов ВВ в двух-трех технологических блоках для создания компенсационных камер и подсечного пространства на глубинах 800-1000 м и более, с достижением перераспределения напряжений в массиве, позволяющий увеличить объем обрушаемой руды в 2,0-3,0 раза, снизить время на подготовку и отработку запасов, уменьшить магнитуду и энергетический класс сейсмических и геодинамических явлений в 2,0-2,5 раза (рисунки 4, 5).

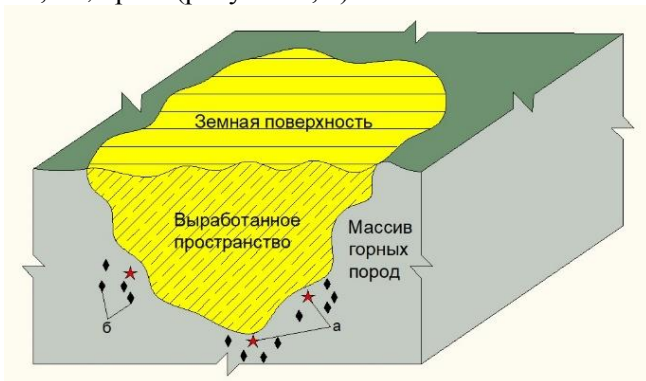


Рисунок 4 - Схема расположения очагов взрывов (а) и толчков (б) в массиве горных пород в окрестности выработанного пространства на Таштагольском месторождении

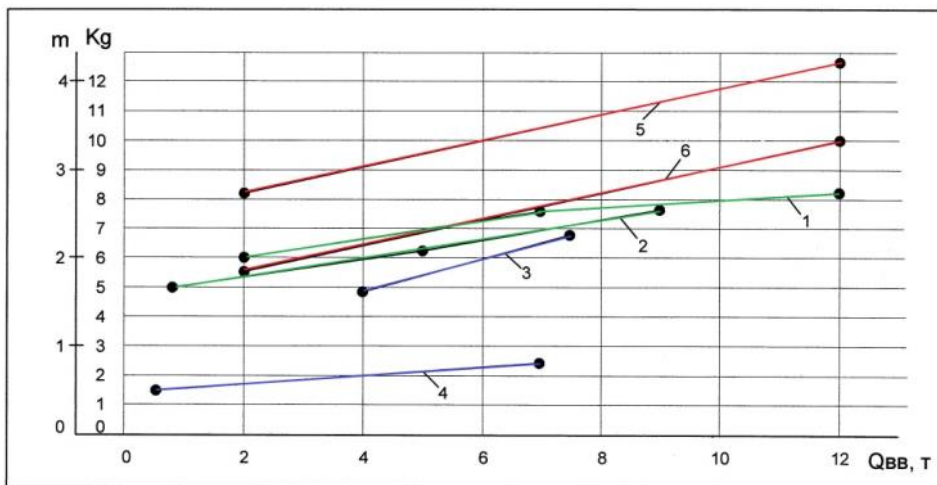


Рисунок 5 - Зависимость максимальной магнитуды сейсмических событий (m), энергетического класса геодинамических явлений (толчков) (Kg) от массы ВВ (Q_{вв}): 1, 2 – магнитуда и 3, 4 – энергетический класс при взрывании блоков на Таштагольском и Шерегешевском месторождениях; 5, 6 – магнитуда и энергетический класс до применения разработанного способа разрушения горных пород

4. Для дегазации пологих угольных пластов разработана и экспериментально испытана конструкция уравновешенного герметизатора (рисунок 6), позволяющая производить поинтервальные гидроразрывы в скважинах диаметром 76 мм и глубиной до 180 м.

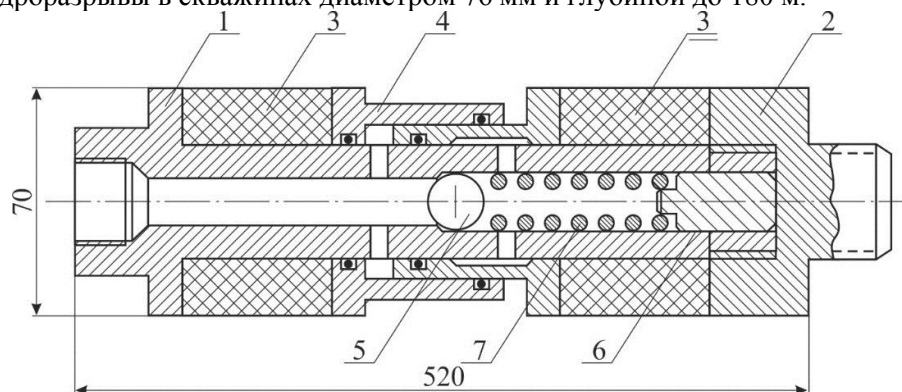


Рисунок 6 - Схема полиуретанового уравновешенного герметизирующего устройства состоит: 1 – корпус; 2 – забурник; 3 – втулка полиуретановая; 4 – гидроцилиндр; 5 – клапанный блок; 6 – регулировочный винт; 7 – пружина

Усовершенствована методика определения метановыделения из дегазационных скважин, позволяющая учитывать дополнительные факторы, связанные с неполным удалением буровой мелочи из скважины. Экспериментально установлено, что фактическое метановыделение в 3-8 раза больше из скважины, в которой выполнены гидроразрывы с помощью полиуретанового уравновешенного герметизирующего устройства (рисунок 7).

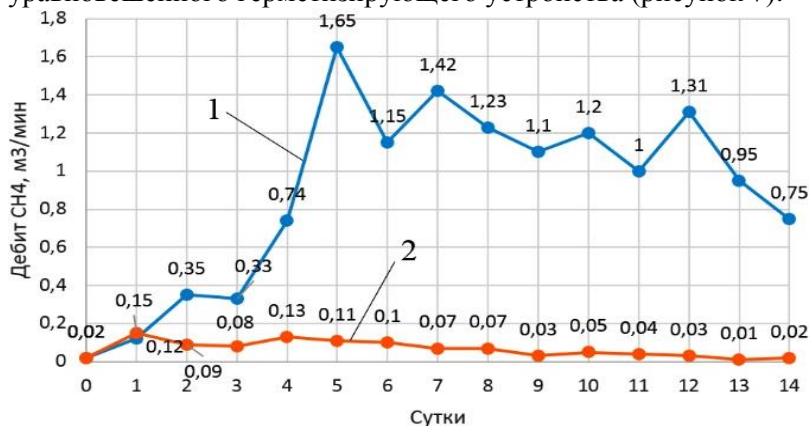


Рисунок 7. График изменения дебита метана из скважин: 1 – изменение дебита метана из скважин с гидроразрывом; 2 – изменение дебита метана из скважин без гидроразрыва

Определен шаг поинтервального гидроразрыва (не менее 20 м), при котором радиус распространения трещин исключает связь с соседними скважинами и обеспечивает эффективное производство дегазационных работ.

По направлению: «Горное и строительное машиноведение»

1. Обоснован способ снижения концентрации метана в сверхдлинной угольной лаве с использованием струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне. Для обрабатываемых пластов мощностью 2,4 и 3,7 м определены зависимости динамического распределение концентрации метана в четырехсотметровой лаве от расположения комбайна при разной скорости воздушного потока струйного вентилятора (рисунок 8).

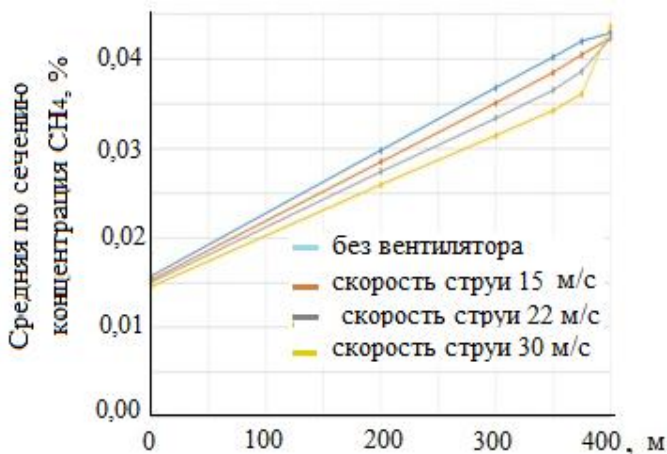


Рисунок 8 - Изменение концентрации метана по длине лавы с мощностью угольного пласта 2,4 м, в зависимости от расположения очистного комбайна, при разной скорости воздушного потока струйного вентилятора, установленного на нем

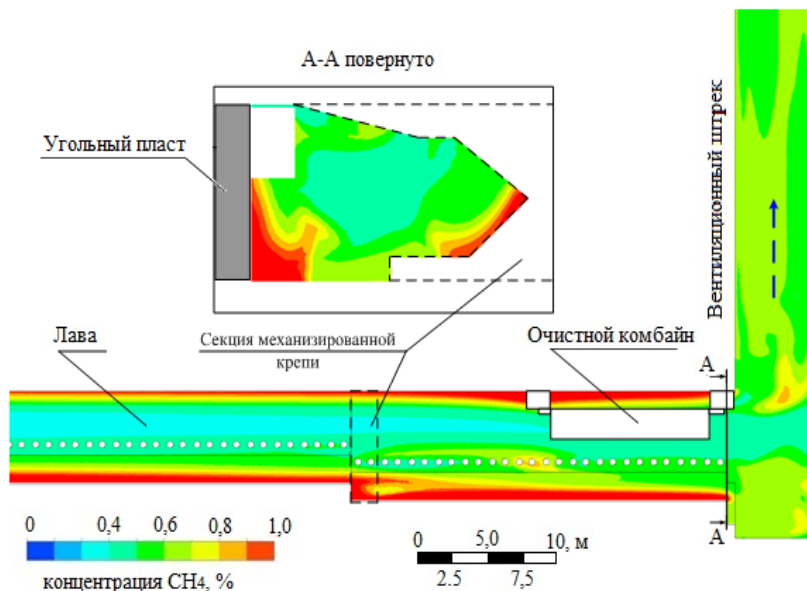


Рисунок 9 - Распределение концентрации метана в угольной лаве при подходе комбайна к вентиляционному штреку

Показано, что разработанный способ проветривания очистного забоя, позволяет снизить концентрацию метана на исходящей струе вблизи сопряжения лавы с вентиляционным штреком, что дает возможность сократить мощность главной вентиляторной установки проветривающей шахты в 1,4–1,9 раза с сохранением безопасных условий ведения добычных работ (рисунок 9).

3. Разработан, изготовлен и испытан в производственных условиях погружной пневмоударник калибра 130 мм, способный работать на повышенном давлении (1.2МПа и более, рисунок 10).

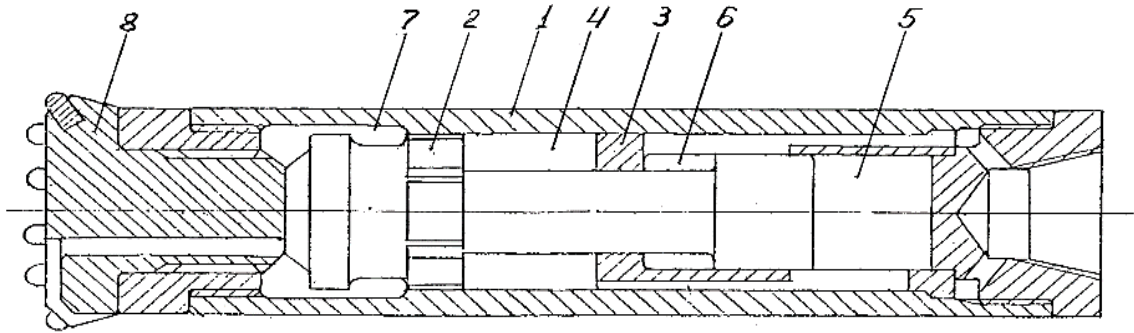


Рисунок 10 - Конструктивная схема погружного пневмоударника повышенного давления:
 1 - корпус; 2 - ударник; 3 - воздухораспределительная гильза; 4 - кольцевая полость камеры рабочего хода; 5 - торцевая камера рабочего хода; 6 - камера холостого хода постоянного давления; 7 - расточка; 8 - буровая коронка

Созданный пневмоударник позволяет существенно увеличить глубины бурения скважин наиболее распространенного в горном производстве диаметра 130-150 мм и повысить при этом производительность бурения. Конструкция пневмоударника имеет закрытое беззолотниковое распределение энергоносителя, позволяет предотвратить попадания внутрь абразивных частиц, обеспечивает эффективное удаление продукта бурения из скважины. Разработка ориентирована на внедрение пневмоударника на отечественных горных предприятиях.

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

Метод направленного гидроразрыва (НГР) для управления трудно обрушающейся кровли в угольных шахтах и средства его реализации

Позволяет исключить динамические явления в механизированных очистных забоях в период первичной и последующих осадок, а также обеспечить сохранность повторно используемых горных выработок в зоне очистных работ для безопасности подземных горных работ.

Научно обоснованы технические и технологические решения по контролю эффективности технологии направленного гидроразрыва пород кровли угольного пласта методом акустической эмиссии для контроля длины распространения трещины гидроразрыва и спектрально-акустическим методом, основанном на контроле частотной медианы акустического сигнала, для оценки влияния трещины НГР на напряженное состояние пласта и вмещающих выработку пород. Разработано специальное оборудование и приборы для реализации и оценки выполненных мероприятий. Метод широко применяется на угольных шахтах Кузбасса в различных технологических схемах (рисунки 1,2 и 3).

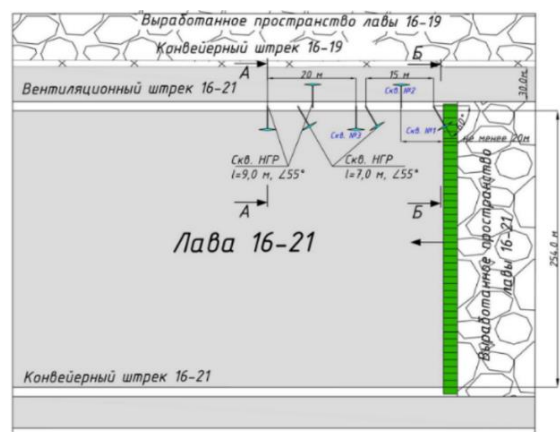
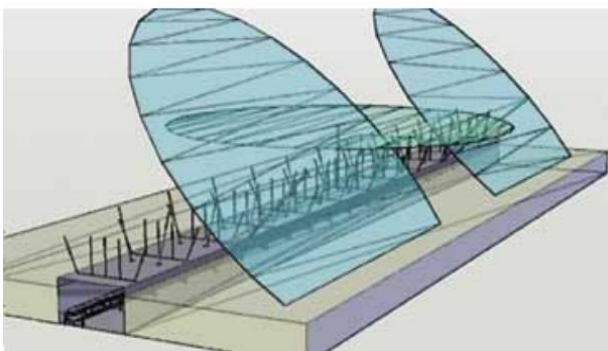


Рисунок 1 - Схема расположения скважин НГР

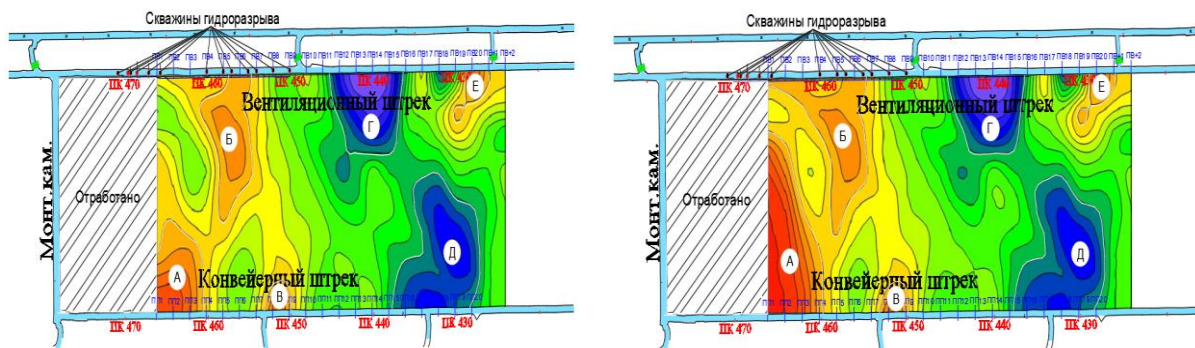


Рисунок 2 - Результаты сейсмического просвечивания активной кровли: до гидравлического воздействия и после

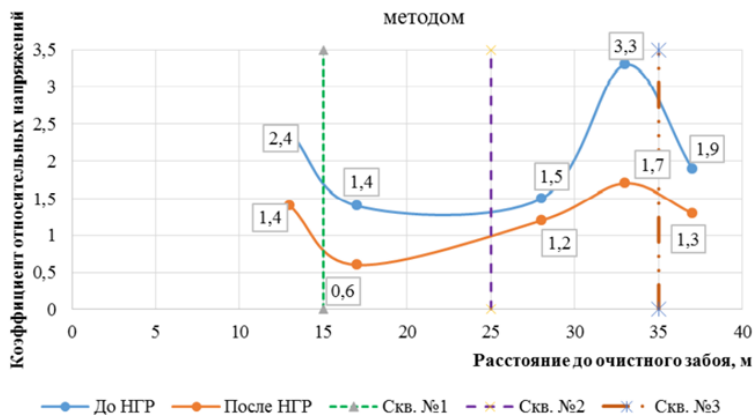


Рисунок 3 – Результаты акустического зондирования в краевой части выемочного столба и межлавном целике

1. Клишин, В.И. Реализация метода направленного гидроразрыва (НГР) при решении геотехнологических задач управления повышенным горным давлением. // В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, А.С. Телегуз, А.В. Николаев, С.И. Махраков, И.А. Печенев. // Уголь. – 2021. – №. 11 (1148). – С. 6-12. DOI: 10/18796/0041-5790-2021-11-6-12.

2. Шадрин А.В. Основы создания подсистемы прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты. // А.В. Шадрин, А.С. Телегуз. // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – №. 7. – С. 48-53. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-7-48-53.

3. Klishin S. Effect of packer design on hydraulic fracturing of coal seam. // S. Klishin, V. Klishin. // E3S Web of Conferences. – 2021. – Т. 330. – С. 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202133001002.

Метод интенсификации процесса дегазации неразгруженных угольных пластов поинтервальным гидроразрывом

Вследствие малого объема дегазационных работ и недостаточной их эффективности на газообильных шахтах России сохраняется газовый барьер, препятствующий достижению высоких скоростей проведения выработок и больших нагрузок на очистные забои. Предложен метод интенсификации газоотдачи угольного пласта из необсаженных скважин, пробуренных из подготовительных выработок, что в десятки раз повышает газоотдающую способность угля.

Выполнено обоснование параметров и установлено, что определяющими являются размеры изолированной полости между пакерами и диаметром скважины для образования направленных поперечных относительно оси скважины трещин. Показано влияние длин уплотнителей и расстояния между ними на значения максимальных растягивающих осевых напряжений на стенке скважины. Разработано уникальное оборудование, обеспечивающие поинтервальный гидроразрыв в не обсаженной скважине; определено условие возникновения поперечной трещины за счет растягивающих напряжений в скважине, созданных устройством. Впервые в шахтных условиях устройством для поинтервального гидроразрыва угольного пласта получены протяженные поперечные трещины гидроразрыва в очистном и подготовительном забоях, повышающие его газоотдачу (рисунки 4, 5, 6 и 7).

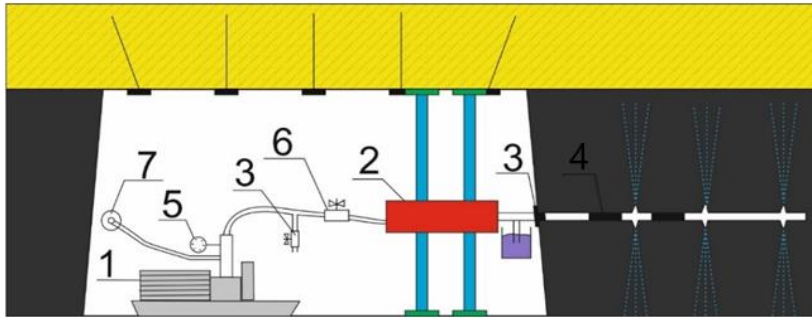


Рисунок 4 - Технологическая схема поинтервального гидроразрыва
 1 - насос, 2 - буровой станок, 3 - уплотнитель устья, 4 – разрывное устройство, 5 - манометр,
 6 - вентиль высоконапорный, 7 - противопожарный трубопровод



Рисунок 5 - Исследование устройства поинтервального гидроразрыва с различными видами клапанов

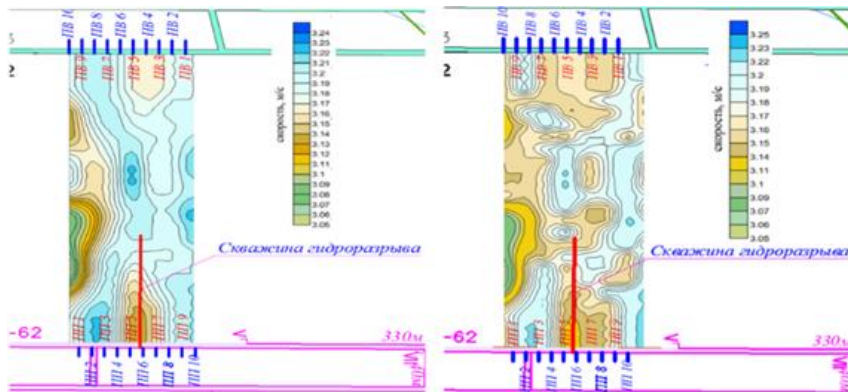


Рисунок 6 - Геофизический разрез распределения скоростных характеристик в области выемочного столба до и после проведения ПГР

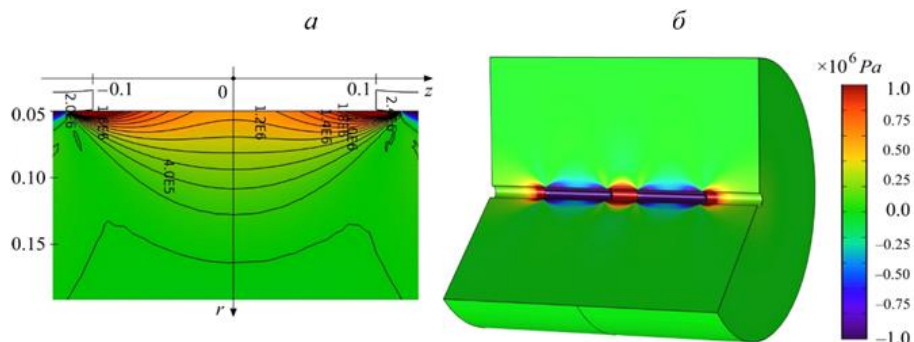


Рисунок 7 - Распределение осевых напряжений σ_z на конечном шаге нагружения: сечение плоскостью Orz (а); трехмерная картина (б)

1. Klishin, V. Geophysical and geo-mechanical methods for estimating roof directional hydraulic fracturing works. // V. Klishin, G. Opruk, A. Teleguz // E3S Web of Conferences. – 2021. – Т. 330. – С. 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202133001001.

2. Сквaziнное устройство для осуществления гидроразрыва горных пород: патент на изобретение 2760271 Российская Федерация. // В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, Е.А. Худынцев, Г.Ю. Опрук, С.В. Клишин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2021109532; заяв. 06.04.2021; опубл. 23.11.2021.

3. Сквaziнное устройство для осуществления гидроразрыва горных пород: патент на полезную модель 208210 Российская Федерация. // В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, Е.А. Худынцев, С.В. Клишин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2021118154; заяв. 21.06.2021; опубл. 08.12.2021.

Роботизированная многофункциональная шагающая механизированная крепь

Для создания безопасного рабочего пространства в различных технологических схемах: скоростная проходка горных выработок, камерно-столбовая система, крепь сопряжения, аварийный комплекс для выемки заваленного под землёй оборудования. Идея заключается в обеспечении своевременной опережающей поддержке кровли в призабойной зоне проходческой горной выработки с использованием циклически-шагающей механизированной крепи с неснижаемым (постоянным) распором секций.

Платформенное решение конструкции роботизированного шагающего модуля обеспечивает многофункциональное применение в составе механизированных комплексов для извлечения трудноизвлекаемых полезных ископаемых. Роботизированный шагающий модуль обеспечивает надежное крепление кровли и бортов выработки, позволяет защитить технологическое оборудование роботизированного комплекса в горной выработке, обеспечивает геометрическую неизменяемость секций устройства во время передвижения и постоянный распор.

Выполнены математическое моделирование, стендовые и численные исследования силовых параметров, проработаны варианты конструктивного решения для различных технологических приемов (рисунки 8, 9, 10 и 11).



Рисунок 8 - Макет в масштабе 1:4

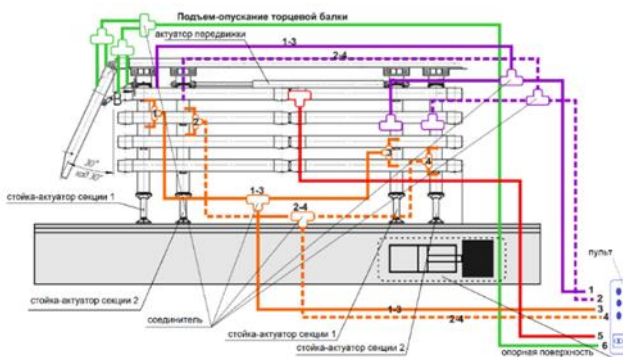


Рисунок 9 - Структурная схема управления

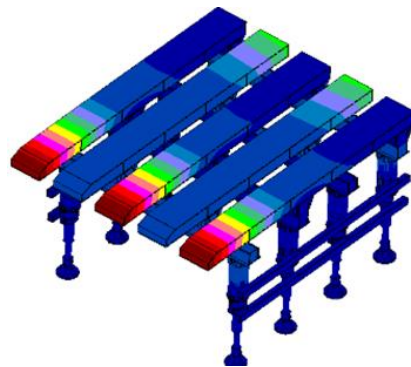


Рисунок 10 - Эпюра эквивалентных напряжений

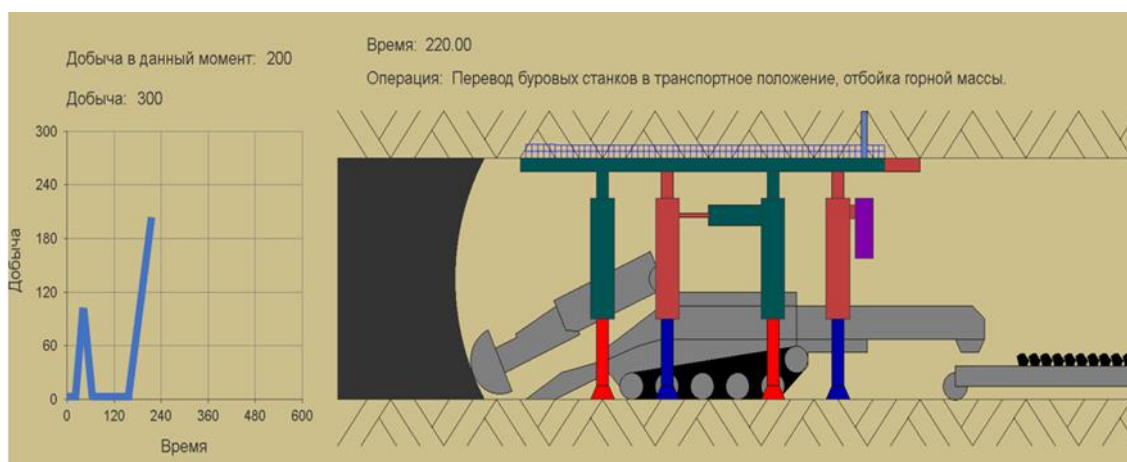


Рисунок 11 - Фрагмент результатов моделирования технологии коростной проходки горных выработок в виде компьютерной анимации

1. Способ разработки пологого угольного пласта: патент на изобретение 2753427 Российская Федерация. // В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, С.М. Никитенко; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2020140126; заяв. 04.12.2020; опубл. 16.08.2021.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615981. Программа управления роботизированной шагающей крепью. // Ю.В. Малахов, С.А. Кизилов, М.С. Никитенко; правообладатель: ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. – № 2021614206 заявл. 29.03.2021; зарегистр. 15.04.2021. – Бюл. № 4. –2021. – 1 с.

3. Klishin, V. I. Rock Mass–Multifunction Mobile Roof Support Interaction in Mining / V.I. Klishin, V.N. Fryanov, L.D. Pavlova et al. // Journal of Mining Science. – 2021. – Т. 57. – №. 3. – С. 361-369. – DOI: 10.1134/S1062739121030017.

Технология разработки мощных угольных пластов роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи

Новизна роботизированного комплекса на базе разрабатываемой секции крепи заключается в обеспечении управляемого выпуска полезных ископаемых из подкровельной или межслоевой толщи на основе физического эффекта разрушения толщи под действием сил горного давления с применением плунжерного питателя. Технология создает новое направление конструирования роботизированных комплексов для реализации технологий «безлюдной» добычи угля из мощных пластов.

Данная технология позволит: снизить эксплуатационные потери и зольность угля за счет управляемого выпуска; обеспечить нагрузку на очистной забой до 15,0 тыс. т/сут. (4,5 млн. т/год); уменьшить затраты на монтаж-демонтаж: комплексов, средств транспортирования, электрооборудования, трубопроводов, профилактические мероприятия и др.; снизить энергозатраты на добычу на 25-30%; сократить расходы на дорогостоящее и металлоемкое оборудование очистных забоев и средства транспортирования горной массы в пределах выемочного поля.

Проведен комплекс теоретических и стендовых исследований, численных экспериментов по моделированию процесса выпуска угля в различных режимах, определены рациональные параметры комплекса, разработана система управления выпуском. Наибольшей производительностью обладает плоский питатель, средняя производительность которого в 1,5 раза больше, чем у питателя с оребрением, что подтверждается теоретическими расчетами и лабораторными экспериментами. По результатам имитационного моделирования установлено, что волновой режим обеспечивает более стабильное, равномерное и полное заполнение конвейера по сравнению с другими режимами, что подтверждается физическими экспериментами на лабораторной установке по исследованию этих же режимов выпуска (рисунки 12, 13, 14 и 15).

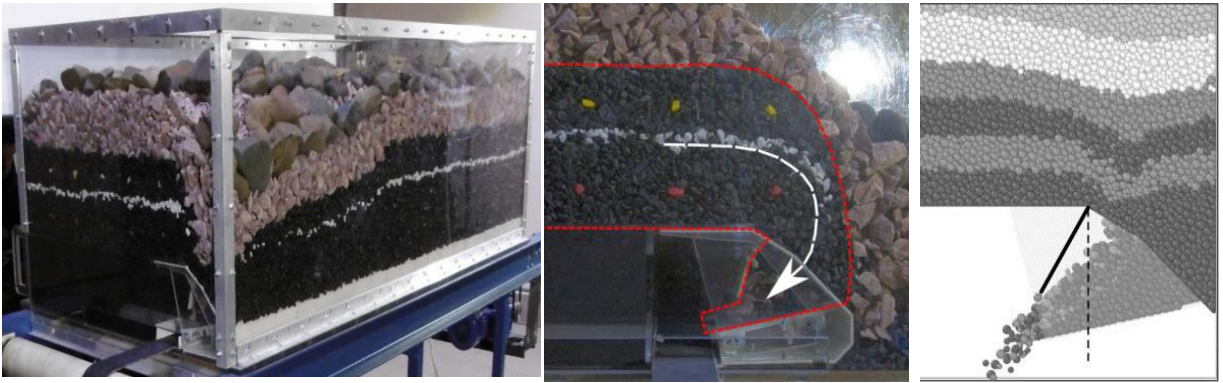


Рисунок 12 - Физическое и численное моделирование технологии

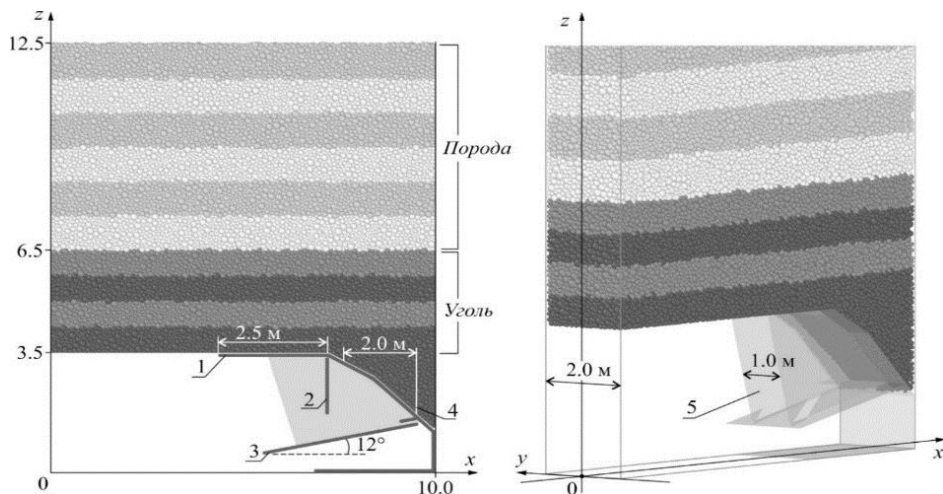


Рисунок 13 - Схема численного эксперимента и основные элементы модели
 сечения механизированной крепи с выпуском подкровельной толщи
 1 – поддерживающий элемент (верхняк); 2 – неподвижный заслон; 3 – питатель;
 4 – выпускное отверстие; 5 – боковые ограждения

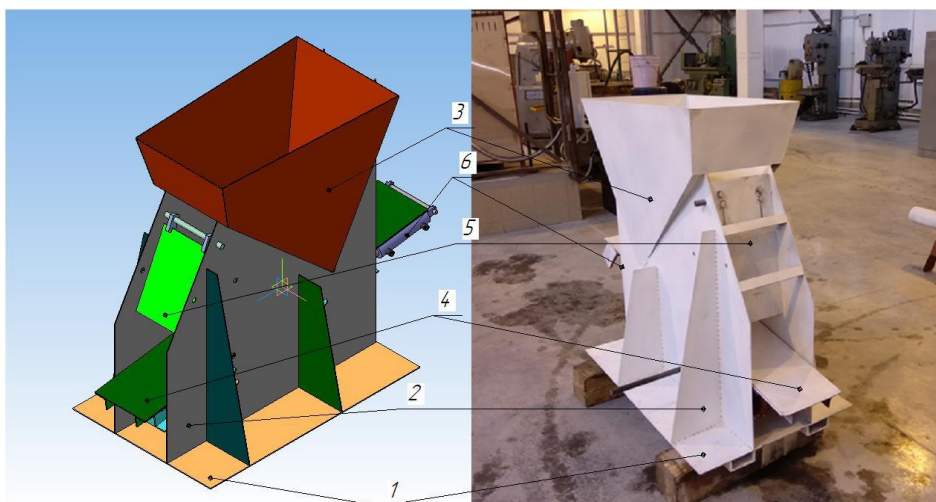


Рисунок 14 - Стендовая установка по исследованию питателя
 1 - основание, 2 - корпус с ребрами жесткости, также выполняющего функцию
 направляющего лотка, 3 - загрузочный бункер, 4 - подвижный питатель,
 5 – заслон, 6 - гидроцилиндр

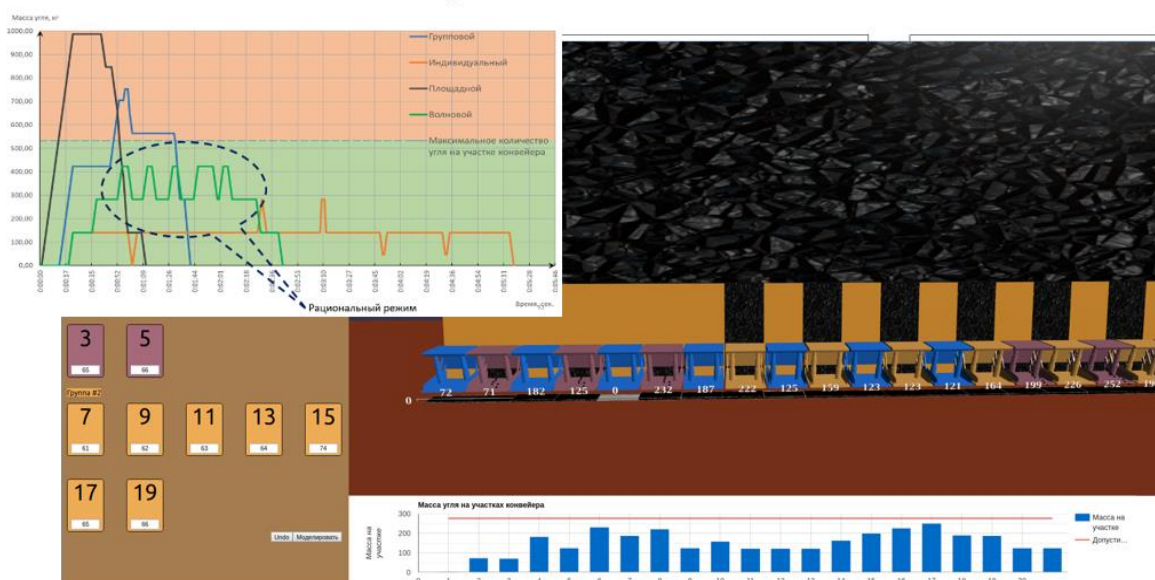


Рисунок 15 - Имитационное моделирование режимов выпуска угля

1. Starodubov, A.N. The development of simulating system of robotized technologies for thick and acute coal seams. // A.N. Starodubov, V.V. Sinoviev, V.I. Klishin // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1749. – №. 1. – С. 012040. – DOI: 10.1088/1742-6596/1749/1/012040.

2. Kuznetsova, L.V. Kuzbass mineral raw material base available for applying the method of robot-based roof coal release. // L.V. Kuznetsova, B.A. Anfyorov // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 330. – С. 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/202133001003.

3. Худынцев, Е.А. Влияние конструкции питателя на массовый расход угля и сил, действующих на питатель в процессе выпуска угля подкровельной толщи. // Е.А. Худынцев. // Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие–2021» 11–13 мая 2021 года. – С. 78.

4. Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи: патент на изобретение 2760270 Российская Федерация. // В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, С.В. Клишин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2021110182; заяв. 12.04.2021; опубл. 23.11.2021.

5. Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи и механизированная крепь для его осуществления: патент на изобретение 2763205 Российская Федерация. // В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2021104634; заяв. 24.02.2021; опубл. 28.12.2021.

Установка по исследованию глубины чувствительности спектрально-акустического метода контроля напряженного состояния горного массива

Уникальная лабораторная установка позволяет моделировать и прогнозировать состояние горного массива в период формирования и проявления динамических явлений кровли впереди подготовительной выработки для установления влияния влажности, опорного давления и различного рода нарушений. Для регистрации и обработки данных с оборудования лабораторной установки по исследованию чувствительности спектрально-акустического метода разработано специализированное программное обеспечение.

Установлено, что амплитуда акустического сигнала, распространяющегося от дизъюнктивного нарушения до геофона, установленного в борт моделируемой выработки, примерно в два раза меньше сигнала от моделируемого пликативного нарушения до геофона. Однако зависимость коэффициента выбросоопасности от расстояния между нарушением и поверхностью забоя для обоих типов нарушения близка по форме и величине. Установлено, что для обоих типов нарушения зависимость показателя выбросоопасности от расстояния между поверхностью забоя и нарушением имеет экспоненциальный характер (рисунки 16, 17, 18 и 19).

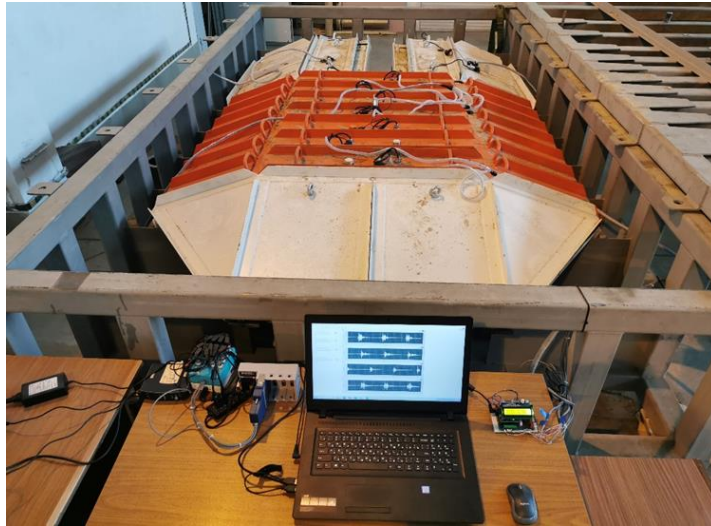


Рисунок 16 - Общий вид лабораторной установки



Рисунок 17 - Моделирование дизъюнктивных нарушений

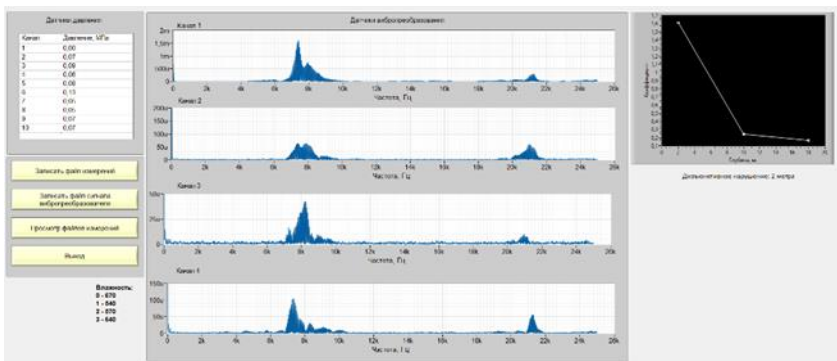


Рисунок 18 - Скриншот интерфейса вывода результатов

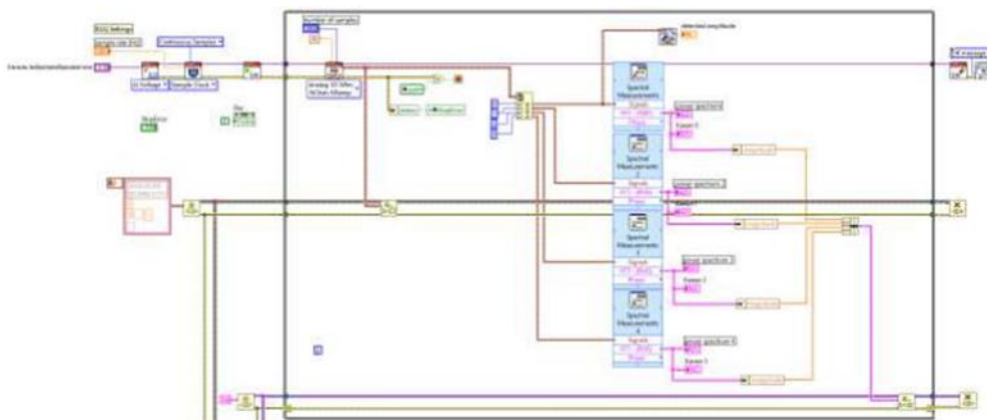


Рисунок 19 - Код основного модуля программы (Спектрально-акустический анализ)

1. Программа регистрации и обработки данных оборудования лабораторной установки по исследованию чувствительности спектрально-акустического метода: свидетельство о регистрации ПрЭВМ 2021661705 Российская Федерация. // В.И. Клишин, Д.М. Корец, Д.О. Верховцев, М.С. Никитенко, С.А. Кизилов; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2021660898; заяв. 11.06.2021; опубл. 14.07.2021

2. Амплитудно-частотные характеристики горного оборудования: свидетельство о регистрации базы данных 2021621619 Российская Федерация. // И.Л. Абрамов; заявитель и патентообладатель ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. - № 2021621522; заяв. 26.07.2021; опубл. 28.07.2021

3. Shadrin, A.V. Outburst danger criteria for acoustic prediction methods at the initial and final stages of preparing sudden coal and gas outburst. // A.V. Shadrin // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. – 823. –2021. – 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/823/1/012007

Изучение угленородного массива средствами электротомографии

Разработанный подход модификации исходного геоэлектрического разреза позволяет локализовать границы слоев породного массива и объектов, несвязанных с геологической средой. Подход основан на алгоритме, включающем разбиение области исходного геоэлектрического разреза на области с задаваемыми геометрическими размерами и интегрировании значений удельного электрического сопротивления, которые соответствуют наименьшему элементу, и определение его среднего значения в границах области.

Разработанный подход обработки данных позволил совместно со специалистами угледобывающего предприятия разработать комплекс мероприятий по демонтажу механизированного комплекса, в том числе с использованием дополнительных костров и гидравлических стоек. По результатам выполненных электроразведочных исследований дана оценка параметров участков кровли угольного пласта с поверхности в сложных условиях действующего угледобывающего предприятия (рисунки 20, 21, 22 и 23).

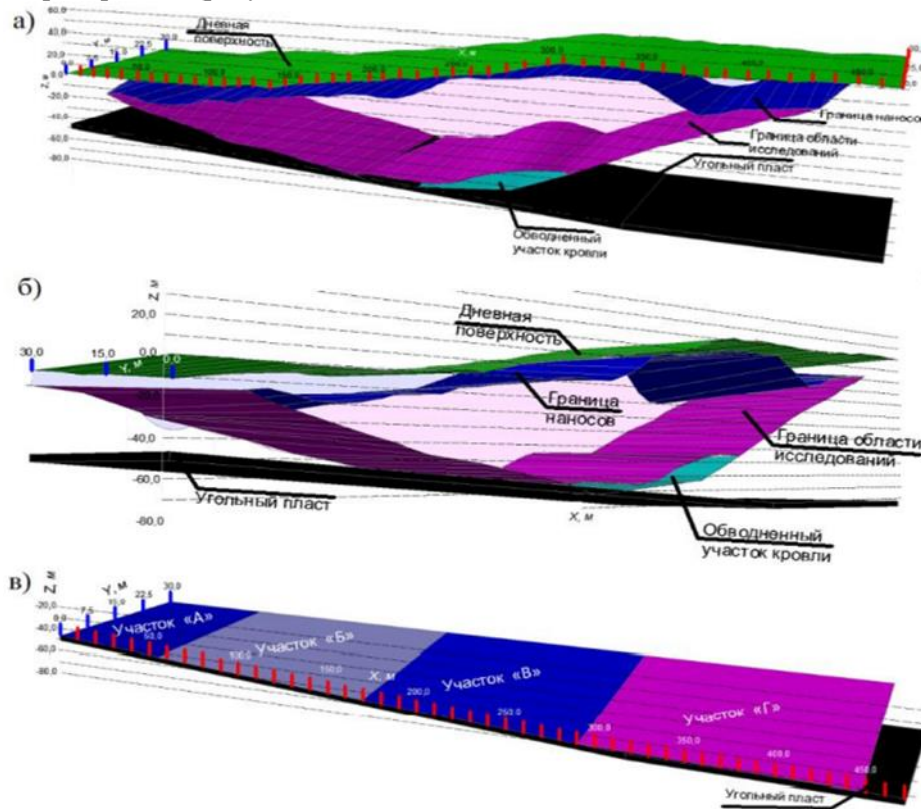


Рисунок 20 - Результаты электротомографии по двум параллельным и одному поперечному профилям:

а, б – визуализация геолого-геофизического разреза в 3D; в – участки кровли угольного пласта

		
<p>Рисунок 21 - Сейсмореги- стрирующие станции «Лакколит 24-М3»</p>	<p>Рисунок 22 - Комплект шахтного оборудования для регистрации сейсмических данных</p>	<p>Рисунок 23 - Прокладка электро-разведочной косы</p>

1. Saltymakov, E. Electrotomography of the roof rocks in coal seams / E. Saltymakov, A. Gerasimov, M. Tayursky. //E3S Web of Conferences. – 2021. – Т. 330. – С. 04008. DOI: 10.1051/e3sconf/202133004008.

2. Tailakov, O.V. Monitoring of physical condition changes in strata boreholes during coal mining / O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, M.P. Makeev, E.A. Saltymakov, S.E. Kolesnichenko. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 823. – №. 1. – С. 012004.

3. Tailakov, O.V. Determination of filtration properties of coal seams during mine measurements. // O.V. Tailakov, E.A. Utkaeв, M.P. Makeev // /IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 823. – №. 1. – С. 012016. DOI: 10.1088/1755-1315/823/1/012016.

4. Rout, G. To the issue of monitoring the length of degasification boreholes / G. Rout, O. Tailakov, D. Zastrelov, S. Kolesnichenko. // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 315. – С. 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202131501020.

Горно-геометрическое обеспечение фрагментации месторождения на домены

Формализованные методы определения границ угольных доменов (фрагментов с однородным геологическим строением) в мире отсутствуют. Для выполнения последующей геометризации доменов предлагается формировать сеть направлений между замерами показателей и выделить точки их пересечения. В этих точках, путем интерполяции вдоль каждого из двух направлений, можно определить два возможных варианта значения показателя, а затем исчислять минимально возможные «поправки», внесение которых в измеренные значения приведет к одинаковым значениям показателя в точках пересечения всех пар направлений. В результате применения этого метода, названного методом уравнивания геологоразведочной сети, каждая «поправка» будет являться индикатором, характеризующим сложность строения объекта, погрешности измерений и интерполяции в окрестности каждого замера. В пределах домена «поправки» должны иметь близкие значения, что является критерием установления их границ. Принципиальным отличием метода уравнивания от геостатистических методов, является то, что он, не налагая требований по равномерности сети замеров и одновременно обрабатывая эту сеть, использует только пары ближайших замеров, в то время как для построения вариограмм геостатистика сопоставляет данные по значительно удаленным друг от друга

замерам. Предлагаемый метод позволяет создавать цифровые модели угольный месторождений с требуемой для промышленности точностью (рисунок 24).

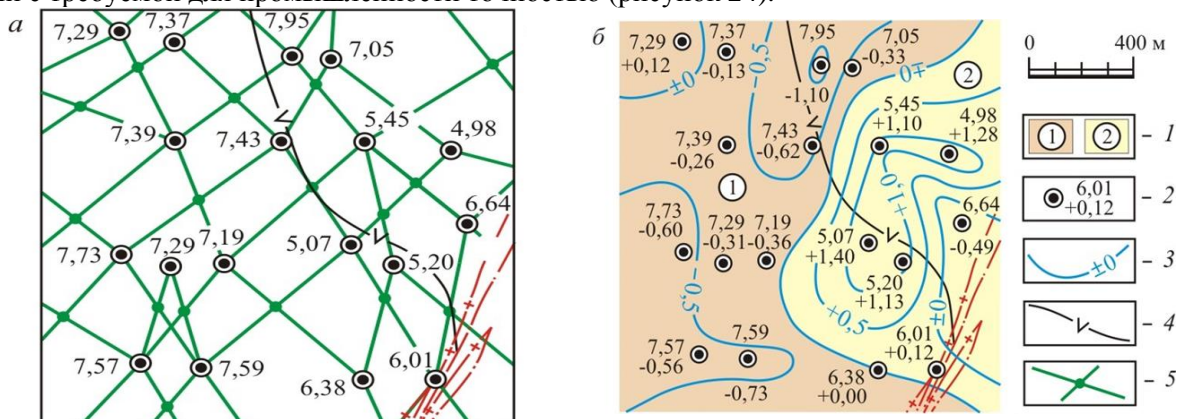


Рисунок 24 - Фрагмент плана с результатами уравнивания мощностей пласта Полысаевский-2 участка Колмогоровский-2 (а – сеть направлений, б – результаты уравнивания):
 1 – домены и их номера; 2 – мощность пласта в точках плаstopодсечений и поправка к ней, м;
 3 – изолинии поправок; 4 – линия расщепления пласта по данным отчета о разведке;
 5 – направления интерполирования и точка их пересечения

1. Pisarenko, M.V. Determination of domain boundaries by results of adjustment of the exploration grids in geometrization of coal deposits. // M.V. Pisarenko, T.B. Rogova, S.V. Shaklein // Proceedings of the Tula states university-sciences of Earth. – 2021. – Т. 2. – С. 220-231.

2. Klishin, V.I. The conception of developing unallocated fund of subsoil raw material resources base in the coal mining industry. // V.I. Klishin, M.V. Pissarenko, T.B. Rogova, S.V. Shaklein // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 823. – №. 1. – С. 012048. DOI: 10.1088/1755-1315/823/1/012048.

Исследование газодинамических свойств углей по термобарическим, сорбционным и га-зокинетическим характеристикам при газовыделении из природного и искусственно насыщенного газом угля

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН созданы:

– устройство для замера газоносности угольного пласта. Высокая точность измерения обеспечивается полным замером содержащегося в пробе газа с момента ее выбуривания и до герметизации в штыбopриемник. Устройство предлагается для применения на угледобывающих предприятиях для высокоточного оперативного прямого замера газоносности угольного пласта для обоснования безопасных параметров проведения горных работ. Также предназначено для научных и инженерно-технических работников, занятых экспериментальными исследованиями свойств природного «углеметана»;

– термобарометрическая колба, оснащенная электронной системой непрерывного контроля давления и температуры газа, находящегося в замкнутом объеме, предназначена для непрерывной регистрации изменений термобарических параметров в процессе газовыделения из системы «уголь-метан».

С применением созданных устройств проведены исследования пластовых проб углей, отобранных в режиме, изолированном от воздушного пространства выработки. Установлено превышение природной газоносности пласта над лабораторной метаноёмкостью: 10% при 0,6 МПа стабилизирующего запирающего давления в пробе природного угля, 60% – при 3,8 МПа в угольном пласте. Исследованиями тепловых процессов при газовыделении в герметичной колбе, заполненной частицами угля, установлено, что изменение температуры во времени имеет затухающий колебательный характер, а амплитуда и период колебаний определяются распределением частиц угля различного гранулометрического состава по длине колбы, их размером, газоносностью, макроструктурой. Экспериментально подтверждено, что выбросоопасные пласты обладают высокой изменчивостью физико-механических свойств. Установлено (370 проб), что по сравнению с углями высоко и низко метаморфизованными, угли марок Ж, КЖ, К с показателем отражения витринита $0,93 \div 1,39\%$ и выходом летучих веществ $36 \div 20\%$

имеют наибольшие значения удельной поверхности $0,23=3,90 \text{ м}^2/\text{г}$ и обладают минимальными прочностными характеристиками (рисунки 25, 26 и 27).

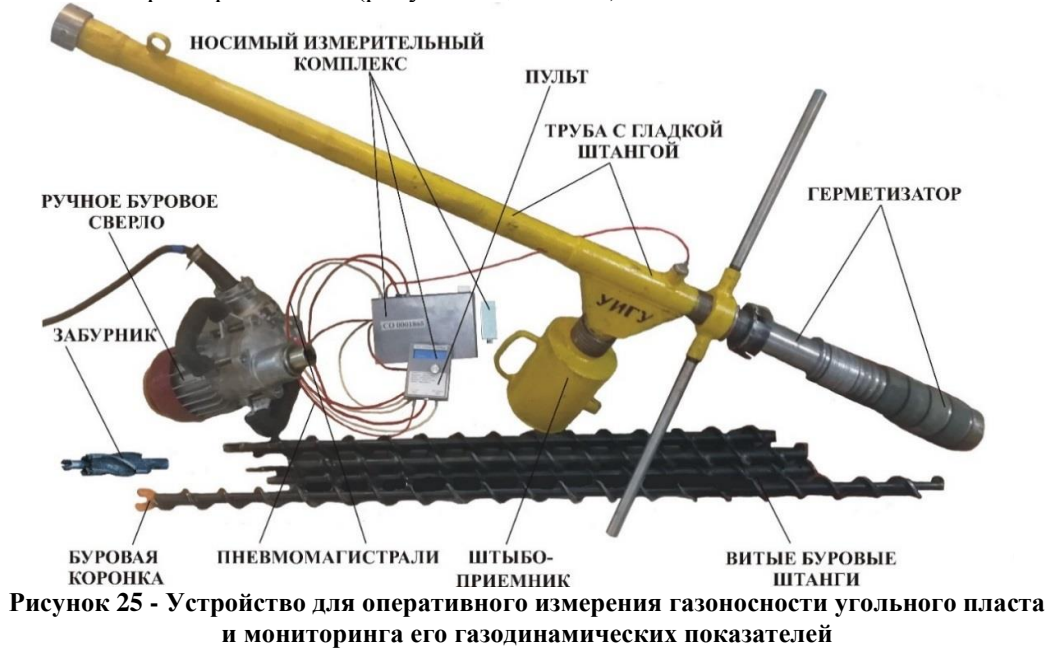


Рисунок 26 - Термобарическая колба

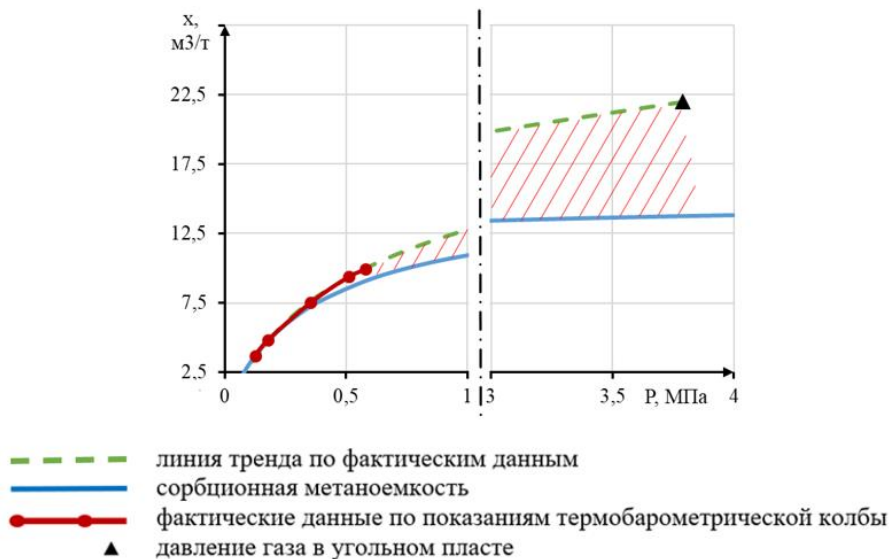


Рисунок 27 - Изменение газоносности пласта от давления газа в природном угле

1. Plaksin M.S. Determining the Gas Content of Coal Beds. // M.S. Plaksin, E.N. Kozyreva. // Coke and Chemistry, 2021, Vol. 64, No. 4, pp. 144–147. DOI: 10.3103/S1068364X21040062.

2. Ryabtsev A.A. Calculation of the coal seam natural gas content / A.A. Ryabtsev, Ye.N. Kozyreva. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 823. – №. 1. – С. 012003 DOI: 10.1088/1755-1315/823/1/012003.

3. Шинкевич, М.В. Изменение горного давления при отработке пласта угля длинным очистным забоем. // М.В. Шинкевич, Р.И. Родин // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 5. – С. 65–69. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-65-69.

Лабораторная методика отбора проб «нативного» (природного) угля из угольных пластов и экспериментальные зависимости физико-химических свойств угля, полученные в инертной среде без контакта с воздухом

Разработаны способы бесконтактного с воздухом отбора, доставки и разделки угольных проб, позволяющие в лабораторных условиях оценить изменения, происходящие с органическим веществом угля в первые моменты взаимодействия вскрытой поверхности с кислородом. Подготовка пробы нативного образца угля осуществляется в условиях чистой инертной среды перчаточного бокса.

Проведен сравнительный анализ образцов нативного низкометаморфизованного угля и лабораторных проб, подготовленных стандартными методами на воздухе. Для характеристики изменения поверхности угольных частиц использованы аппаратные методы ИК- и ЭПР-спектроскопии, химический функциональный анализ кислородных групп, определение удельной поверхности и ряд дополняющих друг друга методов определения смачиваемости – определение краевого угла смачивания по капле жидкости, скорости поглощения капли в угольный брикет и интенсивности фильтрации жидкости через слой угля.

Установлено, что нативный уголь имеет пониженное содержание стабильных радикалов, гидроксильных и карбоксильных групп и повышенные удельную поверхность, и гидрофобность относительно углей, контактировавших какое-либо время с воздушной средой.

Результаты проведенных исследований являются научной основой для корректировки и разработки мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций в угольных шахтах:

- эндогенных самонагреваний вскрытого угольного пласта (тампонаж и дезактивация пористой угольной поверхности);
- самовозгорания угольных скоплений в отработанном пространстве шахт и на угольных складах (разработка и внедрение новых типов антипирогенов и тушащих составов и способов их доставки к очагам самовозгорания);
- разработка новых типов смачивающих составов для предотвращения взрывов угольной пыли и пылеобразования в процессе погрузки, транспортировки и переработке угля (рисунок 28).

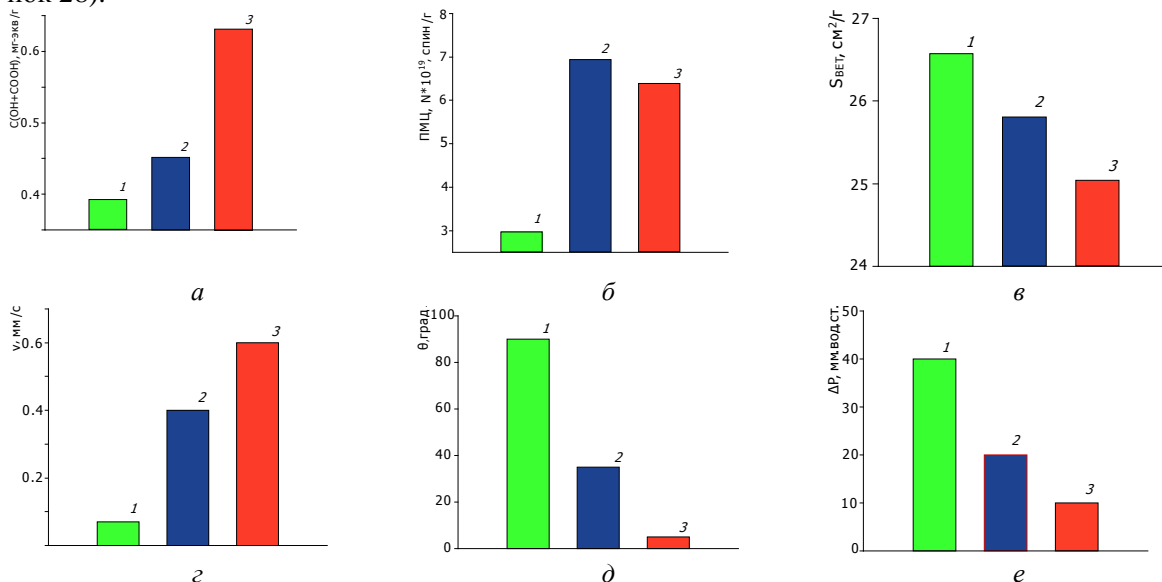


Рисунок 28 - Сравнительная характеристика «нативного» угля марки Д (1) и образцов углей, подготовленных по стандартным методикам в воздушной среде: высушенный в вакууме (2) и в сушильном шкафу при 105 °С (3): сумма кислых групп (ОН+СООН), мг/экв/г (а); количество парамагнитных центров N, спин/г (б); удельная поверхность по азоту S_{ВЕТ}, см²/г (в); скорость впитывания капли воды на поверхности угольного брикета v, мм/с (г); угол смачивания Θ, град (д); давление подпора жидкости при фильтрации через слой угля ΔP, мм. вод. ст. (е)

1. Semenova S.A. Influence of Reagent Emulsification on Coal Flotation in the Presence of Gas Microbubbles. // S.A. Semenova, Y.F. Patrakov. // Coke and Chemistry. – 2021. – Т. 64. – №. 1. – С. 27-30. DOI: 10.3103/S1068364X21010051.

2. Patrakov Yu.F. Intensification of Coal Flotation by Means of Air Microbubbles. // Yu.F. Patrakov, S.A. Semenova. // Coke and Chemistry. – 2021. – Т. 64. – №. 2. – С. 64-68. DOI: 10.3103/S1068364X21020046.

3. Патраков Ю.Ф. Определение краевого угла смачивания методом газового пузыря. // Ю.Ф. Патраков, С.А. Семенова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2021. Т. 87. № 4. С. 38-42. DOI: 10.26896/1028-6861-2021-87-4-38-42.

4. Патраков Ю.Ф. Влияние озонирования на дисперсный состав и флотационные свойства эмульсии отработанного минерального масла. // Ю.Ф. Патраков, С.А. Семенова. // Кокс и химия. 2021. № 7. С. 41-46. DOI: 10.52351/00232815_2021_07_41.

5. Семенова, С.А. Исследование реакционной способности углей к окислению методом озонирования. // С.А. Семенова, Ю.Ф. Патраков, А.Е. Майоров // Кокс и химия. 2021. № 8. С. 8-12. DOI: 10.52351/00232815_2021_08_8.

Диагностика технического состояния горношахтного оборудования и крупногабаритного карьерного автотранспорта

Одним из важных методов повышения надежности в условиях эксплуатации является техническое диагностирование, которое позволяет определять фактическое состояние объекта и получать долгосрочный прогноз. Предлагаемая оценка фактического состояния длительно-работающих приводов горных машин - остаточный ресурс объекта - рассчитывается по построенной математической модели и определяется совокупностью оценок технических параметров объекта, уравнением состояния, условиями эксплуатации, фактическим состоянием объекта и совокупностью предельных технических параметров.

Разработан стандарт организации «Методические указания по проведению диагностических измерений редукторов, выпускаемых ОАО «Анжеромаш». Его внедрение позволило создавать вибрационные паспорта на выпускаемую продукцию при их обкатке на заводском стенде (рисунки 29, 30 и 31).

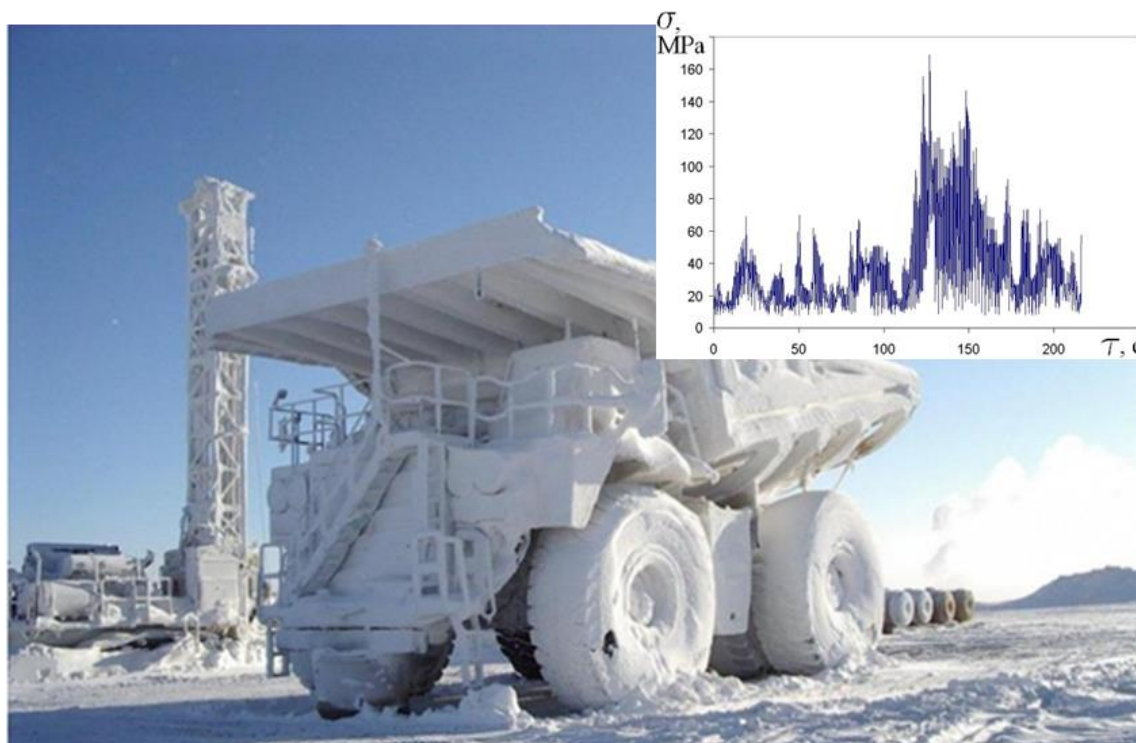


Рисунок 29 - Оценка живучести металлоконструкций



Рисунок 30 - Вибродиагностика элементов



Рисунок 31 - Тепловой контроль

1. Gerike P.B. Developing the methodology on creating unified criterion for diagnosing the mining machinery equipment defects. // P.B. Gerike, P.V. Eshcherkin. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 823. – №. 1. – С. 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/823/1/012014.

2. Gericke B.L. Digital technologies used in technical diagnostics, assessment of technical condition, maintenance and repair of mining machines and equipment. // B.L. Gericke, A.E. Sushko, P.B. Gericke, A.B. Efremenkov // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2052. – №. 1. – С. 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/2052/1/012016.

3. Gerike P. Selecting the criterion for diagnosing imbalance of electric mining shovel rotors / P. Gerike, B. Gerike. // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 315. – С. 03025. DOI: 10.1051/e3sconf /202131503025.

4. Герике П.Б. Формирование единого диагностического критерия для оценки технического состояния горного оборудования. // П.Б. Герике, Б.Л. Герике. // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – №. 2. – С. 17-22. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-17-22.

Естественно-научные коллекции углей, осадочных пород и палеонтологических объектов Института угля ФИЦ УУХ СО РАН

Издана монография – научно-справочное издание, представляющее перечень систематизированных аннотированных образцов углей Кузбасса и других бассейнов России; осадочных горных пород, вмещающих пласты угля; шлифотеки углей и палеонтологических объектов, включенных в естественно-научное коллекционное собрание Института угля. Коллекции концептуально документируют междисциплинарный комплекс знаний об угле на основе музейно-коммуникационных технологий. Актуальность опубликованного труда заключается в широкой востребованности новых источников информации об уникальности, разнообразии, условиях залегания углей Кузнецкого бассейна; научном представлении не имеющих отечественных аналогов коллекций угольного профиля, составляющих вещественный и информационный актив научно-исследовательского значения в области задач угольной науки. Опубликованный эмпирический материал, обобщенная и систематизированная информация отражает естественно-научную составляющую ресурсов крупнейшего угольного бассейна России и доказательно раскрывает междисциплинарность угольной науки (рисунок 32).



Рисунок 32

1. Кравцова Л.А. Естественно-научные коллекции углей, осадочных пород и палеонтологических объектов Института угля ФИЦ УУХ СО РАН: К 300-летию Кузбасса / Л.А. Кравцова, Л.А. Дементьева; отв. ред. В.И. Клишин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, ФИЦ угля и углехимии. – Новосибирск: СО РАН, 2021. – 192. с.

**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

• Разработана методика экспериментального исследования влияния условий водонасыщения на статические упругие свойства (модуль упругости, коэффициент Пуассона) карбонатных пород. Для отработки методики и проведения пробных испытаний подготовлен образец известняка, осуществлён выбор режимов водонасыщения, получены диаграммы водонасыщения и водопотери. В соответствии с разработанной методикой проведены механические испытания образца известняка при различных уровнях и режимах водонасыщения. На основе полученных диаграмм деформирования по СТО 05282612-001-2013 определены модуль упругости и коэффициент Пуассона исследованного материала в различных состояниях. Отмечено anomalous поведение упругих свойств, свидетельствующее о происходящих в материале разнонаправленных физических процессах, связанных с присутствием влаги в образце. В качестве примера на рисунке 1 представлены результаты экспериментального определения упругих свойств (точки) вместе с расчётами их ожидаемого изменения (кривые) в предположении пропорциональной зависимости свойств от содержания влаги. Испытания начинали после частичного насыщения образца влагой в течение 24 часов. В этом случае образец в первые часы теряет влагу наиболее интенсивно. При этом модуль упругости образца не только не успевает восстановиться, но демонстрирует изменение в обратную сторону, т.е. уменьшается по мере высыхания образца. Для установления полной картины происходящих в горных породах физических процессов необходимо проведение систематических исследований на возможно большем количестве образцов.

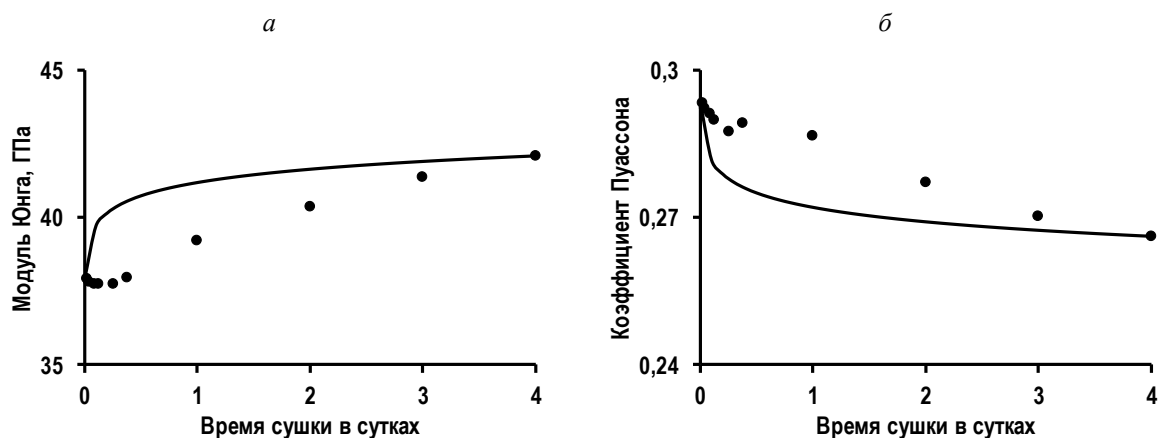


Рисунок 1 - Зависимости модуля Юнга (а) и коэффициента Пуассона (б) образца известняка от времени сушки

Горная теплофизика

• Экспериментальными исследованиями установлены закономерности изменения пределов прочности армированного льда при изгибе и сжатии в зависимости от содержания базальтовой и полипропиленовой фибры. Введение базальтовой фибры марок ВС23-6-61, ВС23-12-61 в матрицу льда способно обеспечить прирост прочности на сжатие в 5,4 и 3,8 раза соответственно. Показано, что армирование льда полипропиленовым волокном фибры марки ВСМ-6 ($l=6\text{мм}$, $\varnothing=10\div 15\text{мкм}$) в количестве от 0 до 4% способно повысить его прочность при температуре -10°C при сжатии с 0,92 до 8,15 МПа. При -20°C прочность возрастает от 2,5 до 11,5 МПа. Прочность при изгибе увеличивается на 40%.

В ходе экспериментальных исследований в соответствии с ГОСТ 10180-2012, 310.4-81 определялась прочность образцов льда ($t_{\text{зам.}} = -10^\circ\text{C}$) в зависимости от содержания базальтовой ВС23-6-61, ВС23-12-61 и полипропиленовой ВСМ-6, ВСМ-12 фибры. Выявлено, что ввиду более низких концентраций применение полипропиленовой фибры для армирования льда выглядит предпочтительнее (рисунок 2).

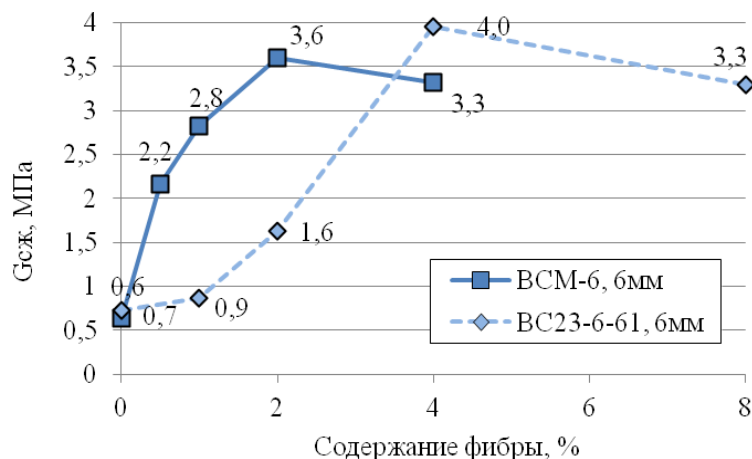


Рисунок 2 - Влияние полипропиленовой ВСМ-6 и базальтовой ВС23-6-61 на предел прочности при сжатии фибро-армированного льда

На рисунке 3 представлены графики влияния полипропиленовой фибры на предел прочности льда на установке "T052/E Tecnotest moderna" при комнатной температуре и в термокамере установки "UTS 250" при -10°C .

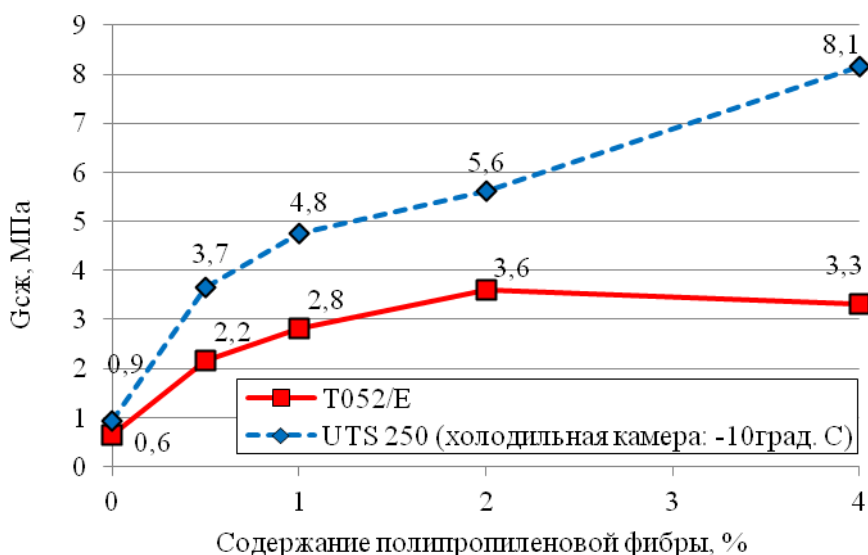


Рисунок 3 - Влияние фибры марки ВСМ-6 на прочность льда при сжатии

Полученные результаты имеют практическое значение для разработки смерзающихся закладных массивов, ледовых целиков в условиях рудников криолитозоны. Вызывают интерес закономерности изменения прочности смерзающихся закладочных материалов в зависимости от содержания полипропиленовой фибры.

- Разработаны рекомендации по обеспечению оптимального режима процессов тепло-массообмена при круглогодичном кучном выщелачивании золотосодержащего минерального сырья в условиях криолитозоны с учётом климатических и технологических параметров для максимального извлечения металла. Вычислительными экспериментами на разработанных двухмерных математических моделях установлены закономерности формирования теплового режима штабеля золотосодержащих геоматериалов в процессе кучного выщелачивания золота с учётом происходящих фильтрационных и диффузионных процессов, климатических особенностей и технологических факторов на производственных площадках РС(Я). Показано, что используя эффективную теплозащиту, объёмно-планировочные решения штабелей и оптимальное управление режимом внутренних источников тепла (в т.ч. эндохимических) возможно продление сроков ведения работ по кучному выщелачиванию золота в суровых климатических условиях. Использование рекомендаций будет способствовать: совершенствованию технологических схем и регламентов; повышению качества выполняемых проектов; эффективности ведения работ по кучному выщелачиванию металла на золотодобывающих предприятиях Севера; снижению энергетических затрат; нормализации экологической обстановки.

- Модернизирован программный комплекс совместного расчёта вентиляционного и теплового режимов на шахтах и рудниках криолитозоны. Добавлены алгоритмы визуализации и классификации устойчивости массива многолетнемерзлых пород на схеме вентиляции шахт по температурному фактору. Программный комплекс позволяет выделять на схеме вентиляции зоны растепления вмещающих выработки горных пород (в том числе зоны критической оттайки), а также определить класс их устойчивости при отработке россыпных месторождений полезных ископаемых.

Разработанный в лаборатории горной теплофизики ИГДС СО РАН программный комплекс производит расчет теплового и вентиляционного режимов в целом для всей сети горных выработок шахты, с учетом взаимовлияния теплообменных процессов в горных выработках, по которым проходит вентиляционный воздух. Для анализа прогнозных расчетов в программу добавлены алгоритмы визуализации и классификации устойчивости массива многолетнемерзлых пород на схеме вентиляции шахт по температурному фактору.

С помощью разработанных алгоритмов можно наглядно увидеть распределение температуры по результатам моделирования во вмещающем выработки горном массиве на заданной глубине (рисунок 4). При прогнозных расчетах возможно задавать глубину критической оттайки

вмещающего выработки массива горных пород, при которой обеспечивается несущая способность крепи. В случае превышения критического значения глубины оттаивания эти зоны на схеме вентиляции будут выделяться красным цветом.

Для определения класса устойчивости массива многолетнемерзлых пород при прогнозных расчетах (для россыпных шахт) в программу добавлен соответствующий алгоритм, разработанный в соответствии с требованиями инструкции по разработке многолетнемерзлых россыпей подземным способом (РД 06-326-99). Суть работы алгоритма заключается в том, что одним из основных признаков, характеризующих физическое состояние массива многолетнемерзлых пород россыпных месторождений и влияющего на оценку класса его устойчивости, является температура. Изменение данного параметра непосредственно определяет класс устойчивости многолетнемерзлых пород кровли при обнажении их горными выработками, что в свою очередь влияет на выбор параметров конструктивных элементов систем разработки, технологических схем и процессов, а также на разработку паспортов крепления очистных и подготовительных выработок.

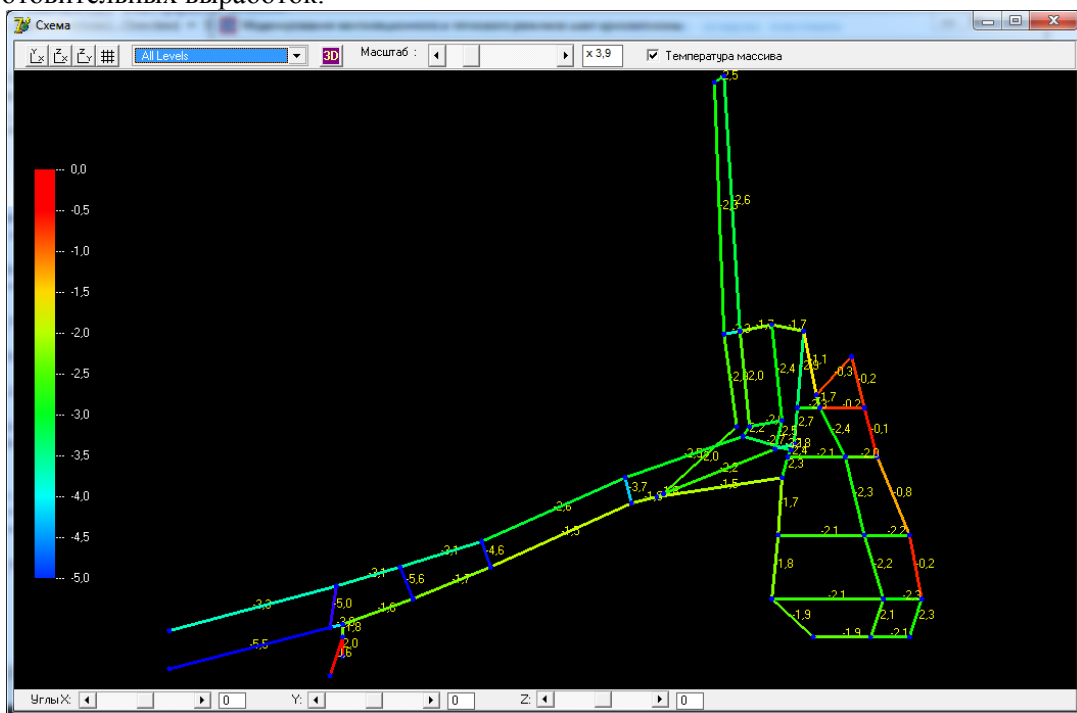


Рисунок 4 - Распределение температуры в массиве горных пород вмещающем выработку на схеме вентиляции россыпной шахты «р. Раковский»

Результаты расчётов с использованием программного комплекса необходимы для разработки рекомендаций по управлению тепловым режимом и соответствующих мероприятий по обеспечению устойчивости подземных выработок криолитозоны, с целью создания безопасных и комфортных условий ведения горных работ на шахтах и рудниках Севера.

Горнопромышленная геофизика

- На основе анализа литературных источников, полевых и лабораторных экспериментов установлены пространственные вариации геофизических свойств (удельное электрическое сопротивление, скорость распространения упругих и электромагнитных волн) горных пород деятельного слоя в пределах субарктической и умеренной климатических зон Якутии и показано, что для оценки криогенного состояния горных пород месторождений криолитозоны целесообразно комплексирование георадиолокации с бесконтактными измерениями электрического поля и электротомографией.

Пространственные вариации геофизических свойств горных пород (таблица 1) установлены по публикациям о результатах применения геофизических методов в криолитозоне (Якупова В.С., Фролова А.Д., Седова Б. М. и др. авторов) и по результатам геофизических полевых исследований, проведенных сотрудниками лаборатории георадиолокации ИГДС СО РАН, на месторождениях в пределах субарктической климатической зоны («Маят-Водораздельный»),

«Новогодний», «р. М. Куонамка», «р. Молодо») и умеренной климатической зоны Якутии («р. Б. Куранах», «р. Аллах-Юнь», угольный разрез «Кангаласский»).

Таблица 1

Геофизические свойства дисперсных пород, усредненные для субарктической и умеренной климатических зон

Порода	Электроразведка, $\rho_k, \text{ Ом*м,}$		Сейсморазведка, $V_p, \text{ м/с}$		Георадиолокация, $V, \text{ м/нс}$	
	талые	мёрзлые	талые	мёрзлые	талые	мёрзлые
1) Субарктическая зона:						
Мелко-среднезернистый песок	$3*10^2 \dots 1,5*10^3$	$10^4 \dots 10^5$	1600...1800	4250...4550	-	0,146...0,160
Глинистые отложения	$< 3*10^2$	$2*10^3 \dots 10^5$	1800...2100	2750...3500	-	0,076...0,146
2) Умеренная зона:						
Мелко-среднезернистый песок	$10^2 \dots 4*10^2$	$5*10^2 \dots 2*10^3$	1000...3200	3200...4300	0,11...0,131	0,122...0,15
Супеси, суглинки	$10 \dots 2,5*10^2$	$4*10^2 \dots 10^3$	2400...2800	2700...3500	0,056...0,106	0,134... 0,15

Проведены исследования возможностей комплексирования метода георадиолокации с электротомографией и с бесконтактными измерениями электрического поля (БИКС) для оценки криогенного состояния грунтов горнотехнических сооружений, на примере изучения мерзлотных условий на участке водозащитной дамбы угольного разреза «Кангаласский». На геоэлектрических разрезах отмечаются аномалии высокого и низкого сопротивления: ниже 400 Ом*м – талые породы, выше 450 Ом*м – мерзлые породы. По данным георадиолокации хорошо прослеживаются геометрические параметры водозащитной дамбы, при этом выделены слои отсыпки, кровля мерзлых пород и граница подошвы дамбы. Комплексный анализ данных показал, что участки аномалий отраженных сигналов георадиолокации соответствуют зонам низкого сопротивления по данным двух методов электроразведки, и связаны с проникновением надмерзлотных, поверхностных вод в тело насыпи и оттайки мерзлых пород с дальнейшим размытием грунтов основания, проявляющиеся на местности разрушением дамбы. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о целесообразности комплексирования этих методов для оценки криогенного состояния грунтов горнотехнических сооружений.

Физико-техническая геотехнология

- Экспериментальными исследованиями влияния различных вариантов режима выпуска руды (послойный, равномерно-последовательный и хаотичный) на показатели ее извлечения при системах разработки с донным (площадным) выпуском установлено, что в условиях отрицательных температур очистного пространства и массива горных пород (-5°C) при подземной разработке месторождений криолитозоны, увеличение влажности отбитой руды на 1% приводит к росту потерь от смерзания при послойном режиме на 22,0%, а при равномерно-последовательном и хаотичном режимах выпуска на 29,0-30,0% (рисунок 5). Полученные результаты являются основой для разработки рекомендаций по технологии выпуска руды из блока, обеспечивающей безопасную и эффективную отработку запасов месторождений криолитозоны.

Эксперименты по донному выпуску руды выполнялись в криокамере при температуре воздуха минус 5°C , на специально изготовленном стенде в соответствии с методикой, разработанной с соблюдением всех требований теории подобия и учетом данных исследований, проведенных ранее.

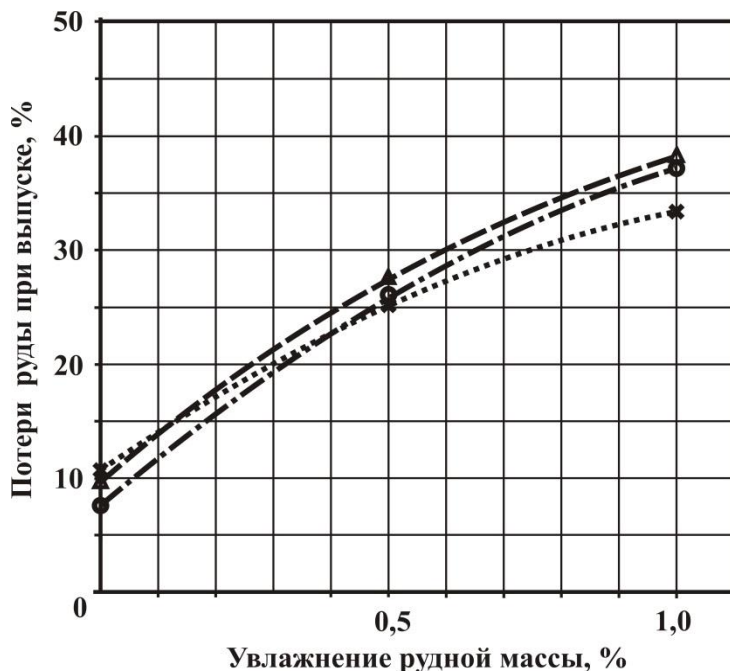


Рисунок 5 - Показатели потерь руды при послойном, равномерно-последовательном и хаотичном режимах выпуска в условиях отрицательных температур очистного пространства и увеличении влажности

Условные обозначения:

-*..... потери при послойном режиме выпуска;
- потери при хаотичном режиме выпуска;
- ▲- потери при равномерно-последовательном режиме выпуска

Основной причиной разницы прироста потерь рудной массы от смерзания в очистном пространстве при различных режимах выпуска (7-8%) является то, что при послойном режиме выпуска время нахождения отбитой руды над выработкой №1 в неподвижном состоянии, а, следовательно, и объем смерзания минимальны. В результате вес выпущенной руды из данной выработки составил 30% от общего веса, незначительное уменьшение его в выработках №3 и 4 по сравнению с равномерно-последовательными и хаотичными режимами не влияет на конечный результат. При равномерно-последовательном и хаотичном режимах выпуска вес выпущенной руды распределяется равномерно по всем выработкам.

- Разработана методика определения толщины снимаемого слоя при экскавации смерзающихся взорванных многолетнемерзлых горных пород драглайном, учитывающая геометрические параметры забоя экскаватора, порядок отработки экскаваторного блока и связь времени рабочего цикла экскаватора с температурой породы в забое. На основании полученных данных выполняются подсчеты площадей поверхности забоя на заданные моменты времени, извлеченного объема породы за фиксированный интервал времени, по которым вычисляется средняя толщина вынимаемого слоя, характеризующая эффективность работы экскаватора во взаимосвязи со схемой отработки взорванного блока и температурой породы в забое.

Геоэкономика

- Предложена модель расчета ошибки относительного изменения минимально-промышленного содержания полезных компонентов в полезном ископаемом при освоении рудных и россыпных месторождений или их участков, учитывающая влияние основных ранжированных по значимости исходных параметров: коэффициент извлечения J , потери при добыче L , разубоживание R , цена единицы конечного продукта P , удельные затраты Z . Из-за вероятностного характера исходных горно-геологических и экономических показателей технико-экономическая оценка эффективности разработки месторождений может быть только прогнозной. Ошибка оценки средних содержаний в блоке, ожидаемых затрат, коэффициента извлечения и других факторов достигает 20–30%, в ряде случаев доходит до 100%.

Модель относительного изменения минимально-промышленного содержания (C_{\min}), разработанную на основе модели относительного изменения прибыли, с удовлетворительным приближением можно представить в виде:

$$\frac{\Delta C_{\min}}{C_{\min}} = \frac{\Delta Z}{Z} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta J}{J}, \quad (1)$$

где $\Delta Z/Z$, $\Delta P/P$, $\Delta R/R$, $\Delta J/J$ - относительное изменение базовых факторов (аргументов), соответственно, Z , P , R , J .

Относительную ошибку расчета ожидаемого минимально-промышленного содержания (C_{\min}) от освоения месторождения или его участка можно представить в виде:

$$\frac{\sigma_{C_{\min}}}{C_{\min}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_Z}{Z}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_J}{J}\right)^2}, \quad (2)$$

где σ - среднеквадратическая ошибка расчета факторов (Z , J , R , P).

Прибыль (Pr) представим в виде функции одной переменной C_6 при заданной цене:

$$Pr = Q(C_6)G_a(C_6)J(C_6)(1-L)(1-R)(P-3(C_6))(1-W), \quad (3)$$

где Q - объем добычи металла в данном блоке (кг, т); G_a - среднее содержание; W - показатель нахождения системы в неисправном состоянии.

Результаты решения по формуле (3) можно представить графически (рисунок 6):

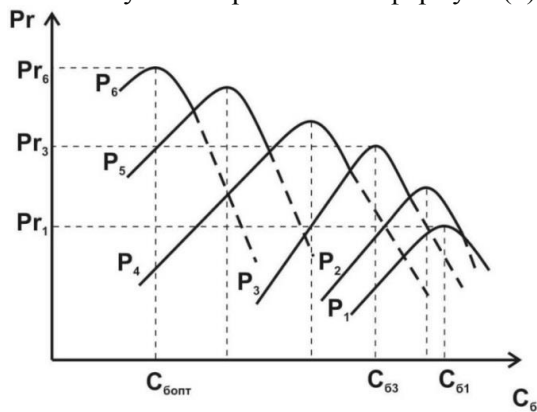


Рисунок 6 - Оптимизация бортового содержания и прибыли

- при предполагаемой технологии ожидается получение совокупности продуктов с ценой из единицы запасов (P_1), в этом случае максимум прибыли (Pr_1) будет получен при C_{61} ;

- возможна технология с большим показателем комплексности освоения запасов, при которой цена с единицы запасов P_3 : в этом случае при оптимальном бортовом содержании $C_{63} < C_{61}$ может быть получена прибыль Pr_3 почти вдвое больше Pr_1 ;

- если разработать новые технологии «старых» и новых продуктов, цена ожидается P_6 : Pr_6 - уже почти втрое большую первоначальной.

Полученные результаты можно использовать при детальной и эксплуатационной разведке для геометризации и геотехнологического картирования запасов, составления планов развития горных работ, исключения из добычи пустых блоков и нерентабельных к отработке песков, уменьшения разубоживания и тем самым, для улучшения показателей деятельности горного предприятия.

Обогащение полезных ископаемых

- Обоснован механизм повышения эффективности процесса улавливания тяжёлых минералов в постели центробежного концентратора направленными вибрационными колебаниями по оси вращения рабочего органа, за счет возможности снижения неуправляемого столкновения частиц друг с другом при постоянном разрыхлении постели и создающих наилучшие условия для концентрации тяжёлых минералов. Установлено, что при частоте колебательных воздействий 22 Гц и амплитуде 2 мм достигается наилучший уровень извлечения 63,9% магнетита из искусственной смеси, состоящей из речного песка и магнетита крупностью -0,5 мм.

Основываясь на эффекте расслоения минеральных частиц под действием направленных вибрационных колебаний, был разработан центробежно-вибрационный концентратор, главным элементом которого является рабочий орган, совершающий вибрационные колебания, направленные вдоль оси своего вращения. Лабораторная модель центробежного концентрата представлена на рисунке 7.

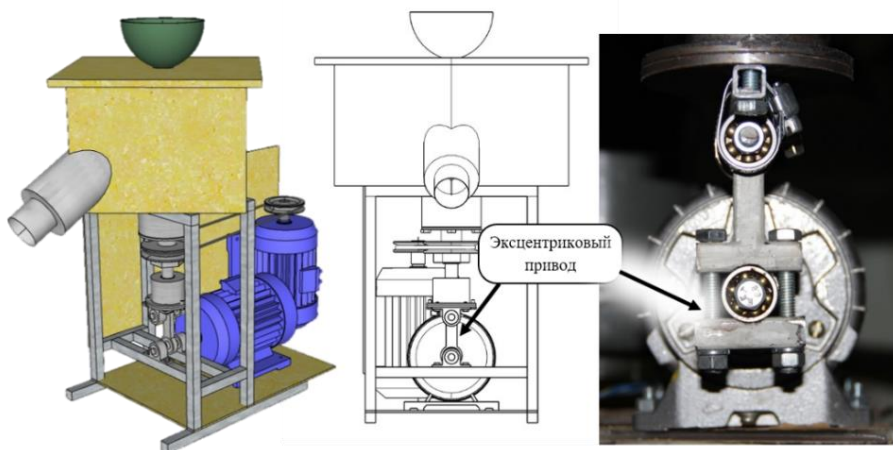


Рисунок 7 - Общий вид лабораторного центробежно-вибрационного концентратора

При проведении экспериментов с искусственной смесью, состоящей из речного песка (-1 мм) и магнетита (-0,5 мм), установлено, что при всех равных условиях экспериментов максимальное извлечение достигается при рациональных параметрах сообщаемых колебаний с частотой 22 Гц и амплитудой 2 мм, максимальный уровень извлечения - 63,9%. При меньших значениях амплитуды 1,5 мм и частоты от 0 до 22 Гц, постель концентратора не достигает достаточного уровня разрыхленности, вследствие чего уровень извлечения существенно снижается до 35,2%. При амплитуде более 2 мм и частоте колебаний более 40 Гц извлечение снижается до уровня 26,9%, что связано с выносом тяжелых минералов из постели.

В отличие от существующих вибрационных центробежных концентраторов направленное воздействие колебаний по оси вращения рабочего органа, позволяющее формировать их в вертикальном срезе, дает возможность снижения неуправляемого столкновения частиц друг с другом и поддержания рационального разрыхленного состояния постели. При этом создаются наилучшие условия для раскрытия промежуточных зазоров между частицами, куда западают тяжелые минералы, а заданная частота колебаний способствует избирательному выдавливанию легких частиц из постели по создаваемой суммарной разнице сил.

- Разработана принципиальная конструкция и испытана лабораторная модель конусной мельницы с двумя последовательными рабочими камерами для измельчения золотосодержащих руд с дополнительной функцией изометризации золотых частиц.

Лабораторная конусная мельница с двухзональным измельчением рудного материала представлена на рисунке 8. Верхняя часть рабочей камеры мельницы состоит из двух соосно и противоположно вращающихся конусов, где между ними образовывается зона помола частиц друг с другом. Рабочие органы выполнены в конусной форме с большим углом наклона, внешний конус выполнен с углом наклона 85°, а внутренний с углом наклона 80°. Нижняя часть мельницы является дополнительной зоной измельчения с активационным плечом.

В результате экспериментальных исследований по измельчению рудного материала крупностью фракции -5 мм с имитаторами свободного золота в виде частиц свинца на модели конусной мельницы установлено, что высокая степень измельчения и изометризация ковких частиц достигается при максимальной загруженности рабочей зоны (30 кг/ч) измельчаемым материалом. Качество измельченного материала в зависимости от производительности лабораторной конусной мельницы представлено на рисунке 9.

Высокая степень измельчения и изометризация частиц достигается за счёт особенности разработанной конструкции мельницы, которая заключается в том, что процесс измельчения состоит из двух последовательных зон. В первой верхней части рабочей камеры мельницы – в нисходящей удлиненной зоне, образованной конусообразным ротором и внутренней поверхностью корпуса мельницы, создаются условия для интенсивных динамических контактов частиц руды с рабочими органами и друг с другом. Во второй нижней зоне – зоне доразрушения и изометризации с активационным рабочим плечом, интенсивная изометризация ковких частиц (золота) происходит перекачиванием вдоль поверхности в нижней части внешнего ротора. Экспериментально установлено, что изометризации подвергаются все частицы свинца в

диапазоне крупности (0,5-3мм), что приводит к существенному повышению их извлекаемости гравитационными методами обогащения за счёт повышения их гидравлической крупности от 1,5 раза.

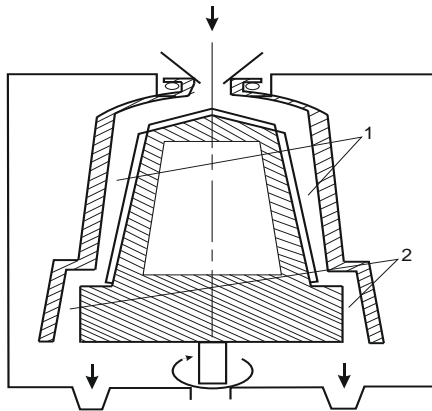


Рисунок 8 - Схема конструкции конусной дробилки:
1 – зона помола частиц друг с другом; 2 – зона обработки и изометризации ковких частиц

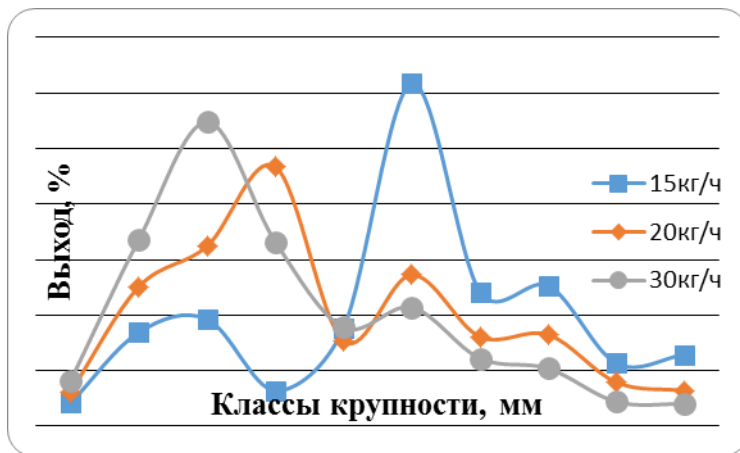


Рисунок 9 - Гранулометрические составы продуктов измельчения от производительности лабораторного образца конусной мельницы

Физико-химическая геотехнология

- Разработана принципиальная технологическая схема процесса получения сорбентов из бурого угля Харанорского месторождения, учитывающая влияние кислотно-щелочного воздействия, термо- и механоактивации на их сорбционную активность, позволяющая получать высококачественные сорбенты с адсорбционной активностью по йоду свыше 90%.

В результате экспериментальных исследований определены наиболее эффективные операции на стадиях подготовки и активации угольного сырья при получении сорбентов, которые служат основой для составления технологических схем. Оптимальный набор параметров выбирается для используемого сырья в зависимости от его исходных качественных характеристик и требуемой степени качества получаемого сорбента. Так, для получения сорбентов с адсорбционной активностью по йоду (X) на уровне 50-60% из бурых углей Харанорского месторождения технологическая схема получения сорбентов базируется на процессе парогазовой активации (рисунок 10, а). Для получения сорбентов с более высоким значением адсорбционной активности по йоду необходимо применение химического воздействия на стадиях подготовки и активации угольного сырья. Для харанорского бурого угля разработана технологическая схема, базирующаяся на щелочной активации и включающая в себя операции механоактивации, термовыщелачивания и термоудара. Разработанная технологическая схема позволяет получать сорбенты с адсорбционной активностью по йоду более 90% (рисунок 10, б).

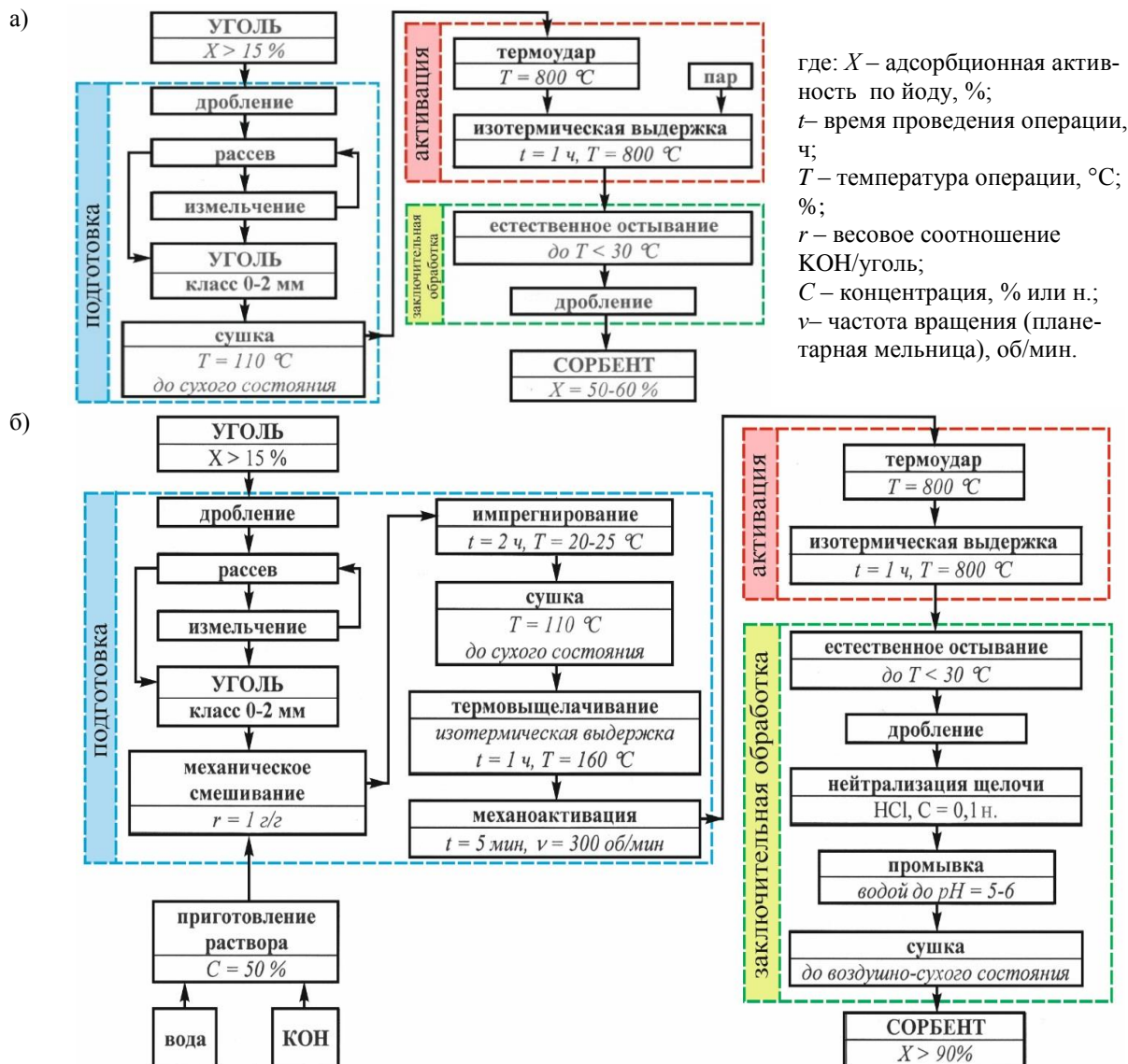


Рисунок 10 - Принципиальные технологические схемы процесса получения сорбентов из харанорского бурого угля: а) $X=50-60\%$; б) $X>90\%$

Информация о проведенных научно-организационных мероприятиях

Совместно с ИГД ДВО РАН с 21 по 25 июня 2021 года в г. Якутске организована и проведена VI Всероссийская научно-практическая конференция «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России».

Совместно с ИПНГ СО РАН, ИФТПС СО РАН и ИМЗ СО РАН проведена Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики, энергетики гидрогазодинамики в условиях Арктики», 12-17 июля 2021 года.

Публикации Института: Всего публикаций - 103 (из них 4 в WoS и 53 в Scopus), в том числе: патент РФ на изобретение – 1, 8 программ для ЭВМ и 1 база данных, 68 статей в журналах, 25 статей и докладов в материалах конференций.

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

В 2021 г. Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН продолжал исследования по госзаданиям в рамках проекта № FUFР-2021-0005 «Изучение геосистем горнопромышленных территорий с благороднометалльным оруденением Забайкалья с целью прогноза гипогенного и гипергенно-техногенного минерального сырья, и оценки влияния на окружающую среду» (научный руководитель д.г.-м.н. профессор Г.А. Юргенсон). Исследования выполнены в содружестве со специалистами Забайкальского государственного университета.

1. Изучен вещественный состав лежалых хвостов в хвостохранилищах. В связи с целесообразностью скорейшей отработки лежалых хвостов золотоизвлекательных фабрик комбината «Балейзолото», выполнено их сравнительное изучение. Комбинат «Балейзолото», функционировавший в период 1929–1993 гг., отрабатывал три месторождения золота в пределах Балейско-Тасеевского (Балейского) рудного поля. Балейско-Тасеевское рудное поле в середине XX столетия считалось одним из крупнейших поставщиков золота в Советском Союзе. Рудное поле представлено тремя месторождениями: Балейским, Южным полем и Тасеевским.

Балейское месторождение отрабатано подземным и открытым способами и за период 1929–1982 г. дало 140 т золота. При этом наиболее высокие содержания золота характеризуют руды, добытые подземным способом (51,3 т со средним содержанием 21 г/т при норме 10–15 г/т).

Южное поле отрабатано в период с 1938 по 1963 гг. подземным способом и дало 35 т золота при среднем содержании 15,9 г/т. Затем оно отрабатывалось карьером, руда которого с содержанием 1,5 – 2,5 г/т подавалась на фабрику ЗИФ-2 с целью разубоживания богатых руд Тасеевского месторождения, что обеспечивало подачу на неё руды с близким средним содержанием. Это обеспечивало рентабельную работу фабрики, доработку бедных руд Южного поля и селективную отработку богатых жил Тасеевского месторождения.

Руды Тасеевского месторождения по минеральному составу и содержанию золота незначительно отличаются от Балейского. Содержание золота находится в пределах первых граммов на тонну до 346 кг/т. Разработка его началась в 1956 г. подземным способом. За период с 1956 по 1989гг. из Тасеевского месторождения добыто 252,02 т золота со средним содержанием 20,0 г/т.

С 1935 до 1960 г. вся добываемая комбинатом Балейзолото руда подавалась на золотоизвлекательную фабрику №1 им. Орджоникидзе, производительность которой составляла 420 тыс. т/год. Работа её прекращена в 1973 г. За это время переработано 12287,5 тыс. т руды и получено по расчетным данным компании «Армада Голд», Австралия, 153,885 т золота при среднем содержании 12,6 г/т. Среднее содержание золота в хвостах 1,37 г/т, запасы 16,8605 т. По данным Н.А. Дерябиной (ООО «Геотехнология», 2012 г.) содержание золота в изученной лабораторной пробе составило 1,63 г/т. По другим данным содержание золота составляет 1,08 и 1,09 г/т.

Фабрика ЗИФ-2 производительностью 1 300 000 т/год начала функционировать 1 декабря 1959 г., и перерабатывала руды Южного поля и Тасеевского месторождения, а с середины 1980-х – Среднегологотайского и с 1989 г. – из Опытного карьера Тасеевского месторождения. Она функционировала до 1994г. За весь период переработано 24 639 тыс. т руды при содержании 4,65 г/т и получено 120,0199 т золота. По данным производственного учета золота в хвостохранилище фабрики ЗИФ-2 содержится 16,0166 т золота при содержании 0,64 г/т.

В результате различных оценок с использованием разных подходов и методов анализа на золото определено, что масса хвостов фабрики ЗИФ-1 варьирует от 12287500 до 12535539 т при содержаниях, соответственно, 1,37–1,09 г/т, а ЗИФ-2 от 24639800–31293673 т при содержаниях 0,64–0,66 г/т.

Исходя из всех имеющихся данных хвостохранилищ фабрики ЗИФ-1 на 01.01.2008, представляло на утверждение в ТКЗ запасы золота 9,317 т в объеме песчано-глинистого материала (илов) 8234 тыс. т при содержании 1,13 г/т. Поскольку хвосты фабрики ЗИФ-1 содержат в среднем 3,4 г/т серебра, имеет смысл рассматривать и его извлечение.

На основании приведенных данных можно сделать вывод о том, что промышленную ценность представляет хвостохранилище фабрики ЗИФ-1 и целесообразно рассмотреть применимость современных технологий извлечения золота и, по возможности, серебра.

В связи с тем, что важнейшее значение для выбора технологических решений имеет знание минерального и гранулометрического состава песков, а также доля свободного золота, в сростках с сульфидами и сульфосолями, кварцем и силикатами, а также доля глинистых минералов класса $-0,074$ мм, проведена их количественная оценка. С этой целью произведено опробование с отбором проб песчано-глинистой фракции. В пределах хвостохранилищ-отстойников золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ) ЗИФ-1 и ЗИФ-2 Балейско-Тасеевского месторождения в 2008 и июне 2013 гг. проведен отбор 43 проб. Часть их подверглись отмучиванию с выделением глинистой фракции, гранулометрическому, термовесовому и дифрактометрическому анализу.

Химический состав проб определен рентген-флюоресцентным методом в ГИН СО РАН, определение золота осуществлено пробирным анализом в ОАО «Восток Лимитед». Руководитель лаборатории Т.Л. Попова. Определение состава золота выполнено электронно-микроскопическим методом в лаборатории ГИН СО РАН, руководитель к.т.н. С.В. Канакин.

Для первичных руд типична пиритизация, сопровождающаяся образованием пирита, который содержит золото и мышьяк. Вмещающие горные породы обрабатывались вместе с рудными жилами. Пирит при этом частью флотировался, а частью оставался в виде сростков с алюмосиликатами в отходах фабрики. Все указанные околорудноизмененные горные породы в виде обломков размером не более 1 мм присутствуют в составе песчано-глинистой массы хвостохранилищ. С ними связано существенное количество пирита и арсенопирита, составляющих сульфидную часть в песчано-глинистой фракции лежалых хвостов.

Важнейшее значение для распределения золота и сопровождающих его сульфидов, сульфосолей и теллуридов имеют структурно-текстурные особенности руд. В жильных телах Балейского рудного поля выделяются: массивные, пятнистые или брекчиевидные существенно кварцевые или халцедон-кварцевые полосчатые, массивные, пластинчатые и гребенчатые агрегаты, содержащие золото в различных количествах [3, 7, 8]. Размеры зерен, слагающие эти агрегаты, как правило, менее 1 мм. Все они составляют существенную часть обломочного материала.

Минеральный состав руд Балейского и Тасеевского месторождений, составлявших основу материала, подававшегося на обогатительные фабрики, представлен в таблице 14. В ней приведены также данные о рудах Среднеголотайского месторождения, с середины 1980-х подававшихся на фабрику ЗИФ-2.

По данным минералогического анализа в лежалых хвостах фабрики ЗИФ-1 в хвостах содержится 71–85,6% кварца, 10,8–13,7% полевых шпатов, 10,2–18,1 глинистой фракции, 3–17 карбонатов, 0,08–1,87% сульфидов и сульфосолей. Определено, что свободное золото составляет 26–30,1%. В сростках с кварцем, слоистыми силикатами и карбонатами находится 32,3–35,6% золота и в тонких сростаниях с сульфидами и сульфосолями 35,7–38,9%.

Электронно-микроскопическим методом определено, что достаточно часто золото находится в сростках с кварцем, сидеритом (рисунок 1). Размеры золотинок находятся в пределах от первых микрон до 30 микрон. Химический состав золота широко варьирует. Содержания серебра в золотинок по данным 51 анализа находится в пределах 8,49 – 37%, а золота, соответственно 63–91,51%. Средняя пробность золота составляет 83,13 при среднеквадратичном отклонении 6,32.

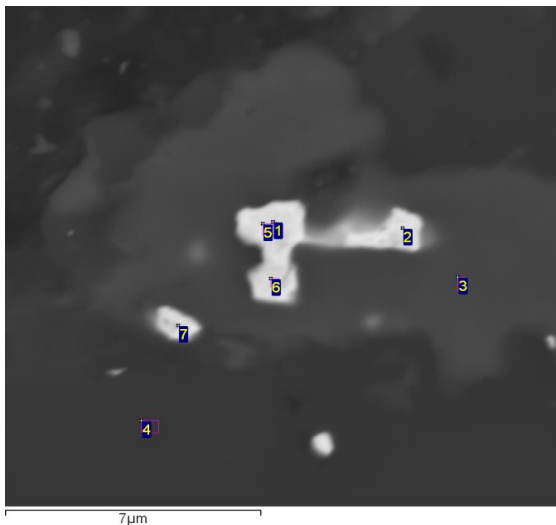


Рисунок 1 - Тонкое золото (1,2, 5–7) в ассоциации с кварцем (4) и сидеритом. Электронно-микроскопический снимок

Преобладают золотины с содержанием золота более 70%. Эти данные несколько отличаются от известных для золота в руде, средняя проба золотины в которой составляет примерно 70. Вероятно, это обусловлено тем, что мелкие золотины, находящиеся в обломочном материале хвостов в тонком сростании с породообразующими и рудными минералами характеризуется меньшими содержаниями серебра по сравнению с более крупными, ассоциирующими с собственными минералами серебра фрейбергитом и теллуридами. Сросток тонких золотины (5–7) в ассоциации с пиритом, халькопиритом, сидеритом и кварцем представлен на рисунке 2.

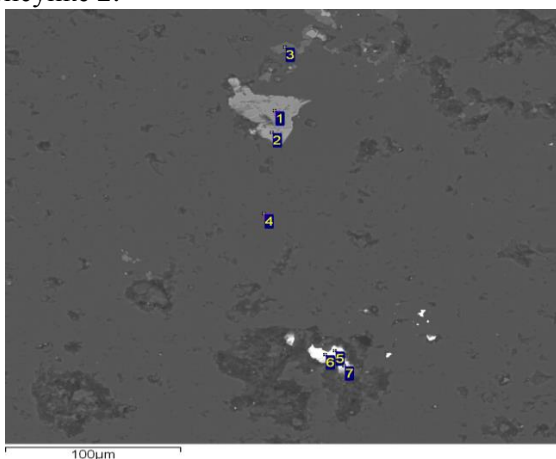


Рисунок 2 - Сросток тонких золотины (5–7) в ассоциации с пиритом (1), халькопиритом (2), сидеритом (3) и кварцем (4). Электронно-микроскопический снимок

Химический состав лежалых хвостов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав лежалых хвостов

Элементы	Среднее по ЗИФ-1, г/т	Среднее по ЗИФ-2, г/т	Фоновые содержания по отчету Читагеомониторинг (2005 г.), г/т	Кларк земной коры, г/т [2]	Кларк почв по А.П. Виноградову (1957), г/т/	ПДК почв, г/т/
As	790,25	938,9	8,23	1,8	5,0	2,0
Sb	61,50	177,6	-	0,3	0,9	4,5
Cu	12,50	46,5	20,3	53	20	100
Zn	127,75	33,8	58	68	50	23
Pb	29,75	17,4	55	12	10	32
Bi	-	13,3	0,4	0,2	-	-

Элементы	Среднее по ЗИФ-1, г/т	Среднее по ЗИФ-2, г/т	Фоновые содержания по отчету Читагеомониторинг (2005 г.), г/т	Кларк земной коры, г/т [2]	Кларк почв по А.П. Виноградову (1957), г/т/	ПДК почв, г/т/
Mo	1,50	2,2	1,1	1,2	2	3
Ag	1,85	1,5	0,34	0,073	0,1	-
Au	1,17	0,67	Н. д	0,009	Н. д	Н. д.
Co	10,00	7,9	8,9	23	8	5
Ni	35,38	Н.о-	12,4	56	40	50
Cr	50,75	143,9	74,8	93	200	100,0
V	64	61,6	49,02	190	100	150
Rb	129,75	105	-	-	100	-
Sr	326	232	-	370	300	-
Y	17,75	12	31,11	32	50	-
Zr	163,5	164	180,03	160	300	-
Cs	129,75	27	-	-	5	-
Ba	326	467	639,37	470	500	-
La	17,75	24	30,6	30	40	-
Ce	163,5	44	0,58	70	50	-
Nd	Н.о-	29	-	-	-	-

Примечание: Н. д. – нет данных

Из данных таблицы 1 следует, что лежалые хвосты обогатительных фабрик комбината «Балейзолото» наряду с золотом и серебром содержат высокие концентрации мышьяка, сурьмы и цинка, превышающие их ПДК. Соотношения содержания главных химических элементов в руде и хвостах показаны на рисунке 3.

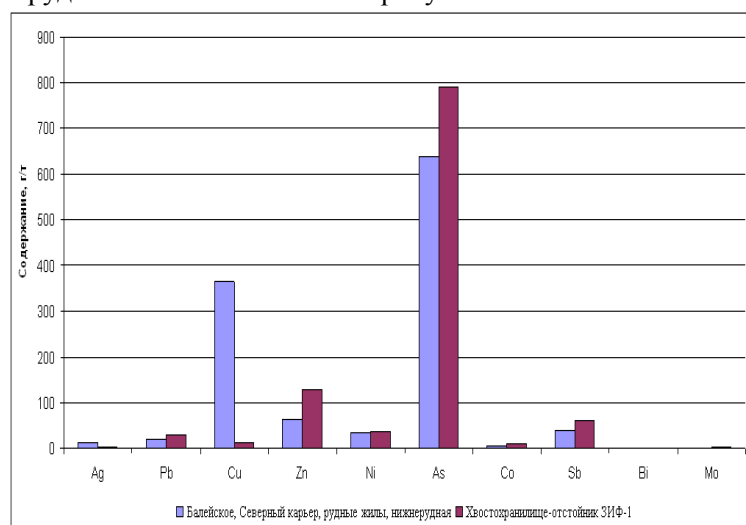


Рисунок 3 – Соотношение содержаний главных потенциально токсичных элементов в руде и лежалых хвостах фабрики ЗИФ-1

В хвостах фабрики ЗИФ-1, перерабатывавшей руды Балейского месторождения, видно уменьшение содержаний серебра и меди, что связано с извлечением золота и сульфосолей меди, прежде всего, теннантита и фрейбергита, находящихся в ассоциации с самородным золотом и содержащих серебро. Возрастание содержания цинка, мышьяка и сурьмы обусловлено

тем, что антимонитовая сурьма не извлекалась, также, как и существенная часть арсенопирита и сфалерита, с которым непосредственно золото не было связано. Серебро вместе с медью извлекалось с сульфосолями (фрейбергит) методами флотации и цианирования. Некоторая часть цинка могла попадать в отвал вследствие использования цинковой пыли в процессе цианирования. Таким образом, в результате сравнительного изучения отходов золотоизвлекательных фабрик бывшего комбината Балейзолото к кондиционным для переработки и извлечения оставшегося золота и серебра признаны лежалые хвосты ЗИФ-1, с содержанием золота 1,17 г/т и серебра 1,85 г/т. при этом определено, что золото находится в тончайших сростаниях с кварцем, сидеритом, пиритом, сульфосолями, реже – с арсенопиритом и теллуридами. Размеры золотинок находятся в 0,7–0,03 мм, пробыность золота варьирует от 63 до 91,15, и в среднем составляет 82,13. Основной примесью в золоте является серебро с содержанием 8,85–37%. По данным электронно-зондовых исследований золотины находятся внутри мелких обломков кварца, сульфидов и сульфосолей. Положительным фактором возможного извлечения золота и серебра методами растворения является нахождение их в карбонатах и сульфосолюно-сульфидном материале.

2. Выполнено сравнение геохимии отходов обогащения и почв на территории Балейского и Любавинского месторождений. Рентгенфлуоресцентный анализ отобранных ранее проб почв, грунтов и песков хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ) Балейского и Любавинского месторождений показал, что практически везде валовое содержание токсичных химических элементов превышает ПДК (таблица 2).

Таблица 2

Среднее содержание (г/т) химических элементов в песках ЗИФ и грунтах отвалов Балейского и Любавинского месторождений

Элементы	Среднее содержание по ЗИФ-1 (Балей)	Среднее содержание по ЗИФ-2 (Балей)	Среднее содержание по ЗИФ (Любовь)	Среднее содержание по отвалам (Любовь)	Кларк почв по А.П. Виноградову	ПДК почв
As	871,1	860,4	1865	1301	5,0	2,0
Sb	63,3	173,6	11,5	11,5	0,9	4,5
Zn	127,7	33,8	35	80	50	23
Pb	41,3	25,9	36	57	10	32
Mo	3	4,7	6,1	5	2	3
Rb	129,7	105	107	121	100	-
Sr	326	232	200	216	300	-
Y	17,75	12	25	28	50	-
Zr	163,5	164	224	222	300	-
Cs	129,7	27	9	16	5	-
Ba	326	467	589	712	500	-
La	17,7	24	33	32	40	-
Ce	163,5	44	66	62	50	-

Максимальное содержание мышьяка наблюдается в песках обогащения ЗИФ Любавинского месторождения (таблица 2), что обусловлено преобладанием арсенопирита над пиритом в золотокварцевых жилах. Содержание сурьмы, напротив, в хвостах Балейских ЗИФ выше, чем Любавинском, что можно объяснить присутствием антимонита и сульфосолей сурьмы в золотосодержащих жилах.

Таблица 3

Среднее содержание химических элементов в песках ЗИФ БалеЙского (Б) и Любавинского (ЛБ) месторождений, г/т

Объект	Элемент и его содержание, г/т					
	As	Sb	Zn	Pb	Mo	Sn
ЗИФ-1Б	871,1	63,3	140,8	41,3	3,0	4,6
ЗИФ-2Б	860,4	173,6	28,2	25,9	4,7	10,6
ЗИФ-ЛБ	1865	11,5	44,4	35,8	6,1	3,0

Эти особенности хорошо подчеркиваются на столбчатой диаграмме, где также хорошо видна относительная обогащенность отходов производства Любавинской обогатительной фабрики молибденом, что характерно для месторождений среднеглубинной золотокварцевой формации (рисунок 4).

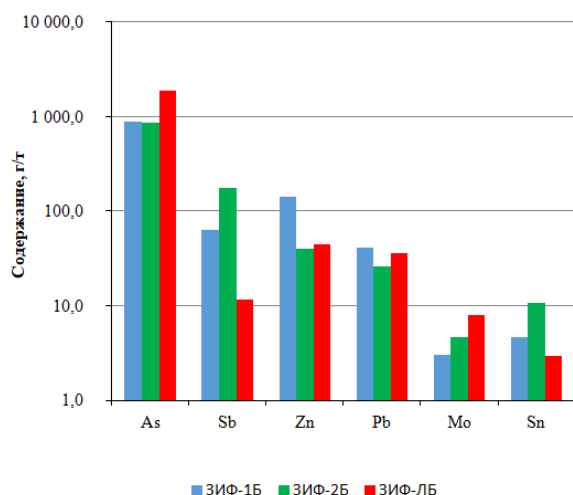


Рисунок 4 - Среднее содержание химических элементов в отходах ЗИФ БалеЙского и Любавинского рудников

Предложена нижеследующая технологическая схема переработки лежалых хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото» (рисунок 5).

Рекомендуемая технологическая схема переработки лежалых хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото»

Технологическая схема переработки лежалых хвостов / Technological scheme of processing of stale tailings



Рисунок 5 - Технологическая схема переработки лежалых хвостов фабрики ЗИФ-1

Таким образом, определено, что практическую ценность как геотехногенное месторождение имеет хвостохранилище бывшей золотоизвлекательной фабрики ЗИФ-1 с содержанием золота в пределах 1,09–1,37 г/т (среднее 1,17 г/т) со средней пробностью золота 82,13 и серебра, среднее содержание которого составляет 1,85 г/т. Разработана и рекомендована к использованию технологическая схема переработки этих хвостов, включающая фотоэлектроактивационную подготовку, окомкование с активным раствором, кучное выщелачивание, двухстадийную сорбцию с барботажем озоном (Юргенсон Г.А., Шумилова Л.В. Хатькова А.Н. Лежалые золотоносные хвосты комбината «Балейзолото» и проблема их утилизации // Вестник. ЗабГУ, 2021 Т. №4. С.45–54. DOI:10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54.)

3. Изучен вещественный состав лежалых хвостов Орловского ГОКа и рекомендации по их использования с целью прогноза гипергенно-техногенного и геотехногенного минерального сырья. В результате обобщения материалов по вещественному составу, содержаниям и запасам редких металлов в лежалых хвостах переработки руд оловополиметаллических и редкометалльных месторождений Забайкалья (Юргенсон Г.А. Отходы горного производства как источники редких металлов в Забайкальском крае // «Байкал – ворота в Азию». г. Улан-Удэ, Республика Бурятии, Россия. 3–6 июня 2021 г. С. 135–138. DOI 10.31554/978-5-7925-0605-3-2021-135-138), обоснованы технологии извлечения редких металлов из отходов горного производства на примере лежалых хвостов Орловского ГОКа (Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А., Хатькова А.Н. К обоснованию технологии извлечения редких металлов из отходов горного производства на примере лежалых хвостов Орловского ГОКа (Восточное Забайкалье) // Metallurg.2021, №10. С. 90–99 DOI 10.52351/00260827_2021_10).

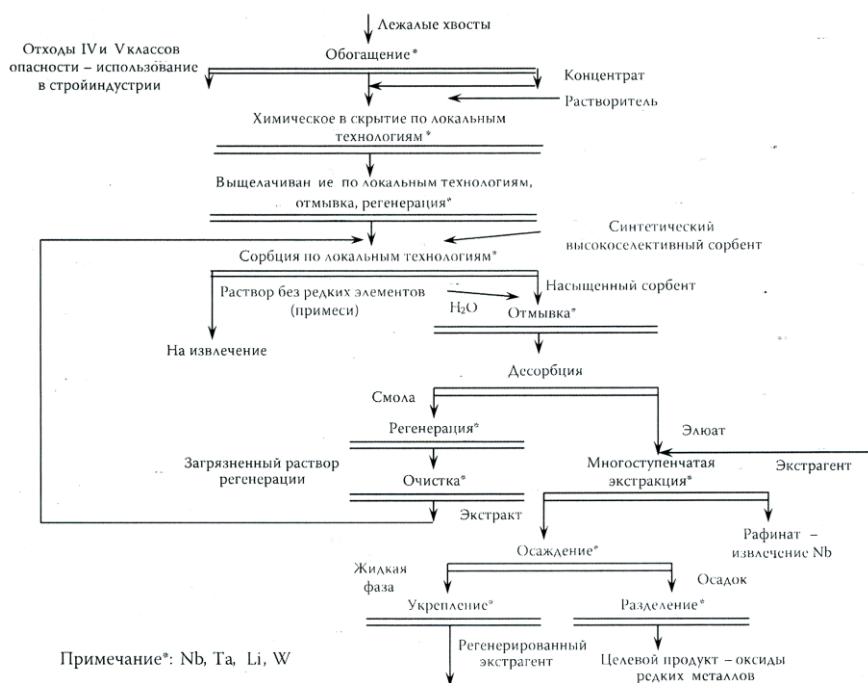


Рисунок 6 - Базисная технология извлечения редких металлов из техногенных отходов хвостохранилища Орловского ГОКа

Они представлены на рисунках 6 и 7 (Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А., Хатькова А.Н. К обоснованию технологии извлечения редких металлов из отходов горного производства на примере лежалых хвостов Орловского ГОКа (Восточное Забайкалье) // Metallurg.2021, №10. С. 90–99. DOI 10.52351/00260827_2021_10_ WOS). На рисунке 6 дана базисная технология, включающая: I – химическое вскрытие (разложение) минерального сырья (пирометаллургия – обжиг, плавка, дистилляция; гидрометаллургия – выщелачивание растворами кислот, гидроксидов щелочных металлов или солей); II – получение оксидов или солей и очистка

химических соединений гидрометаллургическими (осаждение из растворов, кристаллизация, сорбция, экстракция и др.) или пирометаллургическими (дистилляция или ректификация) способами; III – выделение металлов из химических соединений (цементация или электролиз).

На рисунке 7 представлен один из альтернативных вариантов комбинированной технологии извлечения редких металлов и вольфрама их техногенных отходов хвостохранилищ Орловского ГОКа. Он отличается тем, что применение непрерывной экстракции позволяет достичь высокой эффективности процесса разделения. Например, для разделения ниобия и тантала применяют жидкостную экстракцию органическими растворителями (экстрагенты – ТБФ, метилизобутилкетон, алифатические спирты), а также ректификацию хлоридов (предварительная ректификация для отделения хлоридов тантала и ниобия от сопутствующих примесей); основная ректификация для получения чистого пентахлорида ниобия и концентрата пентахлорида тантала; ректификация танталовой фракции (получение чистого пентахлорида тантала). Металлические тантал и ниобий планируется получать одним из следующих способов: восстановлением оксидов (алюмотермический способ), комплексных фторидов (натрийтермическое восстановление) и хлоридов (восстановление водородом (Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А., Хатькова А.Н. К обоснованию технологии извлечения редких металлов из отходов горного производства на примере лежалых хвостов Орловского ГОКа (Восточное Забайкалье) // *Металлург.* 2021, №10. С. 90 – 99 DOI 10.52351/00260827_2021_10_WOS).

4. Проблема создания геотехногенных месторождений. Как показывает анализ строения рудных месторождений и закономерностей процесса их образования, определяющих распределение в пространстве недр химических элементов и их концентраций, природа сама дает в руки человека подход к решению задачи.

Абсолютное большинство рудных месторождений сопровождается геохимическими ореолами, образующимися в процессе их эндогенного формирования. Ассоциации химических элементов в них включают, как главные промышленные компоненты, такие, как золото, серебро, молибден, медь, свинец, цинк, висмут, так и ценные примесные элементы, в частности, индий, кадмий, галлий и другие. Обычно геохимические ореолы локализованы в надрудных частях гидротермальных месторождений в виде мелко-прожилковой или мелко-гнездовой вкрапленности рудных минералов. При этом полезные компоненты, составляющие главное полезное ископаемое не всегда находятся в минеральных формах, концентрирующих их в кондиционных рудах. Поэтому даже совершенствование известных технологий обогащения, применяемых для извлечения рудных минералов, с целью их извлечения из некондиционных минеральных ассоциаций, может не привести к успеху.

Кроме того, в рудных провинциях известно большое число фрагментов земной коры, где концентрации полезных компонентов не достигают величин, позволяющих на данном уровне технологии обогащения экономически выгодно их извлекать. В результате геологоразведочных работ, включающих как поиски, так и разведку месторождения, получается практически исчерпывающая информация о формах и размерах, как рудных тел, так и надрудных геохимических ореолов и непромышленного оруденения на флангах рудных тел и месторождения в целом.

Эта ценнейшая информация в практике геологоразведочных работ в СССР использовалась для изучения геохимической зональности геохимических ореолов с целью разработки геохимических методов поисков и оценки уровня эрозионного среза рудных месторождений [2-4]. Но она же может быть использована и для определения локализации, форм и размеров потенциальных рудных тел и концентрации в них полезных компонентов, которые при условии их мобилизации растворителем и концентрирования на геохимических барьерах, может дать возможность создания геотехногенного промышленного оруденения в процессе геотехногенеза [5].

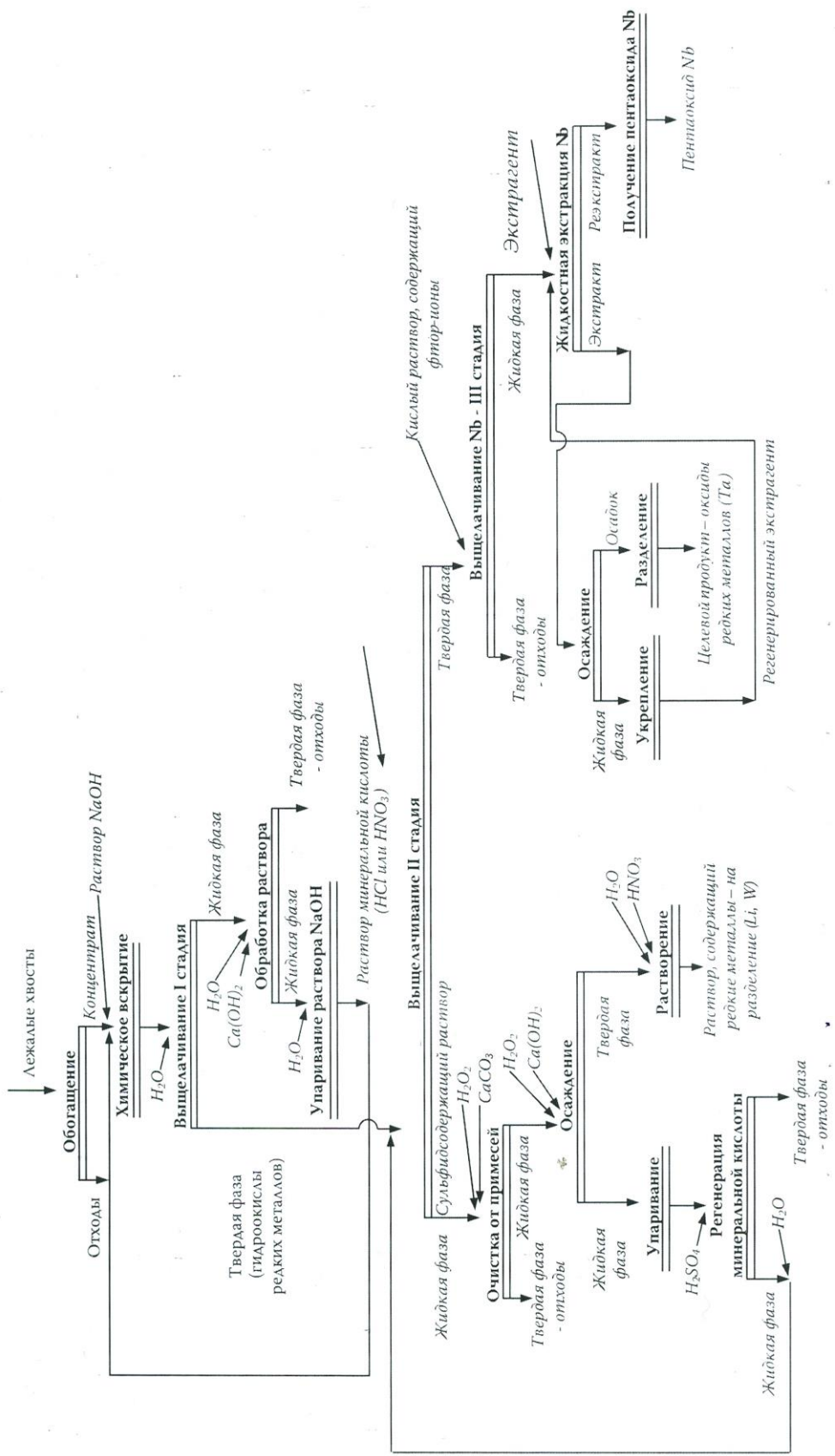


Рисунок 7 - Вариант технологии извлечения редких металлов и вольфрама из техногенных отходов Орловского ГОКа

Такой подход к решению задачи является одним из направлений физико-химической геотехнологии, которая интенсивно развивается в связи с необходимостью вовлечения в сферу освоения непромышленного оруденения.

В настоящее время в процессе подготовки месторождений к эксплуатации открытым способом для достижения уровня промышленных руд производится разрушение, перемещение и складирование так называемых вскрышных пород, на что затрачиваются существенные средства. При этом в результате взрывных работ неизбежно происходит разуплотнение горных пород вскрыши. В естественных условиях вскрытая верхняя часть месторождения, а также складированные горные породы вскрыши, обогащенные рудными компонентами, подвергается воздействию атмосферных осадков. В результате фильтрации поверхностных вод через массивы разуплотненных горных пород, содержащих полезные компоненты, происходит их частичное растворение и перемещения вниз до границы уровня водоносного горизонта, который может быть физико-химическим геохимическим барьером, на котором может формироваться зона вторичного сульфидного обогащения в случае редукции сульфат-иона в сульфиды при недостатке кислорода.

Таким способом, как давно это известно, в природных условиях вскрытые в результате эрозии верхние части рудных месторождений подвергаются окислению и формируются зоны окисления. С глубиной в зонах окисления нарастает дефицит кислорода и проникающие вниз сульфаты в водных растворах на физико-химическом геохимическом барьере редуцируются в сульфиды с образованием зоны вторичного сульфидного обогащения на сульфидных месторождениях, представляющие собою богатые руды меди, золота и серебра, представленные вторичными гипергенными халькозином, ковеллином, идаитом, аргентитом и другими минералами.

Этот процесс предлагается моделировать с целью образования геотехногенных зон вторичного сульфидного обогащения, как в горных породах вскрыши, так и преобразования первичных геохимических ореолов в рудные тела.

Задача может быть решена, по крайней мере, двумя способами:

1. Технология создания геотехногенных рудных тел на основе перевода в раствор халькофильных химических элементов вскрытых верхних частей первичных геохимических ореолов, создания в результате частичной вскрыши с использованием буровых скважин для взрывчатых материалов зон разуплотнения и использования их для циркуляции кислых растворов через обогащенные зоны первичных геохимических ореолов с дальнейшим осаждением их на физико-химических и биогеохимических барьерах в зонах, прилегающих к кондиционным рудным телам в пределах разведанных месторождений, подземная разработка которых начинается с нижних горизонтов. За годы отработки снизу в верхней части месторождения успевают формироваться кондиционные геотехногенные рудные тела.

В связи с тем, что в процессе взрывания аммонита, особенно массовых взрывов, образуются окислы азота, в присутствии воды, генерирующие азотную кислоту, должно происходить усиление окисления сульфидов и формирование серной кислоты. С увеличением растворения сульфидов, прежде всего, пирита, всегда присутствующего в зонах околорудноизмененных горных пород, количество её возрастает, и процесс окисления далее идет спонтанно.

Особенностью серной кислоты является также способность растворять силикаты, фторкарбонаты, алюмофосфаты и другие минеральные формы полезных компонентов, не извлекаемые реагентами, обычно используемыми в практике обогащения и предела руд.

Поскольку в процессе разведки месторождения детально изучаются структура рудного поля и его гидрогеологические особенности, анализ этих данных следует учитывать для определения уровня, свойств и размеров геохимических барьеров, на которых должно происходить формирование зоны вторичного сульфидного обогащения. Для усиления процесса восстановления сульфатов до сульфидов, необходимо использование биогеотехнологии, основанной на жизнедеятельности сульфат-редуцирующих бактерий.

Таким представляется простейший подход к решению задачи создания геотехногенных рудных тел в пределах известных рудных полей для наращивания запасов кондиционных руд на основе известной теории формирования зон вторичного сульфидного обогащения. Однако на практике он будет сопряжен с решением задачи поиска или создания геохимических барьеров.

2. Технология формирования геотехногенных месторождений на основе перевода в миграционное состояние полезных компонентов в лежалых складах вскрышных горных пород, сформированных в процессе подготовки месторождений к разработке открытым способом в прежние годы, или складов некондиционных руд. Вероятность интенсивной миграции рудных элементов в кислых водных растворах, циркулирующих в лежалых складах вскрышных пород, примыкающих к бортам карьера бывшего Шерловогорского ГОКа (Забайкалье), доказана нашими многолетними исследованиями. Данные о миграции халькофильных элементов в растворах в лежалых сульфидных хвостах Джидинского ГОКа приведены в работе А.М. Плюснина с соавторами [6].

В естественных условиях в результате фильтрации поверхностных вод через массивы вскрышных пород, содержащих полезные компоненты и перемещения их в геотехногенные водоемы на дне карьеров, где они могут находиться в растворенном виде в промышленно ценных концентрациях, возможно их извлечение на физико-химических или гидродинамических геохимических барьерах с возвратом оборотной воды в водоем для последующего обогащения воды полезными компонентами.

Возможность извлечения полезных компонентов из вод геотехногенных водоемов показана на примере озерной воды в карьере бывшего Шерловогорского ГОКа, где использованы специально обработанные клиноптилолит-монтмориллонитовые горные породы Шивыртуйского месторождения цеолитов.

Алгоритм создания геотехногенных месторождений основан на известном природном процессе формирования новых рудных тел по типу зон вторичного сульфидного обогащения на сульфидных месторождениях. Он включает использование данных разведки месторождения о пространственном положении, формах, размерах первичных геохимических ореолов, сопровождающих месторождение, а также содержаниях и минеральных формах полезных компонентов в них.

Решение задачи создания искусственных месторождений предполагает: разработку теоретических основ и методологии создания геотехногенного оруденения (гипотетическое представление о возможности эволюционных процессов в неживой природе); экспериментальное изучение: а) условий перевода полезных химических элементов в миграционные формы; б) условий миграции и осаждения на геохимических барьерах; в) минеральные формы их в новообразованных рудных телах; д) определение положения в пространстве геохимического барьера; е) изучение возможности использования для сульфат-редукции соответствующих бактерий.

Литература

1. Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А. Роль химии и микробиологии в сфере горного дела: состояние проблемы и перспективные задачи / Физико-химическая геотехнология – инновации и тенденции развития // ГИАБ Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2021, №3-1. С.40–55. DOI:10.25018 / 0236_1493_2021_31_0_40 Scopus.
2. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. – М.: Недра, 1987. – 403 с.
3. Григоров С.А. Прикладные аспекты структурного метода поисков по геохимическим данным. – М.: Наука, 1990. – 157 с.
4. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и прогноз золотосеребряного оруденения. Чита: Изд-во Забайкальского госуниверситета, 2014. – 170 с.
5. Yurgenson G.A. Geotechnogenesis problems // J. Geosci. Res. NE Asia [Changchun, China], 2004. Vol. 7. № 1. P. 92-96.
6. Плюснин А. М., Жамбалова Д. И., Дабаева В. В. Миграция токсичных элементов в толще намывного хвостохранилища Джидинского ГОКа // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: матер. V Всероссийского симпозиума с междунар. участием и XII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование». – Чита, 2014. С. 54–59.

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

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

1. Предложены методы учета переходных процессов – нового направления в развитии комплексного освоения георесурсов глубокозалегающих сложно структурных месторождений при проектировании новых и планировании добычи и рудоподготовки минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической, технологической и технико-экономической информации, внедрении разработанных инновационных решений с целью изменения параметров и показателей функционирования основных технологических процессов горнотехнических систем предприятия в динамике развития горных работ с целью обеспечения эффективности и безопасности горного производства (рисунок 1).

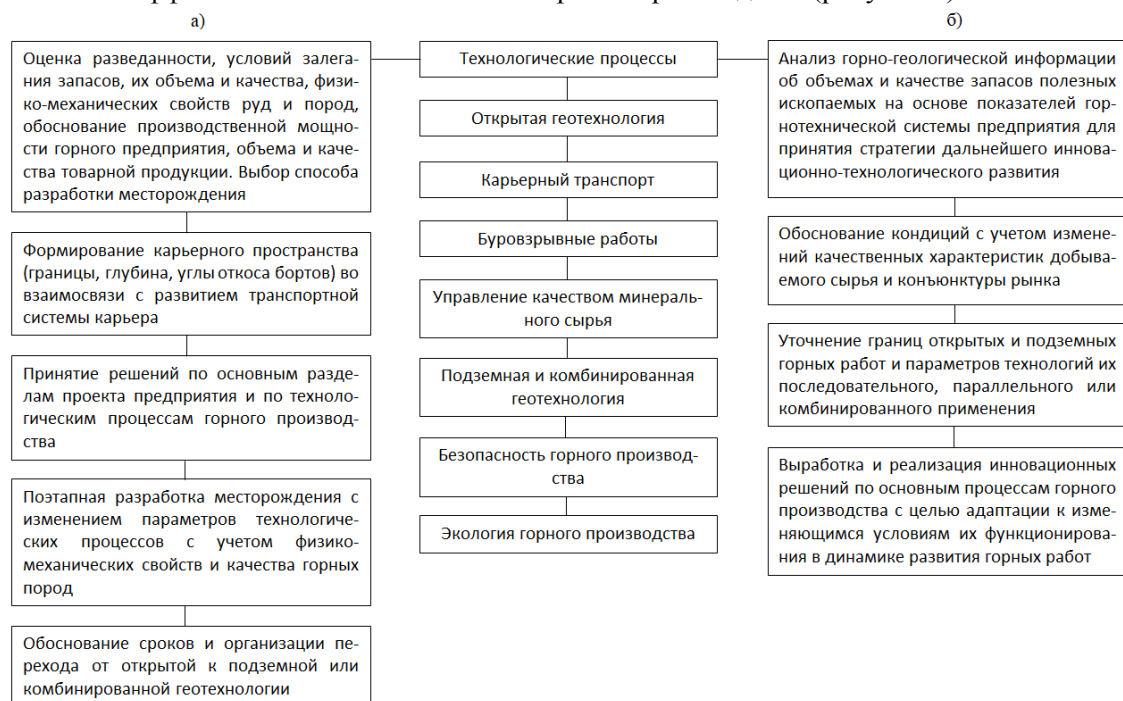


Рисунок 1 - Наиболее значимые вопросы, решаемые при проектировании глубокозалегающих месторождений (а), и постановка проблем развития действующих горных предприятий (б), требующие исследования переходных процессов

Яковлев В.Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. // Екатеринбург, УрО РАН, 2019 – 284 с.

Яковлев В.Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – №5 – 1. – С. 6 – 18.

2. Обоснованы методы учета и оценки эффективности переходного процесса при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений, включающие: метод комплексного анализа условий и факторов, вызывающих начало переходного процесса и подлежащих учету при его реализации, основанный на их систематизации по типу среды и сферам влияния и установлении границ критического изменения; метод структурно-функционального анализа горнотехнической системы освоения переходной зоны на основе определения системы параметров и показателей подсистем вскрытия и очистной выемки, позволяющий прогнозировать ее состояние при изменении постоянных и специфических факторов; методику расчета технико-экономических показателей комбинированной геотехнологии, учитывающую специфические горнотехнические факторы; инновационные варианты комбинированной

геотехнологии, обеспечивающие непрерывность добычи руды и стабилизацию доходов горно-го предприятия в переходный период, с установленными областями их эффективного применения в зависимости от высоты переходной зоны и производственной мощности шахты (рисунок 2).

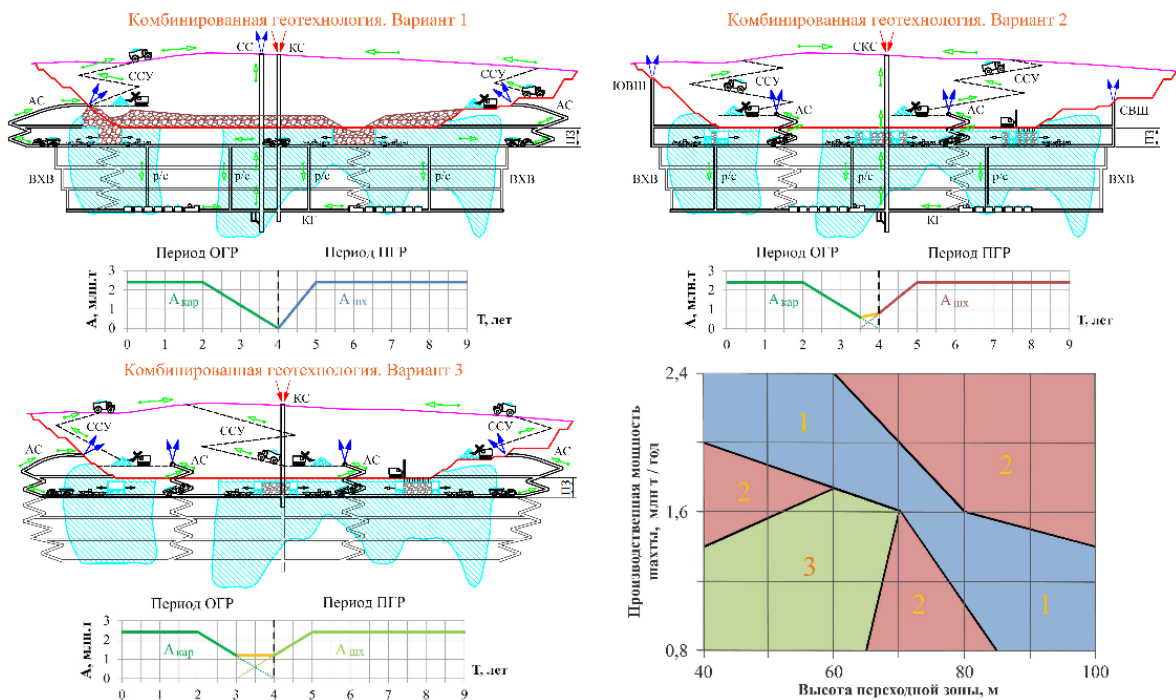


Рисунок 2 - Комбинированные геотехнологии и области их эффективного применения с учетом изменения производственной мощности горного предприятия в переходный период

Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений. // Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 340 с. ISBN 978-5-7996-3135-2.

Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Развитие методологии оценки эффективности переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1. – С. 77-87.

3. Разработаны методы управления качеством минерального сырья сложно структурных месторождений на основе:

- алгоритмов оценки качественных характеристик для районирования в карьерном пространстве технологических типов руд;
- высокоточной оценки структуры массива с использованием геофизических средств электрометрических измерений;
- создания блочных моделей месторождений, учитывающих закономерности изменения качественных характеристик запасов полезного ископаемого в динамике развития горных работ, для геометризации в карьерном пространстве руд различного качества;
- методики выбора технологических схем рудоподготовки в рабочей зоне карьеров и формирования грузопотоков в режиме селективной разработки типов руд;
- методики технико-экономической оценки эффективности предложенных способов управления качеством минерального сырья;
- планирования горных работ на основе разработанных методов управления качеством минерального сырья сложно структурных месторождений (рисунок 3).



Рисунок 3 - Методика создания блочных моделей месторождений полезных ископаемых

Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 63-73.

4. Разработан комплекс методик, обеспечивающий обоснование параметров инновационных решений в развитии транспортных систем карьеров, основными из которых являются:

1) Аппаратно-методический комплекс для мониторинговых экспериментальных замеров параметров работы карьерной транспортной техники в «естественных условиях» функционирования, позволяющие верифицировать имитационные модели.

2) Параметры технологии разработки глубокозалегающих месторождений, обеспечивающая увеличение глубины открытой добычи и соответственно полноты освоения месторождений, заключающаяся в поэтапной трансформации схемы вскрытия с переходом на круто наклонные автомобильные съезды и законтурные тоннели по мере углубки карьера.

3) Методика поддержки принятия решений при формировании транспортной системы карьера с учетом переходных процессов на всем их жизненном цикле во взаимосвязи со схемой вскрытия, параметрами системы разработки, способами управления качеством минерального сырья, обеспечивающих технико-экономические преимущества и достижение максимальной эффективной глубины открытой разработки месторождения (рисунок 4).

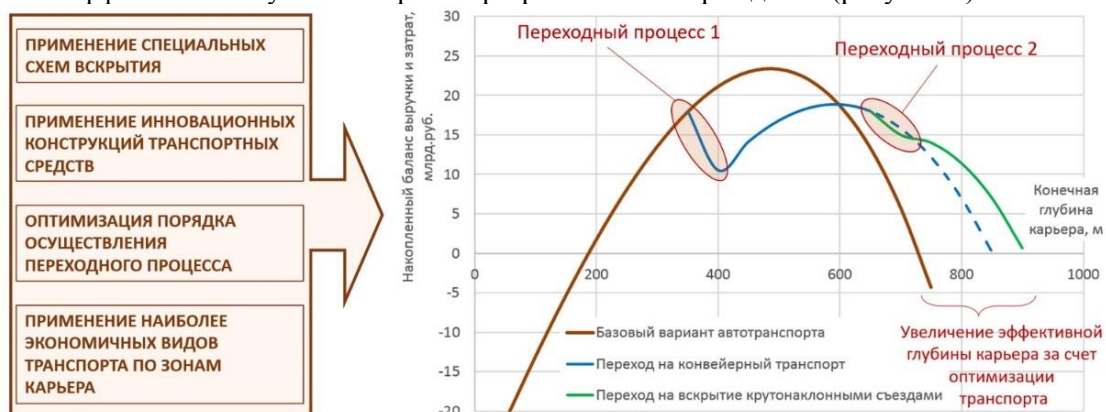


Рисунок 4 - Иллюстрация методики поддержки принятия решения при формировании транспортной системы карьера, обеспечивающей увеличение полноты освоения месторождений открытым способом

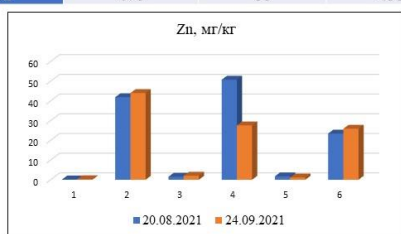
Перспективные технологии транспортирования для глубоких карьеров / Журавлев А.Г., Глебов И.А., Семенкин А.В., Чендырев М.А. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2021. – №5. – С. 518-528.

5. Экспериментально исследованы механизмы накопления, миграции тяжелых металлов (ТМ), в границах наземных и водных экосистем:

- Установлено, что процессы в части техногенной трансформации экосистем при освоении недр в аспекте влияния на окружающую среду, предшествующие переходу экосистемы в равновесное состояние затягиваются до начала проведения мероприятий по экологической реабилитации.

- Полученные данные свидетельствуют о значительной роли производственных отходов (иммобилизаторов), способствующих уменьшению подвижных форм ТМ, снижая риск аккумуляции ТМ растениями и необходимости формирования каскада биологических прудков с выстраиванием цепочки биологической и биохимической составляющей, чувствительной к каждому химическому элементу в целях разработки приемов для доочистки сточных вод (рисунок 5).

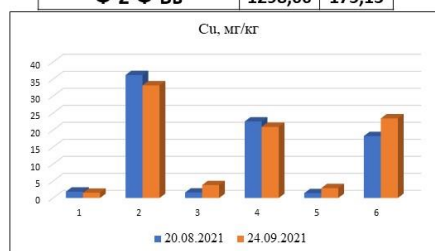
Шифр грядки	Урожайность,		Шифр грядки	Урожайность,	
	гр			гр	
1а	120		1б	310	
2а	170		2б	180	
3а	120		3б	136	
4а	205		4б	190	
5а	350		5б	370	
6а	470		6б	435	



Динамика содержания подвижной формы цинка в исследуемом субстрате

1 – грунт/шлак 50/50; 2 – грунт/шлак 90:10; 3 – грунт/шлак+навоз50/50; 4- грунт/шлак+навоз 90/10; 5 – грунт/шлак+навоз 50/50; 6 - грунт/шлак+навоз 90/10

Наименование	МГ/КГ	
	Cu	Zn
Валовая		
Ф-2-Ф-В	1844,60	203,00
Подвижные формы		
Ф-2-Ф-Вв	1298,00	175,13



Динамика содержания подвижной формы меди в исследуемом субстрате

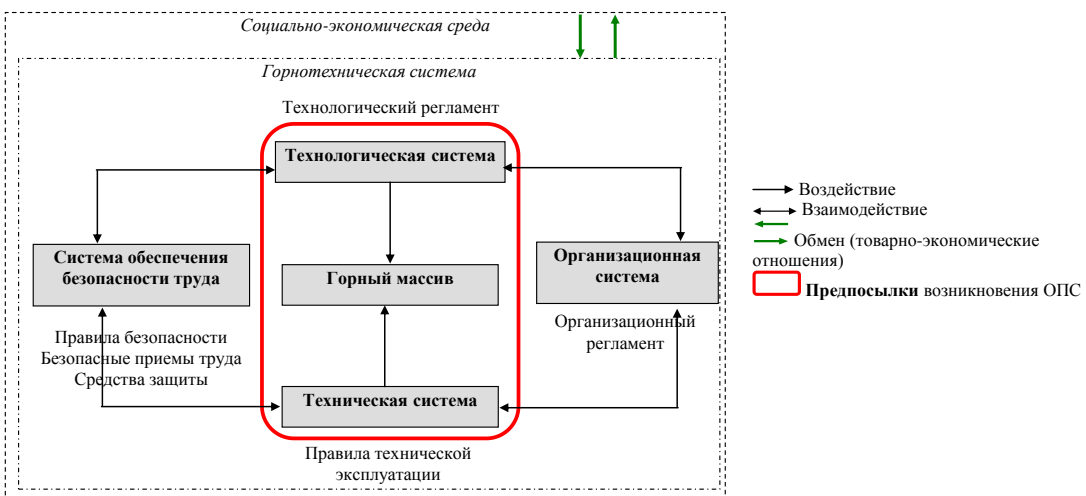
1 – грунт/шлак 50/50; 2 – грунт/шлак 90:10; 3 – грунт/шлак+навоз 50/50; 4- грунт/шлак+навоз 90/10; 5 – грунт/шлак+навоз 50/50; 6 - грунт/шлак+навоз 90/10;

Рисунок 5 - Динамика содержания подвижных форм тяжелых металлов в субстрате

Собенин А.В., Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Шепель К.В. Оценка влияния вещественного состава ложа биологических прудков на очистку сточных вод предприятий горнометаллургического комплекса. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-2. – С. 273-282.

6. Впервые установлено, что при осуществлении переходных процессов в ходе освоения сложно структурных месторождений именно управление производственным риском (учитывающим как социальные, так и экономические факторы и последствия) позволяет исключить или смягчить конфликт между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. Доказано, что управление производственным риском целесообразно осуществлять на основе контроля опасной производственной ситуации (ОПС), по сути, являющегося одним из методов учета переходного процесса. Обоснована закономерность существования ОПС: потенциальная возможность их возникновения обусловлена наличием объективных предпосылок (природные, горно-геологические, горнотехнические, технико-технологические условия), а инициирующим фактором зарождения опасной производственной ситуации является решение работников как реакция на изменение комбинации социально-экономических, горно-геологических, горнотехнических условий функционирования. Установлены основные признаки и характеристики опасных производственных ситуаций: частота и причины возникновения; выявляемость; тяжесть последствий (рисунок 6).

а) штатный режим функционирования горнотехнической системы



б) штатный режим функционирования горнотехнической системы при возникновении ОПС

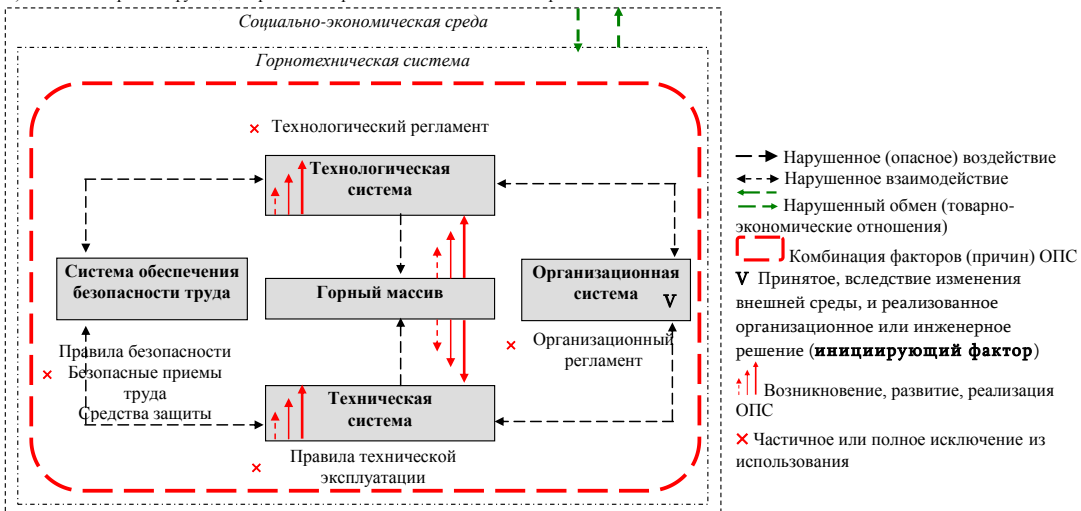


Рисунок 6 - Принципиальная схема зарождения, развития и реализации опасной производственной ситуации как логическая основа классификационных признаков

Кравчук И. Л., Неволлина Е. М. Практические аспекты формирования классификации и атласа опасных производственных ситуаций. // Проблемы недропользования. – 2021. – № 2. – С. 27-39.

7. Обоснованы основные подходы к методике адаптации буровзрывных работ (БВР) в изменяющихся условиях разработки сложно-структурных месторождений твердых полезных ископаемых. Выявлены и систематизированы факторы, влияющие на особенности развития переходных процессов в БВР. При экспериментальных исследованиях: установлены уточняющие зависимости и разработана номограмма для расчета допустимых скоростей распространения сейсмических колебаний в массиве горных пород (А); определены диапазоны изменения параметров переходного процесса распространения детонации промышленных эмульсионных ВВ (ПЭВВ), время и ширина зоны химической реакции (Б); установлена рациональная величина плотности ПЭВВ типа НПГМ (В); исследованы факторы, влияющие на износостойкость опор шарошечных долот для снижения динамической нагрузки в процессе бурения (Г); определены основные направления исследований в части решения задач по эффективной адаптации предполагаемых переходных процессов в меняющихся условиях работы горнодобывающих предприятий (рисунок 7).

Оценка современного состояния буровзрывных работ и необходимость осуществления переходных процессов на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири. // Регутунов А.С., Жариков С.Н., Сухов Р.И., Кутуев В.А. // Проблемы недропользования. - 2021. - №2. - С. 52-62.

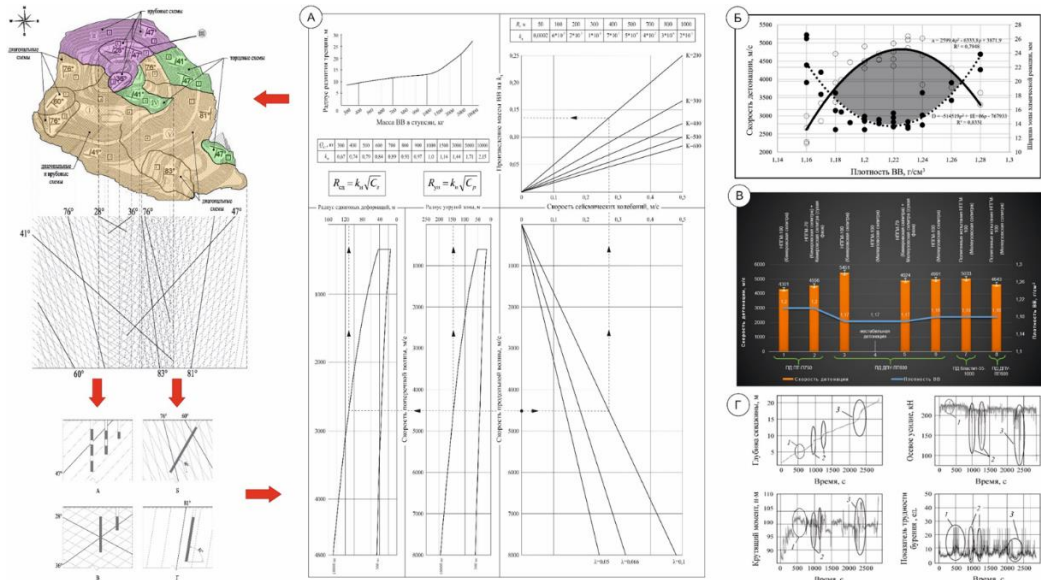


Рисунок 7 - Факторы, влияющие на особенности развития переходных процессов в БВР

Направление: Геомеханика, современная геодинамика, мониторинг опасных техногенных процессов

1. В рамках обоснования методических основ районирования РФ разработана технология снижения риска и уменьшения тяжести последствий техно-природных катастроф в сфере недропользования, основанная на решении задач геодинамической и геомеханической диагностики массива горных пород на четырех масштабных уровнях:

- создание баз данных скоростей современных геодинамических движений на территории Российской Федерации (1 и 2 уровни);
- деформационное районирование зон влияния горных работ по критериям безопасности недропользования (2 и 3 уровни);
- структурно-геодинамическое районирование горного массива на основе применения геофизических методов исследований (2, 3 и 4 уровни);
- снижение негативного воздействия современных геодинамических движений на конструктивные элементы подземных сооружений (3 и 4 уровни);
- снижение риска динамического проявления горного давления по критерию концентрации напряжений (3 и 4 уровни) (рисунок 8).

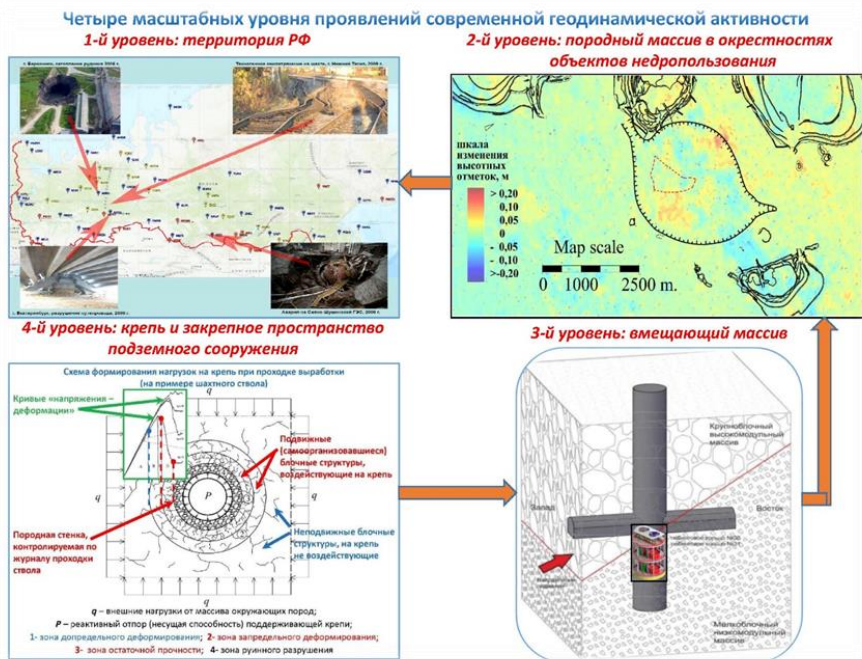


Рисунок 8 - Масштабные уровни проявления современной геодинамической активности

Балек А.Е., Харисов Т.Ф. Выявление геодинамически активных блоковых структур в массивах горных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-2. – С. 30-41.

2. На основании натурных исследований, выполненных в процессе строительства и эксплуатации горных выработок в геодинамически активных скальных породных массивах, обоснованы основные технологии предотвращения негативного воздействия современных геодинамических движений на конструктивные элементы подземных сооружений (элементы крепи), которые регламентируются взаимными связями между тремя иерархическими масштабными уровнями проявлений современной геодинамической активности, предусматривая:

- на 1-м масштабном уровне (на базах в десятки – сотни метров): снижение геодинамической активности массива горных пород в окрестностях подземного сооружения путем уменьшения амплитуды подвижек его структурных блоков за счет повышения жесткости междублоковых связей и разгрузки породных объемов за счет управления их подвижками;

- на 2-м масштабном уровне (на базах в метры – первые десятки метров): снижение напряжений в крепи и в массиве вмещающих пород подземного сооружения путем повышения их деформационной способности за счет обеспечения податливости элементов крепи и породных объемов;

- на 3-м масштабном уровне (на базах в дециметры – первые метры): повышение несущей способности крепи и массива вмещающих пород подземного сооружения путем упрочнения и увеличения жесткости элементов крепи и породных объемов (рисунок 9).

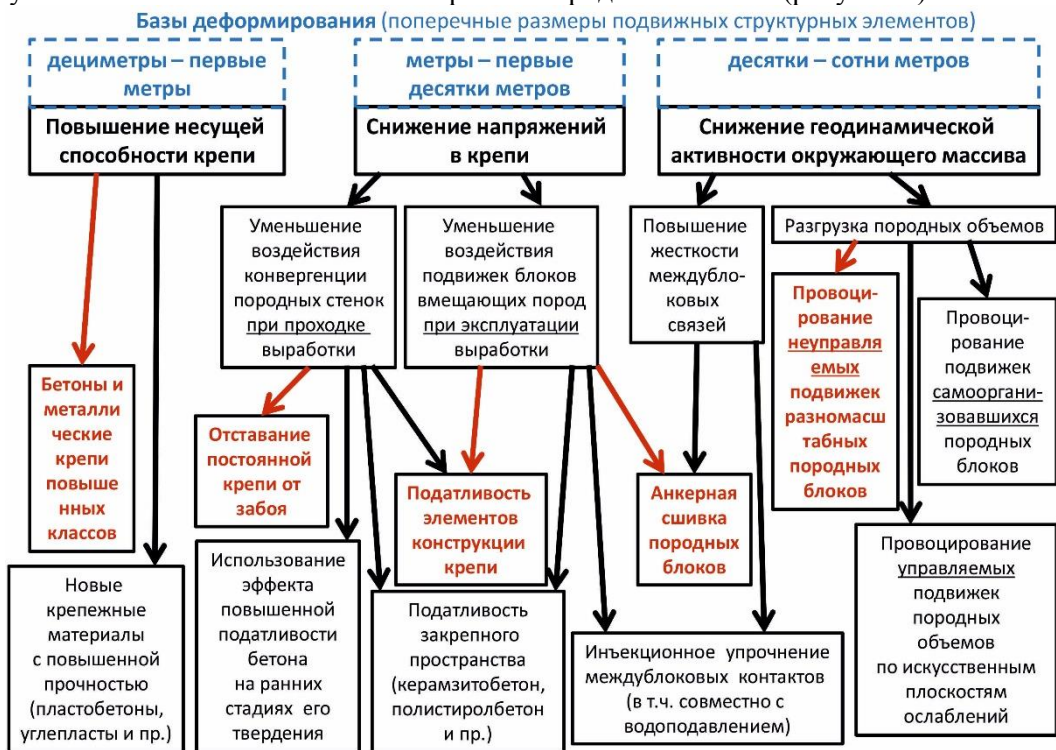


Рисунок 9 – Взаимные связи между основными технологиями предотвращения негативного влияния современных геодинамических движений на крепь подземных сооружений и масштабами деформирования элементов системы «крепь – массив горных пород»

Харисов Т.Ф., Балек А.Е. Оценка геодинамической активности иерархически блочного породного массива. // Проблемы недропользования. – 2021. – № 3 (30). – С. 30-38.

3. С целью районирования территории Российской Федерации по риску возникновения природно-техногенных катастроф разработана методика создания базы данных по критерию геодинамической активности, основывающаяся на учете разности скоростей современных движений наблюдательных пунктов постоянно действующих геодезических станций.

По изменениям цикловых координат вычисляются трендовые и собственные, свободные от трендовой составляющей, скорости современных геодинамических движений, определяются

величины и ориентировка главных направлений деформаций массива горных пород, характер распределения деформационного поля, выделяются области концентрации главных и сдвиговых деформаций (рисунок 10).

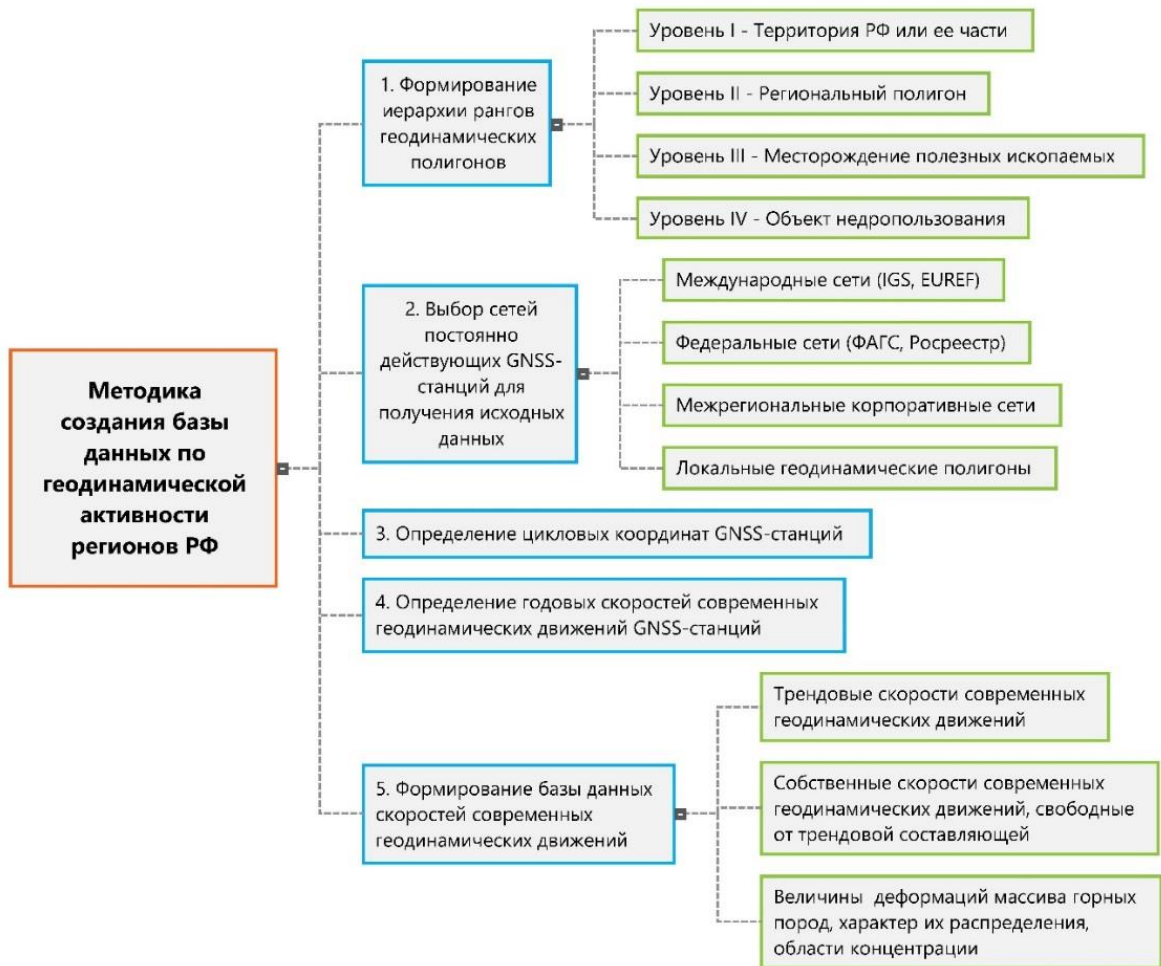


Рисунок 10 - Методика создания базы данных по геодинамической активности регионов РФ

Панжин А.А., Панжина Н.А. Применение исходных данных постоянно действующих станций для геодинамического районирования. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2021. - № 1. - С. 54-62.

4. На основе экспериментальных данных разработана технология районирования зоны обрушения дневной поверхности от подземной разработки месторождений по безопасности ведения открытых горных работ, которая состоит из трех последовательных этапов:

1 Этап – Прогноз параметров деформаций на основе эмпирических данных, систематизированных в геоинформационной модели;

2 Этап – Дистанционное зондирование зон опасных деформаций и геодинамический мониторинг прилегающих территорий методами спутниковой геодезии;

3 Этап – Безопасность зоны обрушения определяется по оседанию поверхности в опасной зоне и модулю скорости горизонтальных деформаций массива горных пород.

Разработанная технология позволяет оценивать степень опасности зоны обрушения от подземных разработок (рисунок 11).

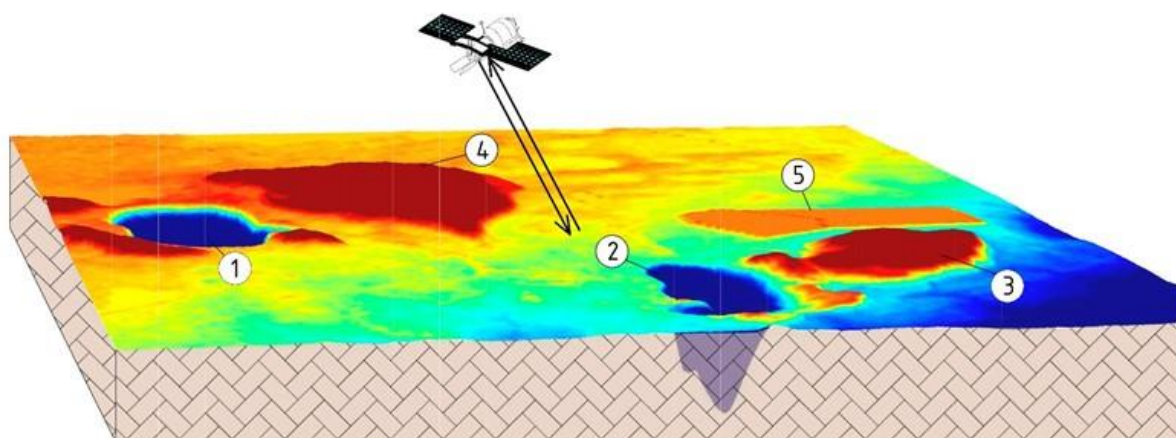


Рисунок 11 - Цифровая модель рельефа в районе разработки месторождения открытыми и подземными горными работами по данным дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов: 1) карьер глубиной 450 м; 2) карьер глубиной 500 м; 3) отвал вскрышных пород; 4) отвал скальных пород; 5) хвостохранилище

Kharisova O. Searching for possible precursors of mining-induced ground collapse using long-term geodetic monitoring data. // Kharisova O., Kharisov T. // Engineering Geology. – 2021. – Volume 289. – P. 106173.

5. Приведена систематизация видов и форм разрушения массива горных пород и элементов систем разработки, проведено обобщение результатов длительного геодеформационного мониторинга природных напряжений на рудниках Урала. Выявлена величина относительной деформации Земной коры в отдельных циклах, которая предположительно одинакова для всех континентов и везде вызывает аварийные ситуации. Предложено распространить известные положения по геодинамическому районированию для удароопасных месторождений на все месторождения, при этом дополнить положения районированием по глубине отработки. Для снижения риска аварий и катастроф предложено выбирать места строительства сооружений с жестким каркасом, а также места заложений шахтных стволов и капитальных подземных выработок с учетом расположения и активности тектонических нарушений.

Зубков А.В., Сентябов С.В., Криницын Р.В., Селин К.В. Районирование территории по действующим первоначальным напряжениям на месторождениях полезных ископаемых. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-2. – С. 80-92.

6. Разработана и опробована методика структурно-геодинамической диагностики горного массива в различных вариантах комплексирования геофизических методов исследований, позволяющая выполнить геодинамическое районирование территории направленная на снижения риска и уменьшения тяжести последствий техно-природных катастроф в сфере недропользования для различных горно-геологических условий. Методика позволяет выявить разрывные структуры, определить их пространственные параметры, дифференцировать по степени современной геодинамической активности, смоделировать механизм и характеристики воздействия современных движений в верхней части литосферы на объекты недропользования на этапах изысканий, строительства и эксплуатации (рисунок 12).

Зуев П.И., Григорьев Д.В., Ведерников А.С. Геофизическое обследование участков асбестового карьера. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1. – С. 131-141.

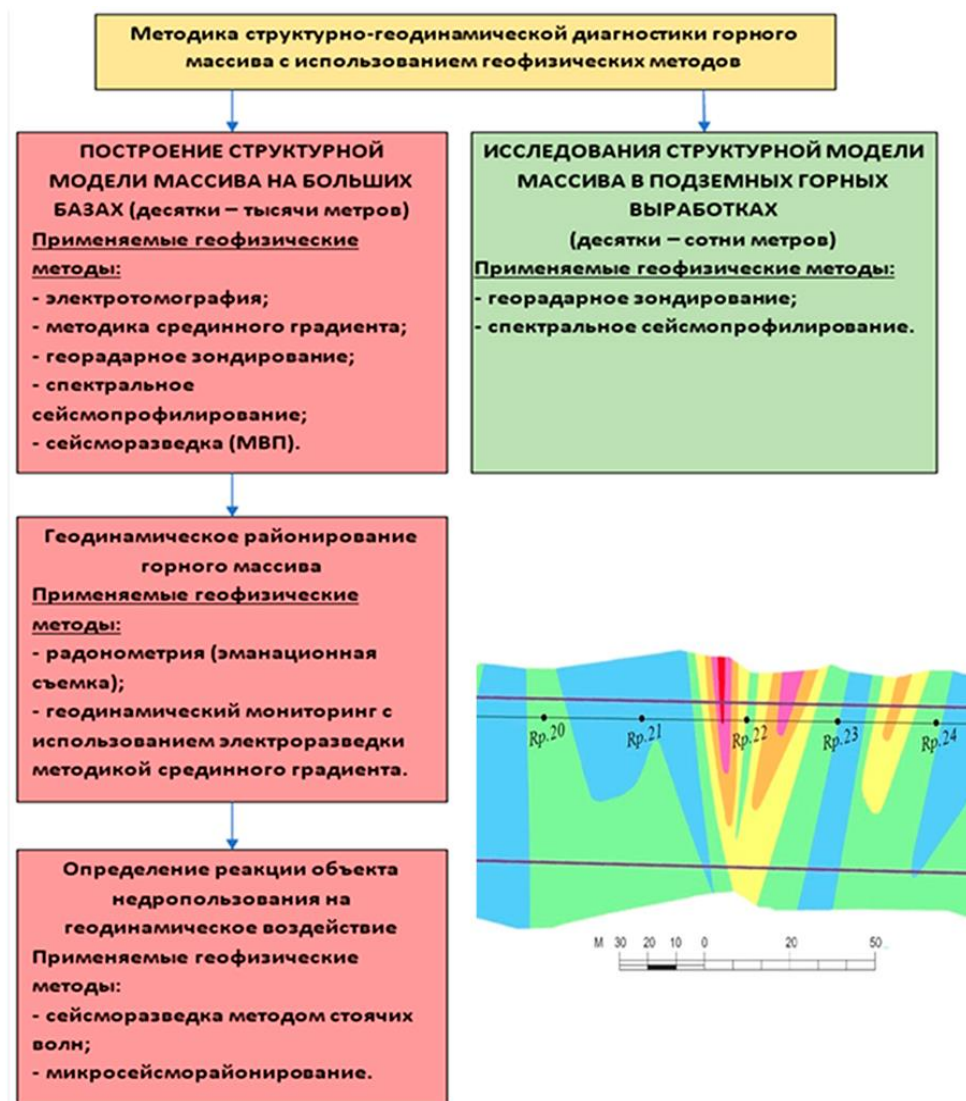


Рисунок 12 - Методика структурно-геодинамической диагностики горного массива

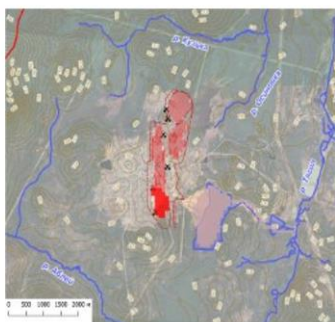
Направление: Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр, численное моделирование и геоинформатика

1. Показано, что непременным условием, порождающим возмущения в процессах горного производства, является перемещение горных работ в пространстве и времени, обуславливающее периодическое изменение производственной, экологической и внутриэкономической ситуации. Установлено, что системным свойством переходных процессов горнодобывающего производства является наличие взаимодействующих между собой природно-технологических подсистем. Их взаимодействие сопровождается возникновением сопротивления взаимопроникновению, поэтому важным следствием является необходимость динамического контроля ряда индикаторов, установленных на стадии разработки проектов и планов горных работ, т.е. осуществлять их комплексный геоинформационный мониторинг. Выделены риски, определяющие комплексную безопасность горных работ: природные, технологические, организационные, а также условия, сопровождающие возобновление опасных ситуаций: циклическая повторяемость работ или действий, отсутствие планового резерва, организационно-экономические факторы (рисунок 13).

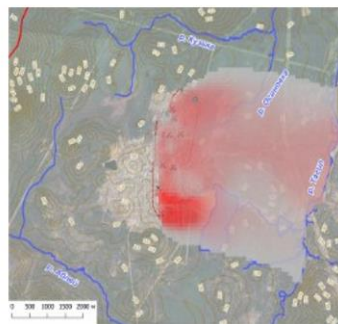


Рисунок 13 - Системный динамический комплексный геоинформационный мониторинг природно-технологических систем – инструмент контроля технических и экологических рисков

2. На примере Левихинского медноколчеданного месторождения разработана методика численного моделирования состояния гидросферы. Обоснованы и уточнены индикаторы распределения геофильтрационных параметров массива горных пород в области гидродинамического влияния рудников, индикаторы изменения составляющих водоотлива (дренажа), инфильтрационного питания и подтопления территории водосбора на разных этапах развития горных работ. На основании впервые выполненных высокоточных полевых измерений параметров, определяющих окислительно-восстановительные условия поверхностных и подземных вод района Левихинского рудника, а также расчета форм миграции загрязняющих компонентов, раскрыт механизм формирования химического состава кислых шахтных вод, их трансформации после выхода на поверхность и последующей нейтрализации, создана структура объектной ГИС оценки и прогноза изменения гидрохимической и гидрологической обстановки (рисунок 14).



Начальные и граничные условия при решении миграционных задач: ярко - красный – 25 000 мг/л, красный 10 000 мг/л, бледно-красный – 4 000 мг/л



Положение фронта загрязнения, околнуренного по минерализации более 1000 мг/л, в случае прекращения откачки и нейтрализации шахтных вод (на 25 год)



Положение фронта загрязнения, околнуренного по минерализации более 500 мг/л, в случае сохранения откачки и нейтрализации шахтных вод (на 25 год)

Рисунок 14 - Результаты прогнозного миграционного моделирования: при существующей системе очистки фронт загрязнения локализуется в пределах зон обрушения

Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Оценка факторов формирования гидросферы природно-технических систем (на примере верховьев бассейна реки Тагил, Свердловская область). // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-2. – С. 257-272.

3. Формирование геоинформационных моделей потенциала растительности (NDVI) является основой для разработки приемов экологической реабилитации нарушенных экосистем и создании искусственных биогеохимических барьеров. Индикаторами системы геоинформационного мониторинга, организуемого с использованием беспилотных летающих аппаратов, объективно характеризующие состояние фитомассы в процессе самозарастания отвалов, являются индекс растительности (NDVI) и площадь проективного покрытия растительного покрова земной поверхности. Показано, что наличие природных биогеохимических барьеров, характеризуется не только повышенными в них концентрациями ряда тяжелых металлов, но и наличием интенсивной эмиссии CO₂ вдоль техногенных потоков подотвальных вод. Полученные данные являются основой для разработки приемов экологической реабилитации нарушенных экосистем, в части доочистки подотвальных вод формируемых при складировании вскрышных пород медно-колчеданных месторождений и формированию искусственных биогеохимических барьеров с выстраиванием цепочки биологической и биохимической составляющей, чувствительной к каждому химическому элементу (рисунок 15).

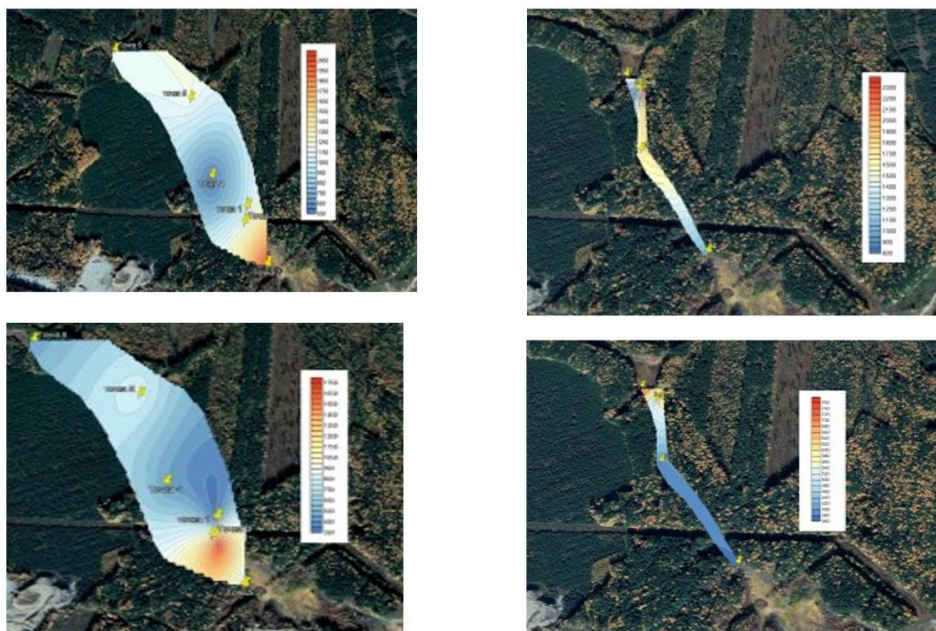


Рисунок 15 - Геоинформационная модель распределения меди (верхний ряд) и цинка (нижний ряд)

Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Собенин А.В., Усманов А.И. Оценка возможной деградации экосистемы при использовании промышленных отходов горнометаллургического комплекса при ликвидации горных выработок. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-2. – С. 193-201.

4. Предложен методический подход и программная реализация для решения задачи идентификации и визуализации современных геодинамических движений, исходными данными для которой являются разнородные массивы результатов полевых геодезических и маркшейдерских мониторинговых измерений. Визуализация полученных векторных и деформационных полей, их дивергенции и ротора поля позволяет идентифицировать современные геодинамические движения, выделять активные тектонические структуры массива горных пород, выявлять положение источников и стоков поля деформаций, параметры вращения блоковых структур (рисунок 16).

5. Создана методология определения зон горизонтальной площадной деформации ϵ блочной земной поверхности по данным зарегистрированных трендовых перемещений пунктов геодезической наблюдательной сети. Методология содержит представления о блоках земной поверхности горных пород по геопространственным ограничениям их упругих свойств, математическую модель, описывающую перемещение точек поверхности и образующую деформацию, а также методику идентификации модельных параметров. Площадная деформация

представлена суммой ее линейных и угловых компонент, отображает разнонаправленную трансформацию форм земной поверхности, происходящую в зоне межблочных контактов (рисунок 17).



Рисунок 16 - Методика идентификации и визуализации современных геодинамических движений

Панжин А.А., Мазуров Б.Т., Панжина Н.А. Геодинамический мониторинг и моделирование поля деформаций на Коркинском угольном месторождении. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2021. - № 2. - С. 94-109.

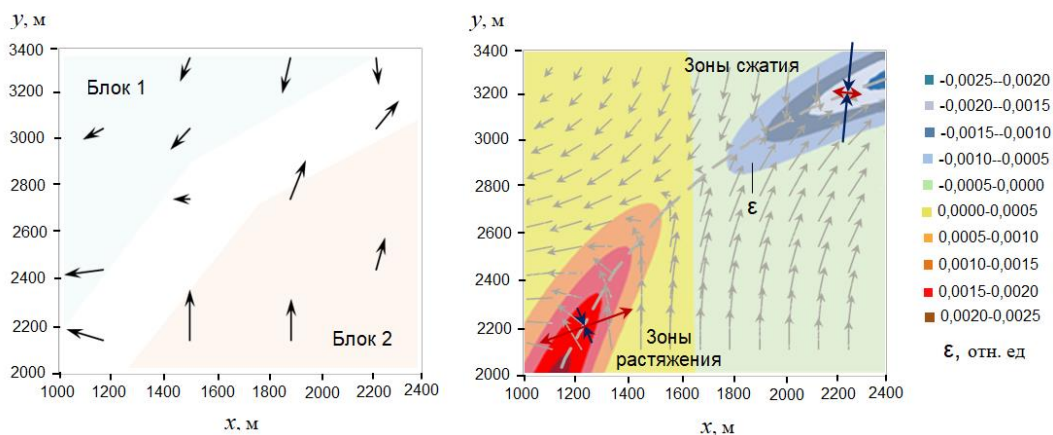


Рисунок 17 - Моделируемые перемещения точек земной поверхности и зоны обнаруженной площадной деформации

Антонов В.А. Методология обнаружения и прогнозирования горизонтальной деформации земной поверхности смежных блоков горных пород по данным GPS мониторинга. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 5-2. - С. 16-29.

6. Показано, что комплексные методы информационно-аналитического сопровождения недропользования при решении задач освоения минерального сырья, контроля гидросферы и экосферы являются универсальными и включают: дистанционное зондирование Земли (цифровые модели рельефа, результаты гипер- и мультиспектральных съемок), идентификацию и визуализацию современных геодинамических движений, изучение (в том числе косвенными экспресс-методами) закономерностей изменения физико-механических свойств горных пород при создании прогнозных геомеханических моделей отработки месторождений (рисунок 18).

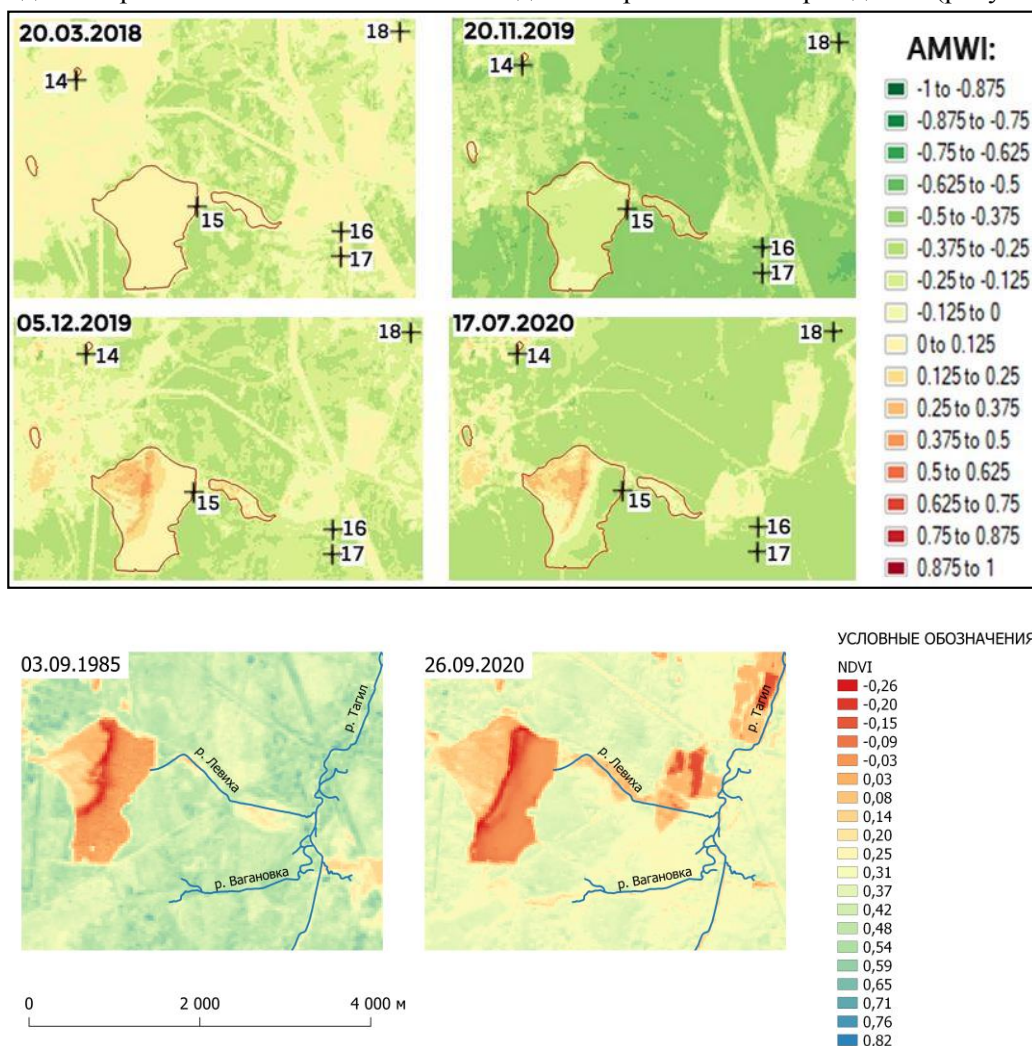


Рисунок 18 - Результаты дистанционного зондирования техногенных территорий

Рыбников П.А., Смирнов А.Ю. Анализ качества цифровых моделей рельефа на основе данных дистанционного зондирования земли для рельефа овражно-балочного типа. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – №5-1. – С. 235-247.

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

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

Разработана новая методология построения и параметризации тепловых моделей пород, используемых для мониторинга состояния ледопородных ограждений шахтных стволов. Исследованы особенности определения эффективных параметров тепловых моделей по данным экспериментальных измерений температуры пород и уровня грунтовых вод в контрольных скважинах. Предложены уникальные практические методы и средства, направленные на избежание неоднозначности в определении параметров тепловых моделей. Определены оптимальные

технологические параметры систем мониторинга ледопородных ограждений по критерию точности и скорости настройки параметров тепловых моделей. Проведенные исследования позволили повысить безопасность и энергоэффективность проходки шахтных стволов способом искусственного замораживания пород (см. рисунок 1).

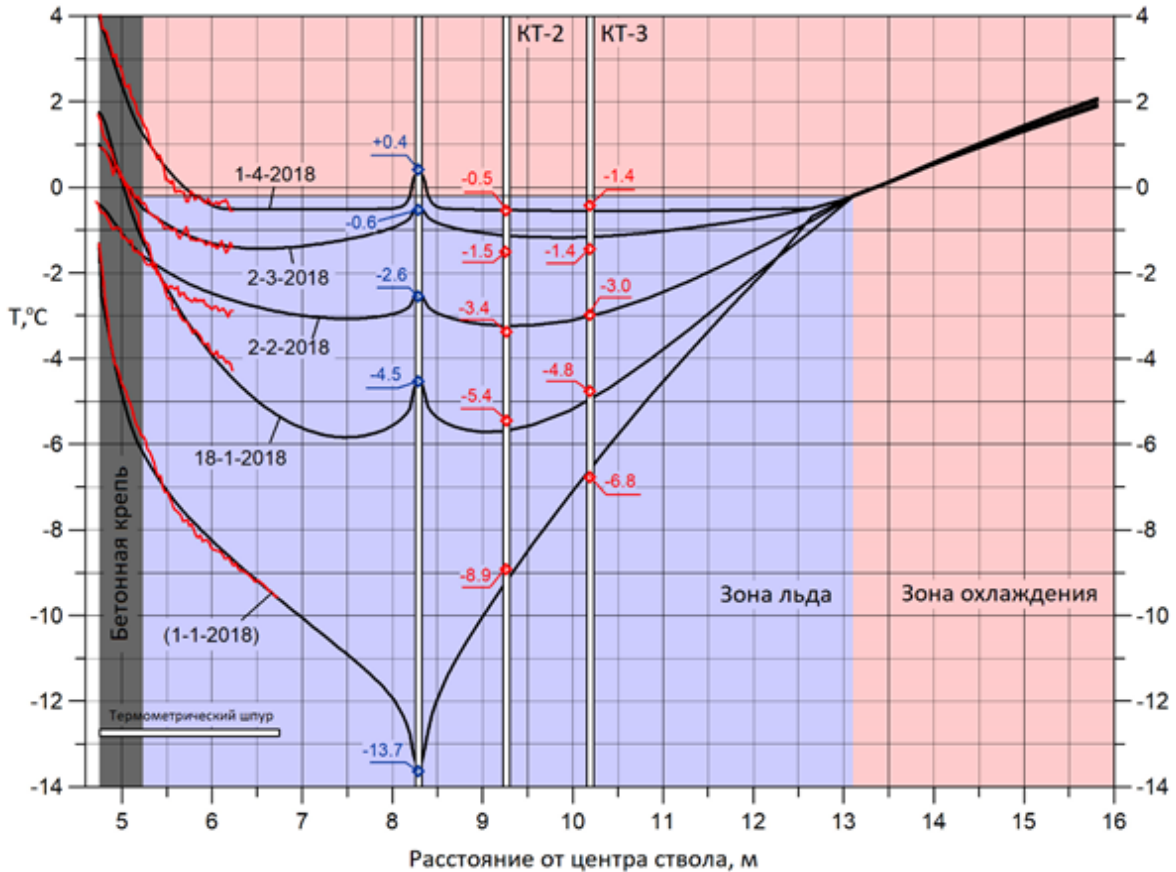


Рисунок 1 - Профили температуры в объеме замороженных пород в различные моменты времени после отключения замораживающей станции; красный цвет - экспериментальные данные, черные кривые - данные расчета на тепловой модели

Levin, L., Golovaty, I., Zaitsev, A., Pugin, A., Semin, M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine. // Tunnelling and Underground Space Technology. - 2021. - Т. 107. - статья № 103685 (Q1 WoS).

На основе синтеза многовариантного крупномасштабного математического моделирования (рисунок 2) и результатов мониторинга оседаний земной поверхности (рисунок 3) разработана методика оперативной оценки опасности прорыва вод в горные выработки. Методика базируется на регламентации предельных наклонов мульды сдвижения. Построенные критериальные соотношения рекомендованы для включения в Федеральный нормативный документ СП 103.13330.2012 «СНиП 2.06.14-85 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод».

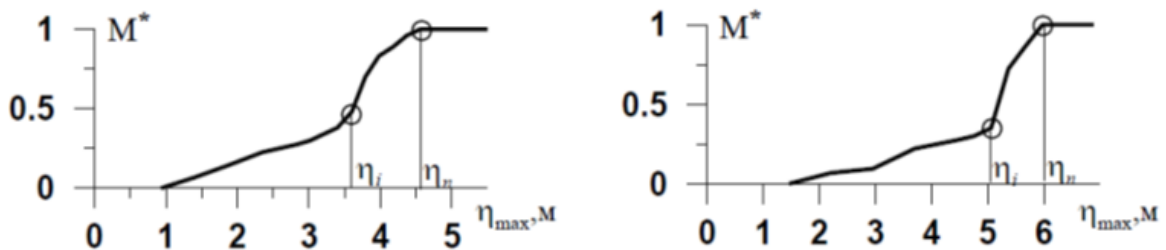


Рисунок 2 - Изменение относительной мощности разрушенных пластов каменной соли M^* с увеличением оседаний земной поверхности при различной длине краевой части мульды сдвижения

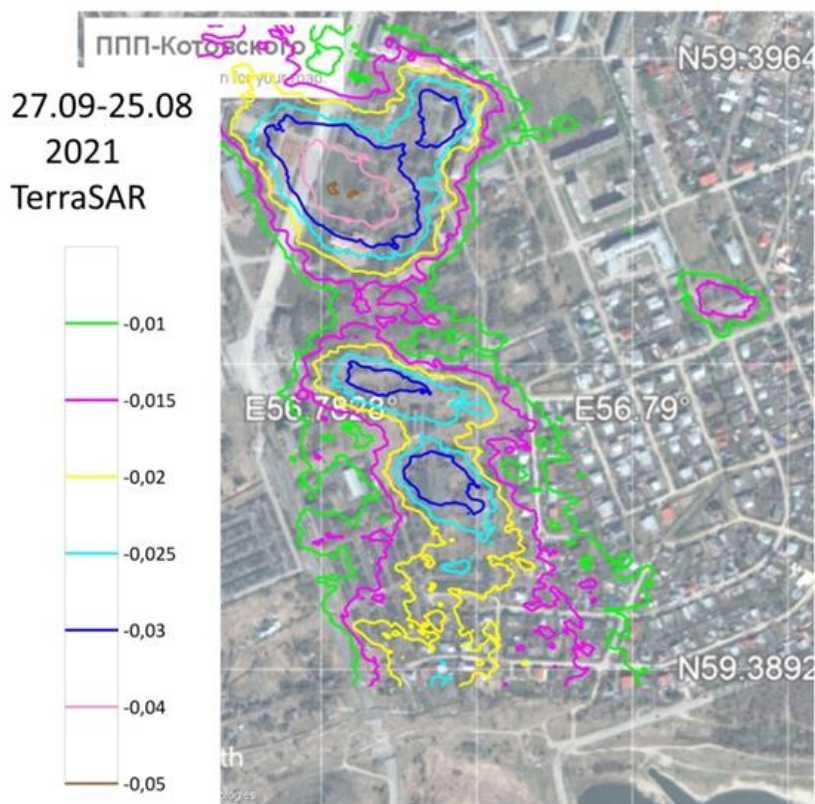


Рисунок 3 - Приращение оседания земной поверхности за 33 дня по результатам DInSAR - анализа снимков спутника TerraSAR-X

Барях А.А., Тенисон Л.О. Обоснование инженерных критериев безопасной подработки водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении солей. // Горный журнал. - 2021. - 2021. - № 4.- С. 57-63.

Бабаянц И.П., Барях А.А., Волкова М.С., Михайлов В.О., Тимошкина Е.П., Хайретдинов С.А. Мониторинг оседаний на территории г. Березники (Пермский край) методами спутниковой радарной интерферометрии: I. Дифференциальная интерферометрия. // Геофизические исследования. - 2021. - №4.

ПФИЦ УрО РАН – Горный институт УрО РАН, Пермь; Институт физики земли РАН, г. Москва

1.5.11.1. Гидрология и экология вод суши

Методами математического моделирования и натурными исследованиями установлено, что существенная внутрисуточная неравномерность работы гидроэлектростанций вызывает значительные колебания скоростей течений воды в верхнем бьефе даже на расстоянии 15 км от гидроузлов (рисунок 4). Эти колебания могут оказывать существенное влияние на эффективность работы водозаборов питьевой воды.

Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Bogomolov A., Lyakhin Y. The influence of intra-day non-uniformity of operation of large hydroelectric powerplants on the performance stability of water intakes located in their upper pools. // Water (Switzerland). – 2021. – Т. 13. – статья № 3577. (Q1 Scopus).

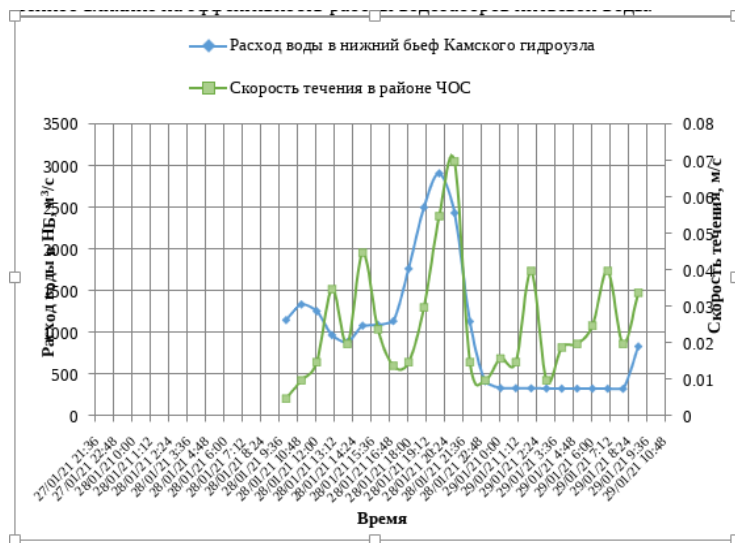


Рисунок 4 - Совмещенный хронологический график изменения расходов сброса воды на гидроэлектростанции и модулей скоростей течений воды в районе оголовков основного питьевого водозабора

Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Bogomolov A., Lyakhin Y. The influence of intra-day non-uniformity of operation of large hydroelectric powerplants on the performance stability of water intakes located in their upper pools. // Water (Switzerland). – 2021. – Т. 13. – статья № 3577. (Q1 Scopus).

1.5.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых

В горных выработках соляных рудников на основании полноволнового моделирования спрогнозированы диаграммы направленности импульсных источников колебаний в трех векторах упругой деформации, соответствующих колебаниям упругих волн продольного (P) и поперечного (SV-вертикальной и SH-горизонтальной поляризации) типа. Обоснована наибольшая информативность продольных (рисунок 5а) и поперечных вертикальной поляризации (рисунок 5б) волн. Выявлен механизм формирования «фантомных» отражений в полях поперечных волн горизонтальной поляризации (рисунок 5в).

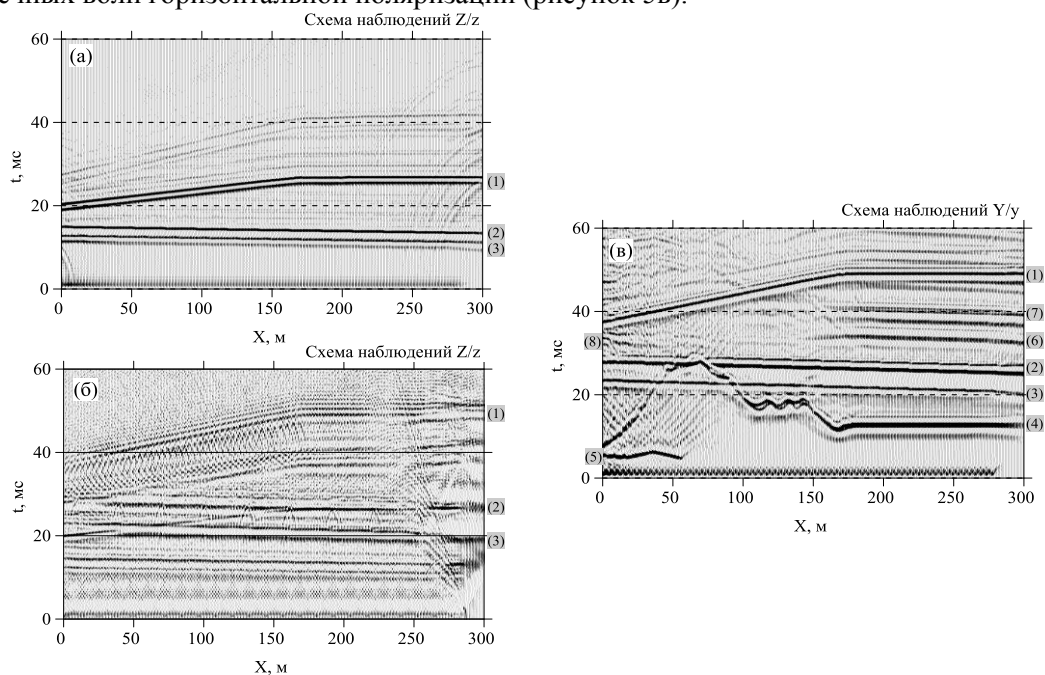


Рисунок 5 - Теоретические временные разрезы для верхнего полупространства с учётом отражающих границ, залегающих ниже линии наблюдений: а) при возбуждении в кровлю выработки (Z/z) P-волны, б) при возбуждении в кровлю выработки (Z/z) SV-волны; в) при возбуждении в стенку выработки (Y/y) SH-волны. Отражения от: 1 - кровли соляной толщи, 2 - кровли карналлитового пласта, 3 – подошвы карналлитового пласта, 4 – маркирующей глины, 5 - «выработки», 6 – подошвы карналлита - «фантомное» 7 – кровли карналлита- «фантомное», 8 – «выработки»- «фантомное»

На основании полученных результатов актуализированы направления многокомпонентной регистрации и обработки сейсмических данных для изучения строения и свойств породного массива, минимизирующие неоднозначность интерпретационных заключений.

Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И. Изучение особенностей формирования поля отраженных волн при наблюдениях в горных выработках соляных рудников на основе полноволнового моделирования. // Геофизика. - 2021. - №5. – С. 4-11.

1.5.10.2. Геоморфология

Установлены временные периоды оттаивания многолетнемерзлых пород в пределах Соликамской впадины. Были получены 29 уран-ториевых датировок, которые позволили установить начало потеплений плейстоцена в пределах Соликамской впадины (окончание Бёлинг-Алерёдского интерстадиала 13,2 тыс. лет назад, интерстадиалы 7 (ок. 34 тыс. лет), 21 (83-84 тыс. лет), 23 (ок. 104 тыс. лет) и 24 (106-107 тыс. лет)), и межледниковий MIS 5e (128 тыс. лет), MIS7 (243 тыс. лет назад), MIS9 (ок. 303 тыс. лет) и MIS13 (ок. 482 тыс. лет) (рисунок 6).

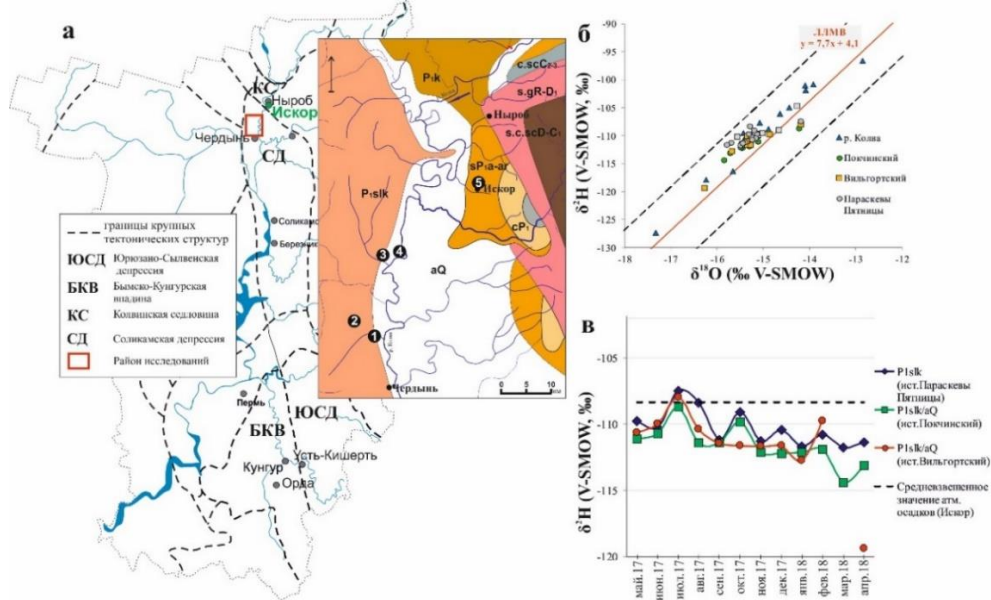


Рисунок 6 - Геолого-тектоническое строение района исследований (а) и изотопный состав водопроявлений (б,в)

Кадебская О.И. Периоды оттаивания многолетнемерзлых пород в плейстоцене в границах Соликамской впадины. // Горное эхо. - 2021. - № 3. - С. 3-9.

Казанцева А.С. Изотопный состав подземных вод Соликамской впадины. // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. – Томск: Издательство Томского политехнического университета. - 2021.– Т. 1 - С. 251-253.

1.5.1.6. Изучение и прогнозирование катастрофических явлений (землетрясения, извержения вулканов, цунами); оценки сейсмической, вулканической и цунами опасности

Разработана и практически реализована технология мониторинга технического состояния зданий, расположенных над горными выработками, и базирующаяся на совместном использовании двух взаимно дополняющих методов - гидростатического нивелирования и мониторинга изменения резонансных (собственных) частот исследуемых объектов. Разработано программное обеспечение, позволяющее в автоматическом режиме собирать данные мониторинга, контролировать целевые параметры и получать информацию о результатах мониторинговых наблюдений через web-интерфейс. Разработанная технология представляется достаточно информативной и позволяет контролировать состояние здания в непрерывном режиме (рисунок 7).

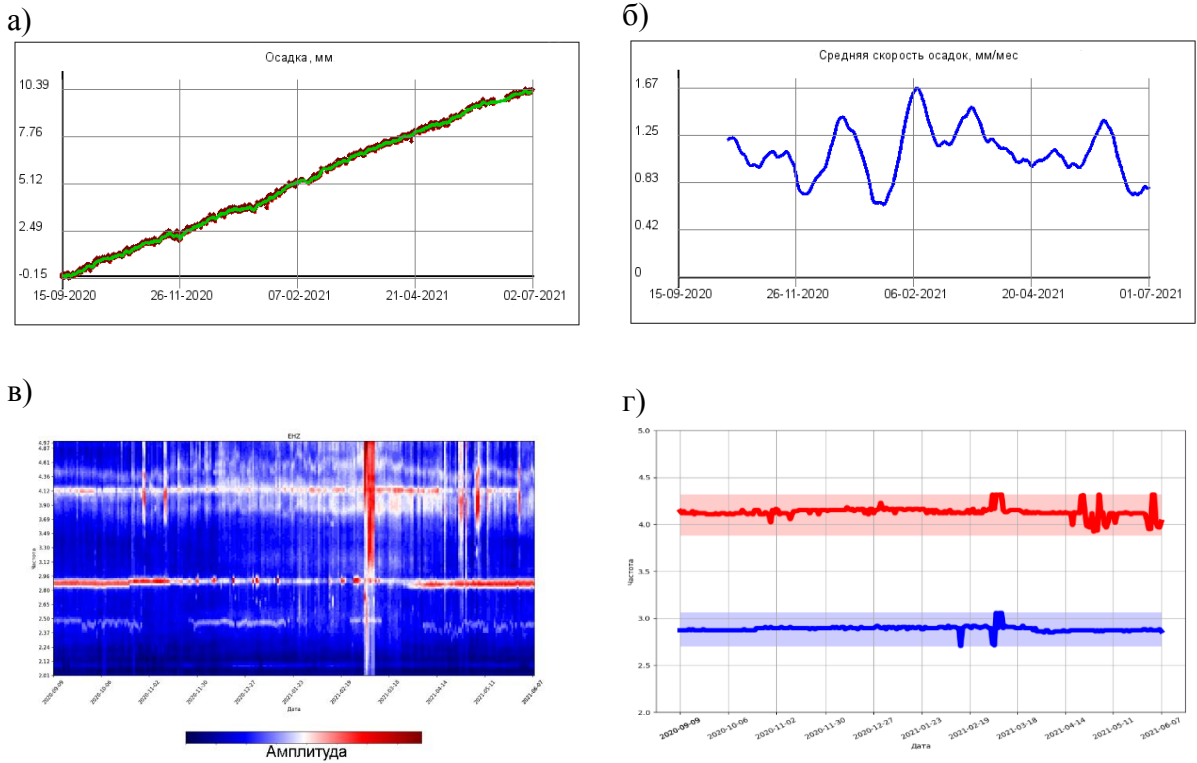


Рисунок 7 - Пример результатов автоматической обработки данных мониторинга: эволюция относительной разности осадок (а) и их скоростей (б); спектрограмма вертикальной компоненты колебаний (в) и графики изменения частот основных гармоник (г)

Verkholantsev A.V., Tsvetkov R.V., Muriskin A.S., Pyatkov D.S. Deformation and Seismic Monitoring of a Residential Building Located in the Subsidence Zone above Mining. // Seismic Instruments, 2021, Vol. 57, No. 6, pp. 730–741

ПФИЦ УрО РАН – Горный институт УрО РАН и Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь

1.5.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых

По сочетанию отрицательных локальных аномалий силы тяжести с отрицательными динамическими аномалиями, выявленными по мониторинговым гравиметрическим наблюдениям, выделяются проблемные для эксплуатации Верхнекамского месторождения участки (рисунок 8). Фиксирование циклов разуплотнения горных пород и последующих оседаний осуществлено по результатам долгосрочных периодических наблюдений изменения гравитационного поля.

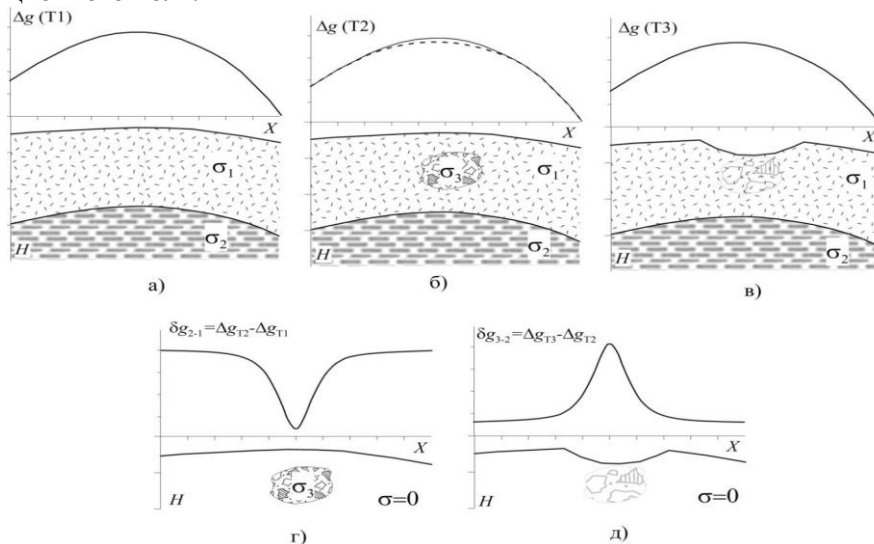


Рисунок 8 – Динамическая модель гравиметрического мониторинга

Bychkov S., Dolgal A., Simanov A. Interpretation of Gravity Monitoring Data on Geotechnical Impact on the Geological Environment. // Pure and Applied Geophysics. 2021. 178. P.107–121. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02640-8>.

Бычков С.Г., Симанов А.А., Хохлова В.В. Контроль процесса оседания земной поверхности по мониторинговым гравиметрическим наблюдениям. // Инженерная и рудная геофизика 2021. Геленджик: EAGE. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152028>.

1.5.5.4. Условия образования кор выветривания, осадочных и россыпных рудных месторождений; метаморфогенные рудные месторождения

Установлена геомеханическая и газово-геохимическая зональность на фронте высокоамплитудной (более 30 м) антиклинальной складки. Показано, что в процессе формирования данной дислокации сильвинитовый пласт подвергся соскладчатому катагенезу, приведшему к будинажу, уплощению зерен, отгонкой газовой-жидких включений. Геомеханическая зональность проявилась в смене незначительно ослабленных пород (с подзоной более жестких и более пластичных), сильно ослабленными (с подзоной более вязких, менее упругих и менее вязких, более упругих). В процессе диффузии газовой фазы сформировалась зональность (метан и его гомологи → азот → углекислый газ), которая согласуется с их миграционной способностью. Интерполяция физико-механических свойств и газоносности до средних значений характерных для пласта дала основание предполагать, что зона влияния данной складки оказалась больше исследуемого интервала и составляет 380–500 м, что позволяет прогнозировать положение скоплений свободного газа (рисунок 9).

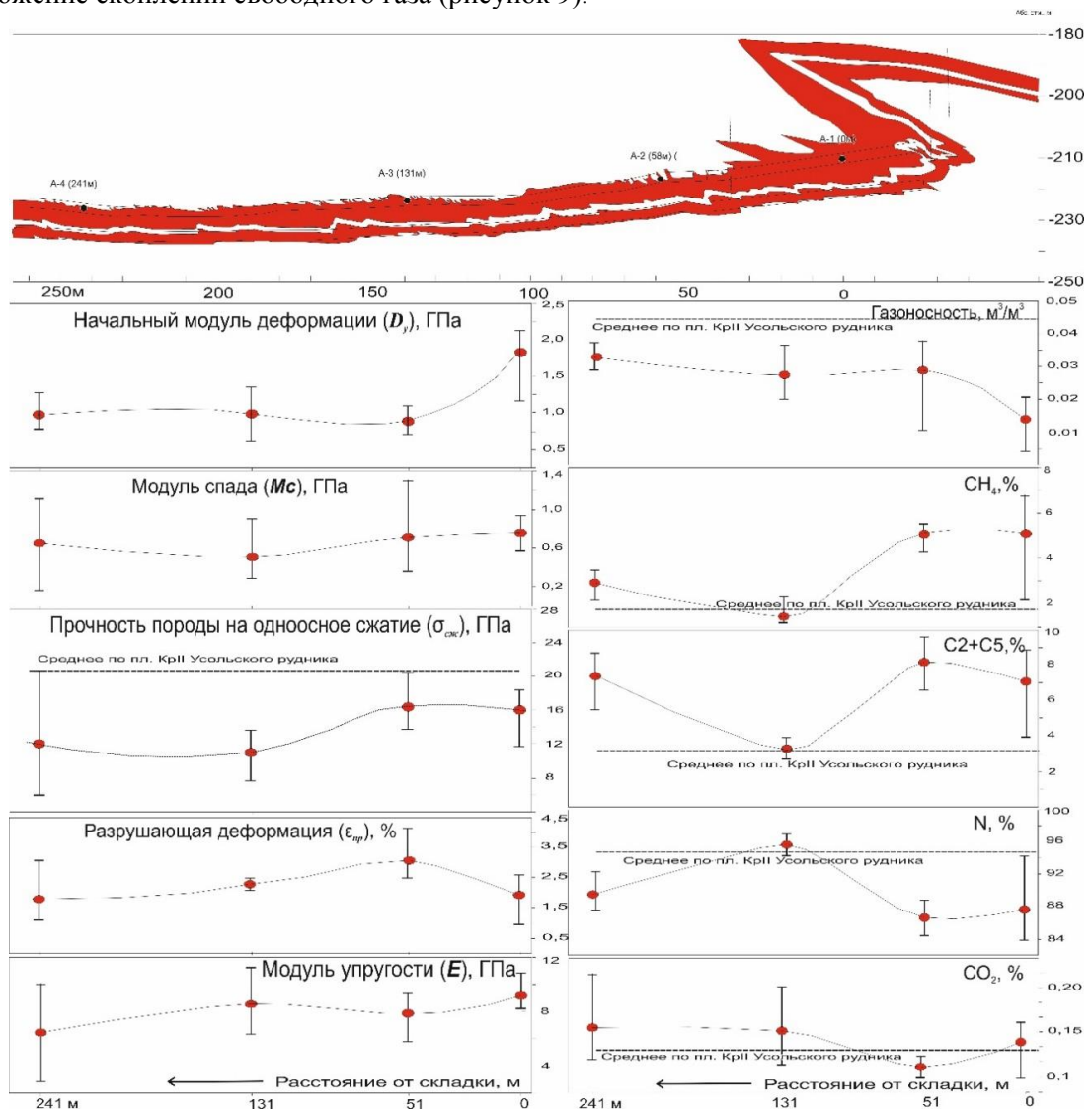


Рисунок 9 - Вариации геомеханических свойств, газоносности и состава газов перед складкой в сильвинитовых пластах

Чайковский И.И., Иванов О.В., Паньков И.Л., Чиркова Е.П. О природе крупной антиклинальной складки на Верхнекамском месторождении солей, ее геомеханической и газовой-геохимической зональности. // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки. – 2021. - Т. 163. - Кн. 3 (в печати.)

1.5.7.1. Геомеханика; физико-химические свойства горных пород

По результатам натурных наблюдений, лабораторных и численных экспериментов установлены основные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния пород, вмещающих одиночные выработки, пройденные в сильвинитовом пласте вблизи более крепких (ангидрит-доломитовых) и более слабых (карналлитовых) пород. Устойчивость кровли горной выработки, пройденной в соленосных отложениях вблизи вышележащих более прочных ангидритовых, ангидрит-доломитовых пород, зависит от мощности пачки соляных пород, оставляемой в кровле выработки (рисунок 10). Получены зависимости для оценки размеров зон запредельного деформирования пород, формирующихся в окрестности одиночной выработки, в зависимости от положения ее поперечного сечения относительно ангидрит-доломитовых и карналлитовых отложений.



Рисунок 10 - Формирование зон запредельного деформирования в зависимости от мощности соляных пород в кровле выработки: а) 3,0 м; б) 2,0 м; в) 1,0 м; г) 0 м; – области запредельного деформирования пород

Морозов И. А., Паньков И. Л., Токсаров В. Н. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 9. – С. 36–47. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_9_0_36.

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

При высокотемпературном обжиге флотационного шлама в узком диапазоне температур и содержаний хлоридных агентов получены интерметаллидные обособления, представленные техногенной минеральной ассоциацией Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb, формирующих как отдельные фазы, так и интерметаллиды (рисунок 11).

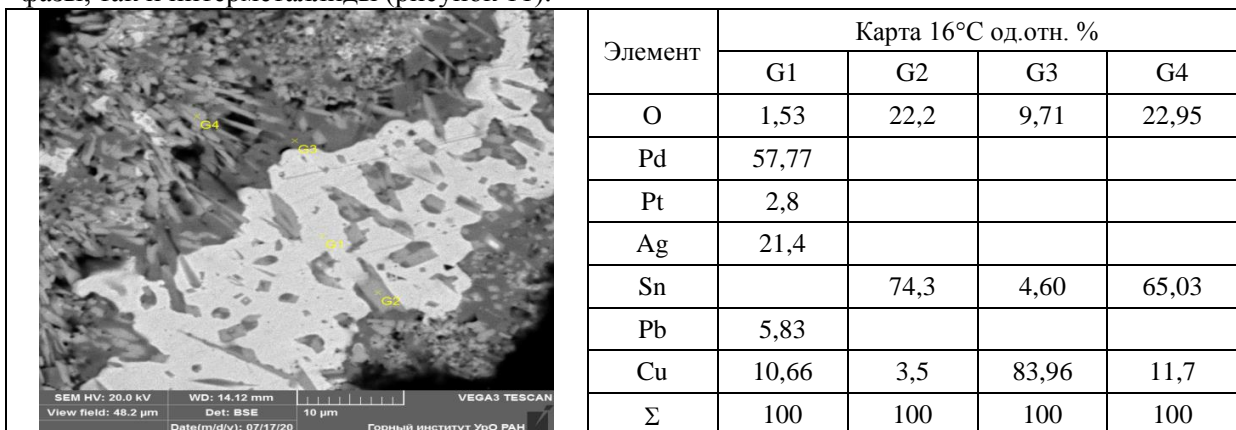


Рисунок 11 - Элементный состав фаз (по данным MPC-анализа)

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

Впервые установлены закономерности распределения газодинамических характеристик пород по геологическому разрезу IV калийного горизонта Старобинского месторождения калийных солей, дана оценка возможности развития газодинамических явлений из пород кровли и почвы горных выработок, разработаны параметры дифференцированного (избирательного) профилактического дегазационного бурения шпуров для подготовительных горных выработок, включающие перечень подготовительных выработок, в которых необходимо применять профилактическое дегазационное бурение, дегазуемые породы (кровля или почва выработок), диаметр, глубину и расстояние между дегазационными шпурами (рисунок 12). Внедрение параметров профилактического бурения дегазационных шпуров в подготовительных выработках, проходимых в породах IV калийного горизонта, опасного по газодинамическим явлениям, позволяет повысить безопасность и эффективность ведения горных работ в калийных рудниках.

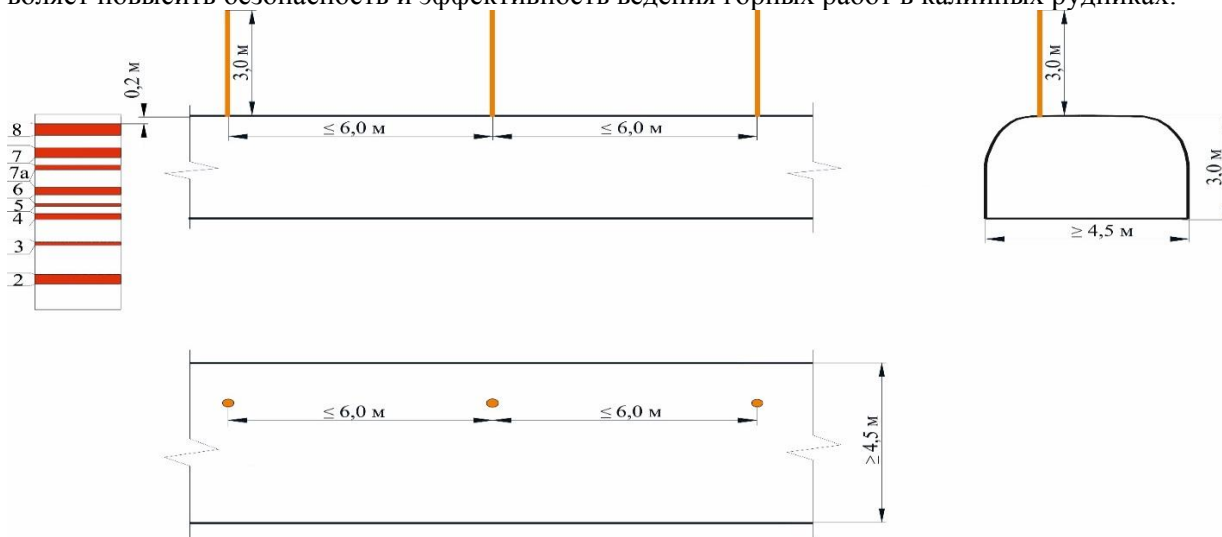


Рисунок 12 - Схема избирательного профилактического бурения дегазационных шпуров в кровлю выработки при проходке по породам IV калийного горизонта

Андрейко С.С. Газодинамическая опасность пород IV калийного горизонта на шахтном поле рудника 2 РУ и пород калийного горизонта IV-п на шахтном поле Петриковского ГОКа. // Горное эхо: научно-техническое издание. – Пермь: 2021. – № 4 (85). – С.87–95.

1.5.11.1. Гидрология и экология вод суши

Результаты экспериментальных исследований показали, что добавление в шихту железно-рудных отходов эмульсий из тяжелых нефтяных остатков приводит к формированию органо-минеральной смеси, обладающей гидрофобными свойствами. Это определяет низкую растворимость соединений сформированной смеси в воде и позволяет использовать ее для изоляции пылящих поверхностей.

Bachurin B. A., Koshkarov V. E., Nevolin D. G. Environmental impact assessment of preventive emulsion based on heavy oil residue on organic pollution of water // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. - 2021. - № 4. - С. 57–63. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-57-63

1.5.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых

Разработан и реализован алгоритм решения обратной задачи электроразведки методом дифференциальной эволюции. Данный подход позволяет реализовать концепцию многомерной оптимизации на основе стохастических методов, с использованием, малоизвестных в геофизической практике, идей генетических алгоритмов. Одним из достоинств метода является простота реализации, обусловленная единственным требованием к минимизируемому функционалу – это возможность его прямого вычисления. Другим, но не менее важным, достоинством метода является возможность избегать «застревания» в локальных минимумах при поиске решения в широком диапазоне возможных вариантов, в случае, когда функционал имеет сложный многоэкстремальный «овражный» характер.

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

В 2021 г. в ГоИ КНЦ РАН выполнялись исследования по 9 темам (в соответствии с государственным заданием, утвержденным Минобрнауки России) по следующим приоритетным фундаментальным направлениям горных наук: применение современных информационных и цифровых технологий в горном деле; разработка рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях Арктической зоны РФ; геомеханическое обеспечение безопасности ведения горных работ; комплексная переработка минерального сырья; восстановление техногенно-нарушенных объектов природной среды.

Наиболее значимые полученные результаты распределены по направлениям:

Моделирование горнотехнических систем

Сформулирована концепция цифровой трансформации горнодобывающих предприятий, включающая четыре этапа последовательного перехода от автоматизации решения отдельных задач горной технологии до формирования цифрового двойника горно-обогатительного предприятия. В основе концепции лежит способ формирования цифрового пространства, как виртуальной среды для моделирования реальных и проектируемых объектов, а также инструментов дистанционного и роботизированного управления технологическими комплексами (рисунок 1).

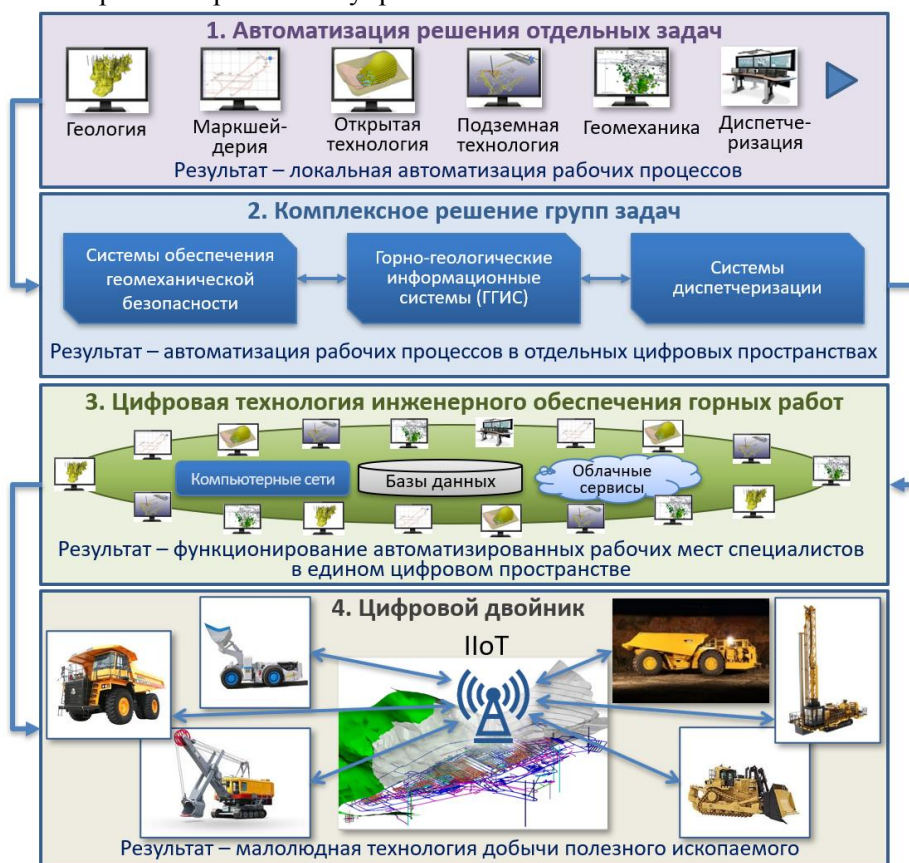


Рисунок 1- Этапы цифровой трансформации горнодобывающих предприятий

В рамках развития ГГИС MINEFRAME разработан комплекс алгоритмов и программных средств анализа и учёта особенностей вмещающего массива горных пород при размещении в нём объектов подземной геотехнологии, предназначенный для автоматизированного принятия

технологических решений в инструментах проектирования и планирования подземных горных работ. Алгоритмы комплекса основаны на анализе взаимного пространственного расположения и свойств моделей объектов горной технологии, а также их взаимного влияния друг на друга.

Геотехнология

Предложен метод инвестиционной оценки освоения месторождений, основанный на компьютерном моделировании горно-геологических условий разработки и комплексном учете климатических, экологических и инфраструктурных факторов. Метод базируется на автоматизированных многовариантных расчетах с параметрическим и сценарным моделированием, что позволяет минимизировать влияние факторов неопределенности и повысить оперативность оценки инвестиционной привлекательности перспективных рудных месторождений.

На основе компьютерного моделирования схемы вскрытия и технологии отработки запасов рудопроявления Вуоннемиок определены границы возможной зоны обрушения при ведении подземных горных работ, необходимые при формировании внешних отвалов Ньюоркпакского карьера и объектов инфраструктуры на поверхности.

Геомеханика

Созданы методологические основы многофакторной оценки устойчивости гидротехнических сооружений горнодобывающих предприятий. Оценка основана на комплексировании результатов компьютерного моделирования фильтрационно-деформационных процессов и инструментальных методов наблюдений за сооружениями: дистанционный, воздушный, наземный и подповерхностный (рисунок 2). Методология апробирована на горнодобывающих предприятиях Кольского полуострова и может быть применена в других горнодобывающих регионах РФ.

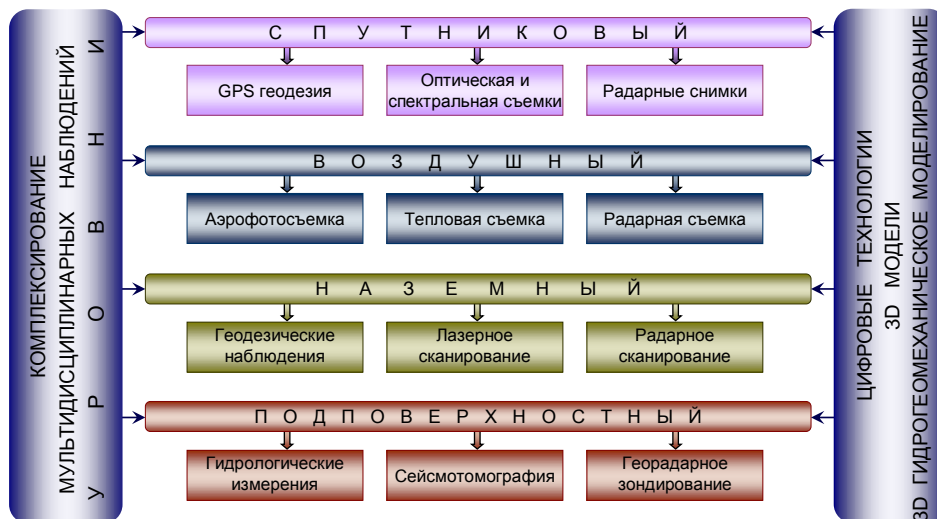


Рисунок 2 – Комплексирование мультидисциплинарных методов и способов наблюдений для многофакторной оценки устойчивости гидротехнических сооружений

На основе ретроспективного анализа данных о проявлении геодинамических явлений на удароопасных месторождениях Хибинского массива выявлен комплекс факторов, влияющих на изменение сейсмического режима и локализацию опасных зон в сложных горнотехнических системах. Разработана структурная схема и проведено ранжирование факторов с учетом времени воздействия на массив горных пород.

На основе многостадийной модели разрушения твердых тел и модифицированного концентрационного критерия предложен методический подход к выявлению особенностей сейсмического процесса при интенсивном ведении горных работ в условиях удароопасного месторождения. Отличительной особенностью предложенного подхода является учет фактора времени при выявлении кластеров сейсмических событий, что позволяет детально исследовать пространственно-временные параметры сейсмичности и определять особенности взаимодействия событий различного масштабного уровня (рисунок 3).

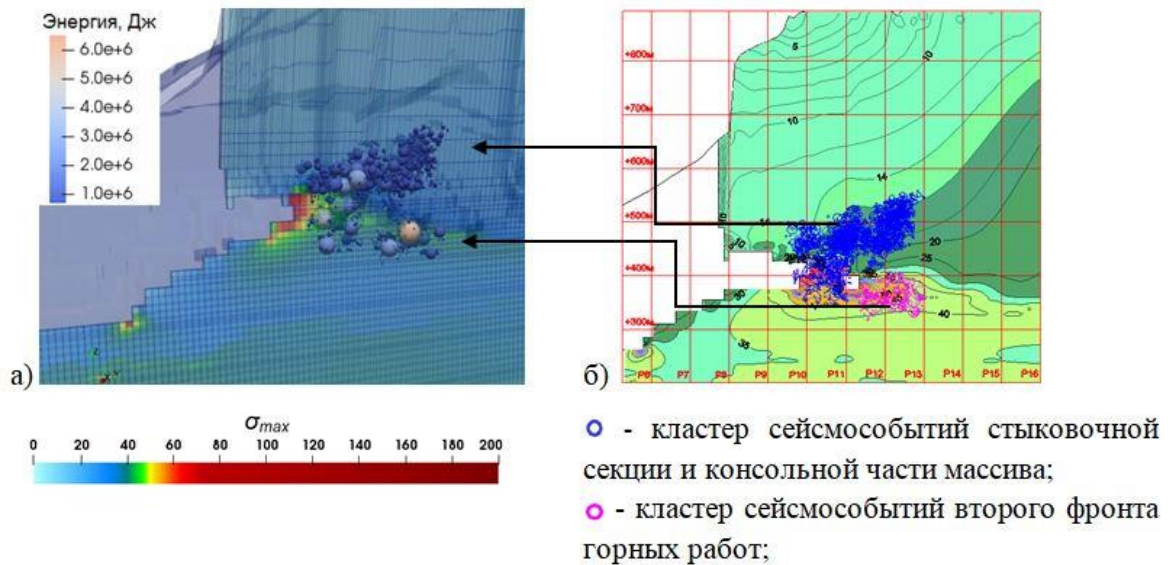


Рисунок 3 – Распределение кластеров сейсмических событий и максимальной компоненты главных напряжений σ_{max} : а) 3D-распределение сейсмических событий (масштаб пропорционален энергии события); б) проекция сейсмических событий двух кластеров

Разработана методика определения склонности скальных горных пород к разрушению в динамической форме, основанная на анализе закономерностей деформирования образцов скальных пород при одноосном сжатии до предела прочности и сопоставлении величин их накопленной фактической и расчетной идеально упругой энергии деформирования (рисунок 4).

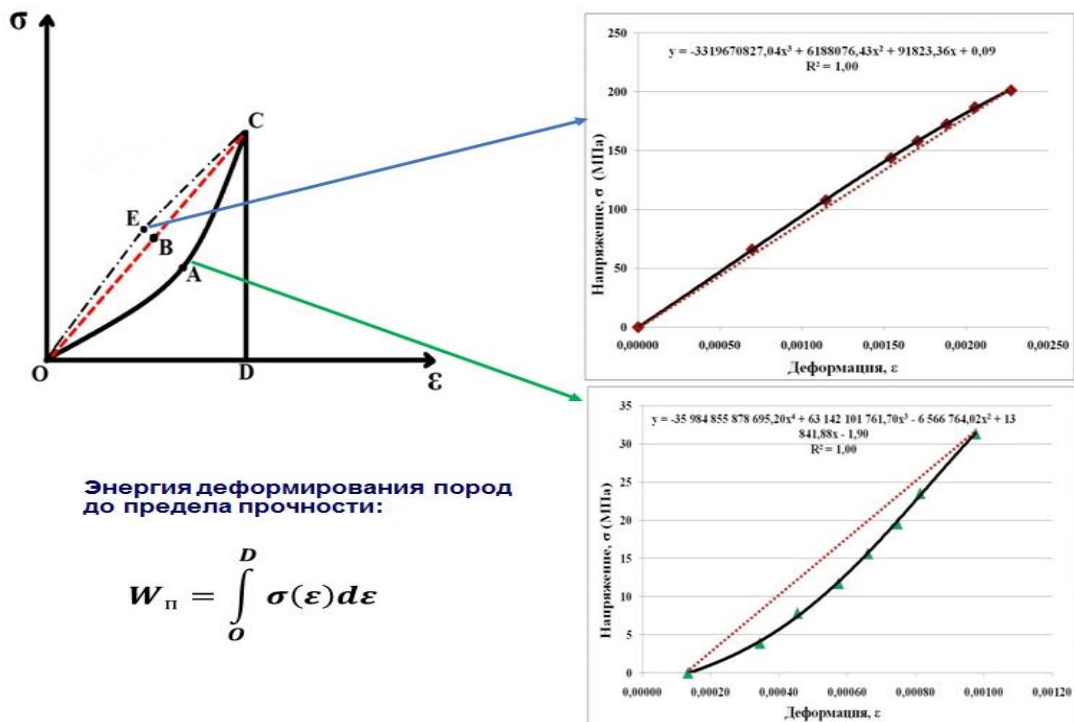


Рисунок 4 – График деформирования образца горной породы до предела прочности при одноосном сжатии: σ - нормальное напряжение; ε - относительная продольная деформация; OBC – условная линия идеально упругого деформирования; OAC - график неупругого деформирования; OEC - частный случай упругого деформирования с избытком упругой энергии; точка C – предел прочности при одноосном сжатии; точка D – величина продольной деформации, соответствующая пределу прочности при одноосном сжатии

Разработана комплексная реляционная база геомеханических и геодинамических данных (БД), включающая физико-механические свойства горных пород, результаты измерений напряжений in situ, информацию о горных ударах и других динамических проявлениях горного

давления. Структура БД обеспечивает корректность доступа, комбинированную выборку, переработку и анализ данных. Использование БД позволяет оперативно формировать блок геомеханических данных на различных масштабных уровнях (от региона, рудника и месторождения до горизонта, участка, выработки, скважины), а также визуализировать и использовать данные для прогноза, локализации и нейтрализации опасных зон в геологической среде горнотехнических систем.

На основе данных измерения напряженно-деформированного состояния массива получены детальные параметры техногенного поля напряжений месторождения Плато Расвумчорр. Выявленные параметры поля напряжений необходимы для геомеханических прогнозных расчетов при выемке прибортовых и подкарьерных запасов в высотных отметках +700м ÷ +250м, протяженностью более трех километров. Для экспертных систем прогнозной оценки НДС при размерности моделей более 15 млн. конечных элементов разработаны алгоритмы расчета тензора напряжений с использованием технологий параллельных вычислений.

Выявлены закономерности развития процесса деформирования и разрушения прибортового массива скальных пород. Установлено критическое значение скорости смещения участка борта, при котором происходит потеря его устойчивости, что является основой для определения потенциально неустойчивых участков массива. На примере карьера рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» показано, что скорость деформирования больше 2 мм/ч является критической для реализации обрушения. Выявленные закономерности процесса деформирования и разрушения прибортового массива скальных пород могут быть использованы на других рудных карьерах после адаптации к условиям конкретного месторождения.

Разработана трехмерная модификация контактного элемента на базе программного комплекса Sigma GT, позволяющая учитывать тангенциальную и нормальную жесткость на контакте моделируемых естественных и техногенных структурных неоднородностей. Реализована возможность сохранения структурированной сетки конечных элементов при интеграции в модель трехмерных контакт-элементов, что является необходимым условием внедрения прогностических моделей напряженно-деформированного состояния на горных предприятиях (рисунк 5).

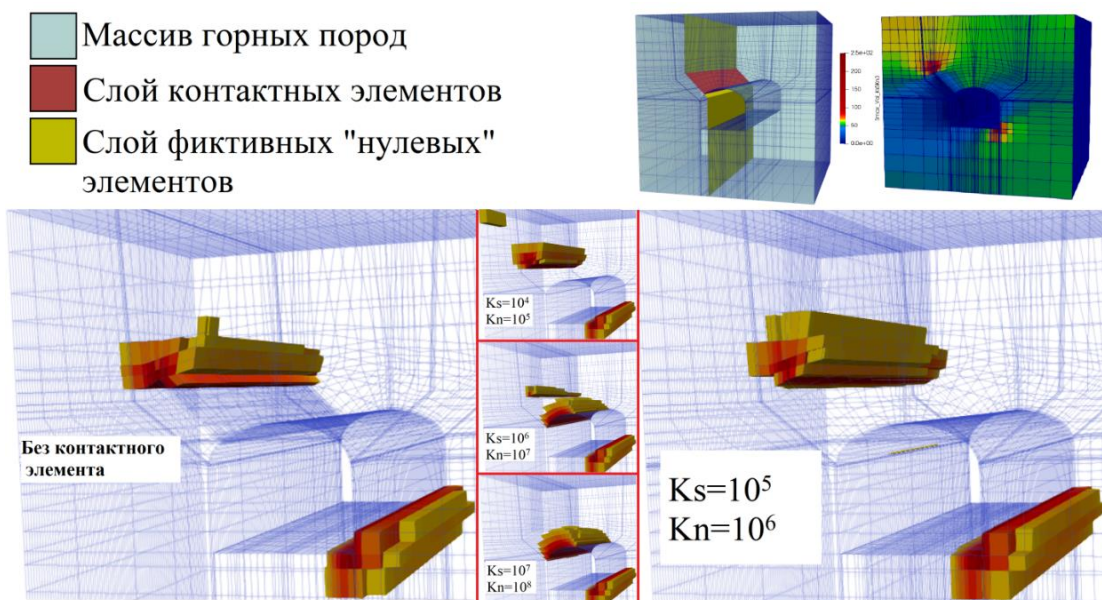


Рисунок 5 – Интеграция слоя контактных и фиктивных нулевых элементов. Распределения σ_{\max} при различных значениях жесткости контакта

На примере гидрогеомеханического моделирования паводкового заполнения хвостохранилища ГОКа «Олений ручей» выявлены закономерности перераспределения градиентов гидравлического напора, определяющие формирование депрессионной поверхности дренирующей сквозь тело ограждающей дамбы воды. Результаты моделирования позволяют делать прогнозную оценку показателя надежности для подобного рода сооружений в условиях Арктики.

Разрушение горных пород

На основе экспериментальных данных произведено ранжирование зон карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК» по степени реакции массива горных пород на взрывные воздействия. Установлено, что наибольший размер области, наведенной трещиноватости в массиве наблюдается в средней по высоте зоне карьера, что связано с двойным воздействием взрывов, производимых как на верхних, так и на нижних горизонтах карьера. Показана возможность минимизации взрывного воздействия за счет подбора оптимальных параметров буровзрывных работ и схем взрывания. Для каждой из выделенных зон получены эмпирические зависимости по оценке зон проявления наведенной трещиноватости (рисунок 6).

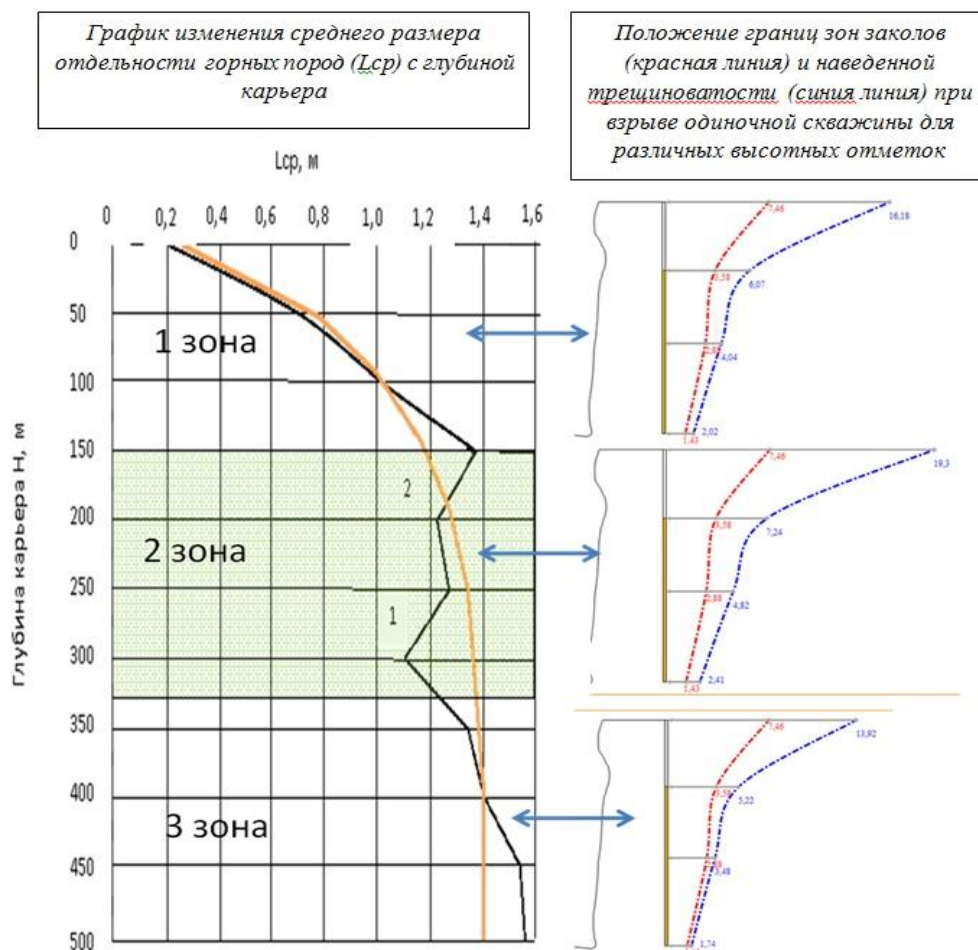


Рисунок 6 – Ранжирование зон по глубине карьера рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» по степени реакции массива горных пород на взрывные воздействия

Рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Для оценки загрязнения атмосферы карьера рудника «Железный» Ковдорского ГОКа в условиях инверсионного состояния и штиля разработана объемная газодинамическая модель, позволяющая проследить динамику образования зон концентрации вредных газов с превышением ПДК до времени полной загазованности карьера и выноса вредных примесей после завершения штилевого состояния.

Обогащение полезных ископаемых

Разработан метод оценки эффективности рудоподготовки в технологии стадийного получения высококачественного железорудного концентрата из руд различных месторождений. Показано, что выбор параметров тонкого грохочения влияет на эффективность последующего магнитно-гравитационного разделения подрешетного продукта. Установлено, что получение высококачественного концентрата при оптимальном размере ячейки грохота позволяет максимально снизить потери полезного компонента (рисунок 7).

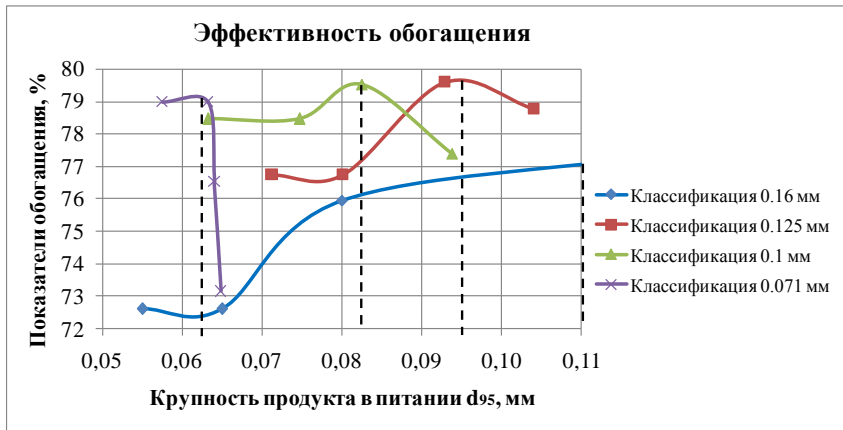


Рисунок 7– Эффективность магнитно-гравитационного обогащения при использовании классификации по зерну различной крупности

Разработана технология обогащения тонко вкрапленных железосодержащих скарновых руд, базирующаяся на реализации принципа стадийного вывода готового концентрата. На примере АО «ССГПО» разработан технологический регламент на производство железорудного концентрата для модернизации существующих мощностей комбината. Внедрение новой технологии обогащения магнетитовых руд позволит повысить качество концентрата до 67-68% железа общего и снизить себестоимость его производства на 15-20%.

Разработана комбинированная технология обогащения складированных хвостов железных руд, учитывающая особенности их вещественного состава. Технология реализована в проектно-технической документации на строительство обогатительного комплекса на АО «Олкон» с переработкой до 1 млн. тонн хвостов в год (рисунок 8).

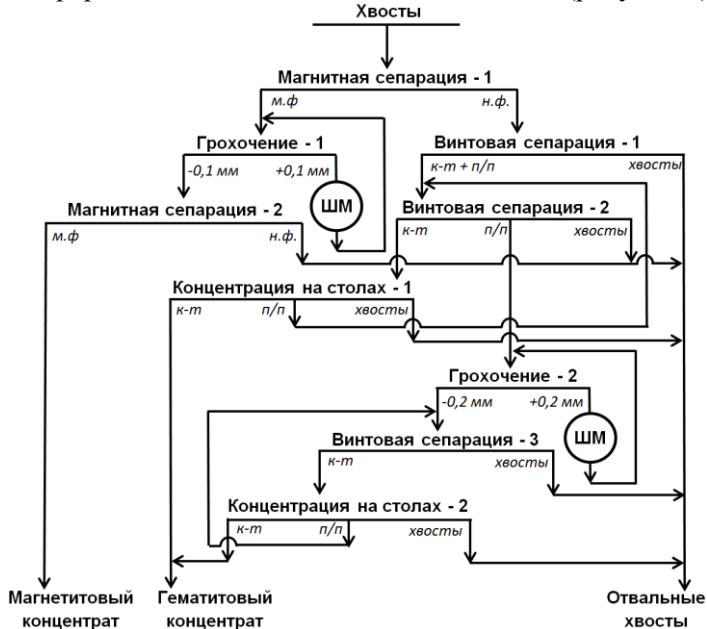


Рисунок 8 – Магнитно-гравитационная схема получения железорудного концентрата из складированного материала хвостохранилища

Разработаны новые бифункциональные реагенты-собиратели из класса азотсодержащих монопроизводных алкенилянтарной кислоты, использование которых в составе собирательной смеси при флотации труднообогатимой сульфидной медно-никелевой руды обеспечивает повышение содержания никеля в концентрате на 0,2-0,7%, прирост извлечения цветных металлов на 1,4-3,7% в готовый медно-никелевый концентрат и снижение содержания никеля в хвостах флотации.

Усовершенствован реагентный режим апатитовой флотации труднообогатимых гипергенно измененных апатит-нефелиновых руд, заключающийся в использовании композиционного собирателя, состоящего из двухкомпонентной смеси селективных реагентов и собирательной смеси КФ АО «Апатит». При моделировании условий непрерывного процесса флотации на обогатительных фабриках КФ АО «Апатит» применение композиционного

собиранья при невысоком его расходе обеспечивает получение кондиционных апатитовых концентратов при существенном повышении извлечения фторapatита по сравнению с используемой собирательной смесью.

Разработана двухбарабанная конструкция магнитного сепаратора, включающая две стадии сепарации кускового материала, каждой из которых соответствует свой режим разделения, позволяющий выводить после первой стадии сепарации сильно магнитные куски, а на второй - доизвлекать кондиционные куски с меньшими магнитными свойствами. Схема, испытанная на руде Оленегорского ГОКа, обеспечивает повышение содержания железа в магнитной фракции в 1.4 раза.

Разработана имитационная модель межциклового флотации тонковкрапленных медно-никелевых руд, учитывающая распределение продуктов измельчения по крупности и содержанию полезного компонента и прогнозирующая технологические показатели флотации с погрешностью не более 5% (рисунок 9).

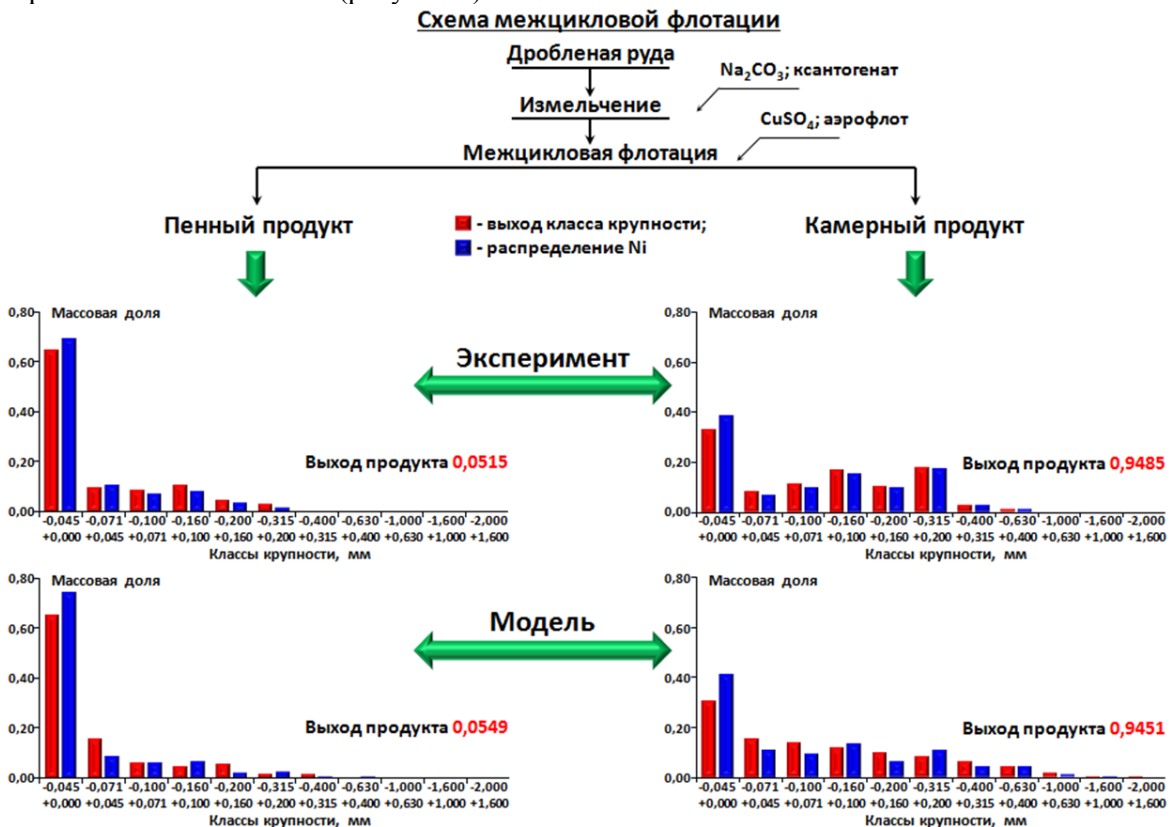


Рисунок 9 – Верификация модели по результатам лабораторных экспериментов

Горная экология

В развитие методологии комплексного мониторинга восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, определена продуктивность фотосинтеза, свидетельствующая о восстановлении экологических функций территории. Разработан методический подход к корректировке спутниковых данных, позволяющий уменьшить погрешность определения вегетационного индекса и увеличить информационную составляющую спутниковых данных для оценки динамики восстановления природных экосистем.

Обоснована перспективность применения отходов переработки руд для кондиционирования сточных вод горнодобывающих предприятий. На примере разрабатываемых месторождений Кольского горнопромышленного комплекса теоретически и экспериментально исследованы взаимодействия в системах минерал-вода и минерал-вода-минерал. Показано, что с учетом кинетики агрегации частиц минералов в качестве технологического решения целесообразна фильтрация сточных вод с использованием тонкодисперсных отходов переработки железных и нефелинсодержащих руд.

2.11. ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА - ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

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

Для горных предприятий АЗРФ разработаны инновационные технологии охраны окружающей среды, направленные на снижение аэротехногенных выбросов, очистку сточных (шахтных) вод, переработку хвостов обогащения как техногенных месторождений, восстановление нарушенных, загрязненных нефтепродуктами экосистем. Технологии позволяют минимизировать техногенные воздействия на окружающую среду и увеличить комплексность использования минерального сырья. Обоснована целесообразность использования концепции «зеленого роста» для разработки политики экономического развития в Арктике. (ИППЭС КНЦ РАН, ИХТРЭМС КНЦ РАН, ГИ КНЦ РАН, Гои КНЦ РАН, ЛПТ и ТБ Арктики ФИЦ КНЦ РАН, ПАБСИ КНЦ РАН; д.т.н. Макаров Д.В., д.т.н. Маслобоев В.А., к.б.н. Мязин В.А., к.т.н. Фокина Н.В., к.б.н. Корнейкова М.В., Редькина В.В., д.б.н. Иванова Л.А., к.т.н. Амосов П.В., к.б.н. Горбачева Т.Т., к.э.н. Ключникова Е.М., к.т.н. Манаква Н.К., к.т.н. Митрофанова Г.В., к.г.-м.н. Припачкин П.В., к.г.-м.н. Селиванова Е.А., к.т.н. Светлов А.В., к.т.н. Суворова О.В., Горячев А.А., Красавцева Е.А., Латюк Е.С., Максимова В.В., Чапоргина А.А., Черноусенко Е.В., Сошина А.С.)

Результат получен в рамках выполнения государственных заданий по темам НИР «РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА» (№ АААА-А18-118021490072-9), «ДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ФУНКЦИЙ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ СУБАРКТИКИ В УСЛОВИЯХ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ» (№ АААА-А18-118021490070-5).

АННОТАЦИЯ

Мурманская область является регионом с крупнейшими предприятиями горнопромышленного комплекса Российской Федерации: КФ АО «Апатит», АО «Кольская ГМК», АО «Олконт», АО «Ковдорский ГОК», АО «Северо-Западная Фосфорная Компания», ООО «Ловозерский ГОК». Деятельность предприятий оказывает серьезное негативное воздействие на окружающую среду. Вопросы экологической безопасности при добыче и переработке полезных ископаемых, хранении горнопромышленных отходов в условиях АЗРФ имеют особую актуальность. Предложены новые технологические решения для горных предприятий Мурманской области, направленные на снижение аэротехногенных выбросов, очистку сточных шахтных и карьерных вод, переработку некондиционных руд и хвостов обогащения как техногенных месторождений, получение строительных материалов из отходов. Разработана технология эффективной доочистки сточных вод путем преобразования техногенных водоемов-отстойников в функционирующие природоподобные болотные биосистемы с помощью фитомодулей. Разработана и апробирована комплексная биотехнология очистки нефтезагрязненных побережий арктических морей, включающая сорбционную очистку и биоремедиацию. Применение биопрепаратов с аборигенными углеводородокисляющими микроорганизмами, адаптированными к экстремальным климатическим условиям Кольской Субарктики, позволяет проводить высокоэффективную очистку и исключает возможность необратимых изменений структуры естественных микробоценозов.

Сведения об опубликовании:

1. Амосов П.В., Бакланов А.А., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Прогноз загрязнения атмосферы при случайном выборе дискретных пылящих участков на базе численного моделирования. // Известия вузов. Горный журнал. - 2021. - № 5. - С. 63-74. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-63-74.

2. Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В., Максимова В.В. Биотестирование полимерных реагентов для пылеподавления поверхности хвостохранилищ нефелиновых песков. // Обогащение руд. - 2019. - № 5. - С. 52-56. DOI: 10.17580/or.2019.05.10.
3. Иванова Л.А., Мязин В.А., Корнейкова М.В., Фокина Н.В., Евдокимова Г.А., Редькина В.В. Пора очищать Арктику. Создание фитоочистной системы для доочистки сточных вод горнорудных предприятий от минеральных соединений азота. // Апатиты: Изд. ФИЦ КНЦ РАН. - 2021. - 88 с.
4. Маслобоев В.А., Макаров Д.В., Ключникова Е.М. Устойчивое развитие горнопромышленного комплекса Мурманской области: минимизация техногенных воздействий на окружающую среду. // Устойчивое развитие горных территорий. - 2021. - № 2. - Т. 13. - С. 188-200. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-188-200.
5. Светлов А.В., Миненко В.Г., Самусев А.Л., Салахов Е.М. Очистка шахтных вод рудника «Северный» АО «Кольская ГМК» методом электрохимической коагуляции. // Цветные металлы. - 2019. - № 11. - С. 52-56. DOI: 10.17580/tsm.2019.11.06.
6. Суворова О.В., Макаров Д.В., Маслобоев В.А., Курбатов Е.А. Возможности использования хвостов обогащения АО «Кольская ГМК». // Цветные металлы. - 2019. - № 11. - С. 57-60. DOI: 10.17580/tsm.2019.11.07.
7. Goryachev A.A., Chernousenko E.V., Potapov S.S., Tsvetov N.S., Makarov D.V. A Study of the feasibility of using ammonium sulfate in copper–nickel ore processing. // *Metals*. 2021. Vol. 11. P. 422. DOI: 10.3390/met11030422.
8. Ivanova L.A., Gorbacheva T.T., Makarov D.V., Romyantseva A.V. Some aspects of physicochemical and biological methods for the conservation of apatite-nepheline tailings in the Far North. // *Power Technology and Engineering*. 2019. Vol. 53. No. 1. P. 47-50. DOI: 10.1007/s10749-019-01033-9.
9. Korneykova M.V., Myazin V.A., Ivanova L.A., Fokina N.V., Redkina V.V. Development and optimization of biological treatment of quarry waters from mineral nitrogen in the Subarctic. // *Geography, Environment, Sustainability*. - 2019. - Vol. 12. - № 2. - P. 97-105. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-5>.
10. Krasavtseva E., Maksimova V., Makarov D., Potorochin E. Modelling of the chemical halo of dust pollution migration in loparite ore tailings storage facilities. // *Minerals*. - 2021. - Vol.11. - P. 1077. DOI: 10.3390/min11101077.
11. Krasavtseva E.A., Makarov D.V., Maksimova V.V., Selivanova E.A., Ikkonen P.V. Studies of properties and composition of loparite ore mill tailings. // *Journal of Mining Science*. - 2021. - Vol. 57. - No. 3. - P. 531-538. DOI: 10.1134/S1062739121040165.
12. Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Makarov D.V. Conditions affecting the release of heavy and rare earth metals from the mine tailings Kola Subarctic. // *Toxics*. - 2021. - Vol. 9.- P. 163. DOI: 10.3390/toxics9070163.
13. Makarov D.V., Konina O.T., Goryachev A.A. Dusting suppression at tailings storage facilities. // *Journal of Mining Science*. - 2021. - Vol. 57. - No. 4. - P. 681–688. DOI: 10.1134/S1062739121040165.
14. Manakova N.K., Suvorova O.V., Makarov D.V. Influence of mineral additives on the structure and properties of heat-insulating materials based on silica-containing raw material. // *Glass and Ceramics*. - 2021. - Vol. 78. - No. 7-8. - P. 328-332. DOI: 10.1007/s10717-021-00404-x.
15. Masloboev V.A., Seleznev S.G., Svetlov A.V., Makarov D.V. Hydrometallurgical processing of low-grade sulfide ore and mine waste in the Arctic regions: perspectives and challenges. // *Minerals*. - 2018. - Vol. 8. - P. 436. DOI: 10.3390/min8100436.
16. Masloboev V.A., Svetlov A.V., Konina O.T., Mitrofanova G.V., Turtanov A.V., Makarov D.V. Selection of binding agents for dust prevention at tailings ponds at apatite–nepheline ore processing plants. // *Journal of Mining Science*. - 2018. - Vol. 54. - No. 2. - P. 329–338.
17. Myazin V.A., Korneykova M.V., Chaporgina A.A., Fokina N.V., Vasilyeva G.K. The effectiveness of biostimulation, bioaugmentation and sorption-biological treatment of soil contaminated with petroleum products in the Russian Subarctic. // *Microorganisms*. - 2021. - № 9. - P. 1722. DOI: 10.3390/microorganisms9081722.

18. Nevskaya M., Seleznev S., Masloboev V., Klyuchnikova E., Makarov D. Involving small and medium-sized mining industry businesses in mining waste processing in the Russian Federation. // *Mineral Economics*. - 2021. - Vol. 34. - P. 81–86. DOI: 10.1007/s13563-020-00222-7.
19. Nevskaya M.A., Seleznev S.G., Masloboev V.A., Klyuchnikova E.M., Makarov D.V. Environmental and business challenges presented by mining and mineral processing waste in the Russian Federation. // *Minerals*. - 2019. - Vol. 9. - P. 445. DOI: 10.3390/min907044.
20. Suvorova O.V., Manakova N.K., Makarov D.V. Use of bulk industrial wastes in the production of glass foam materials. // *Glass and Ceramics*. - 2021. - Vol. 77. - Nos. 9–10. P. 384–389. DOI: 10.1007/s10717-021-00312-0.
21. Suvorova O.V., Selivanova E.A., Mikhailova J.A., Masloboev V.A., Makarov D.V. Ceramic products from mining and metallurgical waste. // *Applied Sciences*. - 2020. - Vol. 10.- No 10. - P. 3515. DOI: 10.3390/app10103515.
22. Svetlov A.V., Pripachkin P.V., Masloboev V.A., Makarov D.V. Classification of low-grade copper–nickel ore and mining waste by ecological hazard and hydrometallurgical processability // *Journal of Mining Science*. - 2020. - Vol. 56. - No. 2. - P. 275–282. DOI: 10.1134/S1062739120026757.
23. Yanishevskaya E., Fokina N., Selivanova E., Kompanchenko A., Makarov D., Goryachev A. Processing of sulfide copper-nickel ores from the deposits in Murmansk Region by heap leaching. // *Minerals*. - 2021. - Vol. 11. - P. 820. DOI: 10.3390/min11080820.
24. Патент РФ № 2656451, МПК В01J 20/32 (2006.01). Способ получения органоминерального сорбента цветных металлов на основе отходов обогащения руд. / Баюрова Ю.Л., Макаров Д.В., Котельников В.А., Маслобоев В.А. Опубликовано 05.06.2018. Бюл. № 16.
25. Патент РФ № 189759U1, МПК С02F 3/32 (2006.01). Модуль фитосистемы для биологической очистки промышленных сточных вод от минеральных загрязнителей. / Иванова Л.А., Корнейкова М.В., Мязин В.А., Фокина Н.В., Редькина В.В., Евдокимова Г.А. Опубликовано 03.06.2019.
26. Патент РФ № 2754747, МПК С04В 33/132 (2006.01), С04В 18/30 (2006.01). Керамическая масса для получения клинкерного кирпича. / Макаров Д.В., Суворова О.В., Маслобоев В.А., Селиванова Е.А., Плетнева В.Е. Опубликовано 07.09.2021. Бюл. № 25.

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

Впервые выполнена геоэкологическая оценка влияния хранилища хвостов обогащения лопаритовых руд на компоненты окружающей среды и предложены технологические решения по снижению негативного воздействия отходов. (ИППЭС КНЦ РАН, Лаборатории природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики ФИЦ КНЦ РАН, 1.5.7.3.)

АННОТАЦИЯ

Изучены инженерно-геологические характеристики и вещественный состав хвостов обогащения «Ловозерский ГОК». Установлено, что хвосты склонны к пылению в условиях сухой ветренной погоды. Выявлена неоднородность содержания ценных компонентов, обогащение тонкодисперсного материала хвостов тяжелыми металлами (ТМ) и редкоземельными элементами (РЗЭ). Содержание лопарита в хвостах составляет 0,64-0,98%. С учетом количества накопленных отходов хвостохранилища можно рассматривать как техногенное месторождение. На основании радионуклидного анализа установлен радиевоториевый характер радиоактивности.

С использованием программного комплекса «Селектор» выполнено термодинамическое моделирование гипергенных процессов в хвостах обогащения лопаритовых руд. Выявлены основные формы миграции РЗЭ: лантана и церия (рисунок 1).

Исследованы возможные варианты мобилизации экологически опасных элементов, происходящие при хранении и пылении хвостов. Установлено, что переход РЗЭ, как и ТМ в растворенную биодоступную форму происходит интенсивнее при снижении pH и увеличении

содержания растворенного органического вещества и температуры. Результаты проведенных экспериментов, моделирующих взаимодействие хвостов с атмосферными осадками, попадание минеральных частиц в почву в результате пыления и переход экологически опасных элементов в подвижные формы, свидетельствуют о потенциальной экологической опасности хвостов обогащения лопаритовых руд.

Проведенная оценка химического загрязнения компонентов окружающей среды выявила повышенные содержания ТМ (Sr, Zn, Mn) и РЗЭ легкой группы в донных отложениях (ДО) оз. Ильма, проб почв и растений, отобранных в импактной зоне. Содержание РЗЭ в ДО оз. Ильма превышает средние содержания элементов не только в земной коре и ДО пресноводных экосистем, но и в ДО оз. Имандра, ранее охарактеризованного как загрязненное РЗЭ.

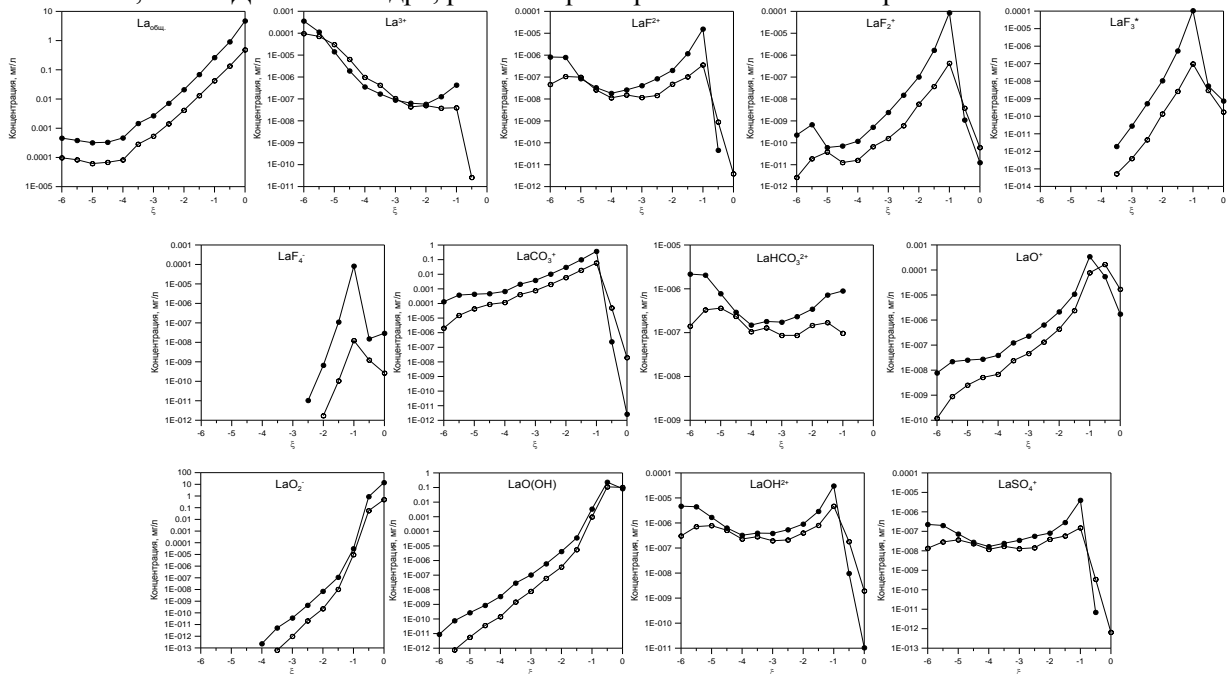


Рисунок 1 – Изменение концентрации растворенных форм лантана в растворе в зависимости от степени взаимодействия ξ и количества воды в системе 0.05 (белые значки) и 0.01 л (черные значки)

На основе расчета суммарного показателя загрязнения (СПЗ) для большей части отобранных проб грунтов установлена допустимая категория загрязнения ТМ, однако некоторые пробы могут быть отнесены к умеренно опасной категории (рисунок 2). Рассчитанное значение Zc для РЗЭ легкой группы в ряде точек отбора проб доходит до 65.7 (опасная категория загрязнения).

Анализ отобранных проб растений и сопоставление содержаний некоторых элементов со среднеевропейскими значениями для ивы и луговика позволили установить накопление Al, Th, U, V, Zr, Zn, Sr по сравнению с условно «фоновыми» европейскими территориями их произрастания. Обнаружено многократное превышение содержания РЗЭ легкой группы в пробах луговика. – от 230 до 320 единиц. Отмечена аномальная аккумуляция цинка видами ивы, что позволило отнести эти породы к группе биологического накопления элемента. Наиболее высокая степень аккумуляции цинка установлена для ивы лопарской *S. lapponum* с коэффициентом биологического поглощения 4.31.

Повышенные содержания ТМ и РЗЭ в точках отбора проб, совпадающих с «розой ветров», позволяют предположить, что основной причиной загрязнения является пыление незакрепленных поверхностей хвостохранилищ.

В качестве мер, предлагаемых для снижения негативного воздействия хвостохранилищ на окружающую среду, опробованы:

1. Использование связующего реагента для образования полимерного покрытия с целью пылеподавления пылящих участков действующего хвостохранилища.

2. Применение осадков сточных вод и их композиций с кремнистыми природными материалами для мелиорации выведенного из эксплуатации поля хвостохранилища. (Научный руководитель: д.т.н. Макаров Д.В., тел. (81555)-6-10-93; отв. исполнители: д.г.-м.н. Мазухина С.И., м.н.с. Красавцева Е.А., м.н.с. Максимова В.В.)

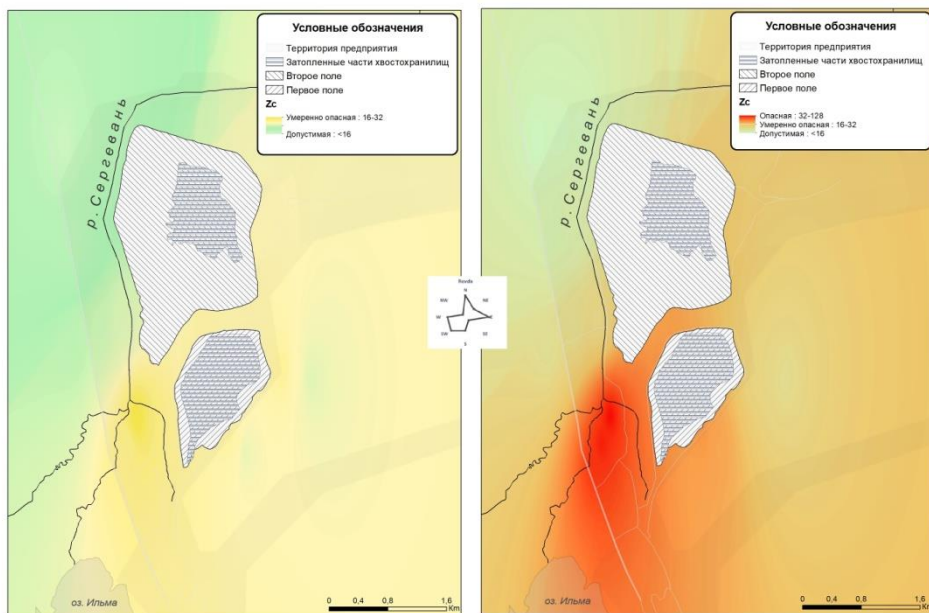


Рисунок 2 – Схемы ореолов загрязнения проб грунтов на основе расчета Z_c (слева – ТМ, справа – РЗЭ)

Сведения об опубликовании:

1. Красавцева Е.А., Макаров Д.В., Максимова В.В., Селиванова Е.А., Икконен П.В. Результаты исследований свойств и состава хвостов обогащения лопаритовых руд. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2021. - № 3. - Т. 57. - С. 190-198. DOI: 10.15372/FTPRPI2021031. (РИНЦ, ВАК, RSCI)
2. Красавцева Е.А., Максимова В.В., Маслобоев В.А., Макаров Д.В., Горбачева Т.Т. Моделирование взаимодействия тонкой фракции хвостов обогащения лопаритовых руд с почвенными водами. // Экология и промышленность России. - 2021. - № 4. - Т. 25. - С. 28-33. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-4-28-33. (РИНЦ, ВАК, RSCI)
3. Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Makarov D.V. Conditions affecting the release of heavy and rare earth metals from the mine tailings Kola Subarctic. // Toxics. - 2021. - V. 9. 163. <https://doi.org/10.3390/toxics9070163>. (WoS Q2, Scopus)
4. Mazukhina S., Krasavtseva E., Makarov D., Maksimova V. Thermodynamic modeling of hypergene processes in loparite ore concentration tailings. // Minerals. - 2021. - V. 11. 996. <https://doi.org/10.3390/min11090996>. (WoS Q2, Scopus)
5. Krasavtseva E., Maksimova V., Makarov D., Potorochin E. Modelling of the chemical halo of dust pollution migration in loparite ore tailings storage facilities. // Minerals. - 2021. - V. 11. 1077. <https://doi.org/10.3390/min11101077>. (WoS Q2, Scopus)

1.5.7.4. Изучение и моделирование горно-технических систем и процессов техногенного преобразования недр

Методом трехмерного численного моделирования выполнена оценка загрязнения атмосферы г. Апатиты (Мурманская область) в терминах концентрации пыли срединного диаметра (35 мкм) при пылении хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд. Получено обобщенное аналитическое выражение, позволяющее прогнозировать концентрацию пыли в центре города, как функцию площади пыления и скорости ветра. Предложено аналитическое выражение для оценки критической площади пыления, при которой уровень загрязнения атмосферы достигает ПДК при вариации скорости ветрового потока. (ИППЭС КНЦ РАН, 1.5.7.4.)

АННОТАЦИЯ

Применен подход дискретного расположения пылящих участков (рисунок 3) и их случайного выбора. Полное количество расчетов переноса пыли в терминах срединного диаметра составит 200. Указанное количество испытаний сгенерировано в предположении равномерного распределения случайных чисел, как в диапазоне площади пыления (от 2 до 10 га), так и в нумерации участков пыления (от 1 до 20). Помимо вариации скорости ветрового потока от 5 до 23 м/с в исследовании принято во внимание изменение площади пыления от 2 до 10 га по всей поверхности пляжа объекта.

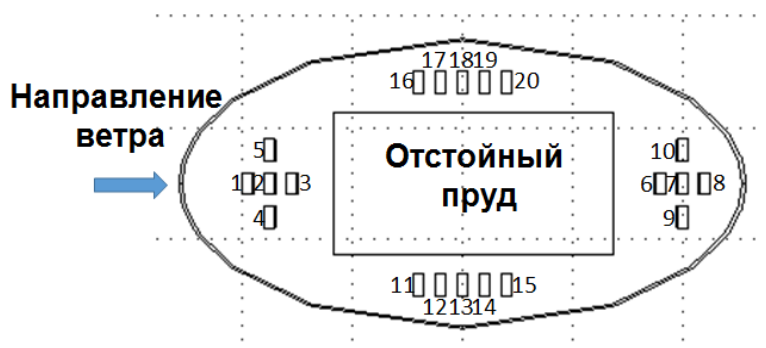


Рисунок 3 – Схематичное расположение на территории хвостохранилища участков 1-20 пылящей поверхности

Для оценки вертикального потока массы использована зависимость Westphal D.L. et al., которая базируется на функциональной зависимости от динамической скорости в четвертой степени.

Обобщенное аналитическое выражение, позволяющее прогнозировать концентрацию пыли в центре города, как функцию площади пыления S (га) и скорости ветра V (м/с) имеет вид $C_m = 10^{-12} \cdot (7,6796 \cdot S - 2,6126) \cdot V^{3,0041}$. Анализ прогнозных значений уровней концентрации пыли в рассмотренном диапазоне параметров модели свидетельствует:

- кривые пространственного распределения загрязнения не имеют ярко выраженных максимумов (рис. 4) по причине осреднения по числу испытаний;
- для скорости ветра 5 и 11 м/с превышений уровня ПДК ($3 \cdot 10^{-7}$ кг/м³) не прогнозируется;
- для скорости ветра 17 м/с при площади пыления более 8 га прогнозируются превышения ПДК;
- для скорости ветра 23 м/с лишь минимальная площадь пыления 2 га не вызывает превышения ПДК, при больших площадях пыления для всего города прогноз негативный.

На базе предложенного аналитического выражения $S_{crit} = 34097 \cdot V^{-2,937}$, выполнен прогноз критической площади пыления, при которой уровень загрязнения атмосферы достигает ПДК при вариации скорости ветрового потока (рисунок 5). (Научный руководитель: д.т.н. Маслобоев В.А., тел. (81555)-79-323; отв. исполнители: д.т.н. Макаров Д.В., к.т.н. Амосов П.В.)

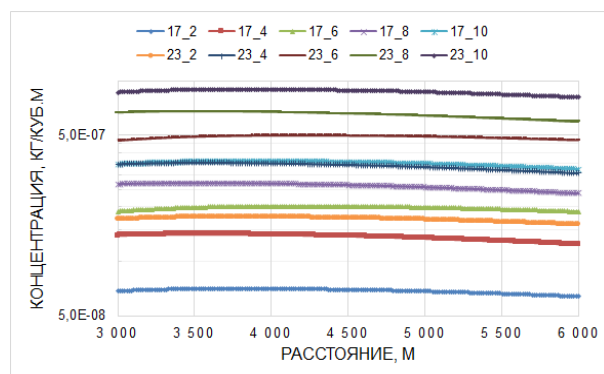


Рисунок 4 – Пространственное распределение осредненной по количеству испытаний концентрации пыли в поперечном к направлению ветрового потока измерении при вариации площади пылящей поверхности и скорости ветрового потока 17 и 23 м/с

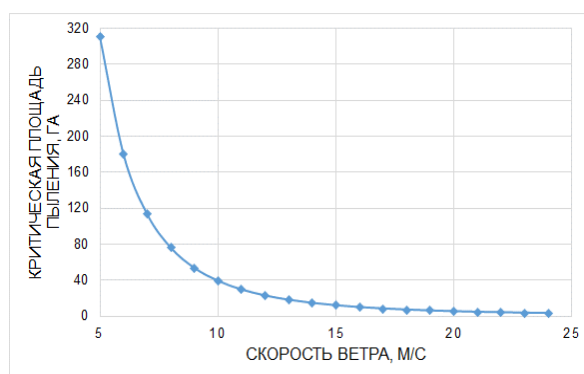


Рисунок 5 – Критические площади пыления в зависимости от скорости ветрового потока

Сведения об опубликовании:

Амосов П.В., Бакланов А.А., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Прогноз загрязнения атмосферы при случайном выборе дискретных пылящих участков на базе численного моделирования. // Известия вузов. Горный журнал. - 2021. - № 5. - С. 63–74. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-63-74. (РИНЦ, ВАК)

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

Потенциальный энергетический источник

Истощение запасов газа и нефти побуждает искать альтернативные источники углеводородов. Наиболее перспективными из них признаны месторождения газовых гидратов, в которых природный газ находится в виде твердого соединения с водой. Это своего рода «горючий лед», в котором молекулы метана надежно «упакованы» в ажурные, ледяные клетки из молекул воды. Энергетический потенциал газогидратов на Земле, по мнению многих исследователей как в России, так и за рубежом, превышает потенциал всех прочих (нефть, газ, уголь) горючих ископаемых вместе взятых.

Газовые гидраты широко распространены на земном шаре. Они подразделяются на субаквальные (озера, моря, океаны) и континентальные (область развития многолетнемерзлых пород или криолитозона).

Основные ресурсы газогидратов приурочены к акваториям Мирового океана, на долю которых приходится до 98% запасов. В зоне же развития многолетнемерзлых пород (арктическая часть суши) ресурсная база газогидратов достигает лишь 2%.

Приоритет в открытии природных газогидратов принадлежит отечественным ученым (Стрижов И.Н., Мохнаткин М.П., Черский Н.В., Макогон Ю.Ф.).

В ряде стран (США, Канада, Япония, Южная Корея, Китай, Индия, Малайзия) приняты и реализуются национальные газогидратные программы. В странах Европы (Великобритания, Норвегия, Германия, Болгария, Италия, Франция и др.) созданы исследовательские центры по газогидратной тематике.

В соответствии с Государственной программой «Воспроизводство и использование природных ресурсов до 2020 г.» освоение газовых гидратов в России предполагается начать в 2020 г.

Объемы традиционного газа в России настолько велики, а технологические установки по его добыче и транспорту настолько сложны и капиталоемки, что какой-либо реальной конкуренции в качестве энергоносителя нетрадиционный (в том числе и газогидратный) газ традиционному в России в ближайшей перспективе составить не сможет.

Технологические разработки по добыче газогидратов ведутся в ряде стран. Основной подход к их разработке заключается в разложении газогидратов в условиях пласта с последующим отбором газа

Основными методами разработки газогидратных залежей являются:

- метод снижения пластового давления (депресссионный, или разгерметизации);
- термический, или тепловой;
- комбинированный;
- метод закачки ингибиторов;
- химической инъекции (технология замещения CO_2 и N_2).

Экспериментальные и опытные работы по извлечению газогидратов проводятся в ряде стран, но они ограничиваются небольшими объемами и высокой стоимостью работ, несопоставимой с добычей традиционного природного газа.

В некоторых странах (Япония, Южная Корея и др.) импорт энергетического сырья превышает 98% и число стран-импортеров будет возрастать. В такой ситуации энергетическая проблема будет решаться за счет вовлечения в промышленное освоение нетрадиционных источников углеводородного сырья и, в частности, газовых гидратов (метаногидратов). В гонке за новым источником энергии лидерство сейчас принадлежит Японии. Вслед за ней находятся США, Канада, Южная Корея и Китай.

В Японии в 2013 г. объявлено о начале полномасштабных работ по оценке потенциала залежей кристаллогидратов в Японском море. В районе впадины Нанкай к югу от полуострова Ацуми проведены успешные испытания скважины по добыче метана из гидратных залежей с глубины 300 м под морским дном (на глубине моря 1 км). По мнению ряда специалистов, этот опыт доказал потенциальное коммерческое значение разработки морских запасов метаногидратов. Запасов впадины Нанкай Японии хватит, по самой консервативной оценке, как минимум на сто лет.

Однако кроме технологических проблем, с газогидратами связаны серьезные экологические риски.

Они крайне чувствительны к изменениям внешних параметров среды. Небольшие изменения температуры или давления могут привести к превращению сцементированных гидратосодержащих пород в разжиженную массу, к освобождению огромного количества газа (метана), и поступлению его в атмосферу.

Наиболее проблематичный вопрос сегодня – глобальное потепление Земли, вызванное усилением парникового эффекта, а удельное поглощение метаном теплового излучения Земли гораздо выше, чем у диоксида углерода. Наибольшую опасность представляют газогидраты, находящиеся сейчас в метастабильном состоянии в зонах вечной мерзлоты. Особенно подвержены изменению климата газогидраты континентальных арктических шельфов.

К возможным осложнениям, связанным с проведением инженерно-технологических работ на шельфе в зоне развития газовых гидратов, можно отнести:

- подводные оползни; и, как следствие, повреждение подводных трубопроводов, помехи в работе нефтяных и газовых платформ, возникновение цунами;
- газовые выбросы.

В настоящее время наблюдается переход к «зеленой технологии» с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ): гидроэлектростанции, ветровые электростанции, солнечные батареи и др. Ведется разговор о водородной энергетике. Но, тем не менее, забывать о практически неисчерпаемых источниках энергии в виде газогидратов забывать нельзя, поскольку для ряда стран это может оказаться одним из основных внутренних энергетических источников.

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

1. Изучена зависимость состава и закономерностей распределения потенциальных продуктов химической переработки угля Сергеевского месторождения от его геохимических характеристик.

Показано, что главными компонентами органического вещества (ОВ) сергеевского бурого угля являются битумы (горный воск) и гуминовые вещества – ценное химическое сырье природного происхождения. Установлено, что в зависимости от типа ОВ и концентрации в нем горного воска месторождение представлено двумя основными пласта. Верхний пласт террагенного генезиса содержит максимальное количество битумов (15%). В их составе преобладает восковая фракция (около 60%), доля смол достигает 40%. Переход к органическому веществу смешанного типа (нижний пласт месторождения) сопровождается уменьшением концентрации битумов до 9% и относительного содержания в них восков (41%). Минимальное количество сырого горного воска (менее 4%) приходится на небольшой пласт угля (0.5 м) аквагенного генезиса. Установлено, что содержание гуминовых кислот (70% на ОВ) мало зависит от глубины залегания угля, но связано с условиями угленакопления. Методами ИК- и ЯМР-спектроскопии, газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии исследован индивидуальный состав восков, смол и гуминовых кислот. Выявлено, что независимо от количественного распределения по разрезу восковые и смоляные компоненты горного воска, а также гуминовые соединения сохраняют стабильный качественный состав. Проведенные исследования свидетельствуют о высоком химико-технологическом потенциале Сергеевского бурого угольного месторождения. Полученные результаты могут быть использованы для разработки комплексной технологии экстракционной переработки исследуемого угля.

• Сорокин А.П., Носкова Л.П. Состав и закономерности распределения потенциальных продуктов химической переработки угля Сергеевского месторождения (Приамурье). // Химия твердого топлива. – 2021. – № 6. – С. 3–13.

2. Выполнен комплексный морфоструктурный, палеографический и металлогенический анализ зоны сопряжения Зейско-Буреинского бассейна и Туранского массива. Установлено блоковое строение массива, центральную часть которого образует Бурейский горст, обрамленный Селемджинско-Томским и Архаринским грабенами. Последние представляют собой эрозионно-денудационные депрессии, сопряженные, соответственно, с Колмогоровским и Романовским прогибами северо-восточного простирания и с Архаринским прогибом меридионального направления, контролируемые транзитными 2 артериями – палео-Селемджой, палео-Томью и палео-Архарой, с которыми связан вынос рудных компонентов в Селемджинско-Ерковецкую и Завитинско-Архаринскую области торфонакопления.

Проведено геохимическое районирование Туранского массива с выделением Селемджинско-Томского, Бурейского и Архаринского геохимических районов. В соответствии с различной степенью эродированности Туранского массива приведены объемы полезных компонентов, перемещенных в палеогене-неогене в Зейско-Буреинский бассейн. Проанализировано распределение рудных элементов в шлиховых ореолах и потоках рассеяния Туранского массива и рудных компонентов, установленных в бурых углях Ерковецкого, Райчихинского и Архаро-Богучанского месторождений, доказывающее связь питающих провинций и областей седиментации.

• Сорокин А.П., Белозеров Н.И., Попов А.А. Формы нахождения и условия переноса рудных компонентов в бурые угли в зонах контрастных форм сопряжения осадочных бассейнов и горно-складчатых сооружений (на примере Зейско-Буреинского бассейна и Туранского массива) (Дальний Восток, Россия). // Тихоокеанская геология. – 2021. – Т. 40. – № 5. – С. 33-43.

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

Горное недроведение

Геомеханика

В 2021 г. целью выполненной научно-исследовательской работы по исследованию устойчивости бортов разреза, основания и откосов отвалов в условиях отработки Окино-Ключевского месторождения бурого угля являлся анализ и обобщение основных геологических факторов, влияющих на устойчивость бортов и отвалов разреза. Были рассмотрены и обобщены геологические данные, необходимые для геомеханических расчетов, выполнен анализ фактического состояния откосов на разрезе и выполненных ранее исследований физико-механических свойств пород месторождения, выполнена оценка устойчивости уступов, бортов разреза и отвалов. Разработаны рекомендации по изучению и мониторингу инженерно-геологических и гидрогеологических условий отработки месторождения.

Маркшейдерские наблюдения за деформациями внутреннего отвала состоят в определении следующих показателей:

- границ распространения и вида деформаций;
- абсолютных величин смещения и скорости перемещения оползающей массы;
- критических величин смещения и скорости, предшествующих разрушению откоса отвала;
- величин максимальных осадок в отвалах, отсыпанных в различных режимах;
- просадок отвальных пород, вызванных весом тяжелого горнотранспортного оборудования.

На основе маркшейдерских наблюдений устанавливают причины образования оползней, просадочных явлений, степени консолидации отвала во времени и разрабатывают мероприятия по обеспечению устойчивости отвалов или специальную технологию отвалообразования.

Для проведения наблюдений за деформациями отвалов закладывают специальные наблюдательные станции, на которых периодически проводят инструментальные наблюдения. Наблюдательные станции состоят из нескольких профильных (поперечных) линий и продольной линии, на которых располагаются опорные и рабочие реперы. Профильные и продольные линии закладываются на верхней площадке отвала перпендикулярно (профильные линии) и

вдоль (продольная линия) верхней бровки отвала. При необходимости профильные линии могут быть заложены на бермах между ярусов отвала.

Методика работ на наблюдательных станциях включает нивелирование реперов и замеры расстояний между реперами. Точность наблюдений зависит от абсолютных величин смещения рабочих реперов. Сроки между сериями наблюдений принимают в зависимости от интенсивности отсыпки отвала и скорости его деформирования. При скоростях оползневых деформаций, близких к критическим, наблюдения должны выполняться ежедневно.

Деформации оседания зависят, в основном, от состава отвальных пород, способа и режима отвалообразования. Песчано-глинистые отвалы существенно уплотняются уже в начальный период их отсыпки. Уплотнение таких отвалов заканчивается через 1,5-3 месяца.

Деформации отвалов, связанные с уплотнением пород под собственным весом, не представляют опасности для ведения горных работ.

По данным инструментальных наблюдений за приростом скоростей смещения оползня и визуальных наблюдений за развитием трещины отрыва по контуру оползня устанавливают критические скорости и величины абсолютных смещений оползня для различных инженерно-геологических и горнотехнических условий.

Исходя из опыта эксплуатации отвалов на месторождениях, периодичность наблюдений рекомендуется устанавливать в зависимости от скорости смещения отвальной массы (таблица 1). При скорости деформаций более 300 мм/сут. работы на отвале прекращают.

Таблица 1

Периодичность наблюдений на отвалах

Скорость деформаций, мм/сут.	0,5-1	1-5	5-10	10-20	20-30
Периодичность наблюдений	1 раз в месяц	1 раз в неделю	2 раза в неделю	через день	ежедневно

При отвалообразовании должны выполняться технологический, инженерно-геологический и гидрогеологический контроль за состоянием отвалов в течение всего периода его эксплуатации.

Технологический контроль устойчивости отвалов сводится к контролю состава пород, интенсивности отсыпки отвала по высоте, соответствия фактических параметров отвала проектным, оценки изменившихся технологических факторов (схемы отвалообразования или замены отвального оборудования).

Инженерно-геологическому контролю подлежат: состояние и физико-механические свойства отвальных пород и основания отвала.

Осуществляют гидрогеологический контроль: фильтрации воды из отвала, основания и рабочего борта разреза; работы дренажных устройств и своевременного осушения подошвы отвала; предотвращения увлажнения пород поверхностными водами.

Для обеспечения сохранности реперов и исключения случайных наездов на них горно-транспортного оборудования применяют различного рода ограждения, а выступающую часть над поверхностью репера окрашивают в яркие цвета.

С целью обеспечения непрерывности наблюдений и исключения ошибок в наблюдениях, связанных с повреждениями реперов при планировке, дополнительно выполняют наблюдения непосредственно перед планировкой поверхности вокруг просевших реперов и сразу же после ее завершения; при необходимости перед планировкой площадок производят наращивание реперов.

Гидростатическое и гидродинамическое давление подземных вод – один из основных факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера в целом и отдельных уступов, поэтому необходимо определить фактическое расположение уровня подземных вод, распространение водоносных горизонтов по глубине и по площади.

При бурении инженерно-геологических скважин необходимо производить замеры уровня подземных вод в каждой скважине и вести постоянные наблюдения за обводненностью всех скважин, т.е. определять интервалы водопоглощений и водопроявлений.

После проведения бурения и всех предусмотренных инженерно-геологических работ, скважины должны прокачиваться, в период прокачки по возможности замеряются дебиты

скважин, после прокачки скважины оборудуются оголовками и переводятся в гидрорежимную наблюдательную сеть на весь период отработки месторождения.

Наблюдения за деформациями внутреннего и внешнего отвалов с помощью маркшейдерских методов, в комплексе с наблюдениями за напряженным состоянием массива гидрогеологическими методами позволяют дать прогноз изменения напряженно-деформированного состоянию массива горных пород.

Геометрия и квалиметрия недр

На шахте «Северная» АО «Ургалуголь» в условиях отработки пластов В₁₂ и В₂₆, склонных к горным ударам, на регулярной основе в качестве меры контроля напряженно-деформированного состояния массива используется геофизический мониторинг с помощью фиксации естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ). Указанный геофизический метод используется для качественного анализа НДС массива при перераспределения горного давления во время ведения подготовительных и очистных работ.

По пластам В₁₂ и В₂₆ проводится ежегодное определение критической глубины возможного проявления горного давления в динамической форме, что совместно с геофизическим контролем позволяет обеспечивать безопасное ведение горных работ на шахте.

Технология обеспечения промышленной безопасности на угольной шахте основана на том, чтобы основные технические и технологические решения были направлены на минимизацию отклонений геомеханического и геодинамического состояния недр при их эксплуатации от своего естественного состояния, т.к. минимальные и наиболее плавные техногенные отклонения от современного состояния геологической среды являются наиболее желательными с точки зрения сохранения геодинамического равновесия.

Согласно пункту 11 Приложения 8 «Инструкции по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений» при отсутствии пороговых значений прогностических параметров геофизические методы используются для мониторинга массива горных пород.

Локальный мониторинг проводится на склонных к горным ударам угольных пластах В₁₂ и В₂₆ для:

- выявления участков нестабильного состояния;
- выявления скрытых геологических нарушений;
- уточнения состояния массив горных пород на достигнутых глубинах.

Специалистами МНЦ ГЕОМЕХ была проведена оценка напряженно-деформированного состояния горного массива в местах ведения горных работ за 2021 год в целом.

Оказана консультативная помощь в вопросах улучшения качества измерений. Проведены работы по проверке работоспособности геофизического комплекса с выдачей заключения о возможности его применении в 2022 году.

Для условий Яковлевского месторождения в 2021 году на основе проведенного анализа опыта применения армирования закладочного массива на аналогичных месторождениях, был выполнен расчет параметров вертикальной армировки закладочного массива с горизонтальной сеткой и без сетки при использовании в качестве армировки – стальной дорожной сетки и композитных материалов, а также произведен расчет допустимых параметров горизонтального обнажения закладочного массива при его вертикальном армировании. Расчет параметров армировки выполнялся применительно к принятым в проектной документации системам разработки. Также были рассчитаны параметры армировки закладочного массива «кольцами» из стальной дорожной сетки с применением горизонтальной дорожной сетки и без неё.

Учитывая накопленный опыт армировки закладочных работ и проводимые визуальные наблюдения за состоянием несущего слоя закладочного массива, которые отмечали незначительные отслоения (нарушения) несущего слоя закладки (в отдельных случаях наблюдаются более значительные вывалы, носящие не систематический локальный характер) стало возможным, уменьшить величину коэффициента запаса. При расчете параметров армировки был заложен коэффициент запаса $K_3=2\div 1,5$.

Дополнительно был произведен расчет и выбор параметров крепи сопряжения грузового квершлага и воздухоподающего штрека лежачего бока гор. -425м с выдачей заключения по креплению сопряжения.

На основе полученных расчетных значений предложены альтернативные (облегченные) варианты конструктивного исполнения армировки закладочного массива в несущем слое.

Результаты проведенных исследований и расчетов применяются непосредственно при проектировании горных работ на Яковлевском руднике.

Подземная геотехнология

С целью обеспечения устойчивости конструктивных элементов камерно-столбовой системы разработки (кровли камер и междукамерных целиков) при воздействии взрывов при разработке Новомосковского месторождения гипса была выполнена работа, которая включала решение следующих основных задач:

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-Ш производства «Азот-Взрыв». Согласование оптимальных параметров паспорта БВР.

3. Определение предельно допустимых значений эффективной приведённой массы заряда ВВ для безступного 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.

5. Оценка радиусов зон трещинообразования вблизи зарядов ВВ при использовании различных конструкций ВВ.

6. Определение радиуса сейсмобезопасной зоны при использовании различных конструкций заряда ВВ.

7. Оценка заколообразования и определение толщины вывалов из стенок камер и отслоений в кровле камер при использовании различных конструкций зарядов ВВ.

8. Согласование действующих паспортов БВР на основании анализа результатов выполненной работы.

Актуальность решения этих задач обосновывается тем, что проведёнными ранее исследованиями были установлены сейсмобезопасные параметры БВР при отбойке нижнего забоя выработки под пластом III с использованием шпуровых зарядов ВВ в шпурах диаметром 50 мм и длиной 4,3 м и размещении в забоях шпуров двух патронов аммонита № 6ЖВ с одним патроном-боевиком, а также при безступной отбойке гипса на всю высоту камеры под пластом «а» шпуровыми зарядами ВВ в шпурах диаметром 42 мм и длиной 6,0 м с размещением в забоях шпуров двух патронов аммонита № 6ЖВ.

По данным натурных наблюдений, при взрывании зарядов ВВ диаметром 50 мм внешний диаметр зоны дробления (диаметр полости) составил 0,15-0,2 м, диаметр зоны кольцевых трещин – 0,4 м, радиус зоны радиальных трещин – 0,3-0,9 м.

Сейсмическими наблюдениями, проведёнными в вентиляционном штреке блока №1 при безступном забое, установлено что шпуровые заряды ВВ в сериях замедления взрываются раздельно вследствие разброса времени срабатывания капсюлей-детонаторов в серии замедления относительно номинального. Сейсмобезопасность применяемых паспортов БВР была подтверждена визуальными наблюдениями, по данным которых нижняя часть пласта «а» сохранила устойчивость без расслоения по контактам между прослойками.

Накопленный практический опыт по оценке воздействия взрывов на кровлю камер и междукамерные целики в ближней и дальней зонах свидетельствует о существенном влиянии структуры и состава гипсовых пластов на устойчивость конструктивных элементов системы разработки и параметры зон разрушения в окрестности зарядов ВВ.

Кроме того, применение варианта камерно-столбовой системы разработки без разделения на уступы при большом числе шпуровых зарядов ВВ затрудняется невозможностью обеспечения предельно допустимой массы заряда ВВ в сериях замедления при ограниченном наборе серий замедления.

На основании результатов комплексных экспериментальных работ, разработаны рекомендации по обеспечению сейсмобезопасности кровли камер и междукамерных целиков при проведении БВР с применением безуступного забоя камеры.

Результаты проведённых комплексных экспериментальных работ позволили обосновать требования по сейсмобезопасным параметрам БВР с применением двух способов оценки сейсмического воздействия взрывов на кровлю камер и по допустимым параметрам зон разрушения в краевых частях междукамерных целиков.

Теория проектирования освоения недр

В рамках выполнения работ по разработке проектов сводов правил, проектов изменений к сводам правил и пересмотру (актуализации) утвержденных ранее строительных норм и правил, сводов правил в области проектирования жилых, общественных и производственных зданий и сооружений были разработаны изменения и дополнения к СП 91.13330.2012 «СНиП 11-94-80 Подземные горные выработки». Работа выполнялась в рамках реализации требований ФЗ от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и требований Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Изменения и дополнения были внесены в разделы: область применения; термины и определения; инженерно-геологический изыскания; выбор рамочной крепи и в ряд приложений. Наиболее важные из них:

- возможность проектирования горных выработок при повышенных тектонических напряжениях;
- добавлены требования к геомеханической оценке качества массива;
- уточнены особенности проектирования крепи в соляных породах;
- добавлены требования и порядок применения математического моделирования при проектировании горных выработок;
- введены положения к геомеханической оценке качества массива горных пород, в том числе, в предельно-напряженном блочном массиве;
- введено понятие ориентированного бурения керна, позволяющее проводить инженерно-геологические изыскания согласно международным стандартам;
- проектирование горных выработок в предельно-напряженном блочном массиве;
- учтены требования к выработкам, находящимся в зоне вечной мерзлоты;
- учтены требования к аппаратуре контроля состояния массива.

Для условий Анастасово-Порецкого гипсово-ангидритового месторождения разработаны обоснования к «Указаниям по охране рудника от затопления и по определению параметров камерно-столбовой системы разработки».

Учитывая сложные геологические и гидрогеологические условия месторождения, невозможность детального изучения обводнённых пород и границ опасных зон с помощью эксплуатационной разведки при внезапных прорывах подземных вод из вскрытых скважинами водоносных слоёв, за основные направления исследований были приняты экспериментальные работы с использованием методов геомеханики.

На основе результатов экспериментальных работ уточнены расчёты параметров камерно-столбовой системы разработки, определён порядок отработки месторождения и разработаны меры безопасности рудника от затопления.

В 2021 году институтом ООО «МНЦ ГЕОМЕХ» разработаны рекомендации по безопасному ведению горных работ в опасных зонах четырёх типов:

1. По мерам безопасности на участках рудника, отработанных в зоне эрозии кровли промышленной залежи под Казанскими обводнёнными доломитами;
2. По мерам безопасности в зонах распространения водоносного доломитового слоя №2, гидравлически связанного с Казанским водоносным горизонтом;
3. По мерам безопасности при отработке промышленной залежи по пласту II ангидрита с водопроводящими контактами в слое №10;
4. По мерам безопасности при отработке промышленной залежи в зонах обводнённых тектонических трещин.

Даны рекомендации по форме кровли очистных камер и по поддержанию кровли камер по пласту Ш.

Наблюдениями установлено, что прогиб кровли камер с потолочиной Ш типа не превышает 3 мм, а деформации междукамерных целиков за период с 2014 г. не изменяются с момента оборудования наблюдательных станций.

Разработка рекомендаций по мерам безопасности в зонах пересечения геологоразведочными скважинами обводнённых тектонических трещин и слоя №10 вызывает затруднения в связи с ненадёжными тампонажными работами в ходе ликвидации скважин. При разработке мер безопасности в зонах геологоразведочных скважин не следует полностью полагаться на надёжность гидроизоляции водопроводящих контактов слоёв. Об этом свидетельствуют ряд случаев прорывов подземных вод в выработки из геологоразведочных скважин с момента начала эксплуатации рудника (координаты устьев аварийных скважин и точек пересечения их стволов с промышленной залежью точно не установлены).

Вокруг каждой геологоразведочной скважины должна отстраиваться опасная зона и в случае отсутствия водопроявлений в ней должен отстраиваться барьерный целик, радиус которого в связи с отсутствием данных об искривлении геологоразведочных скважин на предприятии ООО «ГИПОР-М» должен составлять по аналогии с ООО «КНАУФ ГИПС НОВО-МОСКОВСК» $R_{б.ц.} = 16$ м.

Дальнейшие научно-исследовательские работы должны быть направлены:

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

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

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

4. На разработку проектов отработки панелей рудника с учётом рекомендаций ООО «МНЦ ГЕОМЕХ» по параметрам системы разработки и мерам охраны рудника от затопления.

Физико-техническая геотехнология

Анализ горно-геологических условий разработки пластов Баренцбургского месторождения и наблюдения за проявлениями горного давления при ведении горных работ выявили наиболее значимые факторы, способствующие характеру и изменчивости напряженного состояния угольного массива с формированием тектонически напряженных и геодинамически опасных зон:

- высокая прочность и хрупкость угля и вмещающих пород;
- отсутствие в пласте слабых пластичных прослоев или их наличие при недостаточной мощности;
- наличие мощной тяжелой кровли, склонной к длительному зависанию;
- расслаивание основной кровли на монолитные слои мощностью от первых метров до десятков;
- формирование по отдельным монолитным слоям арочных систем из блоков различной длины, взаимодействующих между собой с концентрацией нагрузки на краевую часть пласта;
- наличие разнопрочных и невыдержанных по мощности слоев разновидностей пород в почве пласта;
- значительная глубина ведения горных работ;
- наличие тектонических нарушений, образующих наложение зон опорного давления при приближении к ним очистных забоев и формирование ослабленных зон на периферийных участках тектонических блоков;
- расположение месторождения на территории сплошного распространения вечной мерзлоты, при увеличении мощности которой нарастает гравитационная составляющая напряжений, в особенности при развитии работ по глубине и площади;
- сейсмичность района месторождения, оказывающая влияние на геодинамическую активность гравитационного и электромагнитного полей напряжений.

В связи с повышенным уровнем сейсмической активности района Баренцбургского месторождения для выявления очагов геодинамики при всех технологических отработки пластов и при проходке выработок актуальна непрерывная регистрация сейсмических процессов, для чего на шахте №1-5 в 2011 году внедрена система сейсмического контроля GITS. Система позволяет оперативно выявлять опасные геодинамические зоны посредством непрерывной регистрации естественных сейсмических полей в инфразвуковом диапазоне частот (0,01-1000 Гц). Создана развернутая сеть сейсмических пунктов, связанных в единую систему (сейсмостанцию), которая позволяет выявлять в пределах северного крыла шахтного поля зоны, опасные по динамическим явлениям, на основе непрерывной регистрации параметров сейсмической активности.

Математическое и программное обеспечение сейсмической системы контроля позволяет круглосуточно:

- определять координаты и энергетические параметры регистрируемых явлений;
- проводить методическую корректировку критериев удароопасности;
- преобразовывать сейсмическую информацию за сутки и проводить расчеты текущего положения геодинамически опасных зон;
- составлять схемы и карты, привязанные к координатам шахтного поля в вертикальном разрезе или плане, наносить на них положение границ опасного влияния зон;
- оценивать эффективность мероприятий по борьбе с горными ударами по изменению (снижению) параметров сейсмической активности ниже критических.

Дополнительно система общего мониторинга позволяет осуществлять обработку информации с целью выявления геодинамически опасных зон и тенденции их миграции в пределах шахтного поля, определить долю естественной сейсмичности за интересующий интервал времени и выделить их из совокупности с технологическими событиями.

Проведен анализ текущих показателей сейсмической активности, работы по восстановлению работоспособности системы GITS, текущие плановые консультации специалистов шахты по вопросам работы системы GITS, плановые работы по определению НДС массива у капитальных горных выработок.

Практическая реализация результатов исследований

В 2021 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 на техническое состояние жилых домов и построек, расположенных на подработанных территориях.

Для условий Кузбасса проведено рассмотрение и согласование годовой программы развития горных работ на 2021 год на угольных шахтах, склонных к динамическим явлениям. Проведено рассмотрение и согласование «Комплекса мер по борьбе с динамическими явлениями на 2021 год». Выполнено оказание услуг по изучению (обучению) требований инженерно-техническими работниками нормативно-правовых документов по прогнозу и предотвращению динамических явлений на шахтах Кузбасса.

С целью определения фактических силовых параметров арочной крепи из гнутых профилей производства ПАО «Северсталь» (Крепь арочная КМоП-А3-15,65-ГП и крепь арочная АП-3М-13-14,4-02-ГП) по разработанной конструкторской документации по договору с ПАО «Северсталь», были проведены стендовые испытания в испытательной лаборатории НЦ ВостНИИ на аттестованном стенде для испытания рамных крепей СРК.

Испытания крепи КМоП-А3-15,65-ГП и АП-3М-13-14,4-02-ГП проводились в двух режимах: податливом и жестком.

Соппротивление рам податливых крепей определялось на стенде в податливом режиме работы путем нагружения двумя активными вертикальными силами в двух точках на расстоянии $\frac{1}{4}$ ширины рамы по низу и боковым пассивным распором (ГОСТ Р 50910-96).

Несущая способность рам определялась на стенде путем измерения предельных нагрузок на раму в жестком режиме работы (с заблокированными узлами податливости для податливых крепей) по схеме нагружения II, принятой в ГОСТ Р 50910-96: двумя активными силами в двух

точках на расстоянии $\frac{1}{4}$ ширины рамы по низу и боковым пассивным распором (ГОСТ Р 50910-96).

Получены положительные результаты для продолжения работ и проведения промышленных испытаний.

Для ООО «КОРПААНГА» выдано заключение о возможности либо технической нецелесообразности капитального строительства цеха приготовления цементно-шлакового вяжущего (ЦШВ) в зоне влияния горных работ.

Работа также включала в себя решение следующих задач:

- выдача дополнительных требований, предъявляемых к сооружениям в случае возможности строительства на указанной территории;
- указание группы подрабатываемой территории в соответствии с СП21.13330.2012 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах»;
- выдача сведений по ожидаемым деформациям земной поверхности в зоне площадки строительства на основании результатов наблюдений, предоставленных Заказчиком.
- определение предельных и допустимых значений деформаций для объекта строительства, попадающего в зону влияния горных работ;
- обоснование мер охраны объекта строительства (при установлении возможности размещения объекта).

Данное заключение распространяется на конкретные объекты строительства.

В рамках разработки Дополнения к «Технологическому регламенту крепления горных выработок в условиях Яковлевского месторождения» был выполнен сбор и анализ горно-геологической и технической документации, а также разработана и согласована Программ-методика промышленных испытаний несущей способности анкерной крепи типа СЗА, СПА, АКМ в различных сочетаниях (с сеткой, армокаркасом) при креплении рудных бортов в выработках рабочих слоев с прямоугольным сечением для всех типов руд.

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

Подземные геотехнологии

1. Технологический регламент на проектирование вскрытия и отработки запасов глубоких горизонтов подземного рудника «Мир». Специалистами института (руководитель работы к.т.н. Тишков М.В., главные специалисты Захаров Р.А. и Семёнов Д.П.) по завершению работы определены следующие ключевые параметры для строительства и отработки подземного рудника «МИР-Глубокий»:

- **схема вскрытия:** фланговая двумя вертикальными стволами; Скиповой ствол глубиной 1445 м предназначен для подъёма добытой рудной массы на поверхность, спуска и подъема персонала, выдачи отработанного воздуха и располагается вблизи промплощадки законсервированного рудника «Мир»; Клетевой ствол глубиной 1415 м предназначен в качестве запасного выхода на поверхность, спуска и подъема материалов, крупногабаритного оборудования, выдачи пород от проходки выработок, подачи свежего воздуха в подземные выработки. Стволы имеют рассечки на отм. -1070м (основной концентрационный горизонт), отм. -750м и отм. -570м. На завершающей стадии разработки регламента основной концентрационный горизонт был опущен на 70 м ниже от ранее планируемого в связи с наличием высоконапорного газонасыщенного интервала Толбочанской свиты.

- **системы разработки:** порядок выемки запасов месторождения в целом принят восходящий; запасы разделены на три яруса: верхний ярус отм. -570/-750м, средний ярус -750/-1070м, нижний ярус -1070/-1250м. В зависимости от применяемого варианта системы разработки выемка запасов внутри ярусов месторождения будет осуществляться как в восходящем порядке (прямоугольными камерами высотой 50 м), так и в нисходящем порядке (при использовании ромбовидных камер высотой 40 м). Основные параметры предложенных систем разработки сведены в таблицу 1.

Сравнительная таблица вариантов камерной системы разработки

Параметры систем разработки	Система разработки с камерной выемкой и закладкой с двух-стадийным порядком выемки камер	Система разработки ромбовидными камерами с твердеющей закладкой
Балансовые запасы камеры, тонн.	26250	49500
Производительность, млн. т./год.	2,0	2,0
Удельный объём НР м ³ /1000т.	39,3	53,6
Удельный объём ПР м ³ /1000т.	3,5	8,8
Удельный объём ПНР м ³ /1000т.	42,8	62,4
Срок твердения закладочного массива, сут.	42	28
Средневзвешенная прочность закладочного массива, МПа	1,92	1,85
Высота подэтажа, м.	50	20
Высота камер, м.	50	40
Потери, %.	3,2	3,1
Разубоживание, %.	13,6	9,4

- **производительность рудника:** расчётами установлено, что условие по обеспечению производительности 2000 тыс. тонн в год выполняют рассмотренные системы разработки, ключевые технологические показатели потерь и разубоживания отличаются незначительно, поэтому определяющим критерием при выборе системы являются удельные показатели подготовительных, нарезных работ, высота подэтажа. Расстояние между подэтажными горизонтами, равное 50 метров позволит в 1,5 раза сократить объёмы подготовительных работ на горизонтах. Система разработки с выемкой камерами высотой 50 метров с двухстадийным порядком отработки требует проведения опытно-промышленных испытаний в условиях рудника для отработки технологических процессов ведения очистных работ; Система ромбовидных камер опробована в условиях рудника «Айхал», показала свою работоспособность и технологичность. Обеспечивает безопасность ведения горных работ, имеет высокую производительность.

- **особые условия:** природное напряженное состояние массива горных пород на глубоких горизонтах месторождения трубки Мир характеризуется преобладанием максимальной составляющей напряжений над прочностными параметрами руды на сжатие. Добыча руды в таких условиях возможна только после формирования предварительной разгрузки за счет создания разрезного слоя. Разгрузочный (разрезной) слой толщиной 5 метров планируется создать путем отработки руды, а также породы в зоне выхода за контакт на 15 метров, системой разработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой. Без создания разгрузочных слоёв ведение нормальной стадии ведения очистных работ – недопустимо.

- **период строительства:** составляет 16 лет, начало строительства 2023г., завершение 2038г., начало добычных работ - 2033г., общий объём ГКР 758тыс.м³.

- **период добычных работ:** с 2033г., период отработки камерами прямоугольного сечения высотой 50 м – 21 год, период отработки камерами ромбовидного сечения высотой 40 м – 22 года.

- **прветривание:** принято по всасывающей схеме через скиповой ствол рудника «МИР-Глубокий». Проветривание обеспечивает два вентилятора ВЦД-42,5 (один в работе, второй в резерве). ГВУ и калориферная установка используются существующие на промплощадке вблизи скипового ствола законсервированного рудника «Мир».

Для реализации данного технического решения предусмотрена проходка подземного вентиляционного канала на глубине 70-80 метров от законсервированного скипового ствола до

скипового ствола рудника «МИР-Глубокий». В районе вентиляционного канала, в законсервированном (существующем) скиповом стволе, устанавливается герметичное перекрытие, обеспечивающее проветривание.

Достигнутые и принятые результаты работы послужат основой для подготовки и выполнения ТЭО «Оценка экономической эффективности освоения запасов трубки Мир в отм.-575/-1250м (с учетом результатов доразведки глубоких горизонтов)» с целью подтверждения экономической целесообразности строительства и отработки подземного рудника «МИР-Глубокий».

2. На основании выполненной в 2020 году работы «Оценить возможность формирования льдопородного искусственного массива в карьере рудника «Интернациональный» с использованием атмосферного холода и рассчитать его несущую способность» специалистами института разработана и утверждена в установленном порядке программа проведения опытно-промышленных испытаний (руководитель работы к.т.н. Тишков М.В., главные специалисты Захаров Р.А. и Семёнов Д.П.)

Планируемые испытания по отработке технологии ликвидации потенциально опасного объекта на отработанном карьере «Интернациональный» предлагается провести в следующей последовательности:

- обеспечение безопасности ведения работ по сооружению искусственного ледяного массива;
- намораживание ледовой платформы в зимнее время на поверхности обводненных осыпей требуемой толщины и грузоподъёмности, для размещения механизмов и оборудования для выполнения работ, бурение скважин термоконтроля;
- бурение скважин для установки сезонных охлаждающих устройств (СОУ) с возведенной ледовой платформы, замораживание водной толщи и обводненных осыпей с образованием льдопородного массива (целика), сроки выполнения работ могут быть изменены после определения экспериментальным путем коммерческой скорости бурения и монтажа СОУ.

1. Возведение ледовой платформы послойным намораживанием льда на поверхности обводненных осыпей считается самым простым, не требующим приобретения специального оборудования (кроме насосов) способом, заключающимся в послойном разливе по горизонтальной ледовой очищенной от снега поверхности пресной воды и промораживания каждого слоя атмосферным холодом.

Предварительно площадь ледового покрова необходимо разбить на участки (карты) размером 50×50 м. валиками из мокрого снега высотой 20-30 см., или из досок. Затем прокладываются трубопроводы, шланги и т.д.

Температура поверхности ледового покрова перед подачей воды должна быть не выше – 8°С при температуре воздуха – 15°С.

Оптимальная толщина разливаемого слоя воды 3-5 см при её подаче в нескольких точках по площади каждой карты.

Толщина намораживаемого за сутки льда зависит от многих параметров и в значительной степени от температуры наружного воздуха, может быть определена по таблице 2.

Таблица 2

Зависимость толщины послойного намораживаемого льда от температуры наружного воздуха

t°С	-10	-15	-20	-25	-30	-35
h см/сутки	7,5	9,0	11,5	14,5	16,5	19,0

С учетом вспомогательных работ по подготовке площадей, время чистого промораживания 9 часов в сутки. Время, необходимое для намораживания расчетной толщины льда на поверхности зависит от температуры воздуха и скорости воздушного потока.

2. Работы по установке СОУ необходимо производить от бортов карьера к центру. Подобный порядок проведения работ позволит избежать разрушения СОУ, а также образования наледей на поверхности ледяной платформы и дополнительных нагрузок на нижнюю часть борта карьера, которые могут возникнуть за счет увеличения объема замороженной обводненной массы. Для предотвращения разрушения ледяной платформы в результате нагрузок, возникающих при замерзании обводненных осыпей, в ее центральной части необходимо про-

бурить пять разгрузочных скважин. Кроме того, в зимний период осыпи на откосах и бермах карьера находятся в мерзлом состоянии и вероятность их схода весьма невысока.

На стадии выполнения ОПИ предполагается использование одного бурового станка для определения коммерческой скорости установки СОУ и оптимизации технологии буровых работ. Бурение скважин осуществляется буровым станком, оснащённым приемным (обсадным) столом, технические характеристики которого позволяют работать погружными пневмоударниками с одновременным креплением скважины извлекаемой обсадной колонной. В качестве обсадной колонны используется металлическая труба с «левой» резьбой $\text{Ø } 146 - 159 \text{ мм}$.

В качестве эксперимента предлагается установка термостабилизаторов грунта многосекционных составных длинномерных повышенной мощности типа ДОУ-1В, применяемые для намораживания льда «снизу» на ледовых переправах в скважины глубиной 45 м. в вертикальном положении. При монтаже подобных устройств сварочные работы не требуются. Это позволит значительно сократить сроки установки СОУ и повысить качество работ. Экспериментальную установку ДОУ-1В необходимо произвести в непосредственной близости от скважин термоконтроля глубиной 45 м (место установки будет уточнено после сооружения ледовой платформы).

Результатами математического моделирования определена гексагональная схема размещения колонок как наиболее эффективная. При такой схеме расположения в карьере потребуется соорудить 1212 скважин с расстоянием между ними равным 3 метра.

Специалистами лаборатории для наглядной визуализации предстоящего объёма работ и процессов были смоделированы на основании маркшейдерских исполнительных съёмок: – плита перекрытия (бетонное перекрытие, средней переменной толщиной 0,74 метра), борта карьера, блочная модель рудного тела, часть выработок горизонта +85м. Результаты приведены на рисунках 1 и 2.

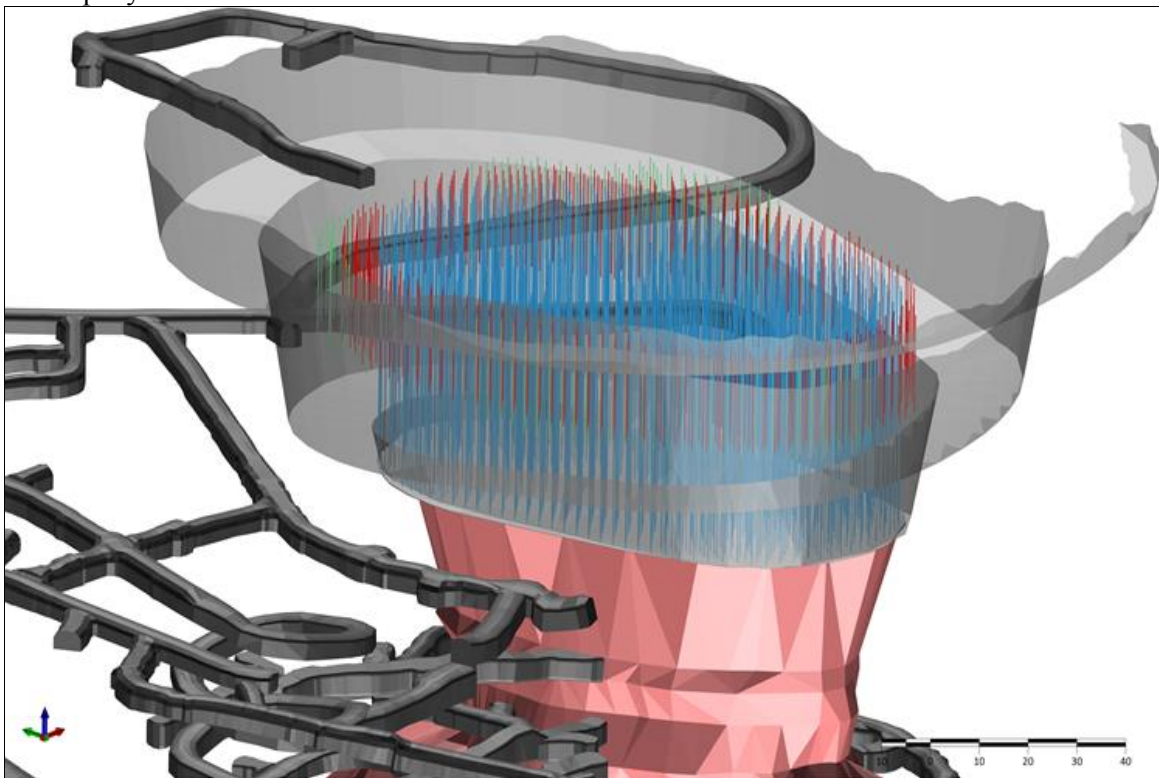


Рисунок 1 – Пространственное расположение рядов скважин относительно выработанного пространства карьера и подкарьерных запасов рудника Интернациональный, схема расположения гексагональная, количество скважин 1212 штук. Скважины, обозначенные красным цветом, требуется пробурить и оснастить в первую очередь. Скважины синего цвета бурятся и оснащаются вторым этапом. Скважины зелёного цвета могут быть дополнительно пробурены в случае неудовлетворительного промораживания массива по итогам выполненного термоконтроля.

По мнению специалистов лаборатории, предложенный вариант является единственным возможным способом, позволяющим безопасно отработать подкарьерные запасы месторожде-

ния с применением традиционной системы разработки (камерно-целиковой со слоевой выемкой и последующей твердеющей закладкой) с минимальными потерями полезного компонента.

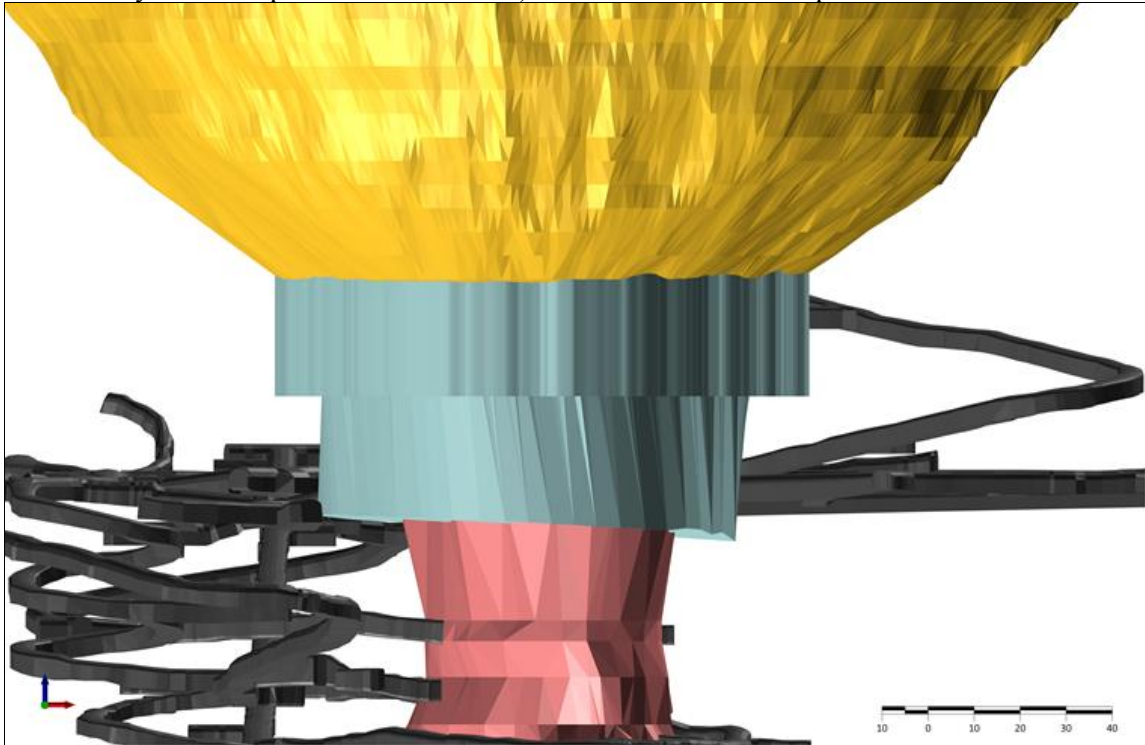


Рисунок 2 – Общий вид льдопородного целика по завершению работ

Разрушение горных пород

Применение зарядов с радиальным зазором в карьерах АК «АЛРОСА» (ПАО) (руководитель работы к.т.н. Ковалевич С.Н.) Современный подход к эффективности производства алмазодобывающих предприятий все больше ориентирован на качество добываемой товарной продукции ввиду высокой стоимости кристаллов и необратимости их повреждаемости. При этом техногенная повреждаемость алмазной продукции зависит от многих факторов производства. Учитывая высокую динамику процесса взрыва с одной стороны и повышенную хрупкость кристаллов алмаза с другой, вполне уместно предположить, что при попадании в определённую область взрывного разрушения в массиве горных пород кристаллы алмазов могут повреждаться.

Существуют разные способы повысить сохранность добываемого кристаллосырья, как например отказ от взрывного рыхления с переходом на механическую отбойку руды, но данный вид подготовки горной массы к выемке широкого применения пока не получил по причине резкого возрастания себестоимости добычи.

Другой метод рассматривает возможность улучшения качества товарной продукции за счет сокращения радиуса негативного воздействия взрыва, которое достигается при использовании малоплотных взрывчатых веществ (ВВ). Однако, учитывая гидрогеологические особенности кимберлитовых месторождений, наличия сухих, слабо обводненных и сильнообводненных участков с одной стороны и нестабильность взрывчатых характеристик и чувствительности к неблагоприятным метеорологическим условиям малоплотных ВВ с другой – выбор технологии на рудных горизонтах пока требует надлежащего внимания как объекта исследований.

Также уменьшение радиуса негативного воздействия взрыва на кристаллы алмазов возможно ожидать при применении колонковых зарядов с радиальным зазором между зарядом и стенкой взрывной скважины, но практическая реализация предлагаемых способов формирования таких зарядов не нашла применения из-за сложности выполнения и низкой их надежности, в связи с чем специалистами АК «АЛРОСА» было разработано и запатентовано специальное устройство, которое было успешно апробировано в карьерах Компании.

Общий вид и конструктивные особенности разработанного устройства для формирования заряда с радиальным зазором, приведены на рисунках 3-6.

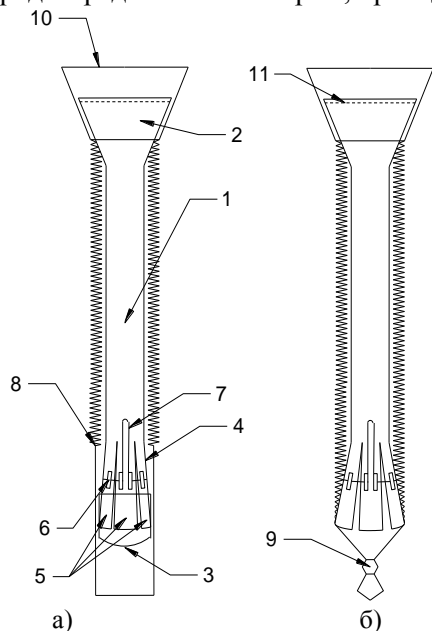


Рисунок 3 – Общий вид устройства

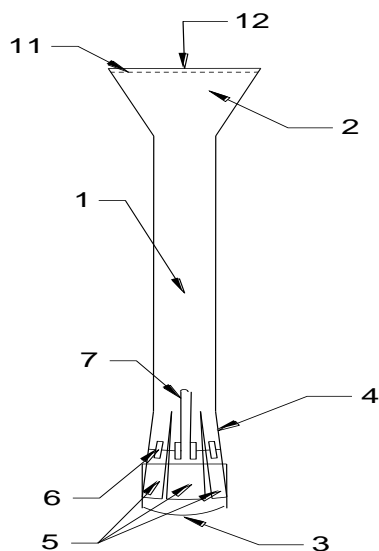


Рисунок 4 – общий вид съемного удерживающего приспособления

Устройство (рисунок 3а) содержит направляющую трубу 1, снабженную головкой 2, расположенной с одной стороны направляющей трубы 1, противоположный конец которой снабжен съемной насадкой 3 и выполнен в виде упругого расширителя 4, на внешней стороне лепестков 5 которого размещены проушины 6 с продетым в них шнуром 7. Рукав 8 собран в гофр на направляющей трубе 1, его нижняя часть завязана при помощи узла или завязок 9 (рисунок 3б), верхняя часть соединена с жестким фиксатором 10. Направляющая труба 1 с головкой 2, ручкой 11, упругим расширителем 4 с лепестками 5, проушинами 6 и шнуром 7, съемной насадкой 3 составляют съемное (многоразовое) удерживающее приспособление 12, выполненное из полимерного материала (рисунок 4). Фиксатор 10 (рисунки 5-6) состоит из имеющих форму усеченного конуса воронки 13 и стопорного элемента 14 с зубцами 15, расположенными по кромке большего и меньшего его оснований.

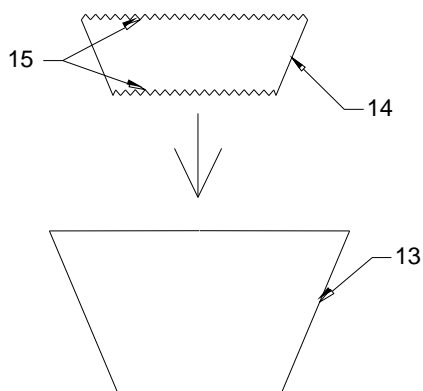


Рисунок 5 – Воронка и стопорный элемент съемного фиксатора

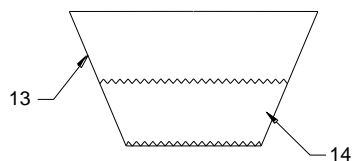


Рисунок 6 – Съемный фиксатор в сборе

Сборка предлагаемого устройства производится следующим образом.

Для соединения рукава 8 с фиксатором 10 край рукава 8 продевается через воронку 13, поверх стопорного элемента 14 заворачивается в стопорный элемент 14 и подворачивается под него, затем затягивается вместе с ним в воронку 13 (рисунок 7), отрезается необходимая длина рукава 8.

При загрузке рукава 8 ВВ под действием силы тяжести происходит затягивание стопорного элемента 14 в воронке 13, и зубцы 15 проникают в материал изготовления рукава, тем самым увеличивая надежность крепления рукава 8 к фиксатору 10.

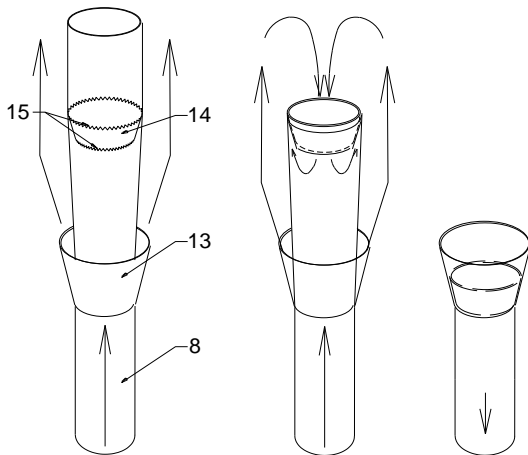


Рисунок 7 – Способ крепления рукава со съёмным фиксатором

Упругий расширитель 4 сжимается при помощи шнура 7, продетого через расположенные на лепестках упругого расширителя 5 проушины 6 путем его стяжки, поверх упругого расширителя 4 устанавливается съёмная насадка 3 (рисунок 8а), поверх которой протягивается фиксатор 10 с закрепленным рукавом 8 и фиксируется на головке 2 (рисунок 8б). Рукав 8 собирается в гофр на направляющую трубу 1 упором в жесткий фиксатор 10 (рисунок 8в) и фиксируется упругим расширителем 4 после снятия съёмной насадки 3. Нижнюю часть рукава 8 завязывают при помощи узла или завязок 9 (рисунок 8г).

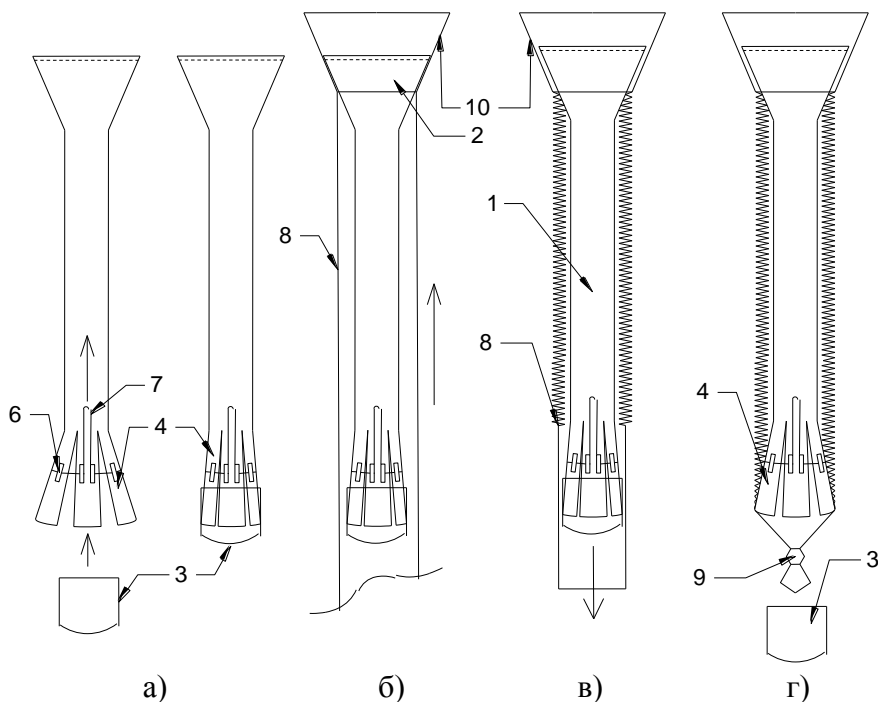


Рисунок 8 – Способ крепления рукава со съёмным фиксатором

По разработанным чертежам в лабораторных условиях института «Якутнипроалмаз» было изготовлено два опытных образца данного устройства, которые были испытаны в условиях карьеров Компании.

На рисунке 9 представлена конструкция заряда с радиальным зазором, при этом диаметр скважины составляет 230 мм, диаметр заряда – 200 мм.

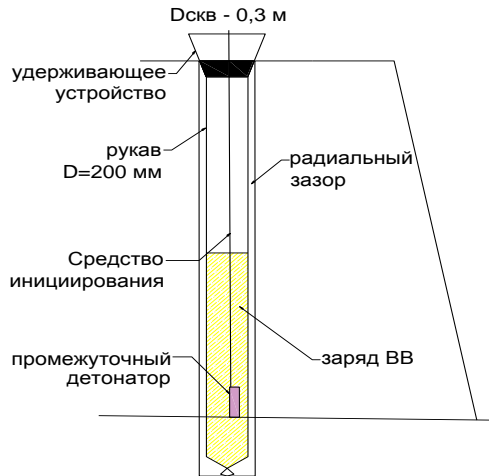


Рисунок 9 – Конструкция заряда с радиальным зазором

Зарядка обводненных скважин с использованием разработанного устройства осуществляется следующим образом (рисунок 10): в пробуренную скважину 16 вставляется устройство в сборе 17 (рисунок 10а), затем на дне данного устройства располагают промежуточный детонатор 20, подсоединенный к средству инициирования 21 и с помощью зарядного шланга 18 опускают рукав 8 с промежуточным детонатором 20 подсоединенным к средству инициирования 21 на дно скважины 16 и осуществляют подачу ВВ 19 с одновременным плавным извлечением зарядного шланга 18 из скважины 16, по мере заполнения ВВ 19 рукава 8, вода 22 выталкивается через радиальный зазор 23 между рукавом 8 и стенкой скважины 16 (рисунок 10б). После зарядки вынимают зарядный шланг 18 и за ручку 11 – съемное (многоразовое) удерживающее приспособление 12 из жесткого фиксатора 10 (рисунок 10в). Затем по принятой схеме производят подрыв заряда (рисунок 10г).

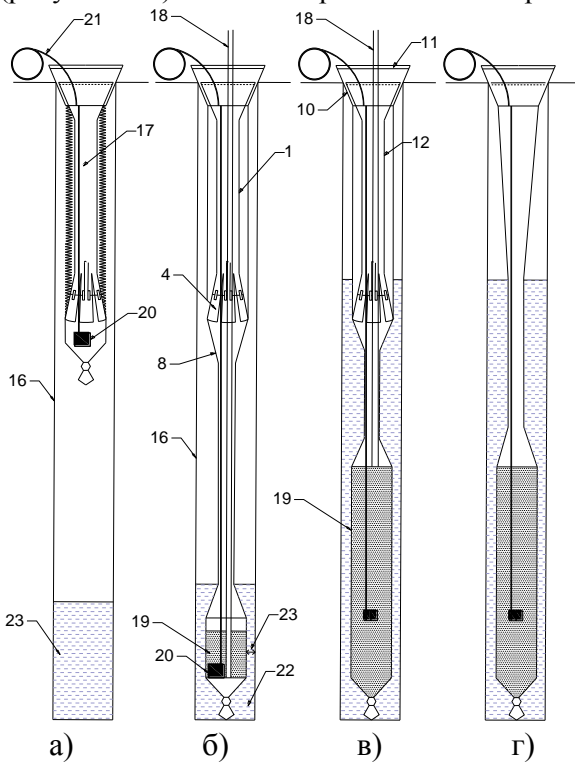


Рисунок 10 – Схема формирования скважинного заряда с радиальным зазором между зарядом и стенками скважины в обводненных условиях при помощи разработанного устройства

В процессе зарядки было выявлено, что формирование заряда с радиальным зазором в сухих скважинах по вышеописанному способу, при подготовке устройства непосредственно на блоке, характеризуется повышенной трудоемкостью, обусловленной необходимостью отмерять необходимую длину рукава, собирать его в гофр и натягивать на направляющую

трубу. Согласно проведенному хронометражу, среднее время сбора устройства при длине рукава 13,5 м. составило 3,8 мин.

Поэтому, для заряжания сухих скважин был использован способ без применения съемного многоразового удерживающего приспособления, с использованием жесткого фиксатора и рукава, который заключается в следующем.

Рулон рукава располагают на специальном устройстве над заряжаемой скважиной (рисунок 9), через открытый край рукава помещается кусок горной породы и завязывался двойной узел, затем рукав опускается до дна скважины, отрезается на 1,5 м выше устья и крепится к жесткому фиксатору, который устанавливается в устья скважины. Далее по принятой технологии на предприятии производилась зарядка скважины. Данный способ является менее трудоемким по сравнению с приведенным ранее и согласно проведенному хронометражу, среднее время формирования рукава с фиксатором в скважине при длине рукава 13,5 м. составило 45 сек.



Рисунок 11 – Формирование заряда с радиальным зазором в сухой скважине

Результаты взрывов с применением данного устройства показали удовлетворительное качество дробления горной массы с преобладанием выхода средней фракции.

В 2023 году планируется провести работы по оценке снижения повреждаемости алмазов при использовании зарядов с радиальным зазором.

2.16. РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

Кафедра геотехнологических способов и физических процессов горного производства является учебно-научным подразделением университета для подготовки горных инженеров по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализациям «Открытые горные работы» и «Подземная разработка рудных месторождений», а также по специальности 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства» по специализации «Физические процессы горного производства».

Научными направлениями кафедры являются:

1. Научно-техническое и методическое обоснование формирования и транспортирования высоконасыщенной гидросмеси на большие расстояния.

Научная новизна направления заключается в создании и апробации новой гидротехнологии формирования и транспортирования высококонцентрированных гидросмесей на основе кинетической энергии коаксиально-закрученных струй жидкости (эффекта искусственного смерча) и является предпосылкой для нового научного направления – гидродинамика взаимодействия кольцевых закрученных струй жидкости с твердыми минеральными частицами в гидротранспортно-подъемных установках, образующих в области узла разгрузки локальную зону псевдооживления.

Разработка гидротранспортных аппаратов, формирующих сгущенную пульпу с объемной концентрацией 35-45% реализует основную предпосылку экономичности гидротранспорта, которая заключается в возможности мощной концентрации грузопотоков при значительных объемах транспортируемых грузов.

Это относится, прежде всего, к технологическому производству внутри замкнутых производственных объектов (карьер, шахта, обогатительная фабрика) с целью соединения их в единый технологический комплекс. Кроме того, решается проблема расширения области при-

менения гидротранспортных систем на дальние расстояния, под которыми понимается только транспортные задачи вне замкнутых технологических процессов (10 км и более).

Кроме того, как показывают проведенные МГРИ опытные исследования гидротранспортные аппараты вихревого пульпоприготовления могут работать в качестве реакторов и решать задачи гидрометаллургического передела, в т.ч. агитационного и кучного выщелачивания бедного рудного и техногенного сырья (патент РФ № 2095562 «Способ кучного выщелачивания»), интенсифицировать массообменные процессы и повысить извлечение металла.

2. Разработка геотехнологических способов и производственных процессов при освоении континентальных и морских месторождений на основе нового научного направления – использования кинетической энергии коаксиально закрученных жидкостных потоков, подтвержденного многочисленными отечественными и зарубежными патентами.

Научно-исследовательская работа связана с решением проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых (ТПИ) на шельфе и в глубоководных районах Мирового океана. Рассматривается минерально-сырьевой потенциал и перспективы освоения шельфа России и перспективными месторождениями полезных ископаемых глубоководных районов Мирового океана, которые МОМД выделил России, наряду с другими ведущими странами. В рамках направления разработана научная концепция и методические положения для аналитической оценки эффективности различных технологий гидроподъема и аналитически обоснованы их технологические и энергетические параметры.

Полученные результаты соответствуют мировому уровню, так как впервые дается научно-техническое обоснование применения морского горно-разведочного комплекса для освоения месторождений дна морей и океанов на основе использования кинетической энергии коаксиально закрученных жидкостных струй (эффекта искусственного смерча); новизна способа подтверждена многочисленными отечественными и зарубежными патентами (РФ, США, Финляндия, Индия, Германия и других стран). В 2021 г. на кафедре защищена докторская диссертация на тему: «Обоснование технологии глубоководного гидроподъема железомарганцевых конкреций грузочными аппаратами с минимальным негативным воздействием на окружающую среду».



3. Ресурсосберегающие технологии при использовании закрученных струй жидкости для рационального отвалообразования при гидравлической вскрыше месторождений полезных ископаемых, складировании отходов обогащения, а также интенсификации процессов гидрометаллургического передела минерального сырья.

На основе разработанных авторами грузочных аппаратов с использованием кинетической энергии коаксиально-закрученных струй жидкости (эффекта искусственного смерча), новизна которых подтверждена отечественными и зарубежными патентами №2558594; №1168496; №2011465; №2027859; №2355058; №2132291; №2439250; №2249654; №2190670;

№2095438; №2095562; №4992006; №94513, предлагаются высокопроизводительные ресурсосберегающие технологии для интенсификации следующих производственных процессов:

- формировать высоконасыщенную гидросмесь (~ 35% по объему) и транспортировать ее на дальние расстояния (более чем в 3 раза по сравнению с грунтонасосами);

- осуществлять рациональное гидроотвалообразование и складирование отходов обогащения за счет подачи высоконасыщенной гидросмеси, формируя крутые уклоны намывных сооружений (в отличие от грунтонасосов), вследствие чего значительно сокращаются земельные отводы под гидроотвально-хвостовое хозяйство на горнообогатительных и гидрометаллургических предприятиях;

- интенсифицировать гидрометаллургический передел из бедного минерального сырья и техногенных отходов (кучное, агитационное выщелачивание) за счет ускорения массообмена закрученными струями. Так, новая технология формирования штабеля для кучного выщелачивания способом намыва сгущенной пульпы при гидротранспортировании установкой вихревого пульпоприготовления, где рабочей жидкостью является раствор реагента, дает возможность значительно ускорить технологические процессы выщелачивания и снизить негативную нагрузку на окружающую среду.



4. Исследования области использования энергии искусственного смерча в природоохранных технологиях.

Представлены самые разные аспекты применения закрученных газожидкостных потоков в явлениях природы и технике.

Результаты исследований направлены на повышение эффективности геотехнологических методов освоения минеральных ресурсов: выемка, гидротранспортно-подъемные операции, переработка полезных ископаемых (извлечение ценных компонентов), для утилизации техногенных отходов.

В теоретическом плане результаты исследований расширяют области знаний и заключаются в разработке научной концепции, реализующей взаимодействие, формирование и движение высоконасыщенных продуктивных растворов и двух-трехфазных смесей коаксиально-закрученными струями.

Практическое применение научно-технической продукции найдет применение в модернизации и разработке нового высокопроизводительного оборудования и в следующих геотехнологических способах:

- проходка скважин в сложных горно-геологических условиях – сильнотрещиноватых или закарстованных пород, при катастрофическом поглощении бурового раствора;

- совершенствование скважинной гидродобычи в горнотехнических условиях, исключая эффективное применение традиционных способов добычи минерального сырья (например, забалансовые запасы месторождения);

- сооружение подземных полостей с удалением нерастворимых осадков из камер для подземных газохранилищ и подземного растворения солей, а также для утилизации техногенных и захоронения токсичных отходов на больших глубинах;

- модернизация конструктивных элементов в патентно-чистых технических решениях, разработанных нами гидротранспортных установках, когда рабочим агентом коаксиально

закрученных струй является не вода, а раствор соответствующего реагента, для технологий извлечения золота и других ценных компонентов при гидрометаллургическом переделе бедного минерального сырья и техногенных отходов (кучное, подземное и агитационное выщелачивание), а также пиритных огарков сернокислотного производства, что позволяет расширить сырьевую базу золотодобычи и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

2.17. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Геомеханика

В 2021 году в Международном Центре геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов Политехнического института (Школы) ДВФУ, в соответствии с Программы развития получены следующие результаты:

1. Создана Лаборатория геоматериалов, возглавляемая д.ф.м.н. О.Н. Любимовой, в результате чего Центр представляет собой в настоящее время комплекс подразделений, включающих Лабораторию сильного сжатия, Лабораторию геоматериалов и глубококорасположенный геодинамический полигон (рудник Николаевский, г. Дальнегорск);

2. Продолжены исследования состояния сильного сжатия массива горных пород и установлены закономерности формирования зон акустического затишья, предшествующие геодинамическим событиям;

3. Опубликовано 3 статьи в высокорейтинговых рецензируемых журналах (базы Web of Science & Scopus).

Разработан переход от представления иерархически-блочной геосреды к иерархии структурных уровней с масштабом 1:100, позволяющий представление геосреды системой неевклидовых моделей, отличающихся учетом условий несовместности деформаций и иерархичности процессов разрушения.

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.

Разработан учебный курс геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов, представленный на летней школе USTB (на английском языке). Сделаны доклады на Международном он-лайн семинаре по проблемам геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов.

Строительная геотехнология

Продолжены исследования в области рационального освоения подземного пространства мегаполисов. Проведена работа по привлечению проектных организаций г. Москва к созданию проектов подземных сооружений г. Владивосток. По результатам совместной работы сделаны доклады на защите дипломных проектов специальности «Шахтное и подземное строительство».

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ GEOTECHNOLOGIA

Подземная газификация угля

Продолжены исследования в области подземной газификации углей применительно к условиям Дальнего Востока России. Выполнены работы по актуализации методики оценки месторождений углей, пригодных к отработке способом подземной газификации.

Выполнены обоснования применения газа подземной газификации в качестве сырья для производства водорода. Выполнены исследования актуальности использования газа ПГУ в качестве источника для синтеза водорода в аспекте Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации (Распоряжение Правительства от 05.08.2021 № 2162-р). Осуществлен анализ угольных месторождений Приморского края на предмет возможности отработки способом подземной газификации с последующим созданием горных энергохимических комплексов по получению водорода.

В издательстве ДВФУ Подготовлена и выпущена монография «Анализ условий отработки угольных месторождений Приморского края способом подземной газификации для формирования сырьевой базы водородной энергетики».

Обогащение и глубокая переработка георесурсов

Продолжилось проведение исследований бурых углей и торфов Приморья в качестве основных исходных материалов экстракции для получения угольных и торфяных гуминовых препаратов. Исследованы возможности диверсификации действующих предприятий по добычу бурых углей за счет глубокой переработки сырья и выпуска гуминовых препаратов.

В результате лабораторных исследований были получены устойчивые фульвокислотные соединения, которые могут являться основой для гидропонных органических и органоминеральных удобрений. Опытные образцы удобрений, полученных на основе вышеуказанных фульвокислотных соединений, испытывались, как заменитель стандартной группы минеральных удобрений, и как добавка к последним на базе тепличных крестьянских хозяйств Юга Приморья по выращиванию огурцов в гидропонных системах.

Полученные препараты способствуют лучшему усвоению элементов питания почвы сельскохозяйственными культурами, повышают устойчивость их к неблагоприятным условиям произрастания, особенно в начальный период развития растений. Кроме того, препараты показали более высокие результаты роста, энергии роста, массы и другие параметров, таких, как сопротивляемость болезням (инфицирование листьев растений бактериями, грибами и тлей).

Полученные результаты опубликованы в специальных выпусках ГИАБ в 2021 году.

Начаты исследования по применению компонентов гуминовых и фульвокислот бурых углей и торфов в качестве базы удобрений для низкоэмиссионного земледелия. Проведены исследования по анализу влияния гуминовых веществ бурых углей и торфов на эмиссию CO₂. Разработана базовая концепция использования гуминовых препаратов для сохранения и восстановления органического углерода в почве (SOC). Подготовлено обоснование для полевых исследований эмиссионного эффекта гуминовых препаратов в рамках карбонового полигона ДВФУ (о. Русский).

2.18. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАПРАВЛЕНИЕ: ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Способ добычи торфа и устройство для его реализации

Изобретение (способ и устройство) может быть использовано в торфяной промышленности для добычи торфа на неосушенных и естественных торфяных залежах.

Техническим результатом изобретения является возможность разработки натуральной залежи, селективной добычи торфа различной степени разложения, включая верхний породообразующий слой, с последующей переработкой и упрощение транспортировки

Технический результат был достигнут тем, что натуральную залежь, ограниченную окрайками, разбивают на блоки прямоугольной формы, которые обрабатывают от центра залежи к ее окрайкам обратным ходом параллельными поперечными проходками для чего мост комплекса после экскавации торфа из траншеи продвигают на ширину заходки равной ширине траншеи в сторону от центра натуральной залежи к окрайкам, создают щель в блоке на заданную глубину залежи, и селективно экскавируют торф из натуральной залежи, снимают верхний горизонтальный породообразующий слой и далее экскавируют ниже лежащий торф из натуральной залежи, при этом весь экскавируемый торф подвергают предварительной переработке на мосту комплекса, с последующей транспортировке по поверхности натуральной залежи к окрайкам, в пределах блока.

Способ добычи торфа и устройство для его реализации дает возможность поблочно обрабатывать залежь обратным ходом от центра к окрайкам и упростить процесс доставки добытого и переработанного торфа. В процессе отработки комплекс приближается к месту складирования торфа, что упрощает транспортировку торфяной продукции путем сокращения операций на перемещение сырья. За счет применения гибких связей в механизме передвижения снижается материалоемкость устройства. Конструкция добычного органа позволяет селективную добычу торфа из залежи и осуществлять его переработку непосредственно на месте добычи.

Сведения об опубликовании:

1. Патент на изобретение RU 2756070 С1. Номер заявки 2021104080. Дата публикации 27.09.2021. Якупов Д.Р., Иванов С.Л., Иванова П.В.
2. Yakupov, D., Motyakov, N., Ivanova, P., Ivanov, S. Working parts of means of minerals excavation. // AIP Conference Proceedings, 2022, 2456, 030012.
3. Ivanov, S.L., Yakupov, D.R., Ivanova, P.V., Permiakova, E.K. Structure modeling of mining machinery systems for production of raw peat materials. // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1753(1), 012057.
4. Yakupov, D.R., Ivanova, P.V., Ivanov, S.L. Physical simulation of load displacement resistance of peat land surface on test bench. // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021, 2021(5-1), стр. 117–129.

Устройство для дробления негабаритов

Изобретение (устройство) может быть использовано для дробления негабаритов горных пород.

Техническим результатом изобретения является повышение эффективности дробления и снижение динамических нагрузок на машину.

Технический результат был достигнут тем, что механизм подъема при помощи троса соединен через опорную поверхность с ударником, один конец которого присоединен к барабану механизма подъема, который расположен на манипуляторе, а второй конец троса соединен со штоком и рабочим инструментом трехлинейной связью, при этом две крайние линии этой связи закреплены жестко на боковых сторонах рабочего инструмента и фиксируют захваты в пазах корпуса и направляющих рабочего инструмента, а центральная линия жестко закреплена за верхний конец штока и образует единое целое с крайними линиями в точке узла крепления, в свою очередь рабочий инструмент и корпус выполнены с центральными расточками в которые установлен ударник, выполненный с клином в своей средней части, боковые грани, которого сопряжены с наклонными сторонами пинов захватов, которые установлены одновременно в направляющих рабочего инструмента и пазах корпуса с возможностью ограниченного перемещения по ним, при этом пазы корпуса выполнены так, что их профиль представляет собой последовательность выступов и впадин, геометрические параметры которых соответствуют параметрам пинов захватов, нижний конец ударника расположен в проточке рабочего инструмента.

Сведения об опубликовании:

1. Патент на изобретение RU 2751895 С1. Номер заявки 2020138388. Дата публикации 19.07.2021. Иванов С.Л., Болобов В.И., Плащинский В.А.
2. Bolobov, V.I., Plashchinsky, V.A., Borisov, S.V., Le-Thanh, B. On the ratio of rock fracture parameters in static and dynamic conditions. // Obogashchenie Rud, 2021, (5), стр. 3–9.
3. Bolobov, V.I., Chupin, S.A., Akhmerov, E.V., Plashchinskiy, V.A. Comparative wear resistance of existing and prospective materials of fast-wearing elements of mining equipment. // Materials Science Forum, 2021, 1040 MSF, стр. 117–123.

Укладчик торфяных трубчатых кусков шнекового формователя

Изобретение (устройство) может быть использовано при добыче торфяного сырья карьерным способом, окускованием добытого сырья с укладкой сформованных трубчатых кусков на поле для сушки в вертикальном положении.

Техническим результатом изобретения является создание устройства, которое позволяет отламываться торфяному куску под действием собственного веса однородным, ровным изломом для последующей, упрощенной упругой установкой куска в вертикальное положение на поле для сушки.

Технический результат был достигнут тем, что подпружиненный укладчик, который, закреплен снизу, на конце калибрующего кожуха, выполнен в форме обратной брахистохроны, а поверхность скольжения куска выполнена в форме циклоиды.

Сведения об опубликовании:

1. Патент на изобретение RU 201925 U1. Номер заявки 2020136252. Дата публикации 21.01.2021. Федоров А.С., Михайлов А.В.

2. Mikhailov, A.V., Fedorov, A.S. Analysis of the screw press mouthpiece parameters for 3d extrusion of peat pieces of tubular type. // Journal of Mining Institute, 2021, 249(5), стр. 351–365.

Устройство для подбора и метания торфяного сырья

Изобретение (устройство) может быть использовано для подбора и метания торфяного сырья и относится к области горного машиностроения, в частности к устройствам для добычи торфяного сырья и может найти применение при добыче торфяного сырья карьерным способом.

Техническим результатом изобретения является создание устройства, которое монтируется на приводном валу навесной машины, располагаемой фронтально на тягово-приводном агрегате.

Технический результат был достигнут тем, что при вращении ротора разрезающие лопасти отсекают часть торфяного материала определенной длины, равной величине подачи на один блок лопастей.

Одновременно захватывающе-отбрасывающие лопасти захватывают отсекаемую порцию торфяного материала, который оказывается в сконцентрированном виде в кармане между блоком лопастей и задним диском, которые транспортируют материал к выгрузному окну кожуха ротора и отбрасывают в сторону штабеля.

Преимуществом перед известными аналогами является создание устройства, позволяющего повысить работоспособность за счет использования материала с низким коэффициентом трения, который не загрязняет лопасти влажными частицами торфяного сырья.

Сведения об опубликовании:

1. Mikhailov, A.V., Korotkova, O.Y., Gromyka, D.S. Aspects of excavated peat compacting in quarry. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 867(1), 012014.

2. Mikhailov, A.V., Fedorov, A.S. Analysis of the screw press mouthpiece parameters for 3d extrusion of peat pieces of tubular type. // Journal of Mining Institute, 2021, 249(5), стр. 351–365.

Устройство для сбора кобальтомарганцевых корок со дна морей

Изобретение (устройство) может быть использовано в горнодобывающей промышленности. Устройство для сбора кобальтомарганцевых корок со дна морей содержит приемный бункер, жестко связанный со стойкой, центральную цапфу с механизмом поворота, шарнирно-рычажные механизмы перемещения приемного бункера с гидроцилиндрами, захваты. Захваты выполнены в виде грейферов с челюстями и гидроцилиндрами их перемещения, шарнирно закрепленными на цилиндрическом корпусе, выполненном с проушиной для соединения со свободными концами шарнирно-рычажных механизмов. Внутри корпуса соосно размещены ударная пика и поршень-боек, образующий с цилиндрическим корпусом камеры прямого и обратного хода. Достигается технический результат – обеспечение возможности предварительного разрушения и отделения кобальтомарганцевых корок от породы залегания, их отбор и надежный захват в условиях перемещения по сложно пересеченной поверхности морского дна.

Техническим результатом изобретения создание конструкции, обеспечивающей возможность предварительного разрушения и отделения кобальтомарганцевых корок от породы залегания, их отбор и надежный захват в условиях перемещения по сложно пересеченной поверхности морского дна.

Технический результат был достигнут тем, что захваты выполнены в виде грейферов с челюстями и гидроцилиндрами их перемещения, шарнирно закрепленными на цилиндрическом корпусе, выполненном с проушиной для соединения со свободными концами шарнирно-рычажных механизмов, внутри которого соосно размещены ударная пика и поршень-боек, образующий с цилиндрическим корпусом камеры прямого и обратного хода.

Устройство для сбора кобальтомарганцевых корок со дна морей включает приемный бункер, жестко связанный со стойкой, размещенной внутри центральной цапфы, снабженной механизмом поворота.

Верхняя часть центральной цапфы связана с кабель-тросом, а нижняя - шарнирно соединена с шарнирно-рычажными механизмами, снабженными гидроцилиндрами и захватами 9, выполненными в виде грейферов.

Грейфер снабжен челюстями и гидроцилиндрами их перемещения, закрепленные шарнирами на цилиндрическом корпусе, выполненном с проушиной, для соединения грейфера шарниром со свободными концами шарнирно-рычажных механизмов.

Внутри цилиндрического корпуса размещены соосно ударная пика и поршень-боек, образующий с цилиндрическим корпусом камеру прямого хода и камеру обратного хода.

Сведения об опубликовании: (преимущественно статьи SCOPUS / WOS Q1-2)

1. Патент на изобретение RU 203596 U1. Номер заявки 2021103823. Дата публикации 13.04.2021. Юнгмейстер Д.А., Королев Р.И., Сержан С.Л., Уразбахтин Р.Ю.

2. Serzhan, S.L., Yungmeister, D.I., Isaev, A.I. PARAMETERS OF SYSTEM WITH THE DREDGE HEAD FOR MINING OF FERROMANGANESE NODULES OF THE SEABED. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2020, 15(19), стр. 2097–2104.

НАПРАВЛЕНИЕ: ПЕРЕРАБОТКА РЕСУРСОВ

Проблемы переработки минеральных и техногенных ресурсов

1. Способ получения игольчатого кокса (Патент № 2753008 РФ) может быть использован в нефтеперерабатывающей промышленности, в частности применительно к процессу замедленного коксования, для производства высококачественных графитизированных крупногабаритных электродов, используемых в дуговых печах сверхвысокой мощности.

Техническим результатом является получение нефтяного игольчатого кокса с улучшенной структурной организацией и увеличение выхода дистиллятных фракций.

Технический результат достигается тем, что к декантированному тяжелому газойлю каталитического крекинга добавляют полистирол в количестве до 15,0 % масс. на сырье и рециркулят, с коэффициентом рециркуляции 1,4, далее проводят нагрев до температуры коксования от 495 до 505 °С при давлении от 0,33 до 0,37 МПа с образованием сырого игольчатого кокса и дистиллятов, полученный сырой игольчатый кокс после выгрузки направляют на прокалку в инертной среде при температуре от 1200 до 1300 °С в течении от 1 до 2 часов с получением прокаленного игольчатого кокса, который используют как основное сырье для выработки электродов высокой мощности.

2. Способ получения аморфного диоксида кремния из отходов переработки кремнефтористоводородной кислоты и производства фторида алюминия (Патент № 2765952 РФ) может быть использован в химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и каталитической промышленности.

Техническим результатом является повышение комплексности использования сырья за счет широкомасштабной переработки техногенного отхода кремнегеля, образующегося при получении фторида алюминия и кремнефтористоводородной кислоты, в продукт содержащий до 99,8 % масс. аморфного диоксида кремния.

Технический результат достигается тем, что предварительную обработку кремнегеля проводят раствором минеральной кислоты с концентрацией от 0,1% масс. до 0,5% масс. в соотношении ж:т от 5:1 до 20:1, затем нагревают до температуры от 25 до 100°С при непрерывном перемешивании в течение от 0,1 до 2 часов, с получением твердой фазы - аморфного диоксида кремния, который сушат на воздухе в течение не менее 48 часов при температуре от 20 до 25°С, затем разделяют на две фракции с размером частиц от 2 до 50 мкм и от 50 до 150 мкм и жидкой фазы, которую отправляют на утилизацию. Предварительную обработку кремнегеля проводят щелочным раствором с концентрацией от 0,1 % до 1,0 %.

3. Буровой раствор (Патент № 2763571 РФ) может найти применение при бурении относительно устойчивых и устойчивых трещиноватых пород, а также слабоустойчивых и относительно устойчивых пород, слабодиспергирующихся пород, и особенно для непоглощающих пород.

Техническим результатом является получение термически стабилизированного бурового раствора с уменьшением фильтрационных потерь и улучшением реологических свойств.

Технический результат достигается тем, что в качестве глиносодержащего вещества содержит сапонитовый глинистый шлам с концентрацией твердых веществ от 80 до 100 г/л, содержащий сапонит от 30 до 75 мас.%, и дополнительно - сульфат глыбу натриевую при следующем соотношении компонентов, мас. %: сапонит 8,20-10; сульфат глыба натриевая 0,27-0,94; вода - остальное.

4. Способ получения каркасных структур на основе SiO₂-Al₂O₃ (Патент № 2761822 РФ) может быть востребован в химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, ката-

лизаторной промышленности на основе очищенного отхода производства солей алюминия (аморфного диоксида кремния) и активного гидроксида алюминия псевдобемитной структуры.

Техническим результатом является получение гранулированных носителей катализаторов и сорбентов с широким диапазоном содержания в них диоксида кремния от 20 до 85% масс. и с улучшенными прочностными свойствами.

Технический результат достигается тем, что кремнегель предварительно сушат при температуре от 100 до 120°C в течение от 2 до 4 часов, направляют в реактор с мешалкой куда приливают раствор серной кислоты концентрацией 0,5% масс., полученную пульпу фильтруют с получением твердой фазы и жидкой фазы, включающей маточный раствор и промывные воды, которую отправляют на утилизацию, а твердую фазу отправляют на сушку на воздухе при температуре от 20 до 25°C в течение от 24 до 48 часов и при температуре от 60 до 80°C в течение 12 часов с получением аморфного диоксида кремния, который классифицируют с отбором мелкой фракции от 0,5 до 50 мкм, крупную фракцию отправляют на измельчение, затем смешивают с первоначальной мелкой фракцией, после чего весь полученный продукт направляют на смешение с порошком гидроксида алюминия, водой и жидкофазным пептизатором с образованием пластичной твердообразной пасты, далее проводят экструзионную формовку с получением экструдата с поперечным сечением в форме круга диаметром от 2,0 до 5,0 мм., который нарезают по длине до требуемого размера, сушку проводят при комнатной температуре в течение от 36 до 48 часов, полученные гранулы термообработывают при температуре от 550 до 1150°C в течение от 3 до 5 часов.

Сведения об опубликовании:

1. Gabdulkhakov R.R., Rudko V.A., Povarov V.G., Ugolkov V.L., Pyagay I.N., Smyahlyeva K.I. Technology of Petroleum Needle Coke Production in Processing of Decantoil with the Use of Polystyrene as a Polymeric Mesogen Additive. // ACS Omega, № 30, V 6, 2021. P 19995 – 20005. (Q1) DOI: 10.1021/acsomega.1c02985.

2. Kameshkov A.V., Rudko V.A., Gabdulkhakov R.R., Nazarenko M.Y., Starkov M.K., Pyagay I.N. Technology of Producing Petroleum Coking Additives to Replace Coking Coal. // ACS Omega, № 51, V 6, 2021. P 35307 - 35314. (Q1) DOI: 10.1021/acsomega.1c04075.

3. Smyshlyeva K.I., Rudko V.A., Povarov V.G., Shaidulina A.A., Efimov I.I., Gabdulkhakov R.R., Pyagay I.N., Speight J.G. Influence of Asphaltenes on the Low-Sulphur Residual Marine Fuels' Stability. // Journal of Marine Science and Engineering, № 11, V 9, 2021. P 1 - 13. (Q2). DOI: 10.3390/jmse9111235.

4. Nazarenko M.Y., Saltykova S.N., Rudko V.A., Pihl O. Production of Isotropic Coke from Shale Tar at Various Parameters of the Delayed Coking Process. // ACS Omega, № 34, V 6, 2021. P 22173 - 22179. (Q1). DOI: 10.1021/acsomega.1c02842.

5. Povarov V.G., Kopylova T.N., Sinyakova M.A., Rudko V.A. Quantitative Determination of Trace Heavy Metals and Selected Rock-Forming Elements in Porous Carbon Materials by X-ray Fluorescence Method. // ACS Omega, № 38, V 6, 2021. P 24595 - 24601. (Q1). DOI: 10.1021/acsomega.1c03217.

6. Efimov I.I., Povarov V.G., Rudko V.A. Use of Partition Coefficients in a Hexane-Acetonitrile System in GCMS Analysis of Polyaromatic Hydrocarbons on the Example of Delayed Coking Gasoil. // ACS Omega, № 14, V 6, 2021. P 9910 - 9919. DOI: 10.1021/acsomega.1c00691.

7. Zubkova, O., Alexeev, A., Polyanskiy, A., Karapetyan, K., Kononchuk, O., & Reinmöller, M. (2021). Complex Processing of Saponite Waste from a Diamond-Mining Enterprise. // Applied Sciences, 11(14), 6615. (Q2) DOI: 10.3390/app11146615.

2.19. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра

геотехнологий и строительства подземных сооружений

В 2021 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 2021 г. за кафедрой закреплено 13 аспирантов очной и заочной формы обучения и 2 докторанта. Руководство аспирантурой осуществляют 6 докторов наук. Подготовка кадров высшей квалификации на кафедре ведется по четырем направлениям и пяти профилям: направление 05.06.01 «Науки о Земле», профиль 25.00.36 «Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 15.06.01 «Машиностроение», профиль 05.05.06 «Горные машины»; направление 20.06.01 «Техносферная безопасность», профиль 05.26.01 «Охрана труда (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых», профили 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)». Успешная реализация программ подготовки кадров основывается на работе двух диссертационных советов на базе ТулГУ Д 212.271.04 и Д 212.271.16.

В 2021 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 *открытой геотехнологии* и *геомеханики* были уточнены закономерности изменения физико-механических свойств внутренних отвалов *известняковых карьеров*, содержащих глинистые породы, и твердеющих наполнителей из отходов горно-металлургического производства, и разработана рациональная геотехнология формирования внутренних отвалов глинистых пород и управления их геомеханическим состоянием путем создания подпорной стенки из известняковых отсеков и использования системы скважин с твердеющим наполнителем из отходов горно-металлургического производства.

Основные выводы и результаты:

1) доказано, что создание экологически рациональной геотехнологии формирования внутренних отвалов глинистых пород и управления их геомеханическим состоянием основывается на создании подпорной стенки из известняковых отсеков, препятствующей движению отвальной породной массы, с использованием системы скважин с твердеющим наполнителем, изготовленным из отходов горно-металлургического производства, а технологические параметры следует определять по результатам математического моделирования;

2) в процессе отвалообразования интервал нормальных напряжений, обусловленный внешними воздействиями, составляет 0,5–0,8 МПа, отсюда его можно принимать постоянным, как и коэффициент сжимаемости пород. Поэтому при численном определении величины порового давления в конкретных горно-геологических условиях целесообразно использовать решение одномерной задачи фильтрационной консолидации для граничных условий первого рода. При этом безразмерный напор в поровой воде в рассматриваемый момент времени зависит от консолидационного критерия Фурье;

3) установлено, что рационально использовать подпорную стенку трапециевидной формы с изменяющимися геометрическими параметрами: длиной по верхнему основанию от 5 до 10 м, высотой от 5 до 20 м, и углом наклона боковых граней равным 11° ;

4) результаты вычислительных экспериментов показали, что для всех моделируемых ситуаций подпорные стенки на известняковом карьере ОАО «Гурово-Бетон» являются устойчивыми по фактору опрокидывания и предотвращают перемещение пород в рабочее выработанное пространство за счет развития оползневых процессов на внутреннем отвале вскрышных пород;

5) минимальное значение коэффициента устойчивости на сдвиг, равное 1,568, было получено при длине верхнего основания 5 м и высоте подпорной стенки 20 м. Данное значение коэффициента устойчивости на сдвиг превышает нормативное значение, следовательно,

подпорная стенка обеспечивает поддержание массивов отвальных пород, не допуская фронтального развития оползней, а сдвиговые перемещения стенки отсутствуют;

6) объемная модель разработанного отвалообразования показала, что дополнительный объем внутреннего отвала при многоярусном устройстве отвала составит более 15 млн. м³. При производительности вскрышных работ, которая на карьере составляет 1 млн. м³, предлагаемая конфигурация внутреннего отвала обеспечит размещение вскрышных пород в течение 15 лет;

7) обоснована и разработана экономически рациональная технология укрепления откосов внутренних отвалов глинистых горных пород на известняковом карьере на основе шлакощелочного вяжущего из отходов горно-металлургического производства;

8) разработан состав шлакощелочного вяжущего, где в качестве инертной части использованы известняковые высевки, и алюмосиликатная составляющая подготавливается на основе гранулированного доменного шлака компании «Тулачермет»; исследованы физико-механические свойства тампонажного материала на основе шлакощелочного вяжущего;

9) предложена расчетная модель комплексной оценки показателей эффективности технических решений в рамках инвестиционного проекта рационального природопользования при открытой разработке месторождений полезных ископаемых с учетом экологической безопасности и экономической эффективности.

В области *геоэкологии* и *аэрогазодинамики* были уточнены закономерности динамики сепарации тонкодисперсных частиц из газопылевых потоков в центробежно-инерционном пылеуловителе, а также процессов разделения и классификации пыли в исследуемом аппарате и регулирования соотношением между фракциями по дисперсности, позволившие создать новые конструкции пылеуловителей, обосновать их конструктивные элементы и технологические режимы эксплуатации *для повышения эффективности очистки газопылевых смесей в аспирационных системах горнопромышленных предприятий и дробильно-сортировочных комплексов.*

Основные выводы и результаты:

1) установлена необходимость разработки и внедрения в производство сухих пылеуловителей, способных не только сепарировать мелкодисперсную пыль из газовых потоков с высокой степенью эффективности, но и одновременно, при необходимости, классифицировать ее по фракциям;

2) на созданной лабораторной установке была подтверждена высокая эффективность совмещения центробежной и инерционной сепарации мелкодисперсной пыли и показано, что для повышения улавливания тонких фракций пыли выявлена необходимость перераспределения результирующей силы от вращательной к инерционной;

3) разработан, изготовлен и смонтирован на одном из предприятий г. Ярославля опытно-промышленный центробежно-инерционный пылеуловитель (до 5 000 м³/час), в котором с новым завихрительным устройством типа «Беличье колесо» было организовано перераспределение центробежной и инерционной сепарации пыли;

4) теоретически и экспериментально установлено, что в разработанном пылеуловителе процесс сепарации мелкодисперсной пыли происходит в трех последовательно работающих зонах: в зоне закрутки газового потока; в зоне концентрации пыли на стенках пылеуловителя под действием центробежных сил; в зоне инерционного вывода мелкодисперсных частиц при резком развороте газового потока;

5) на опытно-промышленном центробежно-инерционном пылеуловителе экспериментально подтверждена высокая эффективность улавливания (до 93,8%) и классификация мелкодисперсной пыли разных плотностей и дисперсного (до 15 мкм) состава;

6) разработана математическая модель газодинамических процессов в элементах пылеуловителя, учитывающая характерные особенности их функционирования в аппарате, совмещающем принципы центробежной и инерционной сепарации пыли;

7) разработан и защищен свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ программно-вычислительный комплекс математического моделирования и компьютерной визуализации процессов газодинамики в полостях пылеулавливающего оборудования. Путем сравнения расчетных и натурных данных доказана адекватность получаемых результатов при расчете эффективности очистки воздуха в аспирационных системах;

8) экспериментально доказано, что эффективность улавливания мелкодисперсной пыли тем выше, чем ниже концентрация пыли в газовом потоке, что позволяет рекомендовать разработанный пылеуловитель в качестве второй ступени очистки после циклонов;

9) разработаны и защищены патентами Российской Федерации конструкции центробежно-инерционных пылеуловителей с одновременной классификацией, при необходимости, тонкодисперсных частиц по фракциям, способных решить задачу эффективной сепарации наиболее трудноулавливаемой мелкодисперсной пыли из загрязненного воздуха аспирационных систем горнопромышленных и дробильно-сортировочных комплексов для минимизации антропогенной нагрузки на атмосферу.

В области *геоэкологии, аэрогазодинамики* и *горной теплофизики* были установлены новые и уточнены существующие закономерности аэрогазодинамических и теплофизических процессов, воздействие которых на окружающую среду обусловлено ликвидацией шахт и обогатительных фабрик, и их взаимосвязи с эколого-экономической эффективностью комплексного освоения угольных месторождений **для эффективного прогноза последствий загрязнения окружающей среды при ликвидации горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.**

Основные научные и практические результаты:

1) установлено, что интенсивность воздействия подземной добычи угля на окружающую среду горнопромышленных регионов характеризуется интегральным воздействием пылегазовых выбросов, сбросов и нарушения земель и их взаимосвязи с производственной мощностью шахт и обогатительных фабрик. После закрытия шахт и обогатительных фабрик продолжается отрицательное воздействие породных отвалов и выработанных пространств на атмосферу, водные ресурсы и почву, а процессы низкотемпературного окисления угольных скоплений на породных отвалах и фильтрация метана на земную поверхность представляют наибольшую экологическую опасность;

2) теоретически обоснованы и практически разработаны методические принципы оценки воздействия горных предприятий на атмосферу, которые позволяют реализовать единый подход к инвентаризации источников загрязнения воздушного бассейна, прогнозировать интенсивность образования пылегазовых выбросов по энергоёмкости производства и контролировать состояние атмосферы, используя косвенные показатели загрязнения атмосферы;

3) исследованы основные закономерности распределения примеси в атмосфере на основе аналитического решения уравнения диффузии при постоянных значениях ортогональных компонент скорости ветра и коэффициентов турбулентной диффузии. Полученные результаты исследований загрязнения атмосферы при подземной угледобыче, после соответствующей адаптации при наличии фактической информации о метеорологических параметрах окружающей среды и экономических показателях предприятий, могут быть использованы при разработке территориальной автоматизированной системы управления предприятиями по эколого-экономическим критериям и контроля выбросов загрязнителей в атмосферу, как центрального региона, так и Западной Сибири;

4) интенсивность воздействия подземной добычи коксующихся углей на окружающую среду характеризуется интегральным показателем экологической безопасности, который основывается на закономерностях формирования пылегазовых выбросов, сбросов и нарушения земель, и их взаимосвязи с производственной мощностью шахт и величиной электропотребления;

5) установлено, что фильтрационный поток метана из выработанных пространств с течением времени стремится к некоторому установившемуся значению, которое может существовать довольно долго на территории горного отвода ликвидированной шахты. Установившийся фильтрационный поток метана на земную поверхность зависит, главным образом, от газовой проницаемости подработанных горных пород;

6) математические модели экологических последствий, основывающиеся на дифференциальных уравнениях логистического типа, позволяют прогнозировать уровень воздействия подземной угледобычи на окружающую среду при различных прогнозных сценариях энергопотребления горными предприятиями;

7) движение воздуха при обтекании породных отвалов следует моделировать системой уравнений турбулентного движения вязкой текучей среды О. Рейнольдса, используя для численного решения метод конечных объемов. Численное решение уравнений движения

О. Рейнольдса позволяет визуализировать картину течения воздуха в особых зонах и прогнозировать пылегазовый перенос в приземном слое атмосферы. А пылегазовый перенос целесообразно моделировать уравнением конвективно-турбулентной диффузии, задавая скорость конвективного переноса по результатам расчета поля скоростей, формирующегося при обтекании отвала;

8) концентрация вредного вещества в воздухе рассчитывается на основе аналитического решения уравнения диффузии для трехмерного полупространства при постоянных значениях ортогональных компонент скорости ветра и коэффициентов турбулентной диффузии и для системы «промышленные предприятия - атмосфера» можно сформулировать задачу эколого-экономического компромисса и построить территориальный «институт согласия» (решение, оптимальное по Парето);

9) динамика поступления атмосферного кислорода в угольное скопление за счет диффузии имеет монотонно убывающий вид, а диффузионный поток стремится к асимптотическому значению, зависящему от диффузионных и сорбционных характеристик угля. А нестационарный продольный профиль температуры имеет точку максимума, мигрирующую вглубь рассматриваемого массива, и увеличивающуюся до некоторого фиксированного значения, обусловленного установившимся распределением температуры в угольном скоплении;

10) в процессе переноса пыли происходит интенсивное ее осаждение и накопление на внешней поверхности почвы, а также образование токсичных почвенных растворов. Дальнейшая миграция жидких загрязнителей в почвенный слой и подстилающие породы в зоне действия породного отвала описывается одномерным уравнением конвективной диффузии с учетом кинетики сорбции загрязнителей;

11) экологический прогноз и оптимизация технико-экономических параметров по аэрологическому фактору должна быть основана на правилах, регламентированных институтами согласия, и объединяющими горные предприятия с предприятиями других отраслей промышленности. При этом функция, характеризующая зависимость качества атмосферного воздуха от затрат на локализацию пылегазовых выбросов, является линейной, а зависимость прибыли предприятий от капиталовложений в развитие производства имеет экспоненциальный вид.

В области *физико-химической геотехнологии* и *горной теплофизики* были уточнены существующие закономерности теплофизических процессов в фильтрационном канале для прогнозирования рациональных параметров теплообмена и физико-химических реакций, обеспечивающих дальнейшее развитие *технологии подземной газификации углей*.

Основные выводы и результаты:

1) доказано, что важнейшим теплофизическим процессом при подземной газификации угля является формирование непрерывного контакта дутья с горящим угольным пластом на определенной длине канала газификации подземного газогенератора для обеспечения устойчивого горения угольного пласта за счет стабильного подвода кислорода к огневому забою путем фильтрационного движения воздуха через термически подготовленный уголь, поэтому реакция кислорода с углем происходит в диффузионной области с практически постоянной скоростью;

2) рекомендовано в качестве параметров оптимизации подземного газотеплогенератора использовать расстояние между скважинами и рядами скважин, количество воздуха, подаваемого в нагнетательные скважины, и перепад давления, развиваемый источниками тяги, которые зависят от физических, химических и горно-геологических факторов, определяющих интенсивность физико-химических процессов, сопровождающих горение угольного пласта;

3) установлено, что физико-химическими факторами, определяющими интенсивность теплофизических процессов горения угля в фильтрационном канале, являются проницаемость, трещиноватость и влажность угля и вмещающих пород, коэффициент диффузии кислорода, энергия активации, константа скорости окисления угля и тепловой эффект реакции кислорода с углем;

4) установлено, что происходит интенсивный теплообмен газифицируемого угольного пласта с вмещающими породами, а также теплообмен, обусловленный испарением влаги; теплотери за счет этих процессов могут достигать 25%, поэтому при прогнозировании

режимов работы теплогазогенераторов следует учитывать данный вид теплопотерь и снижать их путем предварительного осушения газифицируемого угольного пласта;

5) подземная газификация угля в фильтрационном канале является хорошо управляемым процессом, а ограниченное применение такой технологии обусловлено низкой газовой проницаемостью углей многих месторождений, поэтому наиболее рациональным воздействием, повышающим газовую проницаемость газифицируемого угля, является использование камуфлетных взрывов удлиненных зарядов;

6) установлено, что с ростом числа скважин значение минимальной скорости фильтрации монотонно возрастает, но, начиная с 13–15 скважин, его прирост незначителен;

7) выявлено, что устойчивое горение угольного пласта достигается, если концентрация кислорода в огневом забое равна $C_0 \left(1 + K_r L_{0.3} / u\right)^{-1}$, где C_0 – начальная концентрация кислорода в воздухе, поступающем в нагнетательные скважины; K_r – константа скорости химического взаимодействия кислорода с углем при температуре $T_{0.3}$; $L_{0.3}$ – оптимальная длина огневого забоя; u – скорость фильтрации воздуха, поступающего к огневому забою; оптимальное расстояние между рядами скважин составляет 20...30 м.

8) установлено, что оптимальная влажность угля, обеспечивающая максимальную величину константы скорости химического взаимодействия угля с кислородом воздуха, составляет 7,8-10,5%.

В области *геотехники и строительной геотехнологии* была решена научная проблема разработки и совершенствования методологической и теоретической базы расчета и проектирования горнопроходческих машин для проведения подземных горных выработок различного назначения с применением безвзрывных технологий на основе анализа накопленного массива знаний о разрушении горных пород современными средствами.

Получены следующие научные результаты:

1) установлена корреляционная зависимость между характерными (согласно имеющимся классификациям) значениями абразивности горных пород по методу Барона-Кузнецова и методу CERCHAR;

2) усовершенствован метод определения коэффициента обнажения забоя, отражающего отличие фактического шага резания от оптимального шага резания для заданного режима;

3) разработан метод интегральной оценки сложности проекта проходки горной выработки, учитывающий прочность горных пород и наличие в них ослабляющих нарушений сплошности горного массива (трещины и т.п.), и на его основе предложен критерий однородности проекта проходки горной выработки;

4) разработан метод для оценки текущей степени износа дисковых шарошек;

5) установлены математические зависимости для расстановки породоразрушающих инструментов на исполнительном органе тоннелепроходческой щитовой машины, позволяющие осуществлять расчет в автоматическом режиме;

6) установлены математические выражения для определения угла наклона относительно оси вращения исполнительного органа тоннелепроходческой щитовой машины и шага резания для породоразрушающих инструментов в периферийной зоне;

7) получена формула для расчета производительности по разрушению при обработке забоя по технологической схеме, реализуемой стволопроходческими комбайнами типа СПКВ;

8) определено значение коэффициента передачи энергии для экспресс-оценки производительности стволопроходческих комбайнов типа СПКВ по методике Колорадского горного университета;

9) усовершенствован аналитический метод определения глубины резания хрупких материалов, в том числе горных пород, гидроабразивными струями;

10) установлены зависимости для определения критической (пороговой) скорости разрушения горных пород гидроабразивной струей в идеализированном и реальном случаях;

11) установлена зависимость для определения порогового давления воды в гидросистеме, необходимого для создания гидроабразивных струй, способных вызывать необратимые деформации хрупких материалов путем создания в них трещин отрыва.

Практические результаты заключаются в следующем:

1) обоснованы и выбраны методы определения пределов прочности горных пород на одноосное сжатие и растяжение и метод испытаний горных пород на трещиностойкость (вязкость разрушения);

2) получено выражение для коэффициента, учитывающего комплексное влияние размеров образца на величину предела прочности горных пород на одноосное сжатие;

3) предложена шкала соответствий между коэффициентом крепости по М.М. Протодьяконову и пределом прочности на одноосное сжатие и контактной прочностью для использования при расчете исполнительных органов горнопроходческих машин;

4) установлено, что применение коэффициента крепости по шкале М.М. Протодьяконова в инженерных расчетах горнопроходческих машин допустимо для пород крепостью не более 8 или, в крайнем случае, 10 единиц;

5) установлены параметры расстановки тангенциальных резцов для различных схем набора инструмента, при которых выход резцов из строя не приводит к существенному росту усилий на них в соседних линиях резания;

6) разработана инженерная методика определения усилий, действующих на резец в процессе разрушения горных пород с учетом текущего режима резания;

7) разработана инженерная методика оценки усилий на лобовых дисковых шарошках по результатам стендовых испытаний с использованием масштабных коэффициентов;

8) разработана методика проектирования исполнительного органа тоннелепроходческой щитовой машины, предусматривающая, во-первых, разность подходов к расстановке породоразрушающих инструментов в его центральной, основной (срединной) и периферийной зонах, а во-вторых, минимизирующая до рациональных значений неравномерность распределения моментов на исполнительном органе и его вибрацию;

9) разработаны алгоритмы для вычисления технологических параметров стволопроходческого комбайна СПКВ;

10) даны рекомендации относительно граничных условий реализации технологических схем обработки забоя стволопроходческим комбайном 1СПКВ-8,0;

11) адаптирована методика силового расчета для проходческих комбайнов адаптирована к расчету параметров исполнительного органа стволопроходческих комбайнов типа СПКВ;

12) даны рекомендации относительно граничных условий реализации технологических схем обработки забоя стволопроходческим комбайном 1СПКВ-8,0;

13) определены рациональные области применения по крепости горных пород для фрез с различными вариантами расстановки породоразрушающего инструмента;

14) разработана линейка типоразмерного ряда стволопроходческих комбайнов типа СПКВ с рекомендуемыми значениями мощности привода исполнительного органа 250, 335 или 355 и 400 кВт.

15) определены значения фактической производительности комбайна 1СПКВ-8,0 по разрушению горных пород различной крепости при проходке ствола на Талицком ГОК, г. Березники, Пермский край, РФ.

Основные выводы и рекомендации:

1) обоснованы методы проведения испытаний для определения свойств горных пород, оказывающих влияние на эффективность работы горнопроходческих машин;

2) разработаны и усовершенствованы расчетные методы для определения эффективности разрушения горных пород тангенциальными резцами, лобовыми дисковыми шарошками и комбинированным воздействием механического инструмента и гидроабразивных струй;

3) разработаны и усовершенствованы методики проектирования и расчета эффективности применения тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК);

4) разработаны основы проектирования и расчета эффективности применения стволопроходческих комбайнов и мобильных установок, реализующих разрушение горного массива комбинированным воздействием гидроабразивных струй и механического инструмента.

5) доказано, что расстановку тангенциальных резцов на породоразрушающих органах, которые предполагается использовать для разрушения крепких абразивных горных пород с ожидаемым повышенным расходом инструмента, необходимо осуществлять по схемам с несколькими резцами в линии резания; при этом величина подачи на забой не должна превышать значения вылета резца, отнесенного к числу резцов в линии резания;

6) выявлено, что при расстановке лобовых дисковых шарошек на исполнительном органе ТПМК технические отверстия следует располагать на максимально возможном удалении от центра вращения исполнительного органа, а форму технических отверстий желательно выполнять сужающейся в направлении центра вращения. При этом угловой шаг между шарошками следует выбирать не менее величины угла, образуемого лучами, проходящими по касательным к наиболее широкому техническому отверстию;

7) установлено, что для наиболее эффективной проходки шахтного ствола стволопроходческими комбайнами, опирающимися на забой при помощи щитовой распорной оболочки, следует оставлять на периферии забоя необработанные участки, минимальная ширина которых больше ширины основания щитовой распорной секционной оболочки, а максимальная ширина меньше диаметра породоразрушающего органа. При этом обработку этих участков следует вести круговым движением в направлении, обратном направлению обработки центральной зоны забоя серповидными резами;

8) доказано, что обработку центральной зоны забоя шахтного ствола при работе стволопроходческого комбайна типа СПКВ следует вести минимально возможным числом серповидных резов для уменьшения числа вспомогательных операций, увеличения технической производительности и снижения динамики на исполнительном органе;

9) доказано, что для обеспечения рациональных параметров скалывания механическим инструментом целиков, образующихся при нарезании ослабляющих щелей гидроабразивной струей, целесообразно варьировать, в первую очередь, массовый расход абразива, и во вторую очередь, давление воды.

10) отмечено, что указанные методики расчета, а также все конструктивные решения и рекомендации используются ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» и ФГУП «УС-30 СМУ-680» при создании и эксплуатации горнопроходческих машин для проведения подземных горных выработок различного назначения.

В 2021 году получены следующие научно-технические результаты:

подготовлены и защищены 2 докторские и 3 кандидатские диссертации;

изданы 2 монография общим объемом 43,9 условно-печатных листа и 4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о земле»; издание «Известия ТулГУ. Науки о Земле» включено в международную базу цитирования Web of Science, статьям присваивается индекс DOI;

публикационная активность (исходя из рекомендованных рейтинговых показателей): количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus – 12; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science – 12; количество статей в журналах, принадлежащих к первым двум квартилям международных баз цитирования Web of Science и Scopus – 4; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования РИНЦ – 30; получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и 1 свидетельство о регистрации базы данных;

по результатам обучения в аспирантуре подготовлены 2 аспиранта, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь»;

совместно с НП «Молодежный форум лидеров горного дела» и Фондом «Надежная смена» проведен отборочный тур IX Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» (Лига по горному делу) (в отборочном туре приняли участие 4 команды из студентов кафедры, одна команда дошла до финала), а также отборочный этап Осеннего кубка Международного чемпионата (две команды прошли в полуфинал).

2.20. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С 2021 г. Уральский государственный горный университет приступил к реализации программы развития вуза, прошедшей конкурсный отбор федеральной программы поддержки вузов «Приоритет-2030». В итоге в университете получили целенаправленное развитие научные исследования по трем стратегическим проектам:

1. Новые технологии поиска и добычи минерального сырья;
2. Новые инструменты минимизации экологической нагрузки предприятий горно-металлургического и нефтегазового комплексов и их инфраструктуры;
3. Создание технологий минимизации экологических последствий и мониторинга охраны окружающей среды.

В числе заказчиков прикладных НИОКР университета постоянные партнеры: Институт ВСЕГЕИ, АО «Карабашмедь», ОАО «Ураласбест», АО «Учалинский ГОК», ПАО «Гайский ГОК», ОАО «Святогор», АО «Сибирь-Полиметаллы», АО «ЕВРАЗ НТМК», АО «ЕВРАЗ КГОК», ПАО «Сусуманзолото», ОАО «Карамкенская геолого-геофизическая экспедиция», АО «УК «Кузбассразрезуголь», ПАО ГМК «Норильский никель», РОО «Национальная инженерная академия РК», ЗАО «Фарм», ПГС Предприятие «Эрдэнэт», ПАО «Уралмашзавод».

1. Проект «Применение современных цифровых геологических карт при исследованиях перспективных площадей» *(по первому стратегическому проекту)*

Работы по данному проекту выполнялись по заказу ФГБУ «ВСЕГЕИ», теме «Проведение региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Уральского и Приволжского ФО» и по заказу ОАО «Карамкенская геолого-геофизическая экспедиция» по теме «Геологические исследования в пределах участка недр Кейтеванская перспективная площадь».

Целевое назначение работ

Заключается в подготовке геологической информации для оценки изученности и подготовки геологического обоснования проведения ГДП-200 листа О-40-XXIX (Шалинская площадь), а также для предварительной оценки перспектив территории на железо, золото, платиноиды и другие полезные ископаемые.

Основные задачи: составление геологической карты дочетвертичных образований; карты четвертичных образований; карты полезных ископаемых и закономерностей их размещения; схемы зарамочного оформления.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

По результатам ГДП-200 листа О-40-XXIX (Шалинская площадь) составлен предварительный вариант карт комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:200 000, включающий: геологическую карту дочетвертичных образований; карту четвертичных образований; карту полезных ископаемых и закономерностей их размещения; схемы зарамочного оформления масштаба 1:500 000 – тектоническая, геоморфологическая, минерагенического районирования и др.

Уточнено геологическое строение и характер метасоматических преобразований пород Кейтеванской перспективной площади, составление предварительных карт масштаба 1:25 000 участка недр Кейтеванская перспективная площадь, в том числе геологической и метасоматической. Выполнены работы по составлению предварительных специализированных геохимических карт. Все карты выполнены с цифровыми моделями в формате ГИС (ArcGIS, CorelDRAW).

В пределах Западно-Уральской алмазо-золотороссыпной минерагенической зоны уточнена южная граница выделенного ранее Белокатайского (Восточного) потенциального золоторудно-россыпного узла.

Предполагаемое использование результатов

Составление современной многоцелевой геологической основы для решения различных народнохозяйственных задач, оценка перспектив территорий на обнаружение промышленных месторождений урана, золота, меди, цинка и других полезных ископаемых.

2. Проект «Новые технологии переработки бедных руд и техногенных образований» (по первому стратегическому проекту)

Целевое назначение работ

Повышение эффективности горнодобывающего комплекса на основе разработки передовых технологий, обеспечивающих лидерские компетенции в области обогащения полезных ископаемых и техногенных образований. Для достижения указанной цели решаются задачи:

- разработка новых технологий переработки бедных руд и техногенных образований путем повышения эффективности дезинтеграции и обогащения полезных ископаемых;
- аудит действующих технологий на горных предприятиях;
- технико-экономическая оценка действующих технологий на горных предприятиях.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

По проекту выполнены следующие работы:

Проведен аудит систем производственного контроля на обогатительной фабрике. Оптимизация расчетов при составлении технологических товарных балансов металлов при переработке сырья для предприятий ЗАО «Урупский ГОК», АО «Сибирь-Полиметаллы»;

Разработаны рекомендации по повышению извлечения меди из шлаков медеплавильного производства АО «Карабашмедь»;

Проведены предварительные исследования обогатимости бедных золотосодержащих руд на базе золоторудного месторождения Штурмовского, ПАО «Сусуманзолото»;

Проведены сравнительные лабораторные испытания по выбору схемы СМС, оценке повышения обогатимости и измельчаемости руд после операции ИВВД в существующей технологии АО «ЕВРАЗ КГОК»;

Разработаны методические подходы для разработки типовой методики оценки целевой (оптимальной) погрешности учета цветных и драгоценных металлов в балансовых металлосодержащих продуктах;

Дана технико-экономическая оценка целесообразности переработки отвалов в металлургическом производстве в качестве золотосодержащих флюсов АО «Святогор».

Предполагаемое использование результатов

На основании проведенных исследований разработаны технологии рудоподготовки и обогащения для горных предприятий России и Казахстана.

3. Проект «Технологический регламент по переработке угля на ОФ «Вахрушевская» (по второму стратегическому проекту)

Технологический регламент по переработке угля на ОФ «Вахрушевская» разработан согласно Приказу Ростехнадзора от 28.10.2020 № 428 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при переработке, обогащении и брикетировании углей» согласно договору между ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» и предприятием АО «УК «Кузбассразрезуголь»

Целевое назначение работ

Технологический регламент по переработке угля на ОФ «Вахрушевская» определяет порядок и условия безопасного ведения технологических процессов в соответствии с технологической схемой.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

При разработке технологического регламента проанализирована сырьевая база фабрики, определена обогатимость по машинным классам, рассмотрены технологические процессы и основное технологическое оборудование.

На основании полученных результатов анализа сырьевой базы и установленных норм засорений продуктов обогащения, разработаны режимные карты эксплуатации основного технологического оборудования.

Предполагаемое использование результатов

Установленные основные требования к технологическим процессам и оборудованию по переработке угля и даны основные параметры процессов обогащения угля, которые должны контролироваться в период эксплуатации.

4. Проект «Разработка экономически эффективной и экологически безопасной технологии переработки железосодержащих хвостов обогащения Верхне- и Нижне- Чурбашского шламохранилищ» (по второму стратегическому проекту)

Хвосты Верхне- и Нижне- Чурбашского шламохранилищ накоплены в результате переработки железных руд на Камыш-Бурунском железорудном комбинате. В шламохранилищах захоронено более 52 млн. тонн хвостов. На сегодняшний день стоит актуальная задача вовлечения в переработку данного вида техногенного сырья.

Целевое назначение работ

Разработка эффективной технологии переработки железосодержащих хвостов обогащения.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

Путем лабораторных исследований флотационных, гравитационных, магнитных, гидрометаллургических и комбинированных технологий переработки железосодержащих хвостов обогащения, а также технико-экономическим и экологическим обоснованием выбран и исследован метод обжиг-магнитной технологии. Выполнен анализ достижений в области обжиг-магнитного обогащения. Определена перспективность метода для обогащения окисленных железных руд.

Предполагаемое использование результатов

Для проектирования экономически эффективного и экологически безопасного производственной технологии переработки более 52 млн. т железосодержащих хвостов обогащения в условиях Крымского полуострова.

5. Проект «Разработка метода автоматизированного формирования паспорта буровзрывных работ путем использования интеллектуальных нейросетевых алгоритмов» (по третьему стратегическому проекту)

Проект реализован на основе проекта организации взрывных работ на Подземном руднике АО «Сафьяновская медь».

Целевое назначение работ

Определение основных действующих методик формирования паспортов буровзрывных работ, их адаптация для формирования паспортов буровзрывных работ в автоматизированных системах.

Основные научные и научно-технические результаты проекта

Разработан прототип программно-аппаратного комплекса, обладающего гибкими возможностями настройки и использования интеллектуальных алгоритмов для оптимизации расчетов и построения паспортов БВР, а также функционалом улучшения методик расчета на основе обратной связи с применением анализа поступающих данных о лазерном сканировании после каждого цикла взрывных работ.

Предполагаемое использование результатов

Продолжение работ по созданию программно-аппаратных средств для автоматизированного формирования паспорта буровзрывных работ путем использования интеллектуальных нейросетевых алгоритмов и его тиражированию на горных предприятиях.

**2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Факультет строительства и архитектуры

Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела

За период 2020-2021 учебного года исследования проводились в следующих направлениях:

1. Подготовка специалистов в области горного дела (доц. к.п.н. Семенова Л.А.)
2. Аксиологический аспект горного дела и горного образования (доц. аспирант Семенова Е.И.).
3. Проблема зависимости геомеханического состояния трещиноватости массива от интервала замедления в зоне массовых взрывов (проф. Хаустов В.В.)

Подготовка специалистов в области горного дела

За период 2020-2021 учебного года ППС кафедры продолжили исследования в области проблем профессиональной подготовки специалистов по горному делу. Работы Семеновой Л.А. посвящены истории развития и становления горного образования в России. Автор

отмечает, что на сегодняшний день в науке до сих пор нет четкой классификации этапов зарождения и становления горного образования. Работы, посвященные этой теме, в основном затрагивают становление горнозаводских школ Урала, а среди известных авторов называют советского исследователя Н.Г. Нечаева. Именно его исследования положили начало изучению вопроса становления горного образования в России.

В рамках работ рассмотрены архивные источники В. Генина «Описание Уральских и Сибирских заводов» и В. Татищева «Инструкция «О порядке преподавания в школах при уральских казенных заводах».

Автор приходит к выводу о том, что в петровскую эпоху горное образование было трехуровневым и представляло собой зачатки профессионального образования.

Аксиологический аспект горного дела и горного образования

В исследованиях Семеновой Е.И. рассмотрен один из аспектов философии горного дела – аксиологический аспект горной науки. Ей подчеркнуто, то данный аспект основывается на философском осмыслении проблем, неотделим от субъекта горной науки и неразрывно связан с аксиологическим аспектом горного образования.

Е.И. Семёнова приходит к выводу о том, что с философской точки зрения современная ситуация требует переосмысления путей и подходов, используемых в горной науке, основанных на достижениях фундаментальных наук. Это не может не повлечь за собой изменения в образовании субъекта горной науки. В работах отмечено, что в современных условиях возникает острая необходимость в реформировании горного образования, затрагивающая, прежде всего, изменение содержания образования и используемых методов обучения, основанных на преодолении ценностной нейтральности субъекта горной науки и горного образования.

Проблема зависимости геомеханического состояния трещиноватости массива от интервала замедления в зоне массовых взрывов

Проф. д.г-м. наук Хаустов В.В. в своих исследованиях указывает на то, что при проведении массовых взрывов на карьерах с увеличением интервала замедления скорость колебаний от сейсмического действия взрыва в районе охраняемого объекта как правило уменьшается. Однако сейсмически безопасный интервал замедления зависит от горно-геологических условий, которые существенно меняются в пределах карьерного поля, а также от горнотехнических параметров. Целью исследований по данной проблеме является получение теоретических формул расчета скорости колебаний, сжимающих напряжений и относительных деформаций горного массива в зависимости от интервала замедления на основе разработки механизма формирования сейсмозрывных волн при короткозамедленном взрывании в трещиноватых массивах горных пород, доказательство правомерности формул. Анализ литературных источников позволил разработать механизм формирования сейсмозрывных волн в трещиноватых горных массивах, согласно которому высокоскоростное соударение раздробленных и нераздробленных отдельностей в массиве под действием давления продуктов детонации создает упругие сейсмозрывные волны. Теоретические исследования дали возможность получить формулы для определения скорости колебаний массива, сжимающих напряжений и относительных деформаций в зоне сейсмического действия взрыва в зависимости от интервала замедления. Путем математического, численного анализа и сравнения результатов с данными практики доказана правомерность формулы определения скорости колебаний массива в зависимости от интервала замедления. Приведенные зависимости являются основой для разработки элементов правил ведения взрывных работ с целью минимального воздействия сейсмозрывных волн на охраняемые объекты в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Список литературы:

1. Садовский М.А. Сейсмика взрывов и сейсмология. // Известия АН СССР. Физика Земли. — 1987. — № 11. — С. 34—42.
2. Адушкин В.В., Спивак А. А. Подземные взрывы. — М.: Наука, 2007. — 579 с.
3. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра, 1976. — 270 с.
4. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности: учебное пособие. — М.: Изд-во «Горная книга», Изд. МГГУ, 2009. — 670 с.

5. Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л., Эквист Б.В., Токаренко А.В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах: Учебное пособие. — М.: Изд-во «Горная книга», 2002. — 228 с.

6. Господариков А.П., Зацепин М.А. Математическое моделирование нелинейных краевых задач геомеханики. // Горный журнал. - 2019. - № 12. - С. 16-20. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.03.

7. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. — М.: Недра, 1981. — 192 с.

8. Цибаев С.С., Ренев А.А., Позолотин А.С., Мефодьев С.Н. Оценка влияния динамических сейсмических воздействий на устойчивость подземных горных выработок. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 2. — С. 101–111. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111.

**2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Г.И. НОСОВА»**

Институт горного дела и транспорта

Геотехнология

Обоснована стратегия комплексного использования природных и техногенных георесурсов, обеспечивающая формирование в процессе ведения добычных работ техногенных объектов с заданными потребительскими свойствами с целью дальнейшего их использования в соответствии с выбранным перспективным направлением. Показано, что устойчивое развитие горнотехнической системы позволяет не только компенсировать влияние негативных факторов, возникающих на всех этапах ведения добычных работ, но и исключить конфликт интересов субъектов, взаимодействующих при освоении участка недр. Обоснованы потенциальные направления создания техногенных объектов, реализация которых позволяет расширить номенклатуру продукции открытой геотехнологии.

В результате моделирования многофункциональной схемы вскрытия месторождения при совокупном использовании природных и техногенных георесурсов выявлено, что для обеспечения формирования и эксплуатации техногенного объекта с целью размещения текучих отходов, на стадии проектирования горнотехнической системы необходимо предусматривать заложение капитальных съездов на противоположенном от точки сброса борту карьера в пределах определенной величины сектора заложения. При этом организация контролируемого распространения размещаемых текучих отходов в самотечном режиме при их подаче в выработанное пространство карьера следует осуществлять по специально сформированной поперечной крутой траншее с шириной дна не менее 2,5м. Установлено, что ширина дна карьера практически не влияет на величину центрального угла сектора заложения капитальной траншеей, при этом до глубины карьера равной 50-60м его величину следует принимать близкой к 179 градусам.

Установлено, что внедрение роботизированных комплексов горнотранспортного оборудования позволяет сократить размеры рабочей площадки при тупиковом типе забоя не менее чем в 2 раза, при использовании экскаваторов с объемом ковша до 5м³, и до 42% и 30%, соответственно, для бокового и тупикового забоя при емкости ковша более 5м³. Увеличение величины руководящего уклона на 45% обеспечивает снижения среднего коэффициента вскрыши более чем на 17%.

Для условий Юбилейного месторождения суммарный экономический эффект в 54,6 млн. руб., обеспечен за счет перехода на многофункциональную систему вскрытия и переноса капитального съезда на глубоких горизонтах при доработке балансовых запасов в пределах проектного контура карьера, формирования техногенного пространства для размещения пород от проходки подземных горных выработок. Для условий Худолазского месторождения суммарный экономический эффект в 179 млн. руб. который обеспечен опережающим вскрытием Северного участка с целью использования вскрышных пород для наращивания дамбы хвостохранилища СОФ. Для условий Восточно-Семеновского месторождения суммарный экономический эффект в 57 млн. руб., достигнут за счет создания техногенной емкости и использования пород вскрыши для формирования дамб хвостохранилища, а также принятая многофункциональная

система вскрытия для последующей доработки запасов подземным способом. Экономический эффект подтвержден актами предприятия и оформлен в установленном порядке.

Обогащение полезных ископаемых

Проведены исследования влияния параметров руды, воды и реагентов на флотированность минералов - носителей золота руды Березняковского месторождения с целью повышения технологических показателей. Опыты проведены в открытом и замкнутом циклах на водопроводной и оборотной воде ЗИФ «Березняковский ГОК» из различных источников водоснабжения фабрики. Опыты проведены на крупности помола, соответствующей фабричному регламенту, с применением реагентов, используемых на ЗИФ «Березняковский ГОК», с получением максимального уровня извлечения золота при заданном качестве отвальных хвостов.

Результаты регрессионного анализа показателей обогащения и качества исходной руды показали значимую корреляцию между содержанием золота в исходной руде и качеством концентрата ($r=0,87$); между извлечением и расходом сернистого натрия ($r=0,69$). Это свидетельствует о наличии тесной взаимосвязи между расходом модификатора и извлечением в концентрат, но в большей степени между содержаниями золота в исходной руде и концентрате.

Флотационные опыты показали, что при различных рН среды существуют реагентные режимы, позволяющие получить близкие между собой результаты по извлечению золота. При неизбежном изменении рН оборотной воды на фабрике, в отсутствие возможности её кондиционирования до оптимальных значений (рН 9,5), основными режимными параметрами, которые требуют корректировки, являются расходы медного купороса и ксантогената. Рациональными соотношениями расходов $\text{Na}_2\text{S}:\text{CuSO}_4:\text{КХ}$ в межцикловой флотации являются соотношения: при рН 8,6 $\text{Na}_2\text{S}:\text{CuSO}_4:\text{КХ} = 3:1,5:1$; при рН 7,6 $\text{Na}_2\text{S}:\text{CuSO}_4:\text{КХ} = 7:1:1,8$.

При изучении влияния рН воды и вида реагентов-регуляторов среды на технологические показатели флотации на голодном реагентном режиме ($q\text{Na}_2\text{S} = 50\text{ г/т}$; $q\text{CuSO}_4=25\text{ г/т}$; $q\text{КХ}=10\text{ г/т}$) наилучший результат по извлечению (53,2 %) и содержанию золота (7,53 г/т) в концентрате получен с применением кальцинированной соды.

При увеличении расхода сернистого натрия до 200 г/т наилучший результат по извлечению получили при использовании извести ($\epsilon= 53,77\%$, $\beta=5,49\text{ г/т}$). Близкие к вышеуказанным сопоставимые результаты получены на смеси извести и каустической соды и рекомендованном реагентном режиме без реагента-регулятора при рН 8,6. ($\epsilon= 52,64\%$, $\beta=6,58\text{ г/т}$). Отмечено, что при использовании соды качество концентрата во всех случаях выше.

Высокие результаты, полученные на извести, могут быть объяснены тем, что значение рН 9,5 меньше значения рН эффективной депрессии пирита известью (рН 10).

Результаты изучения возможности уменьшения негативного воздействия циан ионов на результаты флотации показали, что извлечение золота падает по сравнению с флотацией на воде обработанной медным купоросом при концентрации цианида в используемой воде более 7 мг/дм³. При этом содержание золота в концентрате остается на том же уровне. При концентрации меньше 7 мг/дм³ показатели флотации на воде, не обработанной медным купоросом, выше.

Изданы:

Журнал

Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2021. №1 (10). 42 с.

Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2021. №1 (11). 46 с.

Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2021. №1 (12). 28 с.

Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2021. №1 (13). 28 с.

2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГТУ)»

Центром разработки программ устойчивого развития горных территорий (Центр «Горы») Северокавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (СКГМИ (ГТУ) (далее именуемые совместно - Центр «Горы») были

проведены работы по реализации научно-исследовательских и научно-практических программ и проектов. Ниже приведена краткая информация по проделанной работе.

Научные форумы

В целях развития и повышения эффективности, а также дальнейшей популяризации научно-исследовательской деятельности в СКГМИ (ГТУ) с 12 по 24-26 мая 2021 года была проведена очередная III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации».

В 2021 году началась подготовка к предстоящей в 2022 году X-ой юбилейной научно-практической конференции "30 лет по пути устойчивого развития горных территорий", посвящённой 30 годовщине со дня проведения первой конференции по устойчивому развитию горных территорий, прошедшей в г. Владикавказе в октябре 1992 года.

Центром «Горы» подготовлен проект документа «План мероприятий по подготовке и проведению очередной юбилейной X Международной научно-практической конференции «30 лет по пути устойчивого развития горных территорий», Владикавказ, СКГМИ (ГТУ), октябрь 2022 года.

Иногородние и международные научные форумы

Сотрудники Центра "Горы" СКГМИ (ГТУ) в 2021 году приняли участие в работе следующих всероссийских и международных форумов:

- в Дагестанском государственном педагогическом университете, г. Махачкала 4-5 марта 2021 г. прошла III Международная научно-практическая конференция "Современные проблемы биологии и экологии", посвящённая 80-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РД и РФ, академика международной академии педагогических наук Исмаилова Ш.И.

- в Горно-Алтайском государственном университете, г. Горно-Алтайск, Республика Алтай (Россия) 24-26 июля 2021 года прошла Всероссийская научно-практическая конференция «Геологические памятники природы: характеристика, состояние, использование», в работе которой приняли участие сотрудники СКГМИ (ГТУ) и Центра «Горы».

- в Комплексном научно-исследовательском институте РАН, г. Грозный 17-18 сентября 2021 г. планируется проведение региональной научно-практической конференции «Экологические, урбанизационные и демографические проблемы чеченской республики и пути их решения», посвящённой Году науки и технологий в Российской Федерации.

- в Северо-Осетинском государственном университете (СОГУ) имени К. Хетагурова, г. Владикавказ 1-2 октября 2021 года состоится перенесённая с 2020 года III Международная научно-практическая конференция «Развитие регионов в XXI веке», посвящённая 100-летию создания Северо-Осетинского государственного университета имени Коста Левановича Хетагурова, 100-летию географического образования в Северо-Осетинском государственном университете имени К.Л.Хетагурова, 85-летию докт. ист. наук, лауреата премии имени К.Л.Хетагурова, Г.И. Кусова и памяти докт. геогр. наук, проф., заслуженного деятеля науки РФ Б.М. Бероева.

- в ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик планируется проведение перенесённой с 2020 года Первой Международной научно-практической конференции «Социопропространственное развитие территорий Большого Кавказа: социальное, экономическое и политико-правовое моделирование стратегий и практик».

Северокавказское Научное Сотрудничество (СКНС)

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.

Северокавказское научное сотрудничество является свободной ассоциацией представителей широкого спектра научных направлений.

Миссия СКНС - это 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, а также координация научных программ и проектов, мобилизация экспертного сообщества и развитие научной методологии и методов в области обеспечения геоэкологической безопасности Северного Кавказа и устойчивого развития его горных и высокогорных территорий.

Председателем Секретариата СКНС с 2015 года является директор ЦРП УРГТ СКГМИ (ГТУ) Ю.И. Караев.

Одновременно с организацией СКНС было решено использовать современные коммуникационные возможности, создав сайт, способствующий деятельности СКНС. Администратором сайта СКНС является Гриднев Е.А., доцент кафедры экологии и техносферной безопасности, канд.техн.наук.

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).

Для оперативного информирования участников Северокавказского Научного Сотрудничества, ежемесячно администрацией сайта СКНС осуществляются информационные рассылки о событиях, прошедших за истекший месяц и планируемых в будущем.

Горный семинар

СКНС в 2020 году сделало важный шаг в укреплении 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» 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 важнейшей площадкой для обмена информацией и новыми идеями в области устойчивого развития горных территорий, консолидации.

В 2021 году было проведено 6 дистанционных семинаров, на которых помимо научных докладов решались и текущие вопросы деятельности СКНС и планы полевых исследований в рамках Северокавказской комплексной экспедиции (СККЭ) на текущий год.

27 января 2021 г. состоялся первый в 2021 году Горный семинар СКНС, на котором был представлен доклад научных сотрудников Лаборатории биогеографии Института географии РАН Е.А. Белоновской и Н.А. Соболева по теме «Биоразнообразие гор на особо охраняемых природных территориях России».

10 февраля 2021 г. состоялся второй Горный семинар СКНС, на котором был представлен доклад канд. геогр. наук, с.н.с. Института геологии Дагестанского ФИЦ РАН (г. Махачкала) И.А. Идрисова «Земледельческие террасы - уникальные ландшафты Кавказа».

24 февраля 2021 г. состоялся третий Горный семинар СКНС, на котором был представлен доклад В.В. Онищенко и Ш.Ю. Тухчукова по теме «Эколого-географическая оценка структуры и динамики высокогорных ландшафтов Северо-Западного Приэльбрусья».

10 марта 2021 г. состоялся четвёртый Горный семинар СКНС по теме «Опасные природные процессы и инженерная защита». Заседание началось со вступительного доклада директора АНО МИНТИЦ «Горы» Ю.И. Караева. Были затронуты вопросы экологической деградации горных районов. Также была подчеркнута важность глобальных геопарков ЮНЕСКО. Основной доклад был представлен проф. СК ГМИ (ГТУ) И.М. Васьковым и был посвящён динамике Мацутинского оползня, регулярные наблюдения за которым начались с 1990 года.

07 апреля 2021 г. состоялся пятый дистанционный Горный семинар СКНС и в его рамках проведено второе заседание научно-практического семинара (НПС) «Опасные природные процессы и инженерная защита» на базе Горного семинара СКНС. Был представлен доклад И.М. Васькова по теме «Новые взгляды на динамику гравитационных процессов высоких энергий – обвалов скальных горных пород».

28 апреля 2021 г. состоялся шестой Горный семинар СКНС, продолжающий серию научно-практического семинара «Опасные природные процессы и инженерная защита». Был представлен доклад И.М. Васькова в соавторстве с Ю.И. Караевым и А.И. Хубуловым по теме «Сели высокой плотности. Проблемы инженерной защиты». III. Проекты и программы научных исследований.

Проекты и программы научных исследований

С 2019г. университет приступил к реализации нового проекта по организации Глобального геопарка ЮНЕСКО на территории горной зоны Республики Северная Осетия-Алания. Из-за проблем, связанных с коронавирусом и пандемией, в 2020 году работы замедлились, но возобновились в конце года и продолжаются в 2021 году. Несмотря на объективные проблемы и сложности, Центром "Горы" была составлена Дорожная карта по организации и функционированию Глобального геопарка ЮНЕСКО, которая была согласована ректором СКГМИ (ГТУ) и руководителями муниципальных образований г. Владикавказ, Алагирский, Дигорский, Ирафский и Пригородный районы.

На основании имеющихся материалов и рекомендаций ЮНЕСКО (Кристоф Ванденберг) и первого в России Глобального геопарка ЮНЕСКО "Янган-Тау", Республика Башкортостан (Екатерина Богдан и др.) Центром "Горы" СКГМИ (ГТУ) были подготовлены обосновывающие материалы по организации глобального геопарка на территории РСО-Алания.

Об участии в работе над федеральным законом об охране и устойчивом развитии горных территорий.

В своё время Республика Северная Осетия-Алания стала первым субъектом в Российской Федерации, которая приняла закон о горных территориях (1998 г.). В разработке того закона принимало участие большое количество специалистов разных направлений.

Более удачным стал вариант разработки и принятия модельного закона для стран-участников СНГ, к реализации которого и решено было приступить после обсуждения на одном из рабочих совещаний в начале 2016 года в Министерстве РФ по делам Северного Кавказа. Совещание организовал и был движителем всего этого сложного процесса Статс-секретарь, Заместитель министра РФ по делам Северного Кавказа О.Хацаев, в работе совещания принимал участие и директор Центра "Горы" СКГМИ (ГТУ).

Организация Карбонового полигона на территории Республики Северная Осетия-Алания.

В начале 2021г. Правительство РСО-Алания поручило Минприроды РСО-Алания дать предложения по участию ученых РСО Алания в Федеральной научно-технической программе в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021-2030 годы (далее - Программа), предусматривающую создание наукоемких технологических решений, направленных:

- на обеспечение экологической безопасности, улучшение состояния окружающей среды;
- на изучение климата, механизмов адаптации к климатическим изменениям и их последствиям;

- на обеспечение устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов путем проведения исследований источников и поглотителей парниковых газов и принятия мер по уменьшению негативного воздействия таких газов на окружающую среду.

На полигоне осуществляется подготовка кадров высшей квалификации в области новейших методов экологического контроля, перспективных технологий для низко углеродной индустрии, сельского и муниципального хозяйства.

Карбоновый полигон - испытательная и исследовательская площадка, на которой отрабатываются технологии контроля углеродного баланса на основе полного (завершенного) технологического цикла. Здесь же производятся испытания этих технологий в реальных и критических условиях. (<https://carbon-polygons.ru/about>)

В Чеченском государственном университете 20 декабря прошёл V Кавказский Международный экологический форум «Исследования изменений атмосферы, климата и динамики ландшафтов», на котором обсуждались вопросы организации и функционирования Карбоновых полигонов в стране и в регионах, в т. ч. и в Чеченской Республике.

Организация Международного научно-образовательного (учебного) полигона коллективного пользования (горный, геологический, гидрогеологический, геодезический, экологический, рационального природопользования и др.).

Северная Осетия является идеальным регионом для создания международного научно-образовательного полигона коллективного пользования с функциями проектно-инновационного центра сетевого взаимодействия вузов минерально-сырьевой направленности и интегрированного в систему связей как с крупными рудодобывающими и металлургическими компаниями, так и компаниями других отраслей экономики.

Полигон предлагается сформировать на базе инфраструктуры Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК), Джимидонского свинцово-цинкового месторождения и СКГМИ (ГТУ), что позволит использовать уникальные возможности научно-образовательных, горных, геологических инженерно-геологических, гидрогеологических и др. объектов региона.

Материально-техническая база университета обеспечивает все сферы деятельности жизни сотрудников и студентов: студгородок университета включает 12 оборудованных учебных корпусов, общежитие, столовую, спортивный комплекс со стадионом, спортивными залами и плавательным бассейном, а в Цейском ущелье располагается база «Спортивно-оздоровительный лагерь «Цей».

СКГМИ (ГТУ) имеет опыт межвузовской кооперации в сфере горнотехнического образования. Несколько лет студенты Белгородского и Самарского университетов проходят геологическую практику совместно со студентами СКГМИ (ГТУ).

Джимидонское месторождение находится в экономически освоенном районе с развитой инфраструктурой в сфере деятельности бывшего ССЦК, в 55 км от Владикавказа и в 5 км от бывшего ранее шахтерского поселка Мизур. Электроэнергией его объекты обеспечиваются линией напряжением 6 кВт от унальской подстанции (110 кВт.).

Настоящее проектное предложение в своё время было разработано Центром международных связей и устойчивого развития (ЦМС и УР) университета, в т.ч. Центром «Горы», входившем тогда в ЦМС и УР. Далее проект был представлен ректору университета Разоренову Ю.И., который внёс в него некоторые коррективы и уточнения, после чего вынес на суд коллег-ректоров вузов горно-металлургического профиля, которые его одобрили и поддержали, в том числе и ректор Санкт-Петербургского горного университета В.С.Литвиненко. Первый этап реализации проекта оценивался более чем в 160,0 млн. рублей.

Территория РСО-Алания является идеальным полигоном для проведения ознакомительной, учебной геологических, горных, экологических и др. практик для студентов. Доступность и наличие развитой дорожной сети позволяет получить представление обо всех основных геологических процессах, ознакомиться с широким кругом минералов, изверженных, метаморфических и осадочных горных пород, руд и ископаемых организмов, об особенностях горных ландшафтов и условиях ведения широкого круга хозяйственной деятельности в горах. Совместные практики дают возможность как знакомству с особенностями региона, так и общению студентов из различных регионов России в неформальной обстановке.

В отчётном периоде были продолжены консультации и подготовительные работы по переходящим проектам и программам:

- проект «Актуальные проблемы и тенденции развития горных и предгорных территорий на муниципальном уровне».

- проект «Пропаганда и апробация методов и методик природопользования национальных парков в горных регионах».

- проект «Разработка индикаторов устойчивого развития горных муниципальных образований».

- проект «Основные проблемы горных территорий с предприятиями недропользователями».

Полевые исследования

В связи с известными событиями, связанными с коронавирусом и рядом ограничительных мер, связанных с пандемией, зимние полевые работы и исследования в рамках Северо-Кавказской комплексной экспедиции (СККЭ) в 2021г. не проводились. В то же время, с 12 июля 2021 г. были проведены летние полевые исследования в Карачаево-Черкесской Республике, Ставропольском крае (см. II.2. Программа Северокавказской комплексной

экспедиции 2021 года и выездного заседания сети «Северокавказское научное сотрудничество» (СКНС), Кабардино-Балкарской Республике, в Республике Северная Осетия-Алания, Чеченской Республике и Республике Дагестан.

Издательская деятельность

По итогам исследований, проведённых в рамках Северокавказской комплексной экспедиции на территории СКФО и конкретно Чеченской Республики в 2018-2019 гг. в издательстве АЛЕФ, г. Махачкала вышел сборник, подготовленный в Чеченском государственном университете «Северокавказская комплексная экспедиция. Труды. Выпуск 2 / Отв. редакторы Гуня А.Н., Петрушина М.Н. - Грозный: ЧГУ; Махачкала: АЛЕФ, 2021. - 166 с.». В подготовке этого издания принимал участие директор Центра «Горы» Ю.И. Караев.

На основе материалов проводимых исследований сотрудниками Центра «Горы» как самостоятельно, так и совместно с коллегами из других подразделений университета и учреждений-партнёров было опубликовано порядка 20 научных работ.

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 (Earth and Planetary Sciences);

- Наука об окружающей среде (Environmental Science).

В первом полугодии 2021 года было подготовлено два очередных номера журнала «Устойчивое развитие горных территорий», том 13, №№ 1-2.

2.24. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

Исследования в области горных наук в Институте природопользования НАН Беларуси выполняются в рамках государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021-2025 годы, государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021-2025 годы. Исследования ведутся по углубленному изучению строения земной коры и литосферы, геодинамики, тектоники, региональной геологии, геоэкологии. В 2021 году значительное место занимали вопросы модернизации приборно-методического обеспечения экспериментальных исследований особенностей переноса влаги, формирования полей гидростатического давления и преобразования структуры в слабых грунтах в неоднородных температурных и влажностных полях.

Прочностные характеристики грунтов являются важнейшим фактором при проектировании различных объектов в строительстве и горнодобывающей промышленности. Как правило, бурение и проходка шахтных стволов усложняются непростыми гидрологическими условиями и зачастую наличием солей в поровой влаге грунтов, что требует применения технологий с искусственным замораживанием.

Определение условно-мгновенных значений пределов прочности образцов глины аргиллитоподобной при одноосном сжатии проводилось на автоматизированном испытательном

комплексе «АСИС» (АИК «АСИС») производства ООО НПП «Геотек». Для проведения исследований произведена модернизация приспособления одноосного сжатия, входящего в испытательный комплекс. Оригинальный прибор при максимальных нагрузках не обеспечивал корректность параметров нагружения образца, что в свою очередь вносило дополнительные погрешности в результаты испытаний. На рисунке 1а представлено приспособление до модернизации, а на рисунке 1б – модернизированное, размещенные на рабочем столе устройства осевого нагружения испытательного комплекса. Стойки, удерживающие обойму нагружного механизма до модернизации, в процессе эксплуатации при максимальных нагрузках деформировались, что приводило к возникновению горизонтальной составляющей силы, действующей на образец. Модернизированное приспособление представляет собой цилиндрическую конструкцию, на верхнем фланце которой размещен нагружной механизм. Жесткость такой конструкция исключает возможность возникновения горизонтальной составляющей силы.

Испытательный комплекс АИК «Геотек» позволил задавать постоянную скорость деформирования образца (конфигурация АСИС 4.1 одноосного сжатия глинистого и полускального грунта ГОСТ 12248-2010) при непрерывном быстром возрастании нагрузки для определения условно-мгновенного значения предела прочности на одноосное сжатие от 0,0001 до 10 мм/мин. Все испытания проведены при постоянной скорости деформирования 3 мм/мин в морозильной камере НКР-1 в диапазоне температуры $-2 \div -25^{\circ}\text{C}$.

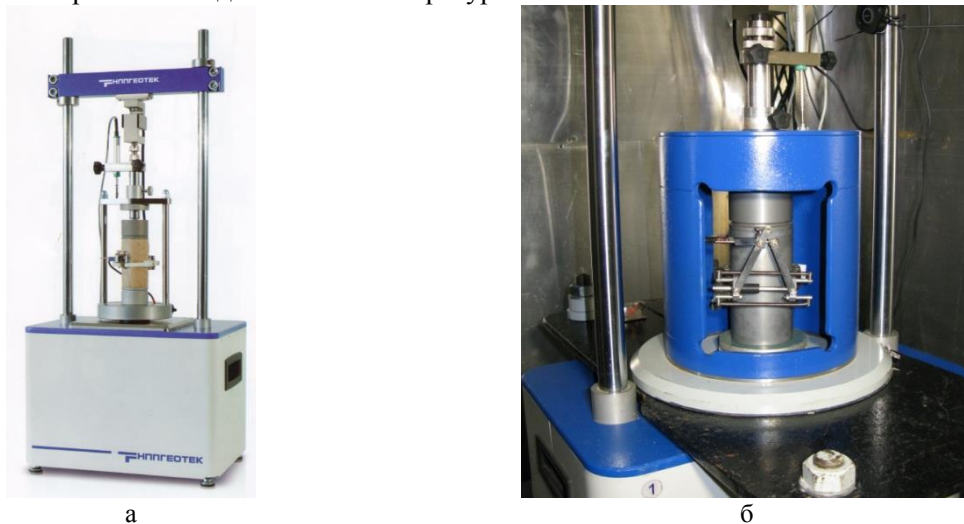


Рисунок 1 – Приспособление одноосного сжатия до модернизации (а) и после модернизации (б)

Для определения зависимости количества незамерзшей воды от температуры использована калориметрическая установка, разработанная по принципу создания адиабатических условий или условий контролируемого теплообмена вокруг калориметрического стакана с исследуемым образцом. Рабочая камера этой установки представлена на рисунке 2. Отличительными особенностями данного калориметра от известных являются сравнительно большой калориметрический стакан, позволяющий исследовать достаточно представительные образцы почв или грунтов, а также возможность проведения экспериментов по определению количества незамерзшей воды в циклах промерзания и оттаивания.



Рисунок 2 – Рабочая камера калориметра перед сборкой

Исследования зависимости количества незамерзшей воды от температуры проводились последовательно в стадии промерзания и оттаивания в диапазоне от начала замерзания воды в породе до температуры -25°C . При этом в стадии промерзания по специальной разработанной методике определялась температура начала замерзания воды в породе.

Исследования прочностных свойств проводились на образцах глины аргиллитоподобной, темно-серой, массивной, плотной, известковой слабоводоносного полесского терригенного комплекса (D2 р1) Нежинского (восточная часть) участка Старобинского месторождения калийных солей, которое разрабатывает ИООО «Славкалий». Глубина залегания исследуемой глины 178–183 м. При этом использовались образцы нарушенного сложения после проведения испытаний кернового материала на определение прочностных характеристик по договору 83П-2019 от 17.05.2019 г с ИООО «Славкалий».

На начальном этапе было установлено, что прочностные характеристики глины аргиллитоподобной увеличиваются в несколько раз в диапазоне температуры $-2\div-25^{\circ}\text{C}$. Максимальное значение указанной характеристики получено при влагосодержании 0,21 кг/кг. Снижение прочности при уменьшении влагосодержания до 0,17 кг/кг можно объяснить уменьшением относительного количества льда в мерзлой породе. При увеличении влагосодержания до 0,26 кг/кг снижение прочностных характеристик обусловлено увеличением количества незамерзшей воды за счет повышения концентрации соли в поровом растворе.

На втором этапе для более дифференцированной оценки влияния на деформационно-прочностные характеристики грунта общего влагосодержания и количества незамерзшей воды были проведены испытания на одноосное сжатие образцов глины с различными концентрациями соли в поровом растворе в расчете на сухое вещество горной породы при постоянном общем влагосодержании.

С помощью калориметрической установки выполнены исследования зависимости количества незамерзшей воды от температуры во всех образцах, подвергшихся одноосным испытаниям. Анализ полученных результатов показывает, что общее влагосодержание практически не оказывает влияния на зависимость количества незамерзшей воды от температуры.

Таким образом, экспериментально установлено, что определяющим фактором условно-мгновенной прочности глины аргиллитоподобной при отрицательных температурах является содержание определенного количества незамерзшей воды независимо от того чем оно обусловлено: температурой, концентрацией солей в поровом растворе или их совместным влиянием. Если учесть, что понижение температуры замерзания растворов относится к его коллигативным свойствам, то при определении прочностных свойств грунтов можно принимать во внимание только общую зависимость количества незамерзшей воды от температуры, не изучая химический состав поровой влаги. Такой подход позволяет оптимальным образом планировать многофакторные экспериментальные исследования прочности на одноосное сжатие мерзлых глинистых пород, уменьшая трудоемкость проводимых исследований без снижения их точности и достоверности.

Наличие в поровом растворе горных пород солей оказывает существенное влияние на их теплофизические и прочностные характеристики за счет изменения температуры начала замерзания поровой влаги и зависимости количества незамерзшей воды от температуры. При разработке проектов проходки шахтных стволов, особенно с применением искусственного замораживания, это влияние необходимо учитывать.

Влияние концентрации солей в поровой влаге горных пород на их теплофизические свойства исследовано на примере аргиллитоподобных глин, в которые вносились добавки соли NaCl. Для исследований использованы образцы глины аргиллитоподобной нарушенного сложения после проведения испытаний кернового материала на определение прочностных характеристик.

Экспериментальные исследования температуры начала замерзания и зависимости количества незамерзшей воды от температуры глины аргиллитоподобной показали, что общее влагосодержание практически не оказывает влияния на зависимость количества незамерзшей воды от температуры как незасоленных образцов, так и засоленных образцов с одинаковой концентрацией соли на твердую фазу породы. Температура начала замерзания воды в исследованной незасоленной горной породе определяется соответствием исходного влагосодержания и установленной зависимости количества незамерзшей воды от температуры.

Наличие в поровом растворе осадочных пород солей сдвигает в ней температуру фазовых переходов воды в лед на величину, соответствующую температуре начала замерзания порового раствора при концентрации соли в расчете на растворяющий объем незамерзшей воды, включающий общее количество незамерзшей воды за вычетом не растворяющего объема прочносвязанной воды в породе. Для глины аргиллита подобной не растворяющий объем составляет 0,01–0,02 кг воды на кг твердой фазы. Это позволило разработать методику расчета температуры начала замерзания воды в засоленных горных породах и зависимости количества незамерзшей воды от температуры на основании данных по количеству незамерзшей воды в незасоленной мерзлой горной породе при различных значениях температуры и табличных данных по температуре начала замерзания воды в растворах солей. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений температур начала замерзания и зависимостей количества незамерзшей воды от температуры в засоленных образцах глины аргиллита подобной показало их удовлетворительное соответствие. Использование представленной методики позволяет уменьшить трудоемкость экспериментальных исследований для обоснования проходки шахтных стволов калийных рудников в засоленных горных породах с применением искусственного замораживания.

При проектировании инженерных сооружений, контактирующих с промерзающими горными породами и грунтами, необходимо учитывать процессы морозного пучения, обусловленного фазовыми переходами воды в лед и миграции влаги к фронту промерзания.

Следует отметить, что в нормативных документах, касающихся проектирования инженерных сооружений на промерзающих грунтах и горных породах, основное внимание обращается на оценку степени пучинистости и не указываются характеристики влагопереноса, обуславливающие морозное пучение. Во многих случаях этого бывает недостаточно для оценки деформаций и напряжений, возникающих при промерзании влажных грунтов и горных пород в конкретных температурно-влажностных условиях. При этом следует, прежде всего, исходить из того, что морозное пучение – это процесс, который определяется физико-математической моделью, характеристиками переноса и деформации, а также начальными и граничными условиями.

Несмотря на достаточно большой объем публикаций по вопросам переноса влаги при промерзании грунтов и почв, в настоящее время остаются дискуссионными вопросы переноса влаги, водорастворимых соединений и формирования сил морозного пучения в промерзающих породах.

По нашему мнению, отправной точкой при математическом описании процессов переноса влаги в промерзающих средах, обуславливающих морозное пучение, могут служить работы Б.В. Дерягина и Н.В. Чураева, где термодинамическими методами обосновывается уравнение переноса влаги в мерзлых средах:

$$q_w = -\alpha_w \rho_w \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\rho_l L}{T} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где q_w – плотность потока влаги, α_w – коэффициент гидродинамической проводимости незамерзающих прослоек; ρ_w – плотность воды; ρ_l – плотность льда; P – гидростатическое давление; T – температура по шкале Кельвина; L – удельная теплота фазового перехода вода-лед.

Развивая это направление, экспериментально было показано, что поток влаги из талой зоны в мерзлую при отсутствии избыточного давления пропорционален градиенту температуры. На основании этого факта было предложено использовать уравнение:

$$q_w = -K_M(U_{x=\xi+0}) \cdot \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (2)$$

где $K_M(U_{x=\xi+0})$ – коэффициент термовлагопроводности мерзлой зоны, являющийся функцией влагосодержания талой зоны на границе с мерзлой.

Используя коэффициент теплопроводности мерзлой зоны, решена задача для полуограниченной среды с однородным начальным распределением влажности и положительной температуры. Практика исследований процессов морозного пучения мерзлых грунтов показала, что в определенных ситуациях возникает необходимость оценки морозного пучения в закрытых системах. Например, при обосновании проектов заморозки горных пород для проходки

шахтных стволов в сложных гидрологических условиях. При этом внутри цилиндрического контура заморозки образуется закрытая система, внутри которой может создаваться напряженно-деформационное состояние за счет фазовых переходов воды в лед в замораживаемой горной породе и перераспределения влаги в замкнутом объеме контура замораживания. Кроме этих факторов следует учитывать возможную усадку не промерзшей породы, которая в различных горных породах будет зависеть от степени деформации скелета породы. Для глинистых пород с легкодеформируемым скелетом усадка не промерзшей зоны будет близка к количеству переместившейся влаги из талой в мерзлую породу. Для песчаных пород с жестким скелетом напротив независимо от количества переместившейся влаги усадка не промерзшей зоны будет близко к нулю.

С учетом изложенных факторов создана лабораторная установка, предназначенная для исследования характеристик влагопереноса и морозного пучения при промерзании влажных грунтов в закрытой системе. Особенностью данной установки является возможность испытаний одновременно трех идентичных образцов грунта, что обеспечивает наибольшую достоверность получаемых данных, либо трех образцов различного состава для сравнительного экспресс анализа тенденции развития пучения.

Таким образом, сформирован комплект приборов и оборудования для исследования преобразования структуры в слабых грунтах в неоднородных температурных и влажностных полях, включающий усовершенствованные лабораторные установки для исследования переноса влаги и морозного пучения в открытой и закрытой системах с определением формирующегося гидростатического давления, разработаны методы определения сформированной структуры в промерзающих образцах и ее обработки для использования при сооружении горных стволов на шахтных предприятиях.

2.25. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А. КУНАЕВА

В 2021 году в Институте горного дела им. Д.А. Кунаева (далее – Институт) выполнялись фундаментальные и прикладные исследования по следующим программам и проектам *Министерства образования и науки РК (на тендерной основе) по программе 217 «Развитие науки»:*

➤ подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований молодых ученых на 2020-2022 годы»:

по приоритету: Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции

по подприоритету: Геология и разработка месторождений полезных ископаемых

1. «Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели». Этап 2021 г.: «Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород и расчет устойчивости бортов и уступов карьера с учетом особенностей массива горных пород. Обобщение и анализ собранных геотехнических данных о прочности и структуре массива, полученных результатов математического моделирования. Геомеханическое районирование месторождения» (Руководитель: PhD Съедина С.А.).

Основные результаты:

За 2021 год на примере Куржункульского карьера по методике прогнозирования НДС методом конечных элементов было выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород и расчет устойчивости его бортов методами предельного равновесия. Результатом расчетов является определение коэффициента запаса устойчивости (SRF – Strength Reduction Factor и коэффициент безопасности FoS для расчета устойчивости), который станет в блочной модели параметром признака объекта по устойчивости.

В результате формируется база данных по напряженному состоянию каждой точки массива горных пород месторождения, которая впоследствии позволяет выделить в прибортовом

массиве потенциальные зоны обрушения, выполнить геомеханическое обоснование технических решений при разработке месторождения.

➤ подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований за счет средств Республиканского бюджета» на 2021 год:

по приоритету: Энергетика и машиностроение

по подприоритету: Транспортное, сельскохозяйственное, нефтегазовое и горно-металлургическое машиностроение

1. «Разработать автоматизированную магнитную транспортную систему крутонаклонной доставки горной массы из глубоких карьеров» (Руководитель: д.т.н. Едыгенов Е.К.).

Основные результаты:

Осуществлен сбор и анализ научно-технической информации, разработано техническое предложение по созданию электромагнитного привода. Разработан технический проект и изготовлен экспериментальный образец безлокомотивной магнитной транспортной системы с гибридным двигателем, который включает в себя силовой электромагнит и линейный асинхронный двигатель.

Разработана блок-схема автоматического управления для коммутации электромагнитных двигателей с применением оптоэлектронных модулей. Программируемый логический контроллер осуществляет общее управление транспортом.

Произведено предварительное испытание экспериментальной автоматизированной системы управления безлокомотивным магнитным транспортом, которое подтвердило возможность в соответствии с движением вагонетки осуществлять коммутацию индукторов комбинированного электромагнитного двигателя и контролировать на дисплее оператора техническое состояние всей транспортной системы.

Практическая деятельность

На основе 7 хоздоговорных работ Институт в 2021 году выполнял работы на сумму 174 700 тыс. тенге для 5 горнодобывающих предприятий Казахстана:

ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»

Выполнено геомеханическое обоснование устойчивых параметров первой очереди отсыпки Северного автоотвала, обеспечивающее безопасное ведение горных работ по результатам инженерно-геологических изысканий пород основания отвала.

Разработан локальный проект и основные технические решения по конструктивному положению отвала, системе водоотведения, отвальным автодорогам, промышленной безопасности при отсыпке первой очереди Северного автоотвала.

Произведены расчеты устойчивости откосов бортов карьеров Сарбайского и Южно-Сарбайского участков методами предельного равновесия (в плоской и объемной постановке задачи) и расчет вероятности обрушения борта для возможности учета потенциальных изменений исходных прочностных характеристик при обосновании допустимых параметров уступов и бортов их конечных контуров.

АО «Финансовая Инвестиционная Компания «АЛЕЛ» - АКФ «Парк инновационных технологий»

Проведена установка Системы позиционирования и поиска персонала на руднике «Суздальский».

ТОО «Восход-Oriel»

Оказаны услуги по технической поддержке и сервисному обслуживанию системы «Oriel-RTLS Mine» на руднике «Восход»

ТОО «Добывающее предприятие Орталык»

Проведен анализ в области геологии по рентабельному использованию продуктивных растворов с отработанных технологических блоков.

Выполнена НИР комплексное исследование влияния геологических, геохимических и механических факторов на межремонтный цикл и качество ремонтно-восстановительных работ на технологических скважинах.

ТОО «Nova-Цинк»

Осуществлен сбор горно-геологической, горнотехнической и геомеханической документации, обзорно-аналитический анализ работ, выполненных казахстанскими и зарубежными

учеными по подземной отработке запасов руд Восточного участка месторождения «Акжал», изучение существующих технологических схем подготовки, отработки запасов руд и очистных блоков, буровзрывных работ и, в том числе, всего имеющегося технологического оборудования и комплексов для выпуска и доставки рудной массы в условиях Восточного участка данного месторождения.

Издательская деятельность

За 2021 год опубликовано всего 8 публикаций, в том числе:

- 1 монография;
- 7 научных статей, из них:
- с ненулевым импакт-фактором JCR of CA, Scopus – 6;
- с ненулевым импакт-фактором РИНЦ, др. межд. базы – 1.

Образовательная деятельность

В 2021 году работа по подготовке кадров осуществлялась в рамках реализации ранее подписанных договоров Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» с другими организациями:

1. Договор о сотрудничестве и научном обмене с АО «Алматинский университет энергетики и связи».

2. Договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с Карагандинским государственным техническим университетом.

3. Договор на проведение научно-исследовательской практики магистрантов специальности «6М090300 – Землеустройство» Казахского Национального Университета имени аль-Фараби.

4. Договор на проведение производственной и преддипломной практики студентов, магистрантов и докторантов Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева.

5. Генеральный договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

6. Договор на проведение исследовательской практики магистрантов «Казахского национального университета имени аль-Фараби» с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

7. Договор по организации и проведению профессиональной (производственной/преддипломной/ исследовательской) практики АО «Новый экономический университет им. Т. Рыскулова».

8. Договор о совместной работе по развитию научных исследований, внедрению результатов научно-исследовательских работ, экспертизе научных проектов и программ, подготовке научных кадров Республиканского общественного объединения «Национальная академия наук Республики Казахстан».

2 сотрудника Института являлись членами Диссертационных советов КазНТУ имени К.И. Сатпаева по специальностям 6D070700 - «Горное дело», 6D071100 - «Геодезия» и КазНУ имени аль-Фараби по специальностям: 6D071100-Геодезия; 6D060800-Экология (географические науки).

В период с 15 февраля по 20 марта 2021 года прошли исследовательскую практику магистранты 2-го года обучения по образовательной программе 7M07203 – «Горная инженерия» Satbayev University Рахимов Н.Д. и Оразхан А.

В период с 26 апреля по 7 мая 2021 года прошли научно-исследовательскую стажировку магистранты 2-го года обучения по образовательной программе 7M07203 – «Горная инженерия» Satbayev University Рахимов Н.Д., Оразхан А. и Жанабаева А.

В период с 21 июля по 26 августа 2021 года прошла научно-исследовательскую стажировку докторант 3-го года обучения по образовательной программе «Горная инженерия» Satbayev University Абдыкаримова Г.

В PhD-докторантуре обучались 6 сотрудников по специальностям «Горное дело» и «Вычислительная техника и программное обеспечение».

В магистратуре обучался 1 сотрудник Института по специальности 6M070700 - «Горное дело».

В 2021 г. защитил магистерскую диссертацию:

Рахимов Нурлыбек, КазННТУ им. К.И. Сатпаева по специальности «Горное дело». Тема магистерской диссертации: «Исследования физико-механических свойств горных пород на железорудных месторождениях».

2.26. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА

По грантовому финансированию научных исследований НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» по приоритету: 1. Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции в 2021 году получены следующие результаты.

Проект 1. «Разработка инновационной технологии интенсификации скважинной добычи урана с применением гидродинамического устройства декольматации в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения» - АР08856422 (научный руководитель академик НАН РК, д.т.н., проф. Ракишев Б.Р.)

Практика эксплуатации систем геотехнологических скважин при разработке урановых месторождений способом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана показывает, что с течением времени наблюдается снижение их производительности. Одной из основных причин снижения пропускной способности технологических скважин является увеличение гидравлических сопротивлений и снижение фильтрационных характеристик пласта вследствие образования кольматации за счет осаждения веществ, растворенных в технологических растворах, или механического перемещения частиц рудовмещающего горизонта. В этой связи изучение физико-химических характеристик осадкообразований позволит разработать научные основы для выбора эффективных технологий гидродинамического воздействия в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения. При этом предусматривается эффективное разрушение и предотвращение осадкообразований в полости скважины и продуктивном горизонте. Создание геотехнологических условий для повышения полноты извлечения металла и эксплуатационных показателей приводит к снижению удельных расходов серной кислоты, электроэнергии и других производственных расходов на 15-20%, и обеспечит конкурентоспособность продукции рудников ПВ урана.

Исследования по разработке инновационной технологии интенсификации скважинной добычи урана с применением гидродинамического устройства декольматации в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения является продолжением ранее проведенных НИР. В них были приведены результаты внедрения новой технологии подземного выщелачивания урана с применением комплекса химических реагентов синергетического действия для скважинной добычи урановых руд. Они позволили повысить содержание урана в ПР на 20%, увеличивать производительность скважин по ПР на 15-25%, удлинить период бесперебойной работы технологических скважин на 30-40%, сократить расходы серной кислоты, электроэнергии и других эксплуатационных затрат на добычу на 15-20%. Они были достигнуты преимущественно на блоках с высокой карбонатностью пород (>1,5% по CO₂) и глинистостью руд (>20%) продуктивного горизонта.

Разработка инновационной технологии интенсификации скважинной добычи урана с применением гидродинамического устройства декольматации в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения позволит решать вопросы интенсификации скважинной добычи урана на участках с многокомпонентными осадкообразованиями.

Новые результаты НИР: проанализированы методы интенсификации скважинной добычи урана на рудниках ПСВ, собраны данные по осадкообразованию и установлены их минералогические составы и количественно-качественные характеристики из урановых месторождений «Ирколь», «Северный Карамурун», «Канжуган». В результате рентгена-фазового исследования было установлено, что основным преобладающим отложением является гипс до 100%. Разработана методика и произведены лабораторные опыты по обработке проб осадкообразования капельным методом с применением различных составов подобранных декольматирующих растворов. Микроскопическим методом определена структура и особенности осадкообразования до и после обработки различными декольматирующими растворами.

Выбран эффективный состав специального декольматирующего раствора для разрушения и предотвращения осадкообразования в продуктивном горизонте с применением плавиковой кислоты с добавлением серной кислоты и поверхностно-активных веществ. Установлено что воздействие растворов, содержащих плавиковую кислоту HF – 10%, серную кислоту H₂SO₄ – 1,0%, ПАВ – 1,0% с комплексообразующими свойствами имеют максимальную эффективность по разрушающим и предотвращающим свойствам. Научно обоснован эффективный метод повышения фильтрационных характеристик продуктивного горизонта с применением специальных декольматирующих растворов. Определены технологические условия для применения гидродинамического устройства в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения. Подобрано технологическое оборудование для изготовления гидродинамического устройства и рассчитаны его эффективные параметры. В качестве гидродинамического устройства был принят винтовой забойный двигатель марки Д.55 (ВЗД) с породоразрушающими насадками в виде коронок и долот.

Оценка полноты решений поставленных задач: в соответствии с календарным планом были выполнены все этапы исследований, в результате которых установлены закономерности изменения свойств и структуры осадкообразований в зависимости от состава рудовмещающих пород и параметров комплекса химических реагентов многофункционального назначения. Разработаны эффективные параметры комплекса химических реагентов многофункционального назначения для устранения и предотвращения осадкообразования в прифильтровой зоне скважин. Определены параметры действующего технологического оборудования для применения гидродинамического устройства в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения. Рассчитаны эффективные параметры гидродинамического устройства, укомплектованного специальными породоразрушающими насадками для максимального разрушения отложений в скважине.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов НИР. Результаты приведенных исследований расширяют знания в области скважинной добычи урана в сложных горно-геологических условиях, позволят научно обоснованно выбирать эффективные технологии интенсификации выщелачивания, управлять геотехнологическими параметрами отработки эксплуатационных блоков и повышать эффективность работы уранодобывающих предприятиях в целом. Они послужат основой для последующей разработки новой технологии подземного выщелачивания урана с применением гидродинамического устройства в сочетании с комплексом химических реагентов многофункционального назначения.

Результаты оценки технико-экономической эффективности разработки: подробное изучение горно-геологических характеристик и параметров руд и вмещающих пород, структуры и количественно-качественных характеристик осадкообразований позволяет установить причины снижения проницаемости продуктивного горизонта и снижения эффективности скважинной добычи урана. Эти данные создают возможность подобрать эффективные растворы химических реагентов для разрушения и предотвращения осадкообразований в пористой среде, разработать новые методы воздействия на разрушение, восстановление проницаемости продуктивного горизонта и предотвращение осадкообразований. В результате внедрения инновационного метода на предприятиях скважинной добычи урана для интенсификации ПСВ в сложных горно-геологических условиях возможно повысить производительность геотехнологических скважин, увеличить период бесперебойной работы и снизить, потребление электроэнергии, серной кислоты и других эксплуатационных расходов на 5–15%.

Результаты оценки научно-технического уровня выполненной НИР в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Работа выполнена на высоком научном, научно-техническом уровне, новизна полученных результатов подтверждена подачей заявки на изобретение, публикацией двух статей в журналах, входящих в базу данных Scopus с процентилем выше 35%.

Проект 2. «Разработка технологии добычи и переработки песков древних большеобъемных россыпей впадин с преобладанием мелкого, тонкого, свободного и связанного золота (участок Такыр-Кальджирский)» – АР09259631 (научный руководитель докт. техн.наук, проф. Бегалинов А.).

В результате исследования на площади выделены описанные ниже геолого-геоморфологические типы россыпей золота:

1. Россыпи эоценового возраста. Больше объёмные россыпи с мелким и тонким золотом в кварцевых галечниках турангинской свиты. Россыпи этого типа связаны с двумя полями развития кварцевых галечников (Такыр-Кальджирский и Нижнетақырский участки).

По имеющимся данным, золотоносен весь разрез отложений турангинской свиты. Мощность пласта преимущественно определяется мощностью кварцевых галечников. Распределение золота в разрезе относительно равномерное с единичными интервалами повышенного или пониженного содержания. Подошва продуктивного пласта совпадает с основанием отложений турангинской свиты. В плане россыпь представляет собой плащеобразное тело.

Особенности этой россыпи, являющейся объектом технологических исследований по настоящему проекту, подробно описаны ниже в тексте настоящего отчета.

2. В средне – верхнечетвертичное время сформированы многочисленные аллювиальные и аллювиально-пролювиальные россыпи, связанные с современными долинами и логами, а также вторичные пролювиальные и элювиальные россыпи, обязанные своим возникновением размыву промежуточных источников – кварцевых галечников турангинской свиты.

2.1. Четвертичные аллювиальные россыпи в известны в долинах рек наиболее крупных рек района – Такыр и Бала-Кальджир. Наибольший интерес представляют долинные и террасовые россыпи золота, в террасовой россыпи содержание золота. Золото весьма мелких и мелких фракций, тонкопластинчатое, овальной формы, иногда с завернутыми краями. Поступление золота в россыпи авторы связывают с размывом промежуточного коллектора – кварцевых галечников турангинской свиты.

2.2. Вторичные пролювиальные россыпи, обязанные своим возникновением размыву промежуточных источников – кварцевых галечников турангинской свиты. Установлено, что морфологические особенности и гранулометрический состав золота в ложковых россыпях аналогичен таковому золота турангинской свиты, что свидетельствует о формировании этих россыпей за счет размыва кварцевых галечников, являвшихся промежуточным коллектором.

2.3. Вторичные элювиальные плащевидные россыпи, обязанные своим возникновением размыву промежуточных источников – кварцевых галечников турангинской свиты. Плащевидные россыпи распространены на четырех участках в северной и южной частях изученной площади. Содержание золота колеблется от 7 до 720 мг/м³, мощность пласта – от 0,5 до 4,0 м.

Их формирование – обогащение приповерхностного слоя – обусловлено выносом глинистых фракций из кварцевых галечников в результате слабоинтенсивных процессов плоскостного смыва.

Таким образом, изучение материалов предшествующих исследователей и анализ их соответствия критериям прогноза больше объёмных россыпей с МТЗ свидетельствует о благоприятной для образования россыпей этих типов геолого-геоморфологической позиции участка и выдвигает его в разряд высокоперспективных золото россыпных площадей, что явилось основанием для постановки поисково-оценочных работ на Такыр-Кальджирском участке.

Изучены особенности строения галечников Турнинской свиты, их минеральный состав, фазовый состав золота, выделены различные технологические типы золотоносных песков.

В отчете приводятся новые данные полученные при проведении минералого - технологических исследований по оценке золотоносности кварце галечных образований Южного Алтая. Научные исследования выполнены в микрометровом диапазоне (микрон); в формате 3D и изучения состава поверхности исследуемых зерен золота и сопутствующих минералов. Выделены следующие типы золотой минерализации: кластогенная (классическая россыпная), гидротермальная (Au - полиметаллическая сульфидная) и гипергенная (Au – кальцитовая).

В состав работ минералого – технологических исследований золотосодержащих песков Такыр – Кальджирского участка входило:

- изучение гранулометрического и минерального состава обломочного материала;
- пофракционное гравитационное обогащение природных предварительно обработанных в мельнице самоизмельчения песков;
- изучение в продуктах обогащения свободного самородного и связанного золота, их количественная оценка.

Созданная технологическая схема обработки проб цепи аппаратов, состоящая из вибвинового сепаратора и центробежных аппаратов с предварительной механической активацией исследуемого материала в мельнице самоизмельчения, позволила получить продукты обогащения со свободным (≥ 10 микрон) и связанным (сростки, включения в другие минералы)

самородным золотом. Полученный материал с заданными минералометрическими свойствами отправляли на инструментальные методы анализов (электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия).

Таким образом удалось впервые согласовать технологические и микроминералогические исследования и проводить в едином микрометровом диапазоне в формате 3D. Такие работы проводятся впервые, поэтому приведенные материалы представляют не только научный, но и практический интерес.

Проект 3. «Реализация инновационных горнотранспортных систем и повышение интенсивности добычи руды на глубоких карьерах в условиях предельного состояния крутонаклонных слоев» - AP08857087 (Научный руководитель – докт. техн. наук, проф. Молдабаев С.К.)

Для горно-геологических условий Качарского месторождения выполнен детальный анализ напряженно-деформированного состояния бортов карьера по профилям №19 и №46 и оценка их устойчивости на различных этапах развития горных работ. Для моделирования геомеханических процессов использовалась лицензионная программа трехмерного моделирования RS3, выполняющая конечно-элементный анализ состояния бортов карьера с использованием упругопластической деформационной модели породной среды и критерия прочности Кулона-Мора. Получена полная картина напряжений и деформаций в исследуемой области на каждом этапе отработки рудного тела до подхода горных работ к предельному поверхностному контуру и после перехода предельного контура до достижения конечной глубины. На каждом этапе путем осуществления процедуры снижения сдвиговой прочности (Shear Strength Reduction) определен коэффициент запаса устойчивости борта карьера. Исходными данными для моделирования послужили физико-механические свойства пород, а также реальные контуры карьера, отцифрованные и воссозданные в программе SURPAC.

1. Установлено, что до перехода горными работами предельного поверхностного контура коэффициент запаса устойчивости изменяется от величины 1,89 на 1-м этапе до 1,71 на 9-м этапе. На 9-м этапе потенциальная поверхность скольжения перемещается от пород рыхлой вскрыши к породам скальной вскрыши, а именно – в зону залегания рудного тела, крутонаклонного в сторону выработанного пространства.

2. Второй цикл расчетов выполнен для этапов отработки рудного тела после перехода предельного поверхностного контура (этапы 10-25). Установлено, что на 10-м и 11-м этапах КЗУ остается таким же, как и до подхода к предельному поверхностному контуру, составляя 1,74. Потенциальная поверхность скольжения имеет место в левой части модели в области залегания слоя руды, который остается неотработанным и имеет наибольшее падение в сторону выработанного пространства. Также прослеживается потенциальная поверхность скольжения в оставшихся слоях рыхлой вскрыши в обеих частях модели. Описанная картина распределения деформаций сдвига сохраняется вплоть до 18-го этапа отработки. При этом величины смещений и максимальных сдвигающих деформаций увеличиваются на каждом этапе именно в крутопадающем рудном слое. Изменения происходят на 19-м этапе. Потенциальная возможность развития поверхности скольжения не только сохраняется в левом борту (в области упомянутого выше слоя руды), но и появляется в правой части модели, то есть в северо-восточном борту карьера.

3. Промоделированы ситуации, соответствующие ухудшению геологических условий, в частности снижение прочности пород за счет увеличения влажности и интенсивности трещиноватости пород. Влажность учтена введением коэффициента, полученного из результатов испытаний горных пород в водонасыщенном состоянии. Трещиноватость пород также учтена путем введения коэффициента структурного ослабления, величина которого определена на основе вероятностно-статистического подхода к оценке масштабного эффекта в горных породах. При неблагоприятном сочетании обоих указанных факторов общий коэффициент снижения прочности составляет 0,70-0,75. Прочностные характеристики пород, в частности предел прочности на сжатие, полученный по результатам испытаний образцов горных пород, снижаются в соответствии с выведенным коэффициентом. Через предел прочности на сжатие определяются сцепление и угол внутреннего трения из предположения о прямолинейной огибающей кругов Мора.

4. Разработаны инновационные схемы полустационарных транспортных установок, которые могут перемещаться на небольшое расстояние вдоль борта карьера за счет наличия опор на гусеничном ходу и телескопических стоек. Первой является транспортная установка, которая состоит из транспортной галереи, расположена на опорах с гусеничным движителем, при

чем опоры транспортной установки соединены с транспортной галереей гидростойками с шарнирным либо подшипниковым соединением на конце гидроцилиндра, а опора гидростойки жестко закрепляется к опоре на гусеничном ходу, при чем нижняя опора оборудована подъемным мостом для возможности заезда и разгрузки автосамосвала в скип, который перемещает горную массу в транспортной галерее и разгружается непосредственно в транспортное средство путем открывания крышки при помощи разгрузочных направляющих на транспортном горизонте. А второй – транспортная установка включает скипы, приводимые в действие подъемной машиной при помощи перетянутых через копер канатов, с движением скипов от перегрузочного устройства в карьере к перегрузочному устройству на поверхности по круто наклонному рельсовому пути, который через опорные подшипники соединяется с телескопическими опорами, оборудованными гусеничным двигателем, при чем рельсовый путь соединяется с опорным подшипником через ролики с возможностью перемещения опоры вдоль рельсового пути, а на опоре, оборудованной перегрузочным устройством на поверхности, рельсовый путь к опорному подшипнику крепится жестко, а копер оборудуется телескопической стойкой. Для возможности перемещения транспортной установки вдоль борта карьера копер и подъемная машина также оборудуются гусеничными двигателями, а телескопические опоры могут быть выполнены с возможностью поворота вставки внутри стойки вокруг своей оси.

Установлено, что оптимальный горизонт сооружения перегрузочного пункта, комбинированного внутрикарьерного автомобильно-скипового транспорта для условий разработки Качарского карьера, составляет 270 м, при этом перегрузку скальных пород из скипов в железнодорожный транспорт следует осуществлять на горизонте +45 м. Таким образом, высота подъема горной массы установкой предложенной конструкции составит 315 м. Годовая экономия при этом составит 1,5 млрд тенге/год.

Проект 4. *«Комплексный мониторинг медленных деформационных процессов земной поверхности при крупномасштабном освоении рудных месторождений центрального Казахстана»* – АР08857097 (научный руководитель д-р техн.наук, профессор Нурпеисова М.Б.)

1. При крупномасштабном и длительном освоении месторождений, таких как Сарыоба, (Восточная и Западня), расположенное в Улытауском районе в 30-35 км к северу от рудника Жезказган, наряду с геомеханическими деформационными процессами могут развиваться и геодинамические процессы. Поэтому при освоении глубокозалегающих рудных тел создается геодинамический полигон, где проводятся комплексные наблюдения.

Согласно утвержденному Проекту геодинамического полигона, создаваемого в Центральном Казахстане, были проведены патентные поиски на предварительную проверку патентоспособности закладываемых пунктов принудительного центрирования (ППЦ) спутниковых навигационных GPS приборов, что позволило оценить целесообразность патентования, выявить и проанализировать схожие объекты промышленной собственности, которые могут препятствовать регистрации нашего объекта.

Проведен патентный поиск, разработаны и поданы заявки в патентное бюро РК на изобретение «Наземный пункт принудительного центрирования приборов», «Подземный пункт принудительного центрирования приборов», используемый при геомониторинге земной поверхности», что позволяют контролировать состояние объектов в любой момент времени «Способ прогнозирования ФМС пород», «Сейсмоакустический способ прогнозирования НДС массива», позволяющие прогнозировать состояние массива.

2. Прогнозирование физико-механических свойств пород массива

Основными прочностными свойствами скальных и полускальных горных массивов, необходимыми для решения вопросов устойчивости горных выработок и бортов карьеров, являются плотность g , сопротивление пород на сжатие scj и разрыв sr , сцепление K и угол внутреннего трения ρ . Эти свойства являются различными образце и в массиве для одного и того же типа пород.

Проанализированы основные методы изучения физико-механических свойств (ФМС) горных пород массива, проведены патентные исследования, изучены ФМС горных пород месторождения Сарыоба и на основе анализа усовершенствованы способы изучения свойств пород. С целью лабораторного определения показателей ФМС, производился отбор проб горных пород.

Изучение керновых материалов из различных глубин, дало возможность определить физико-механические свойства (ФМС) пород массива и установить графоаналитические зависимости между ФМС горных пород и глубиной их залегания. Испытания физико-механических свойств горных пород проводились в лаборатории Satbayev University.

Анализ результатов изучения ФМС пород позволил установить графоаналитические зависимости прочностных свойств пород массива с глубиной их залегания и оперативно вносить изменения в погоризонтные расчеты устойчивости горных выработок.

Таким образом, результаты проведенных исследований дали возможность:

- обобщить данные физико-механических свойств пород месторождения Восточная Сарыюба, Акжал, Саяк и др;

- получить графоаналитические зависимости между ФМС горных пород и глубиной их залегания;

- обосновать прогнозирование ФМС горных пород на исследуемых месторождениях, т.е. можно определить: предел прочности - $\sigma_{сж}$; сцепление - K ; плотность - γ и крепость пород - f по шкале М.М.Протогьяконова;

- получить свидетельство на авторское право №19300 от 12.06.2021 г. на произведение науки «Прогнозирование ФМС горных пород».

3. Негативные последствия научно необоснованных разработок полезных ископаемых являются прямым следствием изменения геодинамического режима геологической среды под влиянием крупномасштабных горных работ, что убедительно подтверждается результатами многолетних научных исследований на природно-технической системы (ПТС) «Жезказган», которую образуют рудники, обогатительные фабрики с хвостохранилищами, медеплавильные заводы в Караганде, Балхаше, Жезказгане и Сатпаеве и соответствующая инфраструктура в Центральном Казахстане является мощным субъектом антропогенного воздействия на окружающую среду, представляющим большие возможности для исследования широкого спектра экологических проблем.

Для решения этой проблемы в мировой практике создаются геодинамические полигоны и проводится мониторинг с использованием инновационных способов и средств регистрации геомеханических данных при натурных измерениях (например, лазерных, интерферометрических приборов, GPS-технологии и т.п.) и современных методик компьютерной обработки данных измерений с получением 3D моделей напряженно-деформированного состояния массива. Основным методом исследования деформаций земной поверхности является геомониторинг.

Так, для комплексного изучения геодинамических и геомеханических процессов разработки месторождений, занимающих большую площадь, предложен новый способ создания ГДП в виде локальных контрольных «кустов» геодезических и нивелирных пунктов. Заложен ГДП, состоящей из 6 опорных пунктов и 72 нивелирных реперов. Центры пунктов на ГДП «Сарыюба» заложены в землю на глубину 1,5 метра, что ниже наибольшей из максимальных глубин промерзания грунта для представленной территории на 1,0 метра. Закладка пунктов выполнена способом бурения и присутствием работников Геомеханической службы ТОО «Корпорации Казахмыс».

4. Проведен первый этап геодинамического мониторинга земной поверхности с использованием GPS прибора GS16 с радиомодем и их результаты обработаны с помощью геодезического программного пакета Giodis, что позволило быстро и с высокой точностью определить положение пунктов в единой системе координат.

В рамках комплекса геодезических работ по наблюдению за деформациями на Сарыюбинском геодинамическом полигоне, были выполнены работы по определению координат и высот пунктов сети с применением технологий глобальной навигационной спутниковой сети (ГНСС). Спутниковые измерения выполнялись в режиме Статика, работа в данном режиме подразумевает условное подразделение на два этапа, это полевые работы и камеральная обработка.

При производстве полевых работ применялось три GPS-приемника швейцарской фирмы Leica GS16 – 2 приемника и один приемник GPS1200. Измерения производились в 3 сеанса спутниковых наблюдений. Продолжительность каждого сеанса не менее 5 часов. После завершения полевых работ по спутниковым измерениям полученные данные в камеральных условиях конвертировали в универсальный обменный формат Rinex.

2.27. КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«Переработка инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

Научный руководитель: проф., д.т.н. Демин В.Ф.

Основание для выполнения: договор на оказание услуг по договору № 17.20.05 от 11.09.2017 г. с АО «АрселорМиттал Темиртау»

Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

Рентабельность и безопасность отработки угольных пластов в значительной степени могут быть повышены за счет совершенствования технологии крепления горных выработок. Анкерная крепь увеличивает объемы применения ресурсосберегающих способов крепления, позволяет при использовании высокопроизводительного бурового оборудования ускорить процесс проходки выработок, снизить стоимость их проведения и расширить область применения анкерной крепи.

Анкерная крепь, состоящая из анкеров, устанавливаемых и закрепляемых в пробуренных в кровлю и бока выработок скважинах, опорных элементов для анкеров и межанкерной затяжки пород на контуре, в отличие от металлических рамных и других поддерживающих крепей, сразу же после установки осуществляет связывание и упрочнение массива в кровле и боках выработки и активно противодействует развитию смещений и разрушения пород. Это преимущество позволяет при значительно меньшем расходе металла обеспечить повышение устойчивости и надежности поддержания выработок. Другим преимуществом анкерной крепи является возможность полной механизации крепления, в результате чего значительно снижается трудоемкость проходческих работ и возрастает скорость проведения выработок.

Разрабатываемая инструкция предназначена для использования при проектировании и производстве работ по возведению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» в течение всего срока службы выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, включая зоны интенсивного повышенного горного давления, в выработках, пройденных по углю, в слабых трещиноватых породах, на ударо- и выбросоопасных пластах, на под- и надработанных участках шахтных полей.

Объект исследований: разработка инструкции по расчету параметров анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения, проводимых и поддерживаемых в заданных условиях, с учетом комплекса влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера.

Предмет исследований: инструкция по расчету параметров анкерного крепления горных выработок.

Цель работы: переработка инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Задачи работы:

- пересмотреть действующие методики расчета анкерной крепи на основе анализа накопленного опыта анкерного крепления горных выработок за последние 10 лет на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау», шахтах ближнего и дальнего зарубежья;

- методика должна учитывать различные условия проведения горных выработок (над-, подработка, опорного - ОГД, повышенного горного давления - ПГД, влияние лавы, влияние сближения выработок, сохранение для повторного использования за линией очистного забоя и т.п.).

Методы исследований: решение поставленных задач осуществляется на основе анализа отечественного и зарубежного опыта в области создания методик расчета параметров анкерной крепи горных выработок с учетом комплекса влияющих факторов; проверка сходимости расчетных данных с экспериментальными и адаптация методики для условий шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Методика регламентирует расчет требуемых параметров при проектировании, разработке паспортов крепления, конструировании крепежной системы, надежность и работоспособ-

ность анкерной системы в продолжение всего срока службы выработок с обеспечением безопасности работ при установке анкерной крепи.

Инструкция включает: Часть I. Методика расчета одноуровневого анкерного крепления. Часть II: Методика расчета комбинированной крепи (анкерная металлорамная). Часть III: Методика расчета длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок.

В разработке инструкции принимали участие: профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», д.т.н. Демин В.Ф., доцент кафедры «Высшая математика», к.т.н. Журов В.В. (НАО «КарГУ»).

Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» прошла независимую экспертизу в ТОО «Казахстанский научно-исследовательский институт промышленной безопасности» (КазНИИПБ).

Разработана инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау», включающая методики расчета: одноуровневого анкерного крепления; комбинированной крепи (анкерная металлорамная); длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок.

Пересмотрена действующая методика расчета анкерной крепи на основе анализа накопленного опыта анкерного крепления горных выработок за последние 10 лет на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Значения поправочных коэффициентов, настоящей инструкции, могут уточняться и корректироваться по результатам производственных исследований и научно-исследовательских работ, а также в процессе консультационно-методического сопровождения паспортов крепления горных выработок.

ЧАСТЬ I. Методика расчета одноуровневого анкерного крепления

Выбор типа и параметров анкерной крепи зависит от множества геологических, горно-технических и технико-экономических факторов, к которым относятся: строение и физико-механические характеристики горных пород, степень нарушенности и водоносность месторождений, глубина разработки, расстояние между пластами, конфигурация, назначение и срок службы выработки, условия ее эксплуатации, расход, стоимость, дефицитность и прочностные свойства материалов анкерной крепи, технологичность изготовления и возведения крепи и др.

Границами применения анкерного крепления как самостоятельного вида крепи являются:

Анкерная система крепит породу, ограничивая деформации и за счет горизонтального напряжения удерживает кровлю, не давая ей обрушиться. Предельно возможная относительная деформация пород кровли горной выработки, закрепленной анкерами, не должна превышать 2%, сверх этой величины кровли обычно обрушаются.

Самостоятельная анкерная крепь применима для горизонтальных и наклонных (до 35° и при угле падения пород в т.ч. более 35°) подземных горных выработок и их сопряжений при следующих горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт:

- максимальная расчетная ширина выработки – не более 7 м;
- поддерживаемые в ненадработанном и подработанном, также полностью надработанном и подработанном массивах на расстояниях, соответственно, больше ширины выработки и двенадцати мощностей пласта;
- прочность на одноосное сжатие оставляемой угольной пачки в кровле горной выработки или сопряжения - не менее 15 МПа.

Самостоятельная анкерная крепь не применяется как правило, при проведении горных выработок в особо сложных горно-геологических условиях: в зонах проявлений повышенного горного давления (ППГД) под- и над целиками и краевыми частями на сближенных пластах в зонах разрывных геологических нарушений с дробленными и обводненными (капез, струи и т.п.) породами; при наличии выветренных, пластичных вмещающих пород; замки складок; массивы с выветренными и пластичными породами. Однако, при устойчивых породах кровли с прочностью пород на сжатие $R_{ск} \geq 35 \text{ МПа}$, в т.ч. при выработках, проведенных вприсечку к выработанному пространству (предыдущий выемочный столб), возможно применение самостоятельной анкерной крепи с ежедневным контролем деформаций пород кровли посредством реперных станций, устанавливаемых не более чем через 10м и проведение видеоэндоскопических исследований, при наличии соответствующего оборудования.

При применении технологии одноуровневого анкерного крепления по расчетным параметрам в связи с расширением области его применения по заданным критериям (прочности пород на сжатие $R_{ск} < 25$ МПа и смещений пород кровли более 150 мм) производить текущий ежедневный мониторинг состояния устойчивости контуров выработок и вносить коррективы в паспорт проведения и крепления приконтурных пород по разрешению технического руководителя предприятия.

Горнотехнические условия применения технологии анкерного крепления при проведении горных выработок как самостоятельной крепи

По сроку службы выработок

Использование анкерной крепи рекомендуется в горных выработках и сопряжениях сроком службы до 10 лет с сухими породами в кровле и при влажности воздуха меньше 85%.

По обводненности

В горных выработках с обводненными породами происходит их разупрочнение, и, поэтому расчетное сопротивление пород сжатию должно корректироваться из-за их увлажнения.

По под- и надработке разрабатываемых угольных пластов

Горные выработки, поддерживаемые в ненад- и неподроботанном, также полностью над- и подроботанном массивах на расстояниях, считаются соответственно, больше ширины выработки и двенадцати мощностей пласта.

По зонам повышенного (ППГД) и опорного (ОГД) горного давления, влияния очистных работ, скважин направленного гидроразрыва пласта (НГРП)

Применение одноуровневой анкерной крепи в качестве единственного средства крепления выработок в таких зонах не допускается, однако при устойчивых породах кровли с прочностью пород на сжатие $R_{ск} \geq 35$ МПа, возможно применение самостоятельной анкерной крепи с ежедневным контролем деформаций пород кровли посредством реперных (замерных) станций, устанавливаемых не более чем через 10 м.

По пересечению наслоений пород (пластовые и полевые выработки)

При пересечении наслоений пород (пластовые и полевые выработки) крепление самостоятельной анкерной крепью не рекомендуется.

По выработанному пространству

Для крепления выработок, поддерживаемых позади лавы (прямоточная схема проветривания), необходимо использовать анкерно-рамную крепь; при возвратноточной схеме проветривания впереди лавы – анкерную и усиливающую крепь (рама+анкер, гидростойка, двухуровневое анкерование).

Применение самостоятельной одноуровневой анкерной крепи не рекомендуется при креплении сопряжений горных выработок.

По воздействию смежных выработок

Ширина угольного целика принимается более 15 м.

Расчет параметров анкерной крепи

Исходными данными, необходимыми для расчета сопротивления анкерной крепи, длины анкеров, количества анкеров в рядах и расстояние между рядами, а также дополнительных средств усиления, являются:

- условия проходки, охраны и поддержания;
- расчетная ширина (В, м), высота (h, м) выработок и сопряжений в проходке;
- расчетная глубина расположения от поверхности (Н, м);
- тип строения пород кровли;
- класс устойчивости пород непосредственной кровли;
- сопротивление пород кровли на сжатие ($R_{ск}$, МПа);
- расчетная (фактическая) несущая способность анкеров.

Расчетная ширина всех протяженных выработок принимается равной их максимальной фактической ширине в проходке.

Расчетная глубина для сопряжений принимается равной фактической глубине от поверхности. Расчетная глубина для протяженных горизонтальных и наклонных выработок,

различные участки которых находятся на разных отметках, отличающихся не более чем на 20%, принимается равной их максимальной глубине. При большей разности отметок расчетная глубина таких выработок принимается по участкам с различными глубинами.

Определение расчетного сопротивления пород кровли и боков выработки

Для определения параметров крепления горной выработки на первом этапе производится вычисление средневзвешенного значения сопротивления пород кровли на высоту $0,5B$ (рисунок 1).

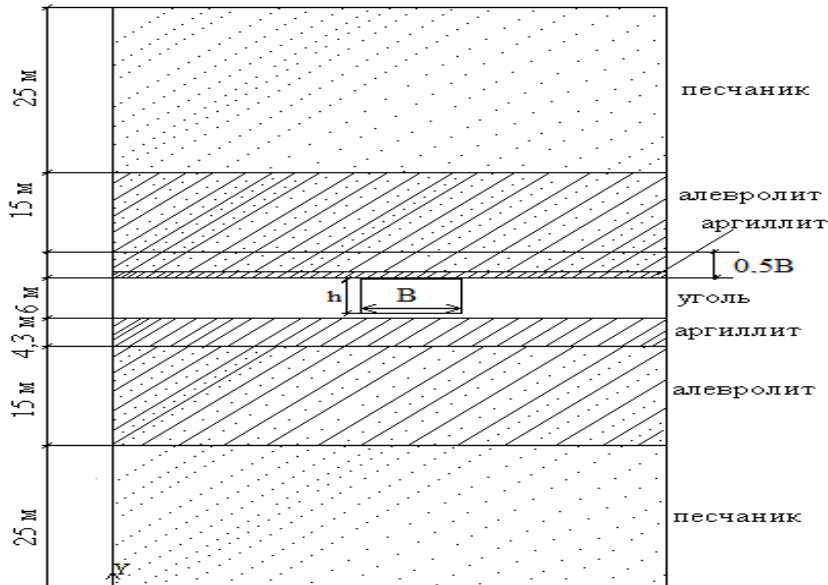


Рисунок 1– Расчетная схема для определения параметров крепления горной выработки

По полученному значению $R_{ск}$ (МПа) и глубине заложения выработки H (м) определяется смещение пород кровли.

В горных выработках, проводимых в массиве и поддерживаемых в продолжение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ, величина расчетных смещений кровли.

В пластовых выработках, проводимых в массиве и охраняемых за лавой целиком $l_{ц} > 15$ м, а затем погашаемых за смежной лавой, определение расчетных смещений кровли за весь срок службы.

В пластовых выработках, проводимых в массиве и погашаемых лавой.

В пластовых выработках, проводимых в массиве, а затем охраняемых разрушающимся в выработанном пространстве целиком шириной 2-3 мощности пласта и поддерживаемых на границе с выработанным пространством.

В пластовых выработках, проводимых вприсечку к выработанному пространству с угольным целиком шириной 2-4 м на расстоянии от обрабатываемой лавы больше 200 м и погашаемых смежной лавой, величина расчетных смещений кровли.

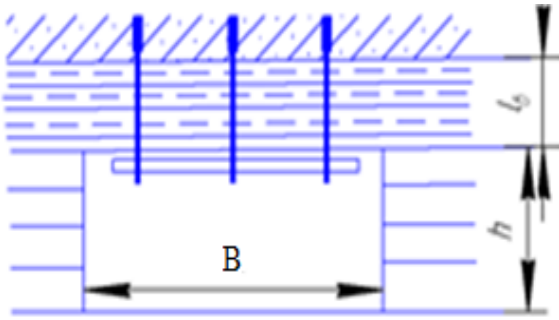
Определение смещений пород кровли в зонах повышенного горного давления (ПГД).

Смещения пород кровли в горных выработках, проводимых после отработки сближенно-го пласта и расположенных в зоне ПГД от краевой части смежного пласта.

Определение основных параметров анкерной крепи в зависимости от схем крепления пород кровли, смещений и прочности вмещающих пород.

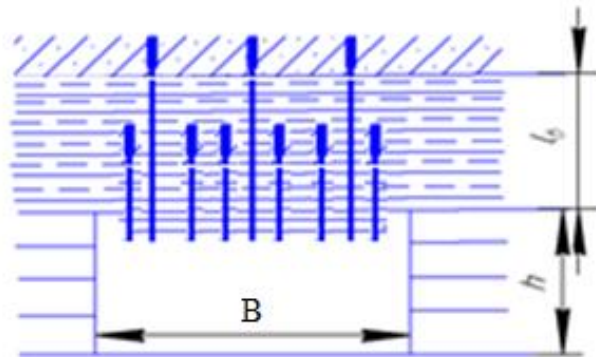
Вычисляется расчетное сопротивление пород кровли $R_{ск}$ после обнажения на высоту $0,5B$.

Если расчетное сопротивление пород кровли $R_{ск} \geq 25$ МПа, а значение смещений пород кровли $U \leq 250$ мм, тогда рекомендуется расчетная схема 1–самостоятельное одноуровневое анкерное крепление (рисунок 2).



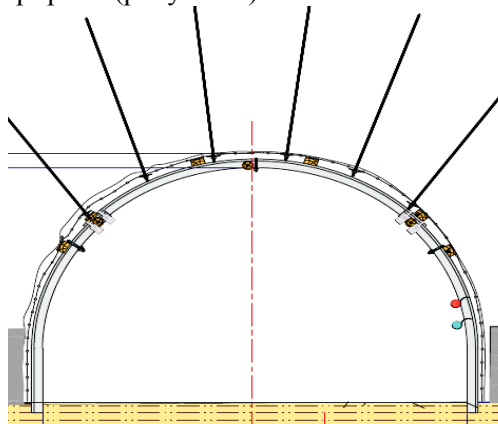
**Рисунок 2 - Расчетная схема 1
(самостоятельное одноуровневое
анкерное крепление)**

Если $R_{ск} \geq 25$ МПа - рекомендуется расчетная схема 2 с двухуровневым креплением (рисунок 3):



**Рисунок 3 - Расчетная схема 2
(двухуровневое крепление)**

Если $R_{ск} \geq 25$ МПа – рекомендуется расчетная схема 3 с комбинированным креплением: анкер+рама (рисунок 4).



**Рисунок 4 - Расчетная схема 3
(комбинированное крепление: анкер+рама)**

Расчет параметров крепи в боках горных выработок

Необходимыми исходными данными для расчета параметров анкерной крепи в боках выработок являются также их расчетная высота (h , м), расположение, мощность (m , м) и расчетное сопротивление на сжатие слоев пород и пластав боках выработки ($R_{сб}$, МПа).

Спецификация материалов для анкерного крепления

Ниже рассматривается спецификация материалов для анкерного крепления (при одноуровневом анкерном креплении).

Металлический жесткий анкер. Стеклопластиковый анкер. Опорная сферическая шайба (опорная демпфирующая плитка). Гайка со сферой. Полосовой анкерный подхват (штрипс). Химическая смола.

Технологический раздел - при креплении анкерами как самостоятельной крепью горной выработки.

Критерии качественной установки анкеров. Технические требования к применению анкерной крепи с химическим закреплением в шпурах (скважинах) для крепления выработок в угольных шахтах. Основные требования назначения анкерной крепи. Оценка работоспособности анкерной крепи и контроль за качеством и состоянием крепления анкерированной выработки.

ЧАСТЬ II: Инструкция по расчету комбинированной крепи (анкерной и металлорамной)

Область применения комбинированных крепей и их конструктивные составляющие

Применение анкерной крепи в качестве единственного вида крепления не допускается в горных выработках, расположенных в зонах геологических нарушений, выветренных и обводненных пород, при наличии тонких прослоек угля, кальцита или углистых аргиллитов в пределах глубины заделки анкеров.

В горных выработках с породами II категории устойчивости, когда смещения кровли достигают более 250 мм, применять комбинированную крепь, состоящую из анкеров с металлическими подхватами, решетчатой затяжки и металлоарочной крепью.

Границами применения анкерного крепления в сочетании с металлоарочной крепью (комбинированная крепь) являются следующие условия.

В выработках, в кровле которых залегают неустойчивые породы ($R_{ск} < 25$ МПа), анкерная крепь применяется только в сочетании с другими видами крепи (комбинированная крепь). При этом анкеры в сочетании с металлическими подхватами, решетчатыми затяжками применяются для крепления кровли выработки с прочностью углей и пород на сжатие $R_{ск}$ соответственно не менее 10 и 25 МПа, а также боков выработки с прочностью углей и пород на сжатие не менее 6 и 20 МПа.

ЧАСТЬ III: Методика расчета длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок

Условия применения канатных анкеров

Если высота отслоившейся породы ниже длины анкерных болтов, поведение выработки будет удовлетворительным (при условии, что напряжения в массиве остаются неизменными). Если высота отслоившейся породы выше высоты (длины) анкеров, увеличение напряжения перед забоем вызовет обрушение кровли. Для поддержания выработки потребуется установка более длинных арматурных стержней (усиление тросовыми и канатными анкерами длиной 5-7 и более метров или составными анкерами) или - комбинированное крепление выработки из сочетания арок рамной податливой и жесткой анкерной крепей.

«Исследования состояния устойчивости откосов уступов, бортов и отвалов «Западного» и «Дальнезападного» карьеров АО «Жайремский ГОК»

Научный руководитель: Ph.D., ст. преп. Ожигин Д.С.

Основание для выполнения: договор на оказание услуг по договору № 3110/2021-1845 (21.11.06) от 14.07.2021 г. с АО «Жайремский ГОК»

Своевременная разработка мероприятий по управлению состоянием устойчивости приобортовых массивов карьера во многом зависит от достоверности знаний условий и причин, вызывающих возникновение деформаций. Прогнозирование и обеспечение устойчивости карьерных откосов является одной из важнейших задач при ведении открытых горных работ. При учете факторов, влияющих на устойчивость карьерных откосов, необходимо знать: вид нарушения, активность процесса разрушения, периодичность нарушения, вид объекта деформации, параметры деформированной горной выработки, характер разрушения объекта, отношение размеров разрушенного участка ко всей горной выработке, характеристику и условия залегания пород, длительность развития деформаций, характер и конфигурацию поверхности разрушения. Информацию такого рода невозможно получить без систематических инструментальных наблюдений, служащих наиболее надежной основой для осуществления прогноза устойчивости горных выработок

Маркшейдерско-геодезические наблюдения за состоянием устойчивости карьерных откосов являются основой для выявления факторов и изучения причин их деформаций. Анализ результатов наблюдений за деформациями откосов служит неисчерпаемым источником для научных исследований, оценок и прогнозов. Мониторинг состояния и обеспечение устойчивости карьерных откосов – важная задача для эффективного и безопасного ведения горных работ. Организация геомеханического мониторинга состояния устойчивости карьерных откосов включает в себя: периодические маркшейдерские наблюдения за состоянием откосов; исследования инженерно-геологических характеристик состава и свойств горных пород; изучение структурно-тектонических особенностей прибортового массива; оценку и прогноз геомеханических

процессов, происходящих в массиве; разработку рекомендаций по оперативному изменению параметров бортов карьера и технологических схем отвалообразования.

Научно-исследовательская работа (НИР) выполнена по техническому заданию АО «Жайремский ГОК» на основании договора и включает в себя в соответствии с календарным планом следующие работы:

1. Обследование откосов уступов, бортов карьеров и отвалов на основе применения беспилотных летательных аппаратов (600 Га).

2. Реконструкция и создание дополнительных наблюдательных станций для исследования состояния устойчивости прибортовых массивов карьеров («Западный», «Дальнезападный») и отвалов (130 реперов).

3. Исследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов карьеров и отвалов на основе производства первой серии высокоточных инструментальных наблюдений по заложенным реперам наблюдательных станций.

4. Исследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов карьеров и отвалов на основе производства второй серии высокоточных инструментальных наблюдений по заложенным реперам наблюдательных станций.

5. Анализ результатов инструментальных наблюдений за сдвижением карьерных откосов.

6. Составление отчета НИР.

Целью научно-исследовательской работы является повышение эффективности и безопасности разработки месторождения Жайрем на основе систематического инструментального контроля за состоянием устойчивости прибортовых массивов карьеров и отвалов Западного и Дальнезападного карьеров АО «Жайремский ГОК».

I. Обследование откосов уступов, бортов карьеров и отвалов производилось на основе применения беспилотного летательного аппарата VolJet X8Geo с камерой Sony A6000 и высокоточным бортовым GNSS приемником Emlid reach M2. По результатам выполненной аэрофотосъемки построена модель местности, охватывающая территорию Дальнезападного карьера №1, №2 и отвалов на площади 1090 Га.

Рекогносцировка местности, обследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов карьеров («Западный», «Дальнезападный») и отвалов, анализ горно-геологической ситуации для обеспечения вопросов устойчивости исследуемых объектов выполнены на основе натурального визуального обследования состояния карьерных откосов с использованием БПЛА DJI Phantom 3 SE, DJI Mavic 2 Pro PPK (с установленной GNSS платой).

В процессе проведения рекогносцировки наблюдательных станций специалистами НАО КарТУ были выполнены исследования локальных участков карьеров с проведением беспилотной аэрофотосъемки. Применение беспилотных мобильных дронов позволяет оперативно и без прямого участия специалистов на потенциально опасных участках карьера определять геометрические параметры деформаций: вывалов, осыпей, просадок и т.д. (рисунок 5).

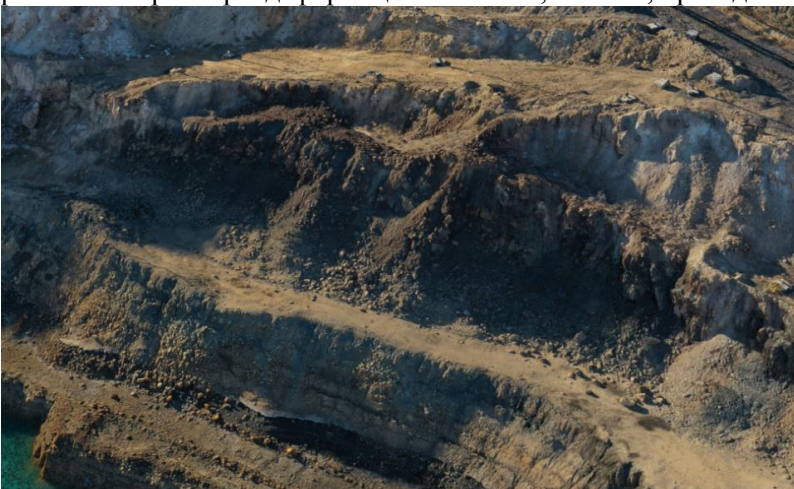


Рисунок 5 – Тайловая модель деформированного участка

В частности, данную технологию целесообразно применять к нижним горизонтам Дальнезападного карьера (карьер 2), который находится в процессе осушения. Доступ к нижним

горизонтам данного карьера осложнён высотой уступов и их обильной обводненностью (рисунок 6). На данный момент не имеется возможности производить съёмку и определение параметров деформаций традиционными методами.

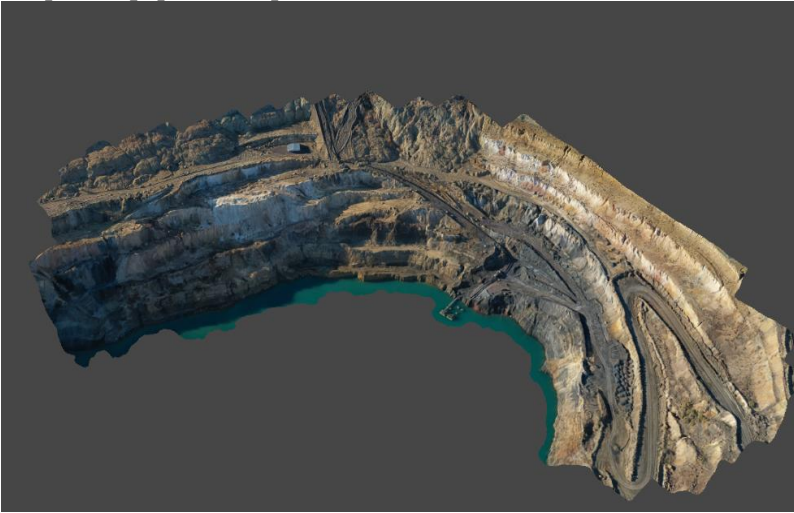


Рисунок 6 – Модель участка северного борта Дальнезападного карьера (карьер 2)

Использование беспилотных летательных аппаратов с целью выявления потенциально опасных участков деформирования борта карьера, позволяет оперативно и без риска для жизни специалиста получать полноценную картину процесса деформирования. На основе данных, полученных с БПЛА имеется возможность производить обработку фотоматериала в специализированном ПО для получения объёмных пространственных моделей. Благодаря навигационному приемнику, предустановленному в дроне, получены геометрические модели в корректном масштабе (DJI Phantom 3 SE) (рисунок 7).



Рисунок 7 – Определение геометрических параметров

Для получения точных пространственных координат с фототриангуляционной модели необходима ее точная привязка к местности, БПЛА должен быть оснащен специализированной GNSS платой, которая позволяет определять положение дрона в воздухе с высокой точностью. Благодаря такому подходу - фотографии, полученные с дрона имеют точные координаты и модель в процессе построения уже будет привязана в местной системе координат.

При проведении цифровой аэрофотосъемки на территории Жайремского ГОКа (участок Дальнезападный, карьер 2, северный борт) использовались:

- БПЛА DJI Mavic 2 Pro PPK (с установленной GNSS платой)
- 1 опорный маркер на земле, для контроля фокусного расстояния камеры в процессе полета;
- 21 контрольный маркер.

Точность в процессе фототриангуляции по контрольным точкам достигла 0,086м, по опорным точкам – 0,022м (рисунок 8).

Маркеры	Долгота	Широта	Высота (м)	Ошибка (м)	Точность	Проекц
m24	70.182285	48.266652	289.698100	0.035685	0.005000	4
m2	70.182905	48.266625	273.351300	0.027012	0.005000	18
m1	70.182301	48.266161	273.641300	0.026888	0.005000	5
m23	70.183088	48.267308	295.799600	0.025345	0.005000	4
m19	70.183813	48.268049	300.395400	0.015982	0.005000	13
m14	70.188222	48.266888	287.010900	0.003344	0.005000	5
Общая ошибка						
Опорные точки				0.022657		
Контрольные то...				0.086334		

Рисунок 8 - Точность фототриангуляционной модели

Модели, полученные в процессе обработки аэрофотосъемки, сравнимы по качеству и обзору информации с методом лазерного сканирования. При этом БПЛА лишены недостатков лазерных сканеров, в частности ограниченного угла обзора и наличия слепых зон. Специалистами НАО КарГУ рекомендуется применение беспилотных летательных аппаратов для проведения паспортизации деформаций, для получения более подробной информации о геометрических параметрах деформированных участков.

По результатам рекогносцировки местности и обследования заложенных в 2019-2020 гг. наблюдательных станций за состоянием карьерных откосов выявлено следующее:

1. На наблюдательной станции II в процессе разности верхнего горизонта часть реперов профильной линии уничтожена.
2. Наблюдательная станции III в процессе проведения горных работ полностью уничтожена.
3. На наблюдательной станции IV в процессе формирования отвала часть реперов уничтожена.
4. На наблюдательной станции IX в процессе проведения подземного кабеля часть реперов уничтожена.

II. Реконструкция и создание дополнительных наблюдательных станций для исследования состояния устойчивости прибортовых массивов карьеров («Западный» и «Дальнезападный») и отвалов выполнены на основе обследования состояния устойчивости карьерных откосов, рекогносцировки местности, анализа горно-геологической и горно-технической ситуации для обеспечения вопросов устойчивости исследуемых объектов, анализа проектной и рабочей документации с учетом фактического состояния горных работ и опыта выполнения инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений на карьерах и отвалах АО «Жайремский ГОК».

По состоянию на 15 октября 2021 г. на карьерах АО «Жайремский ГОК» создана система геомеханического мониторинга состояния устойчивости прибортовых массивов карьеров и отвалов, состоящая из 6 наблюдательных станций, включающих 12 профильных линий (130 реперов), в т.ч.:

- на Западном карьере - 3 наблюдательные станции, включающие 4 профильные линии;
- на Дальнезападном карьере (карьер 1, карьер 2) - 3 наблюдательные станции, включающие 8 профильных линий.

Общие планы расположения наблюдательных станций на Западном и Дальнезападном карьерах представлены на рисунках 9 и 10.

Наблюдательная станция II расположена на дневной поверхности (гор. +397м/+396м) восточного борта Западного карьера. Станция предназначена для ведения мониторинга состояния устойчивости восточного борта карьера, по состоянию на 15.10.2021 г. состоит из двух профильных линий, включающих в себя 4 опорных и 14 рабочих реперов.

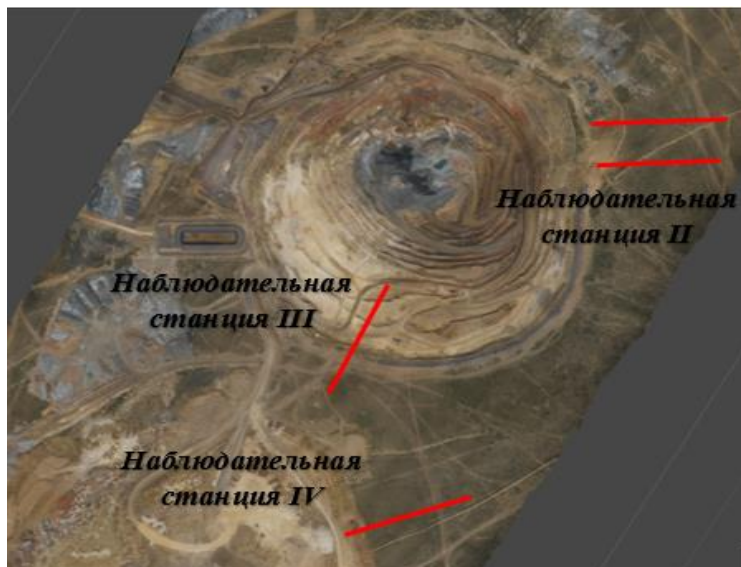


Рисунок 9 – Схема расположения наблюдательных станций на Западном карьере

Наблюдательная станция III полностью реконструирована и располагается в южной части Западного карьера (гор. +395м/+355м). Наблюдательная станция III предназначена для ведения контроля состояния устойчивости прибортового массива в зоне между южным бортом Западного карьера и породным отвалом. Наблюдательная станция III по состоянию на 15.10.2021 г. состоит из 10 рабочих реперов.

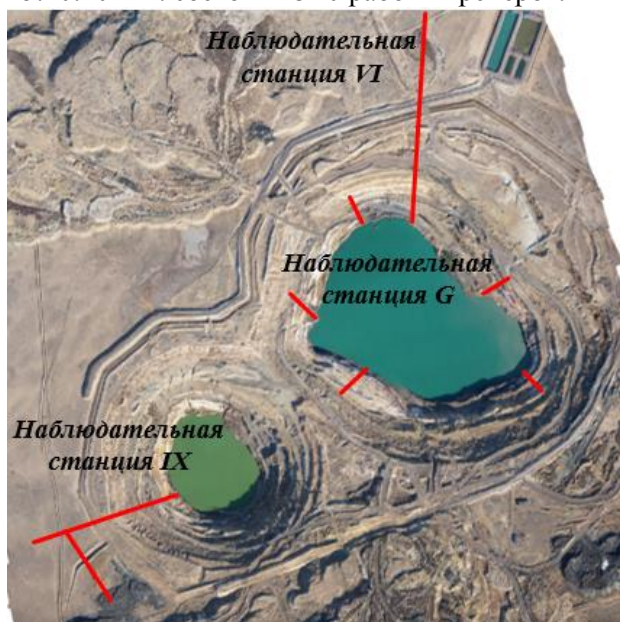


Рисунок 10 – Схема расположения наблюдательных станций на Дальнезападном карьере

Наблюдательная станция IV расположена в восточной части южного отвала карьера «Западный» (гор. +405м /+396м). Наблюдательная станция предназначена для ведения контроля состояния устойчивости породного отвала Западного карьера в зоне локальных деформаций восточной части первого яруса отвала. По состоянию на 15.10.2021 г. станция состоит из одной профильной линии и включает 6 рабочих и 2 опорных реперов.

Наблюдательная станция VI заложена со стороны северного борта Дальнезападного карьера (карьер 2, на гор. +391м/+320м) и предназначена для ведения контроля состояния устойчивости прибортового массива северного борта карьера. По состоянию на 15.10.2021 г. станция состоит из одной профильной линии, включающей в себя 2 опорных репера и 28 рабочих реперов.

Наблюдательная станция IX расположена на юго-западном борту Дальнезападного карьера (карьер 1, гор. +390м/+311м). Станция предназначена для ведения контроля состояния устойчивости юго-западного борта карьера. По состоянию на 15.10.2021 г. станция состоит из 2 профильных линий, включающих в себя 2 опорных репера и 28 рабочих реперов.

В связи с интенсивной откачкой воды из карьера Дальнезападный (карьер 2), в августе 2021 г. заложена дополнительная *наблюдательная станция G* расположенная на нижних горизонтах по периметру осушенной части карьера. Данная наблюдательная станция предназначена для ведения контроля устойчивости горизонтов карьера расположенных вблизи уровня воды. Измерения на данной станции производятся с использованием GNSS технологий. По состоянию на 15.10.2021 г. наблюдательная станция G состоит из 5 профильных линий и 32 рабочих реперов.

III. Исследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов карьеров и отвалов выполнено на основе сравнения серий высокоточных инструментальных наблюдений по заложенным реперам наблюдательных станций. Высокоточные инструментальные наблюдения за состоянием устойчивости карьерных откосов по заложенным реперам наблюдательных станций выполнялись сертифицированными приборами:

- высокоточным электронным тахеометром Leica TS16 R1000 (1^я);
- GNSS оборудованием Leica GS14 в статическом режиме наблюдений с постобработкой данных.

На основе анализа результатов исследования состояния устойчивости прибортовых массивов Западного и Дальнезападного карьеров по состоянию на 15.10.2021 г. сделаны *следующие выводы:*

1. На станции II в период с 19.10.2020 г. по 27.08.2021 г. смещение реперов не обнаружено. Реперы II-A-1, II-A-5 и II-B-OP2 повреждены горнотранспортной техникой. В период с 27.08.2021 г. по 15.10.2021 г. смещение реперов не обнаружено. Реперы II-B-2, II-B-3 повреждены горнотранспортной техникой.

2. По наблюдательным станциям III, IV в период с 19.10.2020 г. по 27.08.2021 г. определить смещения реперов невозможно в связи с уничтожением практически всех ранее заложенных реперов.

По наблюдательной станции IV в период с 27.08.2021 г. по 15.10.2021 г. обнаружено смещение реперов IV-6, IV-8 и IV-9, репер IV-7 уничтожен в ходе формирования ярусов отвала. Причиной смещения данных реперов является пригрузка от верхних ярусов отвала.

Формирование отвала вблизи Южного борта Западного карьера может оказать негативное влияние на его устойчивость. Имеются сопутствующие негативные факторы, влияющие на устойчивое состояние карьерных откосов, такие как высокая обводненность массива, слабые породы верхних горизонтов и прочие. В этих условиях необходимо контролировать состояние устойчивости южного борта карьера и не пригружать его породным отвалом.

3. На станции VI в период с 19.10.2020 г. по 15.10.2021 г. смещения реперов не обнаружены, репер VI-19 поврежден. Реперы расположенные на гор. +367/+320 измерены с применением GNSS технологии, разница высотных отметок реперов нижних горизонтов наблюдательной станции не характерна процессу сдвижения горного массива и является погрешностью измерений, связанной с ограниченным небосводом.

4. На станции IX в период с 19.10.2020 г. по 15.10.2021 г. смещения реперов не обнаружены, репер IX-14 поврежден, репер IX-1 поврежден.

5. По наблюдательной станции G смещения реперов не обнаружены, по профильной линии G-I репер G-I-1 поврежден, репер G-I-2 уничтожен.

Согласно Методическим указаниям по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости, согласованным приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью РК № 39 от «22» сентября 2008 г., сроки проведения повторных наблюдений устанавливаются в зависимости от поставленных в проекте задач и развития процесса сдвижения. Если скорость смещения реперов не превышает 1 мм/сут, интервалы времени между сериями наблюдений могут быть увеличены до 3-4 месяцев и более, однако наблюдения следует проводить не реже 1-2 раз в год.

Анализ результатов наблюдений за сдвижением карьерных откосов Западного и Дальнезападного карьеров АО «Жайремский ГОК» показал, что в целом устойчивое состояние бортов карьеров обеспечивается.

2.28. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

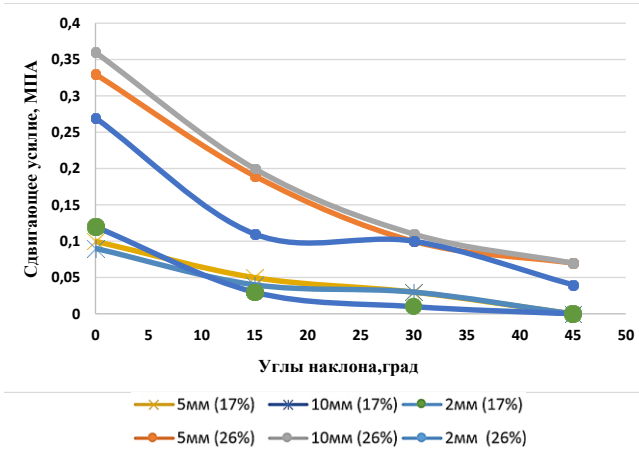
Общее количество сотрудников Института составляет 65 человека, в т.ч. 8 докторов, из них 2 академика и 2 члена-корреспондента, и 17 кандидатов наук. Удельный вес молодых ученых (до 35 лет) 9,1%. Бюджетное финансирование - 12058,8 тыс. сом. Сумма внебюджетных поступлений за составила – 4717,8 тыс. сом

Проект: *Научное обоснование и разработка рекомендаций по эффективному освоению месторождений полезных ископаемых в высокогорных районах Кыргызской Республики*

Важные результаты

Установлена зависимость угла внутреннего трения заполнителя трещин от мощности заполнителя межблокового пространства и угла наклона поверхности скольжения образца блочного строения с заполнителем при влажности на границе раскатывания (17%) и на границе текучести (26%).

Определены механические свойства и остаточные напряжения мрамора месторождения Новороссийска (Чон - Кемин), песчаника (Рогун), метасоматита и филлита участка Сары-Тор Кумторского месторождения;



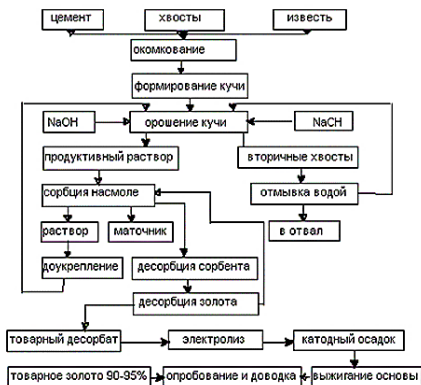
Зависимость сопротивления сдвигу блока от угла наклона при разных мощностях слоя заполнителя и при влажности 17% и 26%



Определение механических свойств и остаточных напряжений в горных породах рудных месторождений

Разработаны рекомендации по применению инновационных технологий по комплексной переработке техногенных отходов рудника Кумтор.

Оценена технологий безвзрывной выемки вскрышных пород на угольных месторождениях на базе экскаваторов ЭКГ с активными зубьями ковша, угольных комбайнов КСМ и конвейерного транспорта.



Технологическая схема переработки лежалых хвостов рудника Кумтор

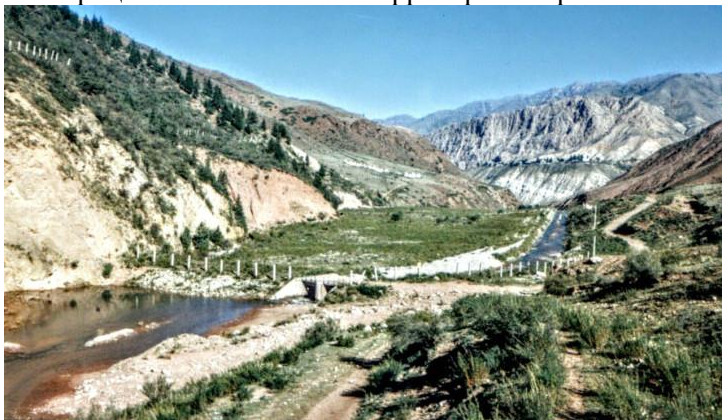


Комбинированный вид транспортировки угля из месторождения Кара-Кече

Проект: *Совершенствование методов прогнозирования опасных природно-техногенных процессов и оценка геоэкологических рисков на территории освоения минеральных и гидротехнических ресурсов Кыргызстана*

Важные результаты

Обоснованы и разработаны рекомендации оперативной оценки риска в зонах оползневого поражения при ожидаемом обрушении неустойчивого горного склона; рекомендации переданы в МЧС КР для практического использования в деятельности оползневых служб и они опубликованы в книге руководящих документов МЧС «Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики» на 2021 год.



*Комплекс природных опасностей для хвостохранилища:
паводково-селевая и оползневая*

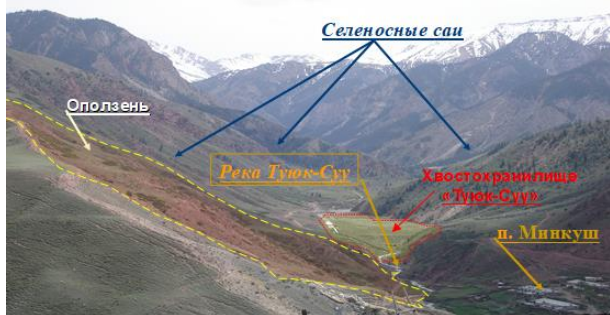


*Факторы риска разрушения
хвостохранилищ в долговременном
аспекте:
Водная и ветровая эрозия*

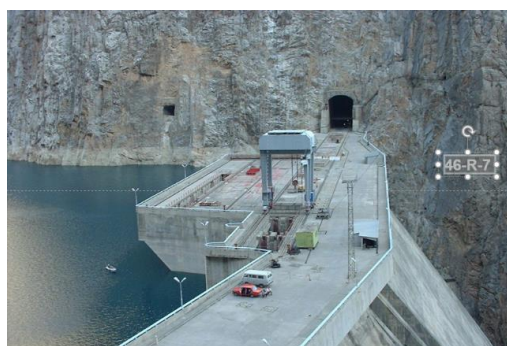
В рамках проекта «Реабилитации объектов уранового наследия в Мин-Куше» выполнена оценка риска и прогноз опасных склоновых процессов на участке бывшей Обогащительной фабрики в Мин-Куше для обеспечения безопасности выполнения реабилитационных работ на её территории, предложены рекомендации по предотвращению риска гибели персонала строителей, ведущих реабилитационные работы.

Проведена геотехническая экспертиза ТЭО строительства Камбаратинской ГЭС-1 для оценки рисков оползневых и карстовых процессов вблизи высотной камне-насыпной плотины и в акватории будущего водохранилища.

Продолжилось научное сопровождение мониторинга неустойчивого блока массива горных пород на участке основных сооружений (плотины) Токогульской ГЭС и оползней Туяк-Су (Мин-Куш) и Аю (Узгенский район).



Вид на долину Туяк-Суу: хвостохранилище, оползень и часть жилой зоны пос. Мин-Куш, расположенной вблизи хвостохранилища



Потенциально неустойчивый блок 46-R-7 в левобережном примыкании Токогульской плотины

Научно-инженерный центр «ГЕОПРИБОР» выполнил следующие НИР:

1. По контракту с Международным центром экологического менеджмента в рамках проекта Азиатского Банка Развития «Предлагаемый проект по управлению рисками оползней в Кыргызской Республике - подготовка ТЭО инвестиций» по обоснованию и выбору 20 оползнеопасных участков, на которых в рамках инвестиционного проекта АБР в 2022-2026 гг. планируется обустройство региональных и локальных систем оползневого мониторинга. Составлены

программа геофизических исследований и геотехнических изысканий, предназначенных для выбора количества и типов приборов, датчиков и аппаратуры мониторинга.

2. По договору подряда с ЗАО «Кумтор Голд Компани» в 2021 г. продолжение по «Оценке геотехнических и экологических рисков, связанных с разработкой золоторудного месторождения Кумтор».

3. По договору с Каскадом Токтогульских ГЭС по «Мониторингу потенциально неустойчивых массивов на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС».

4. В инициативном порядке по мониторингу геодинамических процессов на оползне Туяк-Суу в Мин-Куше, где в настоящее время завершаются подготовительные работы по переносу хвостохранилища «Туяк-Суу» на безопасный участок, т.е. реализуется рекомендация НИЦ «Геоприбор», переданная в МЧС в 2008 г.

Научно-проектный центр «ГЕОСЕРВИС» выполнил следующие НИР:

1. По договору с ОсОО «Ориел Голд» «Определение физико-механических свойств горных пород и оценке устойчивости уступов и бортов карьера месторождения «Тохтозан».

2. По договору с ОсОО «NK Group» «Определение классификационных показателей и физико-механических свойств грунтов, отобранных в чаше хвостохранилища рудника Иштамберды».

3. По договору с Представительством Китайской корпорации по строительству дорог и мостов в КР «Расчет и оценка устойчивости склона вдоль проектного участка автомобильной Север-Юг, км 288».

Научно-организационная деятельность

Всего опубликовано 50 статей, из них 11 за рубежом. Статьи: Scopus - 2, РИНЦ - 19. Издано 3 монографий. Получен 1 патент Кыргызской Республики. Изданы 1 учебно-методическое пособие и 4 методических указаний для ВУЗов.

14 сотрудников ИГиОН преподают в ВУЗах Бишкека.

В Институте функционирует совместная кафедра "Разработка месторождений полезных ископаемых" (КГГУ) и 2 учебно-научных лаборатории (КГУСТА, КГГУ).

В аспирантуре обучаются 5 человек.

2.29. 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 деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты», «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды».

В 2021 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 6 фундаментальным и одной прикладной темам. Кроме того, было выполнено 24 хоздоговорные работы.

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 научно-технических основ выбора рациональных технологических параметров очистных работ».

В отчетном периоде проведены исследования по установлению степени влияния технологических операций в очистном забое на геомеханическое состояние углеродного массива и устойчивость пород кровли.

Получены следующие научные и практические результаты:

1. Обоснован алгоритм и разработан метод расчета шага посадки кровли для установления степени влияния технологических операций на устойчивость пород кровли, основанный на разделении породного массива кровли на группы слоев и определении несущего слоя в группе, оказывающего основное влияние на формирование опорного давления. Строение породного массива изучалось по геологическому разрезу, построенному по геологоразведочным скважинам в пределах выемочного участка (рисунок 1).

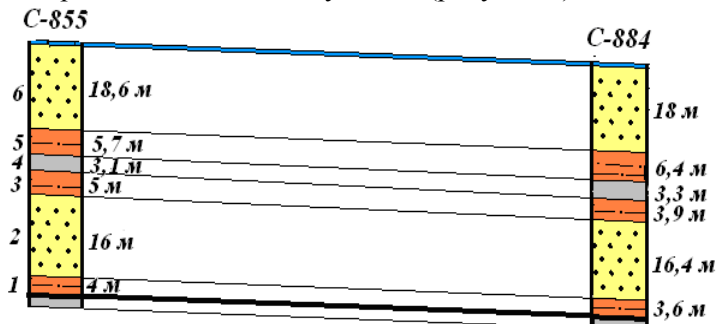


Рисунок 1 – Геологический разрез по скважинам С-855 и С-884

Установлено, что породный массив состоит из групп слоев. В состав каждой группы входит несущий слой и, залегающие над ним менее устойчивые породные слои. Были установлены три основных типа строения породного массива кровли. Первый тип строения – непосредственно над пластом залегает несущий слой (категории A_3 и выше). Второй тип строения – непосредственно над пластом залегает не устойчивый слой аргиллита или алевролита (категории A_1 или A_2). Третий тип строения – над пластом нет устойчивых, несущих слоев. Установленные механизмы взаимодействия слоев кровли над выработанным пространством, формирования опорного давления и разрушающих напряжений, позволяют рассчитать шаг первичной посадки кровли на стадии проектирования очистных работ в выемочном поле лавы. Схема сдвижения пород, построенная с использованием указанных линий изгиба и обрушения, ограничивает число слоёв, участвующих в процессе сдвижения и формирования опорного давления до первичной посадки кровли (рисунок 2).

В зоне I в формировании опорного давления участвуют породные слои с предельным пролетом, определяемым как балки, жестко защемленной на одной опоре (слои 1–10). В зоне II в формировании опорного давления участвуют породные слои с предельным пролетом, определяемым как балки, жестко защемленной с двух сторон (слои 11–14).

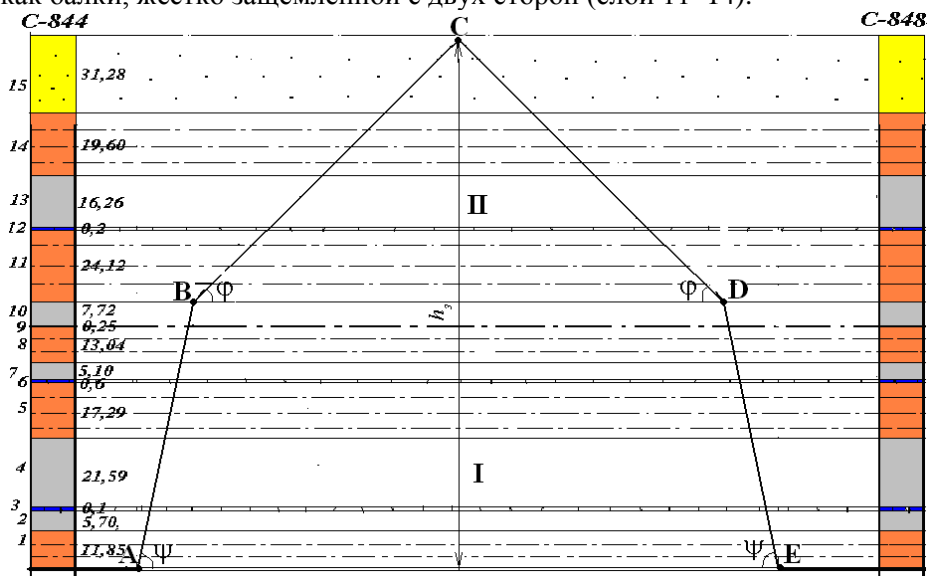


Рисунок 2 - Схема интенсивных сдвижений пород кровли над выработанным пространством: ψ – угол наклона линии обрушения АВ к плоскости пласта; ϕ - угол наклона линии изгиба ВС к плоскости пласта; I – зона обрушающихся породных слоев; II - зона изгибающихся породных слоев

Установлено, что разрушение породного слоя происходит при предельном пролете за счет трещинообразования в зоне опорного давления и пересечении трещиной слоя по всей мощности (рисунок 3).

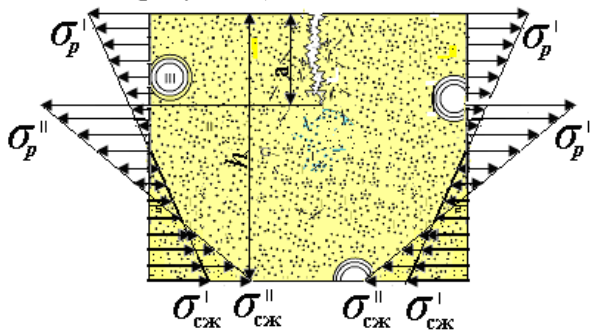


Рисунок 3 - Модель образования и развития трещины в породном слое

Прогнозирование поведения пород кровли над выработанным пространством позволяет определять рациональные технологические параметры очистных работ такие как длина лавы, способ управления кровлей в лаве, скорость подвигания лавы.

2. Разработаны научно-технические основы выбора рациональных технологических параметров очистных работ. Рассмотрены этапы сдвижения породного массива над выработанным пространством в процессе ведения очистных работ и установлено следующее. В область полных сдвижений породного массива над выработанным пространством входят область интенсивных сдвижений пород кровли в зоне лавы очистных работ и область последующих сдвижений пород под действием пластических деформаций.

Разработан метод построения зоны интенсивных сдвижений породных слоев над выработанным пространством при ведении очистных работ. Границы области интенсивных сдвижений пород определяют количество породных слоев, участвующих в формировании опорного давления на призабойную часть пласта и на подготовительные выработки.

3. Разработаны предложения в нормативно-методические документы по определению величины шага посадки пород основной кровли, выбору рациональных режимов ведения очистных работ и управлению горным давлением.

«Разработка основ управления гидродинамическим режимом при пологом залегании угольных пластов в условиях массового закрытия и консервации угольных предприятий».

В отчетном периоде выполнены анализ и оценка влияния основных параметров гидродинамического режима затопления горных выработок на установление безопасного уровня затопления горных выработок закрывающихся шахт.

Получены следующие определяющие зависимости, влияющие на закономерности процессов подземной гидродинамики при изменении уровня водоотлива (рисунки 4, 5):

- при увеличении уровня водоотлива происходит значительное уменьшение производительности водоотливной станции, закономерность также носит линейный характер;
- при уменьшении производительности водоотлива происходит существенное повышение уровня затопления гидрогеологического объекта, в отдельных случаях вплоть до полного его затопления, тем не менее, неограниченное увеличение его производительности не приводит к снижению уровня затопления ниже определенной величины.

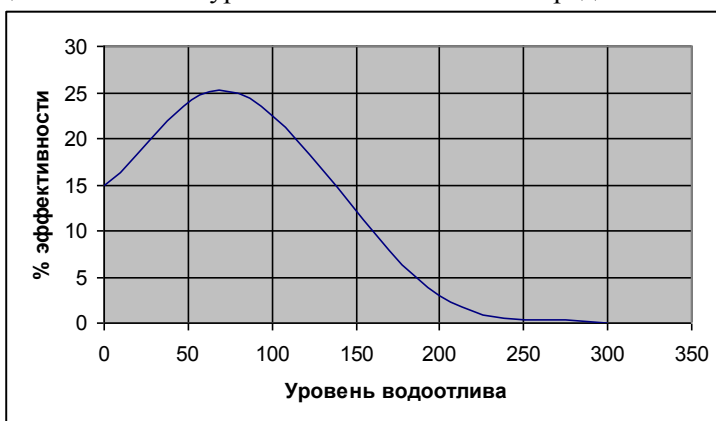


Рисунок 4 – Эффективность влияния дренажных мероприятий на уровни затопления

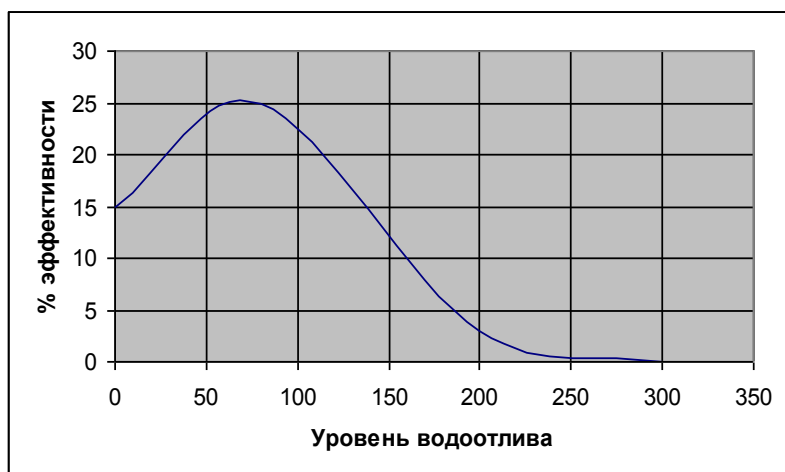
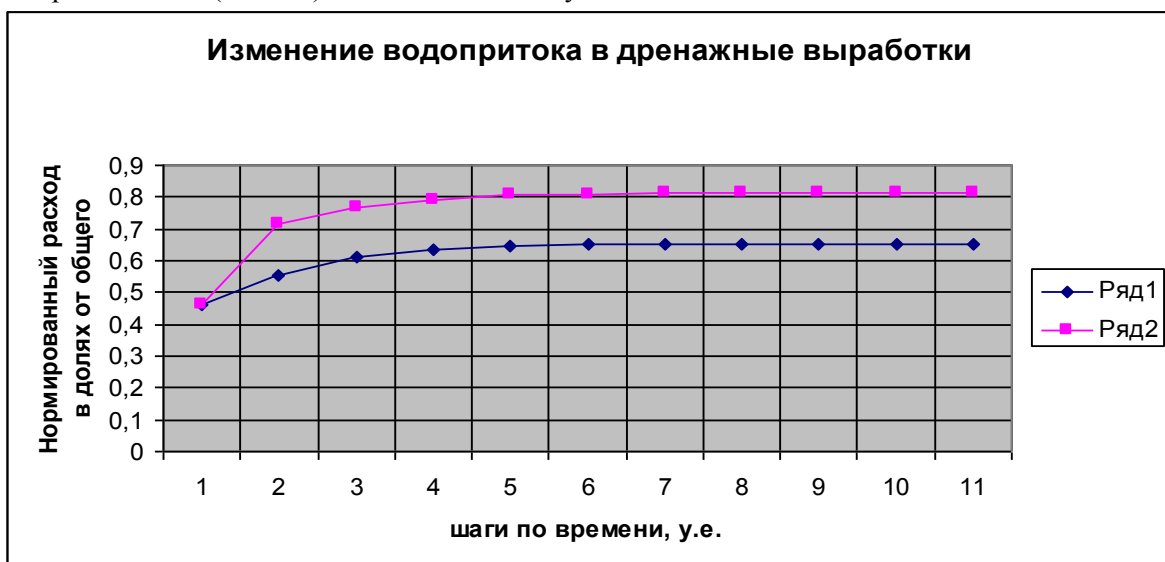


Рисунок 5 - Эффективность влияния дренажных мероприятий на водопритоки

Установлены следующие основные закономерности процессов подземной гидродинамики при осуществлении дополнительных дренажных мероприятий (рисунок 6):

- при проведении дополнительной дренажной выработки происходит незначительное увеличение (до 15%) общего водопритока в дренируемую шахту, а затем происходит его стабилизация на уровне 0,85–0,95 от исходного значения;
- при проведении дополнительной дренажной выработки происходит уменьшение на 25% и стабилизация суммарного водопритока в стволы действующей шахты;
- дальнейшее увеличение количества дополнительных дренажных выработок или проведение иных дренажных мероприятий не будет давать какого-либо существенного эффекта по сравнению с рассмотренным вариантом;
- при проведении дополнительной дренажной выработки происходит увеличение общего перетока воды (до 20%) на соседнюю шахту.



**Рисунок 6 - Сравнительные характеристики процессов после отключения водоотлива на шахте «Лидиевка»
ряд 1 – без дополнительной выработки; ряд 2 – с дополнительной выработкой**

Получены результаты, характеризующие основные закономерности изменения параметров процессов подземной гидродинамики при выполнении дополнительных дренажных мероприятий и при изменении уровня водоотлива.

Выполнено математическое моделирование процессов подземной гидродинамики на территории группы шахт участка шахты им. А.А. Скочинского путем построения и калибровки математической модели фильтрации и процесса затопления поля шахты «Лидиевка» при отключении ее водоотлива.

«Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород».

Получены следующие основные результаты:

1. Выполнен аналитический обзор по вопросам устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород; по вопросам сдвига и деформирования обводненного горного массива в современных условиях ведения горных работ и способам гидроизоляции обводненных объектов; по условиям и механизмам формирования зон необратимых деформаций вокруг горных выработок и образования провалов на земной поверхности и изменения деформационных свойств увлажненных пород. Выбраны направления и методы исследований, объекты экспериментальных исследований.

2. Установлено, что наиболее сильным фактором в трансформации обводненных массивов, в большинстве случаев, является сдвигание. Генерируемые им процессы развиваются в условиях применения любых систем разработки, особенно интенсивно при управлении горным давлением способом полного обрушения кровли.

3. Ход и последствия геомеханической трансформации зависят от значений вынимаемой мощности и от размокаемости горных пород, из которых состоит слоистый обводненный массив.

4. В связи с большим количеством слоев в реальном углевмещающем обводненном массиве, отсутствием полной и надежной информации о его структуре и физико-механических и деформационных характеристиках при моделировании целесообразно ограничиться трансверсально-изотропной средой.

5. Показано, что актуальным направлением исследований является определение коэффициента заполнения массива водой. Образующаяся в толще массива и на его поверхности муфта сдвига служит «слепком» вторичной техногенной структуры массива, несущим информацию о величине и динамике пустотного пространства. Использование представлений о количественном совпадении пустотного сдвига с разницей объемов выработанного пространства и муфты сдвига позволяет приблизиться к решению данной проблемы.

6. Для выявления особенностей распределения напряжений и деформаций обводненного массива горных пород по сравнению с «сухими» условиями выполнено математическое моделирование методом конечных элементов в пространственной постановке задачи. Определены параметры моделей и изменяемые величины. Предложена технология моделирования различных уровней обводненности без изменения геометрической расчетной схемы путем кусочной аппроксимации. Установлен характер влияния обводненности на распределение изолиний напряжений в массиве горных пород. Прежде всего, изменяются количественные параметры. Установлен локальный характер проявления влияния обводненности на качественную картину в непосредственной близости очистной выработки (рисунок 7).

7. Выполнена оценка эффективности современных способов и средств закрепления и гидроизоляции горных пород и массивов. Для упрочнения обводненных горных пород предлагается взять за основу полимерный состав СКАТ на основе карбамидной смолы КФ-МТ-15. Данный состав может использоваться в средах любой влажности и имеет следующие технические характеристики:

- прочность адгезии – 3,5-5,4 МПа;
- прочность на одноосное сжатие через два-три часа после начала отверждения – 10-12 МПа, к концу суток – 32-44 МПа, через пять суток – 63,6 МПа;
- усадка – 2,0 % через семь суток;
- образцы раздробленных пород и угля с добавлением 5% состава СКАТ закрепляются до 75-80 % прочности на сжатие ненарушенных образцов;
- клеевые швы обладают нулевой фильтрацией;
- состав относится к трудно горючим материалам, а по результатам токсиколого-гигиенических исследований ему присвоены следующие классы при однократном ингаляционном воздействии – 3 (умеренно токсичный), при однократном введении в желудок – 4 (малотоксичный), при однократном нанесении на кожу – 0 (отсутствие раздражающего действия).

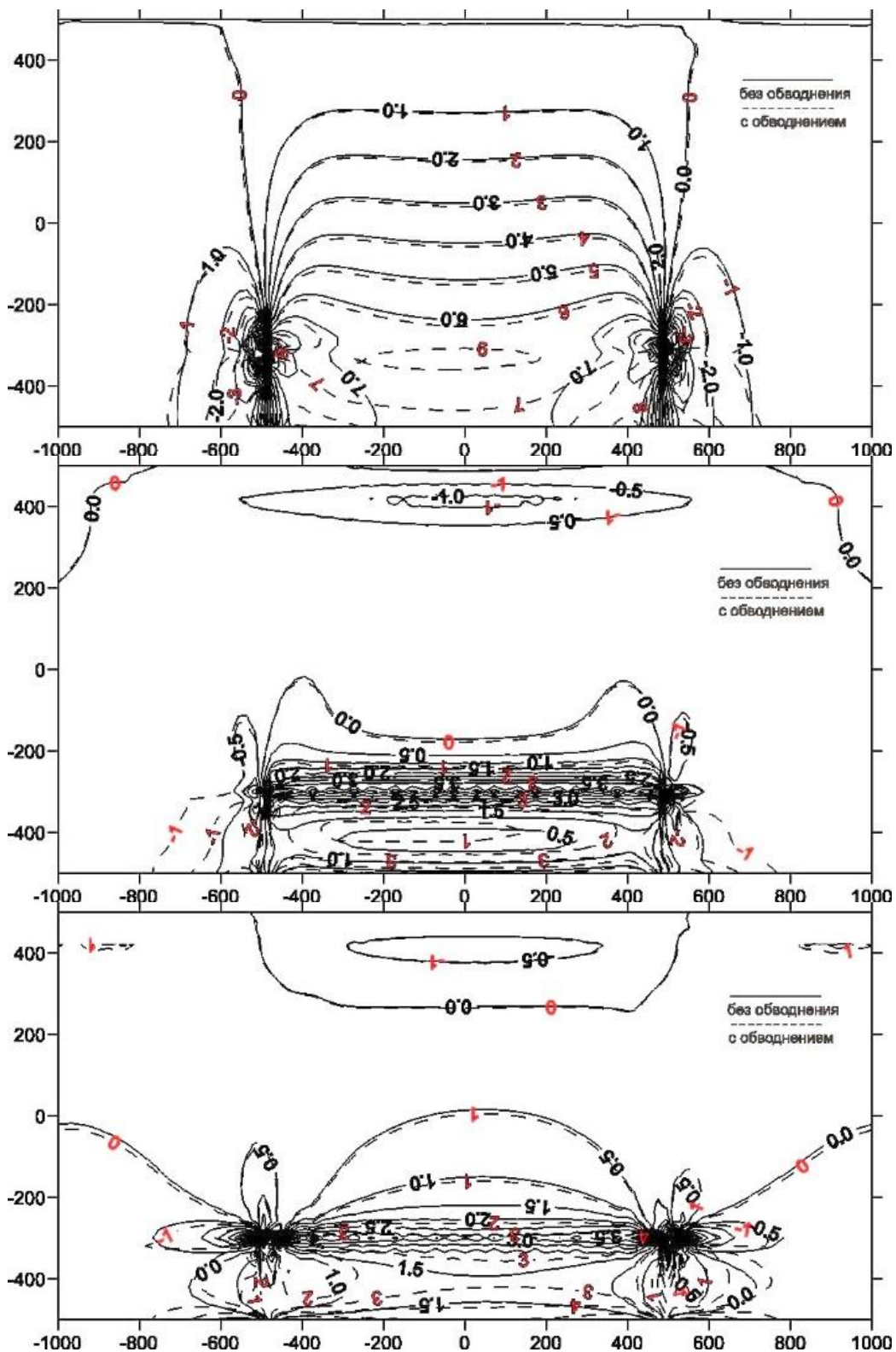


Рисунок 7 - Изолинии дополнительных напряжений σ_z , σ_x , σ_y вдоль длинной стороны выработки при обводненности в почве горизонтального пласта, МПа

«Гидрогеологический прогноз и возможные экологические последствия затопления горных выработок шахты им. Л. И. Лутугина и смежных гидравлически связанных шахт с оценкой влияния на инфраструктуру предприятий ГУП ДНР «Торезантрацит». Определены наиболее вероятные последствия затопления группы гидравлически связанных шахт (рисунок 8), в случае остановки подземных водоотливных комплексов на шахтах «Ударник» и «Миусская» № 27.

1. Выполнена оценка гидрогеологической ситуации при затоплении горных выработок, включающая определение сроков и скорости затопления выработанного пространства ликвидируемых шахт; определены участки вероятного выхода шахтных вод на поверхность в пределах горных отводов ликвидируемых шахт.

2. Выполнен анализ возможности провалообразования и выявления объектов опасных по возникновению провалов земной поверхности; обследование и оценка состояния выработок, имеющих выход на земную поверхность и участков близкого к поверхности расположения горных выработок; установлены границы провалоопасных зон, их описание и картирование на планах поверхности горных отводов; определена степень опасности участков земной поверхности по выделению метана на территории горных отводов.

3. Выполнено обследование состояния зданий на поверхности горных отводов ликвидируемых шахт для определения степени деформаций и коэффициентов остаточного деформационного ресурса обследованных зданий.

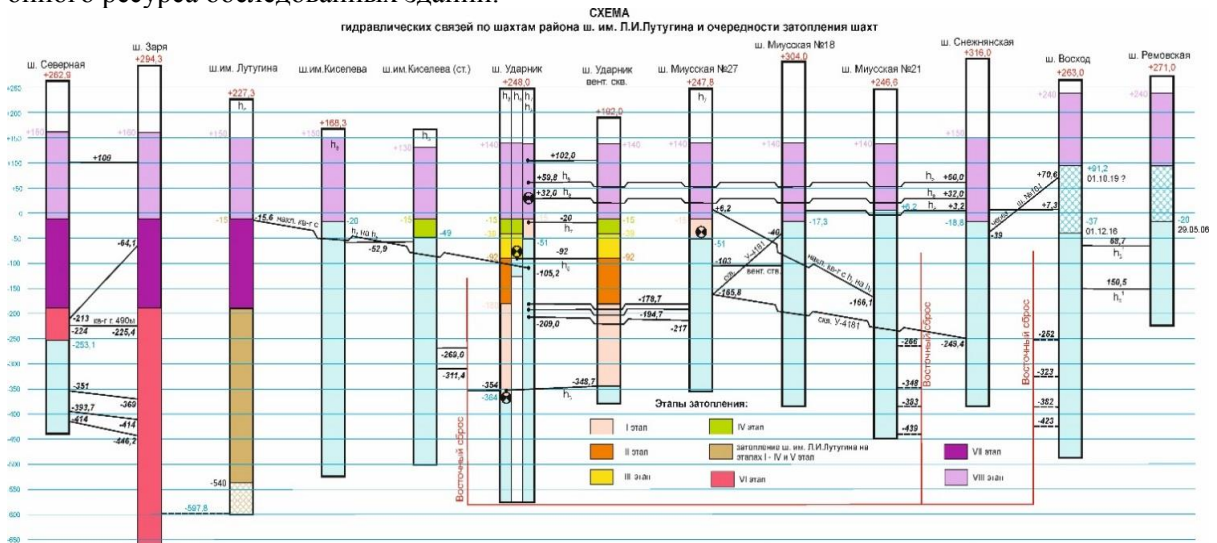


Рисунок 8 – Схема гидравлических связей и поэтапного затопления группы шахт

4. Разработан гидрогеологический прогноз последствий затопления горных выработок шахты им. Л.И. Лутугина и смежных гидравлически связанных шахт, внедрение которого позволило оценить возможные экологические последствия затопления горных выработок шахты и обеспечить экологическую безопасность Торезско-Снежинского района Донецкой Народной Республики.

«Разработка проекта затопления горных выработок филиала ГУП ДНР «МАКЕЕВУГОЛЬ» «Шахта им. В.М. Бажанова».

Получены следующие результаты:

1. Проведены исследования по прогнозу развития гидрогеологической ситуации с оценкой сроков и скорости затопления. Установлено, что затопление будет происходить в три этапа, общее время затопления двух очередей шахты им. В.М. Бажанова после отключения водотлива составит более 6 лет.

2. Определены места потенциально возможного выхода подземных вод на земную поверхность. Так, возможен излив через шурф №10 в объеме до 89 м³/ч (рисунок 9) и последующий дренаж подземных вод по балке Сухая Калиново в сторону пересохшего ставка и далее в городской пруд.

3. Определены наиболее вероятные места образования провалов на земной поверхности в случае полного затопления выработок шахты им. В.М. Бажанова без проведения дополнительных мероприятий.

4. Выполнен расчёт сдвижения и деформаций земной поверхности от влияния активизации при затоплении горных выработок шахты им. В.М. Бажанова ГУП ДНР «Макеевуголь». На основании результатов проведенного обследования 139 зданий установлено их техническое состояние с определением остаточного деформационного ресурса, определено влияние затопления шахты на объекты поверхности и установлены безопасные уровни затопления горных выработок.

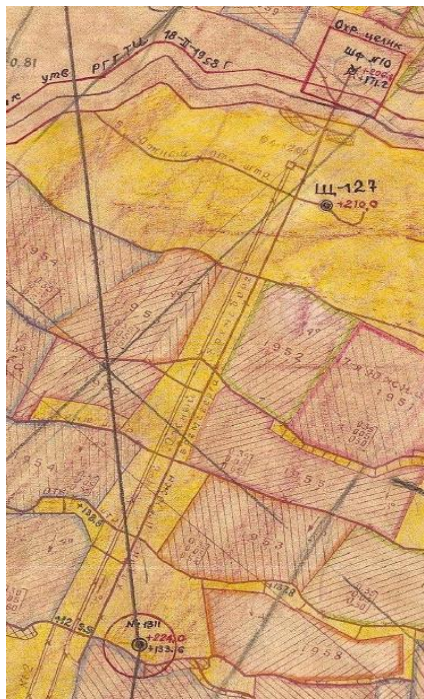


Рисунок 9 – Выкопировка с плана горных работ по пласту p_1^B с местом потенциального излива подземных вод на земную поверхность

«Разработка комплексного гидрогеологического прогноза для безопасного ведения горных работ «ОП шахта им. А. А. Скочинского» и «ОП шахта им. Челюскинцев» ГП «ДУЭК» в условиях негативного влияния ликвидированных и затопленных шахт».

Получены следующие результаты:

1. Разработан комплексный гидрогеологический прогноз для безопасного ведения горных работ в условиях негативного влияния ликвидированных и затопленных шахт, включающий шахты им. А.А. Скочинского, им. Челюскинцев, им. М. Горького, «Октябрьский Рудник», «Панфиловская», «Куйбышевская», «Лидиевка», «Трудовская», ш/у «Петровское», им. Е.Т. Абакумова, №17-17.

2. Выполнена оценка состояния внутри- и межшахтных гидравлических связей, барьерных целиков и гидроизоляционных перемычек между шахтами.

3. Выполнено обследование и дана оценка состояния поверхности горных отводов, включающая установление наличия и состояния выработок, имеющих выход на земную поверхность, а также зданий, сооружений и коммуникаций.

4. Выявлены участки близкого к поверхности расположения горных выработок с возможностью потенциального провалообразования.

5. Определен безопасный уровень затопления горных выработок на основе прогноза деформаций земной поверхности от активизации процесса сдвижения.

6. Разработана математическая модель изменения режима подземных вод для комплекса гидравлически связанных между собой шахт: «Куйбышевская», «Лидиевка», им. Е.Т. Абакумова и им. А.А. Скочинского (рисунки 10, 11).

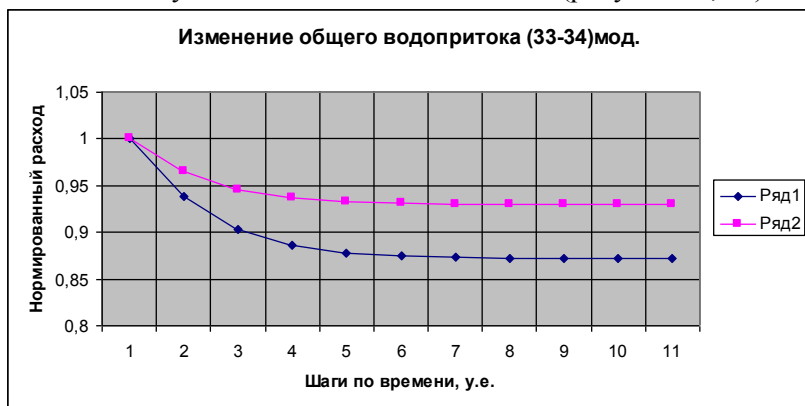


Рисунок 10 – График изменения общего водопритока по шахтам им. Абакумова и «Лидиевка» при дополнительной сбойке околоствольных выработок *Ряд 1 – после дренажных мероприятий; Ряд 2 – до дренажных мероприятий

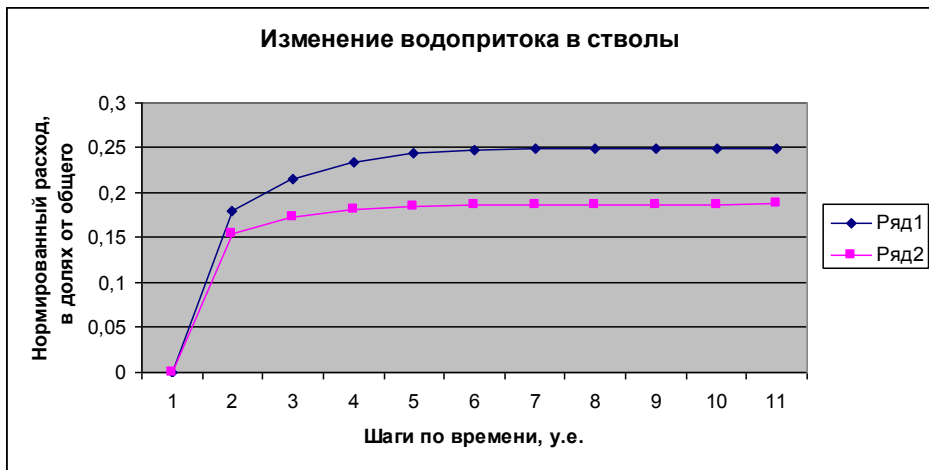


Рисунок 11 – График изменения водопритока в стволы шахты им. Абакумова и «Лидиевка» при дополнительной сбойке околоствольных выработок
 *Ряд 1 – до дренажных мероприятий; Ряд 2 – после дренажных мероприятий

7. Внедрение разработанного гидрогеологического прогноза для безопасного ведения горных работ «ОП шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК» в условиях негативного влияния ликвидированных и затопленных шахт и рекомендаций по состоянию гидрогеологической ситуации в районе ликвидированных и 9-ти ликвидируемых шахт позволило обеспечить дальнейшую безопасную эксплуатацию объектов поверхности и безопасное ведение горных работ «ОП шахта им. А.А. Скочинского».

«Прогноз долговременной геомеханической устойчивости ствольных комплексов шахт им. М. Горького (ДНР), «Краснокутская», им. Газеты «Известия», «Лутугинская» (ЛНР) при использовании их в составе ВОК». Получены следующие результаты:

1. На основе результатов анализа и обобщения геомеханической ситуации в массиве горных пород вокруг ствольных комплексов выполнена оценка напряженно-деформированного состояния околоствольного массива и крепи ствол.
2. Выполнены расчет долговременной геомеханической устойчивости крепи ствол и проверка ее соответствия горно-геологическим и геомеханическим условиям с определением расчетной оценки состояния крепи ствол.
3. Создана модель затопления вертикальных ствол ВОК (рисунок 12, а) и сделана оценка влияния уровней затопления на их геомеханическую устойчивость (рисунок 12, б).

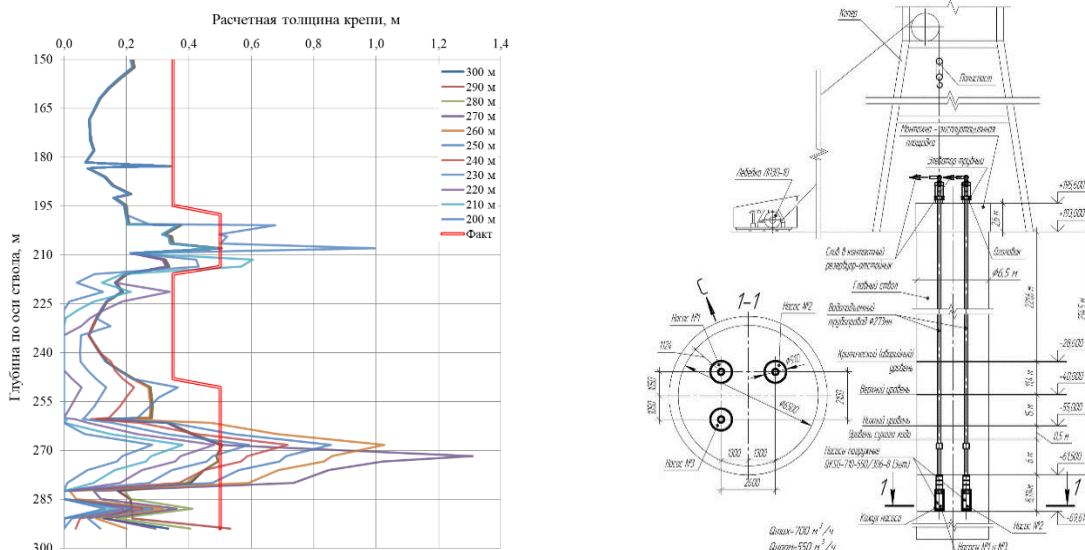


Рисунок 12 - Шахта "Краснокутская", главный ствол: а) графики необходимой расчетной и фактической толщины крепи при уровнях затопления от 290 м до 200 м в интервале глубин от 150 м до 300 м; б) схема размещения погружных насосов ВОК

4. Разработаны мероприятия по обеспечению долговременной устойчивости стволов при использовании их в глубинной откачке воды, которые позволят предотвратить подтопление домов в долине реки Крепенькая, обеспечат наполняемость Яновского водохранилища и защиту Менчикуровского водозабора. Разработанные рекомендации по рациональным способам ликвидации незадействованных стволов позволят защитить города Красный Луч и Лутугино от подтопления и обеспечить гидробезопасность действующих шахт при ликвидации смежных.

«Разработка проекта нормативно-правового акта «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом».

Получены следующие научные и практические результаты:

1. Впервые разработана методика определения расчётных показателей деформаций для зданий и сооружений при плавных деформациях земной поверхности, включающая формулы определения расчетного показателя суммарных деформаций при воздействии деформаций растяжения и сжатия, расчетных показателей при сосредоточенных деформациях, расчетных показателей для каркасных производственных зданий, для зданий в зонах подтопления, для трубопроводных коммуникаций.

На основании рассмотрения четырех деформационных схем деформирования здания при плавных деформациях земной поверхности разработаны четыре формулы расчетного показателя суммарных деформаций при сочетании горизонтальных деформаций растяжения и кривизны выпуклости и при сочетании горизонтальных деформаций сжатия и кривизны вогнутости в зависимости от длины и высоты здания.

Рассмотрены три деформационные схемы деформирования здания при сосредоточенных деформациях земной поверхности, уточнены расчетные показатели деформаций. Также уточнены расчетные показатели деформаций для каркасных производственных зданий и трубопроводных коммуникаций. Разработаны новые расчетные и допустимые показатели деформаций для зданий в зонах подтопления.

Разработанная методика определения расчётных показателей деформаций земной поверхности для зданий и сооружений и требований по рациональной выемке угля и применению мер защиты, включает:

– методику определения расчетных показателей деформаций для жилых и общественных зданий;

– методику определения расчетных показателей деформаций для производственных зданий;

– методику определения расчетных показателей деформаций зданий в зонах подтопления;

– методику определения расчетных показателей деформаций трубопроводов.

2. На основании анализа существующих горных мер защиты, опыта и возможности их применения при современных условиях отработки угольных пластов в Донбассе разработаны горные меры защиты. Обоснована возможность применения частичной выемки угля по площади и в динамической мульде сдвижения.

Разработанные горные меры защиты зданий, сооружений и коммуникаций при подработке земной поверхности и затоплении горных выработок, включают:

– корреляционно-регрессионный анализ для условий применения частичной выемки угля по площади в Донбасском угольном бассейне;

– определение диапазона рационального применения горных мер защиты в различных горнотехнических условиях;

– методику определения оптимальной ширины межлавных целиков.

3. Выполнена классификация применяемых в Донбассе конструктивных мер защиты для зданий, сооружений и трубопроводных коммуникаций, а также для зданий в зонах подтопления на горных отводах закрывающихся шахт.

Разработаны конструктивные меры защиты зданий, сооружений и коммуникаций при подработке земной поверхности и затоплении горных выработок, включающие:

– меры защиты для одноэтажных производственных зданий;

– меры защиты для башенных сооружений;

– меры защиты для путепроводов;

– мероприятия для эстакад кранов и транспортных галерей;

– меры защиты для подземных стальных сварных трубопроводов;

– меры защиты для одноэтажных жилых домов в зонах подтопления.

Впервые разработана методика назначения конструктивных мер защиты для зданий и сооружений в зависимости от фактических повреждений конструкций, расчетных и допусти-

мых показателей деформаций для жилых и общественных зданий, для производственных зданий, для башенных сооружений, путепроводов, эстакад кранов, транспортных галерей, подземных сварных и секционных трубопроводов, жилых домов в зонах

4. Разработана методика экономической оценки затрат на меры защиты от влияния деформаций земной поверхности при подработке зданий, сооружений и коммуникаций и при влиянии активизации сдвижений и деформаций при затоплении горных выработок закрывающихся шахт и от влияния подтопления. Затраты на осуществление конструктивных мер защиты определяются с учетом характера и объема этих мер, назначенных в зависимости от конструктивных особенностей, технического состояния объекта, деформаций земной поверхности от влияния горных работ.

5. Впервые разработана методика прогноза активизации сдвижений и деформаций земной поверхности при затоплении горных выработок, включающая:

- методику построения цифровой модели рельефа поверхности горного отвода ликвидируемой шахты (рисунок 13 А);
- методику построения цифровых моделей по всем рабочим пластам ликвидируемой шахты (рисунок 13 Б);
- методику расчёта деформаций земной поверхности при затоплении горных выработок закрывающихся шахт;
- методику определения продолжительности процесса сдвижения.

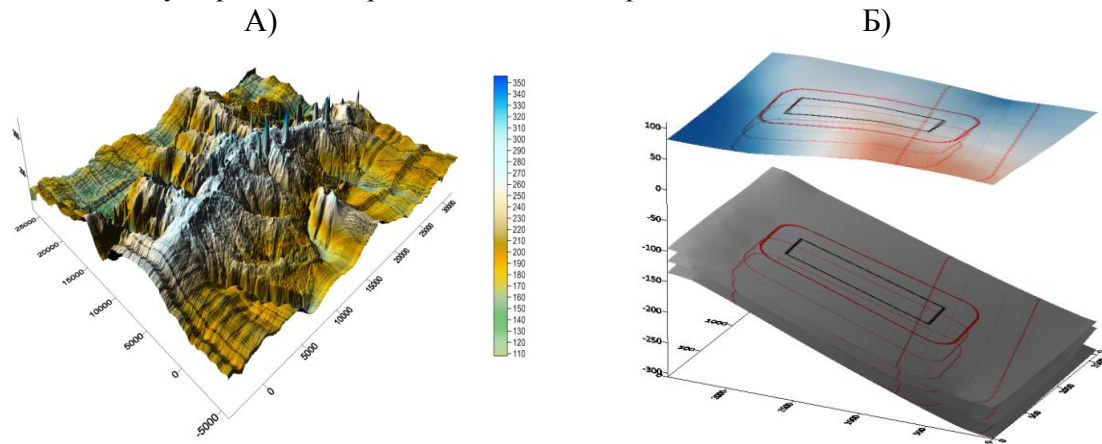


Рисунок 13 – Пример подготовки моделей земной поверхности (А) и угольных пластов (Б) для расчета деформаций земной поверхности при затоплении горных выработок и подработке земной поверхности

7. Разработана концепция проекта нормативного правового акта «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом».

Разработанные методики позволят повысить безопасность зданий, сооружений и коммуникаций на подрабатываемых территориях и оптимизировать экономические затраты на применение мер защиты.

Наиболее значимые результаты по направлению «**Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды**»:

«**Разработка теории и методических основ сейсмического прогноза структуры углепородного массива из полевых выработок**».

В 2021 году были разработаны теория прогноза структуры углепородного массива из полевых выработок, алгоритмы и программные модули обработки сейсмических данных при проведении прогнозных экспериментов сейсмическим методом.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Выполнены анализ и систематизация вызванных геологическими нарушениями отклонений в структуре и параметрах сейсмоакустических волновых полей, возбужденных из полевых выработок и установлены критерии прогноза структуры и параметров геологических нарушений углепородного массива. Разработан математический аппарат, алгоритмы обработки и анализа сейсмических данных при проведении прогнозных экспериментов сейсмическим методом.

2. При анализе возможности прогноза расположения дизъюнктива на основе использования отраженных волн был подтвержден сделанный на предыдущих этапах работы вывод о том, что метод дифрагированных волн позволяет получить изображение нарушения в виде характерных полос синфазности (рисунок 14). Точность определения ориентации нарушения относительно профиля наблюдений тем больше, чем больше расстояние между крайними точками отражений сейсмических лучей на нарушении. Проведенные исследования показали, что при угле между профилем наблюдения и сместителем нарушения до 45° , расположение нарушения при использовании в качестве миграционной скорости отраженных поперечных SH/SV волн методом дифрагированных волн может быть спрогнозировано с высокой точностью.

При углах между профилем наблюдения и сместителем нарушения до более 45° метод дифрагированных волн не позволяет определить ориентацию нарушения. В этом случае системой наблюдений могут быть зарегистрированы только рассеянные на торце и вдоль нарушения волны и метод дифрагированных волн генерирует изображение края нарушения как область, в которой полосы синфазности резко прерываются, либо претерпевают излом.

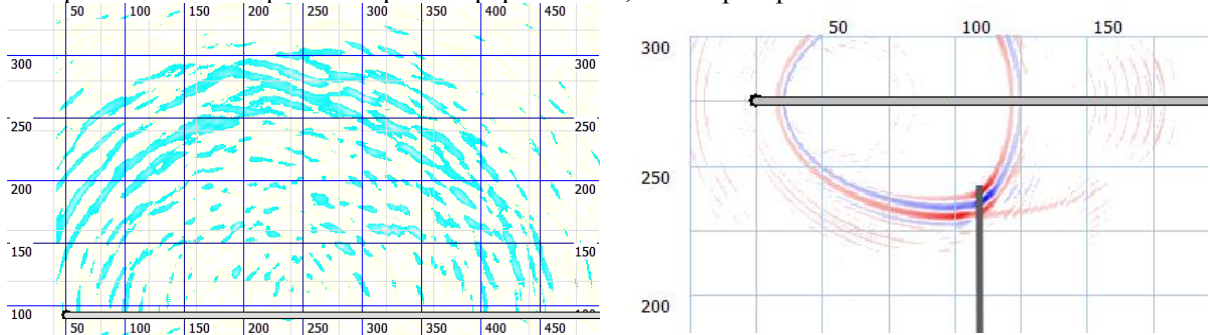


Рисунок 14 - Результат построения методом дифрагированных волн изображений реального (слева) и модельного (справа) дизъюнктива

3. Разработаны программные модули обработки и анализа сейсмических данных. В частности, разработан модуль спектрально-временного анализа, который в шахтной сейморазведке используется для определения природы и параметров различных волновых пакетов (рисунок 15). Для реализации процедуры используется оконное преобразование Фурье. В качестве оконной функции используется упрощенная прямоугольная функция заданной ширины (во времени), функция Ханна, функция Хэмминга. Также в программном модуле был реализован разработанный алгоритм построения вертикальных спектров скоростей, который может быть использован для построения временных сейсмических разрезов, а также для построения изображений по методу дифрагированных волн.

4. Разработана и реализована в программном модуле разновидность метода верной фильтрации, который представляет собой двумерную пространственно-временную систему, пропускающую все волны в заданном диапазоне скоростей и направлений и подавляющую колебания вне этого диапазона (рисунок 16).

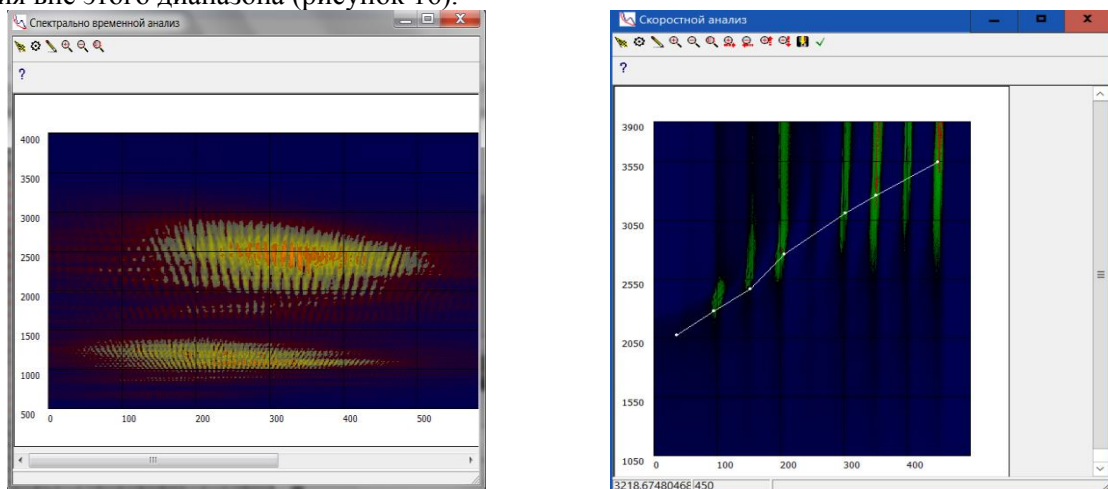


Рисунок 15 - Пример работы процедур спектрально-временного анализа (слева) и построения вертикальных спектров скоростей (справа)

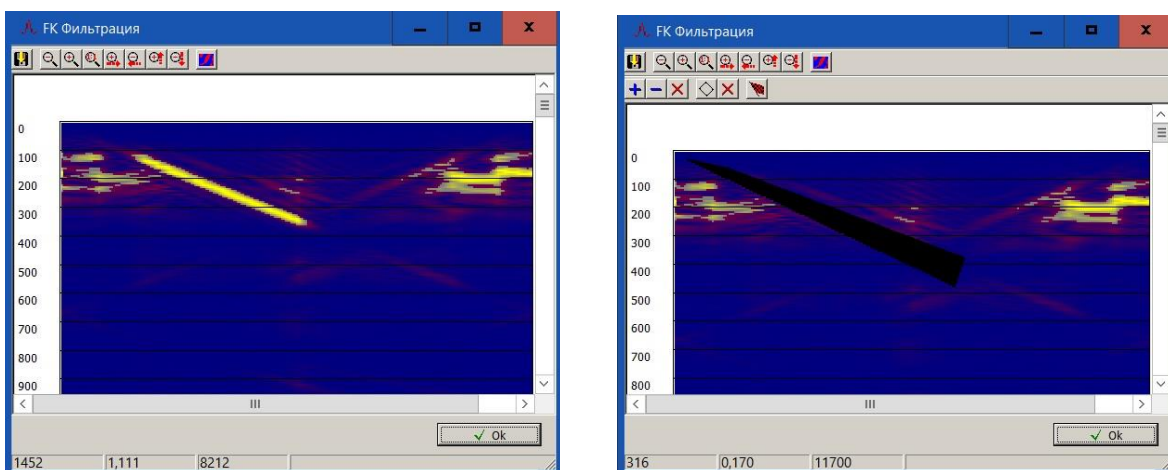


Рисунок 16 - Рабочее окно модуля многоканальной фильтрации при отображении двумерного спектра (слева) и при построении веерного фильтра (справа)

«Создание модели эволюции рудообразующих процессов в геологических комплексах Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита (УЩ) для поисков и прогноза ресурсов полезных ископаемых».

В результате проведенных в 2021 году исследований по разработке поисково-оценочных критериев месторождений полезных ископаемых Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита получены следующие результаты.

На основе анализа количественной и качественной информации из документации керна геологоразведочных скважин была создана модель эволюции рудообразующих процессов в Зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита. На её основе были установлены и верифицированы рудообразующие факторы пространственной локализации рудной и нерудной минерализации. Признаковое пространство, разработанное для описания рудообразующих факторов, позволило дифференцировать интенсивность их проявления не только в крупных структурах изучаемого региона, но и в мелких блоках тектонического строения Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита. Для создания модели был использован метод главных компонент факторного анализа. Точность модели составила 75% за счёт включения четырёх компонент, каждая из которых несёт смысловую нагрузку, отражая действие определённого рудообразующего фактора.

Генеральная компонента факторной модели в графическом варианте показывает пространственное распределение минерализации на всей изученной площади и позволяет выделить наиболее перспективные участки для локализации рудопроявлений и месторождений в отдельных блоках строения Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита. Закономерности распределения рудообразующих процессов и разработанная модель их эволюции позволяют дать прогнозную оценку перспективности участков на минеральное сырьё.

Разработана и обоснована система поисковых критериев для Зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита, которая обусловлена формационным типом месторождений. Наиболее распространённым формационным типом рудопроявлений является гидротермально-метасоматический. Для них существенное значение имеют структурно-тектонический, магматический и литолого-фациальный поисковые критерии.

На основе разработанной системы поисково-оценочных критериев сделан анализ пространственного распределения рудопроявлений во всей Зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита. Показано, что наиболее крупные скопления минерализации приурочены к узлам пересечения тектонических нарушений, участкам изгиба сместителей тектонических нарушений, вблизи поверхностей несогласия разновозрастных стратиграфических отложений.

В результате оценки отдельных участков региона по разработанной системе поисково-оценочных критериев показано, что наиболее перспективными являются участки структуры, расположенные вблизи активных тектонических зон. Они были благоприятными для отложения

рассеянной свинцово-цинковой минерализации и, одновременно, играли роль геохимических барьеров в гидротермально-метасоматических процессах. Рудоконтролирующими структурами являются долгоживущие тектонические разломы, обеспечившие повышенную проницаемость пород и одновременно служившими каналами поступления гидротермальных растворов. Критерием продуктивности оруденения таких участков будет выступать мощность зоны дробления и многократность активизации тектонического разлома.

Среди установленных видов полезных ископаемых в Зоне сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита наиболее перспективными для освоения являются месторождения Покрово-Киреевской структуры и Войковское рудопроявление полиметаллической минерализации. Также перспективными на полиметаллическое оруденение представляются все площади развития карбонатной толщи.

На рисунке 17 показаны наиболее перспективные участки для поисков оруденения, выделенные с помощью разработанной системы поисково-оценочных критериев.

«Создание геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана на угольных шахтах в зонах динамического влияния разломов на основе использования микросейсм».

В 2021 году получены следующие основные результаты:

1. В результате анализа современных представлений о строении, геодинамике и методах изучения разломов выявлен ряд особенностей разломов и методов их изучения:

- пространственное распределение трещиноватости, благоприятной для подтока и скопления углеводородов (УВ), контролируется местоположением дизъюнктов в системах надвигов, сбросов и сдвигов;

- преобладающим типом разрывов являются трещины скола, которые становятся открытыми и проницаемыми при следующих условиях: смещении крыльев разрыва по изогнутому сместителю, субпараллельности сместителя и оси максимального нормального напряжения сжатия, а также геодинамической активности разрыва, исключающей залечивание трещин;

- ориентировка осей нормальных напряжений не остается постоянной в течение геологического времени, что предопределяет нахождение их ориентировки относительно систем трещиноватости на момент современного подтока УВ;

- места скопления глубинных углеводородов над сдвигом в фундаменте располагаются в осадочном чехле на активных висячих крыльях кулисных сбросо-сдвигов, где формируются комбинированные залежи, представляющие собой сочетание антиклиналей в висячем крыле, зон дробления указанных разломов и сопровождающих их роев открытых трещин;

- индикаторами вертикальной миграции глубинных флюидов являются такие признаки, как аномально высокое пластовое давление, инверсия гидрохимической зональности пластовых вод, положительные водородно-гелиевые аномалии, изотопный состав газов;

- места скопления метана на угольных месторождениях при определенных условиях могут быть обнаружены методами электромагнитного зондирования по относительному увеличению удельного электрического сопротивления;

- геодинамическая активность разломов, препятствующая залечиванию трещин, определяется по вариациям поля ЕИЭМПЗ и положительным аномалиям объемной активности радона в приповерхностном слое;

- расположение в зоне динамического влияния разлома, механизм образования (сдвиг, сброс, взброс) и газонасыщенность роев трещин могут быть определены по данным пассивного низкочастотного сейсмического зондирования и интерпретированы как аномальные скопления метана.

2. В результате анализа научно-технических материалов и документации по существующим аппаратным средствам для пассивного низкочастотного сейсмического зондирования установлены некоторые особенности, определяющие выбор датчиков и разработку аппаратных средств, в том числе:

- широкий спектр периодов изменения микросейсмических колебаний, предполагающий проведение мониторинговых исследований в течение нескольких недель и месяцев;

- регистрацию колебаний в частотном диапазоне, включающем 0,5–20 Гц;

- оперативное выполнение геофизических работ по густой сети наблюдений с возможной расстановкой датчиков на расстоянии от десятков метров до километров;

- выполнение работ в условиях больших техногенных помех.

3. Разработан эскизный проект регистратора микросейсмического для выполнения пассивного низкочастотного сейсмического зондирования на шахтном поле, состоящего из пяти регистрирующих идентичных модулей (регистраторов) и блока синхронизации. Подготовлены графическая и текстовая документация эскизного проекта экспериментального образца регистратора микросейсмического.

Разработана техническая документация макета регистрирующего модуля (регистратора) эскизного проекта экспериментального образца регистратора микросейсмического. Основу макета регистратора составляет микропроцессорная часть на базе STM32, аналого-цифрового преобразователя на микросхеме ADS1282 и двух каналов усиления, аттенюации и фильтрации сигналов. Изготовлен макет регистратора и проведены его испытания.

4. Разработано техническое задание (ТЗ) и техническая документация на изготовление экспериментального образца регистратора микросейсмического для выполнения пассивного низкочастотного сейсмического зондирования на шахтном поле, в том числе графическая документация (электрические схемы, чертежи плат и корпуса и др.) и текстовая (спецификации, паспорт, руководство по эксплуатации, программа и методика).

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 2021 ГОДУ**

Техническое редактирование и верстка Н.А. Вдовина

Подписано в печать с оригинал-макета 10.08.2022 г. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 24 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 267.

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.