

**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 2024 ГОДУ**

Председатель Научного совета РАН  
академик РАН **В.Н.Захаров**

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

МОСКВА 2025

УДК 622.01

**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 2024 году. Составители: акад. В.Н.Захаров, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2025. – 144 с.**

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2024 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.

ISBN 978-5-6047951-1-5

© В.Н.Захаров, А.Г.Красавин

© ИПКОН РАН, 2025

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА</b>	5
<b>II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	19
2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН) .....	19
2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А.САДОВСКОГО РАН (ИДГ РАН) .....	25
2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН) .....	35
2.4. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН) .....	40
2.5. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В.ЧЕРСКОГО СО РАН (ИГДС СО РАН) .....	49
2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН) .....	55
2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН) .....	59
2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН) .....	70
2.9. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ГоИ КНЦ РАН) .....	76
2.10. ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ИППЭС КНЦ РАН) .....	80
2.11. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН) .....	82
2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУК ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН .....	86
2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ ИМ. О.Ю.ШМИДТА РАН .....	90
2.14. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ .....	94

2.15. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» .....	103
2.16. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА» (АО) .....	114
2.17. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРЖДОНИКИДЗЕ .....	114
2.18. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ГУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТулГУ) .....	122
2.19. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДГФУ) .....	125
2.20. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» .....	127
2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И.НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА .....	129
2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ) .....	132
2.23. ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ» .....	136
2.24. КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т.Ф.ГОРБАЧЕВА .....	141

## **I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГОРНЫХ НАУК**

В соответствии с Положением о Научном совете (утверждено Постановлением Бюро Отделения наук о Земле РАН 09.07.2003г. № 3000/7-55.6) основная его деятельность заключается в обобщении и популяризации новых знаний в области горных наук, содействии выполнения 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 31 января 2023г. № 13000/2-3 были внесены дополнения в состав Научного совета РАН по проблемам горных наук, связанные с организационными изменениями. На основании представления председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук при Отделении наук о Земле РАН академика РАН В.Н.Захарова утвержден следующий состав Совета:

### **Бюро научного совета**

<b>Захаров Валерий Николаевич</b>	академик РАН, директор Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН), <b>председатель Совета</b>
<b>Барях Александр Абрамович</b>	академик РАН, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, <b>заместитель председателя Совета</b>
<b>Каплунов Давид Родионович</b>	член-корреспондент РАН, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН, (ИПКОН РАН), <b>заместитель председателя Совета</b>
<b>Красавин Александр Германович</b>	к.т.н., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН), <b>ученый секретарь Совета</b>
<b>Бортников Николай Стефанович</b>	академик РАН, Отделение наук о Земле РАН (ОНЗ РАН)
<b>Клишин Владимир Иванович</b>	член-корреспондент РАН, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
<b>Литвиненко Владимир Стефанович</b>	д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет
<b>Лукичев Сергей Вячеславович</b>	д.т.н., Горный институт федерального исследовательского центра КНЦ РАН (ГоИ КНЦ РАН)
<b>Панов Юрий Петрович</b>	к.т.н., Российский геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ)
<b>Рассказов Игорь Юрьевич</b>	член-корреспондент РАН, Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН
<b>Соколов Игорь Владимирович</b>	д.т.н., Институт горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН)
<b>Трубецкой Климент Николаевич</b>	академик РАН, советник РАН, принимает участие в работе Президиума РАН

<b>Чантурия Валентин Алексеевич</b>	академик РАН, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН)
<b>Черникова Алевтина Анатольевна</b>	д.э.н., НИТУ МИСИС

### Члены научного совета

<b>Артемьев Владимир Борисович</b>	д.т.н., ПАО «Еврохим»
<b>Викторов Сергей Дмитриевич</b>	д.т.н., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН)
<b>Владимиров Дмитрий Ярославович</b>	к.т.н., Группа компаний «Цифра»
<b>Грабский Анатолий Адольфович</b>	д.т.н., Российский геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ)
<b>Душин Алексей Владимирович</b>	д.э.н., Уральский государственный горный университет (УГГУ)
<b>Казанин Олег Иванович</b>	д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет
<b>Калабин Геннадий Валерианович</b>	д.т.н., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН)
<b>Качурин Николай Михайлович</b>	д.т.н., Институт горного дела и строительства Тульского государственного университета
<b>Клебанов Алексей Феликсович</b>	к.т.н., Группа компаний «Цифра»
<b>Коваленко Виктор Сергеевич</b>	д.т.н., Горный институт НИТУ МИСИС
<b>Козырев Анатолий Александрович</b>	д.т.н., Горный институт федерального исследовательского центра КНЦ РАН (ГоИ КНЦ РАН)
<b>Корнилков Сергей Викторович</b>	д.т.н., Институт горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН)
<b>Курлена Михаил Владимирович</b>	академик РАН, Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)
<b>Левин Лев Юрьевич</b>	член-корреспондент РАН, Горный институт Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (ГИ УрО РАН)
<b>Мясков Александр Викторович</b>	д.э.н., Горный институт НИТУ МИСИС
<b>Опарин Виктор Николаевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)
<b>Санфиров Игорь Александрович</b>	д.т.н., Горный институт Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (ГИ УрО РАН)
<b>Сорокин Андрей Анатольевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН)
<b>Тихоцкий Сергей Андреевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ИФЗ РАН)
<b>Ткач Сергей Михайлович</b>	д.т.н., Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» (ИГДС СО РАН)

<b>Турунтаев Сергей Борисович</b>	д.ф.-м.н., Институт динамики геосфер РАН (ИДГ РАН)
<b>Хмелинин Алексей Павлович</b>	к.т.н., Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)
<b>Черкасов Сергей Владимирович</b>	д.т.н., Государственный геологический музей им В.И.Вернадского РАН
<b>Шулюпин Александр Николаевич</b>	д.т.н., Институт горного дела Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН (ИГД ДВО РАН)
<b>Яковлев Виктор Леонтьевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН)
<b>Яковлев Алексей Николаевич</b>	к.ф.-м.н., Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева (КузГТУ)

24 ноября 2023г. ушел из жизни член Научного совета РАН, член-корреспондент РАН **Опарин Виктор Николаевич**, много лет возглавлявший Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН.

В состав Научного совета РАН по проблемам горных наук вошли директора академических, отраслевых и учебных институтов горного профиля, 6 академиков РАН, 8 членов-корреспондентов РАН, представители ведущих вузов и отраслевых институтов: всего 40 специалистов горного и геологического профиля.

- С 29.01.2024 г. по 02.02.2024 г. Научный совет РАН принимал участие в организации и проведении XXXII Международного симпозиума «Неделя горняка - 2024» на базе Горного института НИТУ «МИСиС».

Международный научный симпозиум «Неделя горняка» — крупнейшее ежегодное научно-практическое мероприятие горнопромышленной направленности в России.

Уже более 30 лет симпозиум объединяет представителей бизнеса, власти, научного и образовательного сообществ со всего мира. На «Неделе горняка» обсуждаются современные проблемы и инновации горнопромышленного комплекса, представляются ведущие разработки и исследования представителей горных школ России и Европы.

#### **Научные направления Симпозиума**

- инженерная геология и маркшейдерское дело;
- инженерная геофизика, геомеханика, геодинамика;
- геотехнология подземная и открытая;
- безопасность горного производства;
- охрана окружающей среды в промышленных регионах;
- роботизированные технологии и механизация горных предприятий;
- обогащение и глубокая переработка полезных ископаемых;
- информационные технологии в горном деле;
- управление и экономика на горных предприятиях;
- энергетика и повышение энергоэффективности промышленных предприятий;
- строительство подземных сооружений и горных предприятий.

В рамках программы научного симпозиума «Неделя горняка - 2024» 02 февраля 2024 года под руководством председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук академика РАН **В.Н.Захарова** было проведено заседание Научного совета РАН по проблемам горных наук с участием сотрудников ИПКОН РАН, ведущих специалистов Горного института НИТУ «МИСиС» и ряда отечественных представителей организаций горного профиля. Заседание проходило как очно, так и в ОНЛАЙН режиме.

**Очно присутствовали:** *академик РАН В.Н.Захаров* (директор ИПКОН РАН, председатель НС РАН по проблемам горных наук), *академик РАН А.А.Барях* (научный руководитель ГИ УрО РАН, зам. председателя НС РАН по проблемам горных наук), *проф., д.э.н. А.В.Мясков* (директор Горного института НИТУ «МИСиС»), *чл.-корр. РАН В.И.Клишин*

(научный руководитель ФИЦ УУХ СО РАН), **д.т.н. А.А.Грабский** (зав. кафедрой РГГРУ им. Серго Орджоникидзе), **д.т.н. В.С.Коваленко** (в.н.с. ИПКОН РАН), **к.т.н. А.П.Хмелинин** (директор ИГД СО РАН), **к.т.н. А.Г.Красавин** (ученый секретарь НС РАН, с.н.с. ИПКОН РАН), **к.т.н. А.Ф.Клебанов** (г.н.с. ГК «Цифра»), **д.т.н. В.С.Федотенко** (зам. директора ИПКОН РАН), **проф., д.т.н. И.И.Айнбиндер** (гл.н.с. ИПКОН РАН), **к.т.н. А.В.Шляпин** (зам. директора ИПКОН РАН), **д.т.н. О.Н.Малинникова** (в.н.с. ИПКОН РАН), **проф., д.т.н. С.Б.Кулибаба** (в.н.с. ИПКОН РАН), **проф., д.т.н. М.В.Рыльникова** (в.н.с. ИПКОН РАН), **проф., д.т.н. А.А.Хорешов** (КузГТУ), **д.т.н. А.А.Глухов** (зам. директора ФГБУН «РАНИМИ»), **к.т.н. Э.В.Борисенко** (директор ФГБНУ «ИФГП»), **к.т.н. Дм.Ив.Борисенко** (в.н.с. НИЦ «Курчатовский институт»), **к.т.н. Г.С.Федотов** (технический директор ООО «Майкромайн Рус»), **к.т.н. И.Э.Семенова** (зав. отделом ГоИ КНЦ РАН), **к.т.н. Е.В.Федоров** (зав. отделом ИПКОН РАН), **к.т.н. А.В.Подгаецкий** (с.н.с. ИПКОН РАН), **к.т.н. Н.И.Тюшкова** (эколог-эксперт МУПИ, МИСиС), **к.т.н. Д.Н.Радченко** (зав. лабораторией ИПКОН РАН), **к.т.н. Н.А.Милетенко** (с.н.с. ИПКОН РАН), **к.т.н. Ф.С.Белоусов** (с.н.с. ИПКОН РАН), **П.О.Зубков** (инж. ИПКОН РАН).

Участвовали в ОНЛАЙН режиме: **чл.-корр. РАН Д.Р.Каплунов** (зам. председателя НС РАН по проблемам горных наук, г.н.с. ИПКОН РАН), **чл.-корр. РАН И.Ю.Рассказов** (директор ХФИЦ ДВО РАН), **д.т.н. Г.В.Калабин** (в.н.с. ИПКОН РАН), **проф., д.т.н. С.Д.Викторов** (г.н.с. ИПКОН РАН), **С.П.Остапенко** (ГоИ КНЦ РАН), **д.т.н. С.В.Лукичев** (директор ГоИ КНЦ РАН), **д.т.н. А.Н.Шулюпин** (директор ИГД ХФИЦ ДВО РАН), **к.т.н. А.В.Харченко** (с.н.с. ИПКОН РАН), **А.В.Липина** (Горный институт НИТУ «МИСиС»), представители и специалисты из других организаций горного профиля.

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад заведующего лабораторией ИПКОН РАН доцента, канд. техн. наук **Радченко Дмитрия Николаевича** на тему: **«Научно-методическое обоснование условий устойчивого развития горнотехнических систем при комплексном освоении месторождений многокомпонентных руд»**.

Перед началом работы Научного совета РАН по проблемам горных наук председатель НС академик РАН В.Н.Захаров отметил, что заседания Научного совета традиционно ежегодно проводятся в стенах НИТУ «МИСиС» и Горного института, и приглашенные докладчики всегда с большой благодарностью выступали и выступают на предоставляемой площадке, и выразил благодарность и признательность хозяевам в лице директора Горного института проф., д.э.н. А.В.Мякову. Акад. РАН В.Н.Захаров выразил сожаление, что ректор НИТУ «МИСиС» проф., д.э.н А.А.Черникова не смогла присутствовать на заседании в связи с болезнью и выразил уверенность в ее скорейшем выздоровлении и выходе на работу. Им было отмечено, что на текущий момент идет волна эпидемии и многие специалисты, друзья и коллеги также не смогли прибыть на совещание, но выразил надежду, что всю информацию, которая будет озвучена на заседании им будет передана.

Прежде чем приступить к обсуждению одной из актуальных тем, название которой выведена на мониторах в зале заседаний, была дана небольшая справка для всех членов Научного совета РАН по проблемам горных наук и присутствующих на заседании коллег. В ряде документов РАН и в последнем Постановлении РАН, которое вышло после декабрьского собрания РАН 2023 года, отражена роль Научных советов в деятельности РАН и научного сообщества и будет в ближайшее время меняться. А меняться будет в направлении более активного взаимодействия с научным сообществом, в данном случае более активном обсуждении тех актуальных вопросов, которые возникают в настоящее время. Ситуация у нас, в том числе, в стране, меняется и с точки зрения парадигмы научно-технического развития и с точки зрения тех рисков и опасности, которые сегодня существуют. Это также накладывает достаточно серьезные требования. В этой связи есть ряд предложений, которые хотелось бы озвучить, а далее в рабочем порядке эти вопросы уже можно обсудить и попытаться реализовать.

Предложения следующие. Надо подготовить и согласовать со всеми членами Научного совета и утвердить программу работы Научного совета на текущий год и определить программу на 3 года в части планирования рассмотрения наиболее актуальной проблемы

вопросов, которые возникают, в данном случае, в области горных наук, и в этой связи как минимум один раз в квартал можно собираться, можно в очном режиме или в режиме ОНЛАЙН. Обсуждая вопросы и планируя их реализацию необходимо осуществлять эффективное взаимодействие между специалистами. Кроме этого необходимо планировать работу с точки зрения не только заседаний Научного совета, которое проходит ежегодно в стенах Горного института и НИТУ «МИСиС», но надо на будущее предусмотреть еще один или два варианта заседаний в течение года рассматриваемых тех проблемных вопросов, которые возникают в новых регионах.

Сейчас есть громадная площадка «УГОЛЬ МАЙНИНГ (Кузбасс)», которая начинает работу в первой декаде июня 2024 г., там проходит выставка, которая собирает большое количество коллег и специалистов горной отрасли и гостей, в том числе проводится большая конференция. В рамках этого мероприятия можно бы проводить сессию НС, тем более, эти вопросы вполне решаемы. Кроме этого, можно спланировать работу НС в зависимости от возможности и графиков работы предприятий, допустим, на Урале. Акад. РАН А.А.Барях и чл.-корр. РАН В.Л.Яковлев и ряд других членов Научного совета с Урала не будут против проведения такого рода мероприятий. Еще один момент – это Дальний Восток и г. Хабаровск, Кольский полуостров. В этой части не обязательно ежегодно проводить такого рода достаточно крупные мероприятия, можно их запланировать и через год. И здесь Научный совет сможет взять на себя определенные обязательства с точки зрения организации и проведения мероприятия.

И еще один момент. Это – разработка программы развития горных наук и ее обсуждение с точки зрения вопросов актуальности на сегодняшний день и на перспективу. Таковы основные предложения, которые необходимо наиболее детально обсудить и спланировать их с точки зрения актуальности и приоритетности, определить программу работ. Заслушивая на заседаниях НС актуальные проблемы горных наук, необходимо сохранить и формат проведения встреч, который может меняться, но основная задача в этой ситуации – это обсуждение актуальных направлений развития горнодобывающего комплекса, поиск тех необходимых направлений технологических решений и фундаментальных исследований, которые остаются в приоритете и которые должны предусматривать и устраивать эту работу. Кроме того, информационные поступления из РАН, что сейчас рассматриваются, сводятся к корректировке плана и программы научных исследований на период 2024-2030 гг. В этой связи НС также начинает активно заниматься этими вопросами и в ближайшие дни в рабочем порядке эти вопросы будут обсуждаться. Суть корректировки этой Программы заключается в том, что анализируются те направления исследований, которые ведутся сегодня, корректируется программа в тех областях и в тех вопросах, которые являются актуальными, более востребованными и требующими в том числе профессионального подхода в их решении и реализации.

Проф., д.т.н. М.В.Рыльникова обратилась ко всем присутствующим на заседании НС РАН по проблемам горных наук принять участие в работе IV научно-практической конференции «Золото и полиметаллы», организатор которой УК «ЮГК», и которая будет проходить 27-29 марта 2024 г.

#### **Аннотация доклада в.н.с. Д.Н. Радченко на НС РАН по проблемам горных наук 02.02.2024 г.**

Актуальность доклада определена тем, что во всех сферах человеческой деятельности знанием времени стал поиск путей обеспечения устойчивого развития. Осознание важности решения этой проблемы при освоении недр Земли, сделало необходимым постановку в ИПКОН РАН, согласно государственному заданию, темы исследований: «Разработка научно-методических основ устойчивого развития горнотехнических систем на базе установления закономерностей взаимодействия природных и инновационных геотехнологических процессов». Научными руководителями этой темы являлись академик РАН Трубецкой и член-корреспондент РАН Каплунов. Теоретическим фундаментом исследований является отмеченная премией им. Н.В. Мельникова Президиума РАН серия работ «Развитие теоретических основ комплексного освоения и сохранения недр в системе наук о Земле», в которых впервые было показано, что комплексное освоение недр с достижением своей высшей

формы – сохранение недр, представляет собой один из важнейших факторов устойчивого развития.

В постановочной части доклада отмечено, что до определенного времени понятие устойчивости относилось к стабильным показателям функционирования горнотехнической системы - безаварийной работе, финансовой устойчивости предприятия и т.п. Современные научные труды, включая основные монографии в области устойчивого развития, ориентированы на следование концепции ООН 1987 г. в области устойчивого развития, а именно на поиск баланса и механизмов взаимодействия между тремя составляющими недропользования – экономической, экологической и социальной. При этом делается упор на такой модели движения вперед, при которой удовлетворение потребностей нынешнего поколения людей достигается без лишения такой потребностей будущих поколений.

Именно последним обстоятельством вызвана принципиально новая постановка проблематики и поиска путей устойчивого развития в сфере недропользования. Если рассматривать перспективы будущих поколений с позиций недропользования, как базовой области человеческой деятельности, пути обеспечения их ресурсами недр в долгосрочной перспективе являются не столь очевидными. В процессе разработки месторождений твердых полезных ископаемых осуществляется в буквальном смысле уничтожение предмета труда. Тот факт, что атмосфера, гидросфера и биосфера представлены возобновляемыми в историческом времени средами, а литосфера таковой не является, определяет поиск альтернативных путей наиболее рациональной, устойчивой эксплуатации создаваемых в недрах уникальных объектов – горнотехнических систем, трансформирующихся в непрерывно изменяющихся условиях.

Подход, о котором шла речь в докладе, позволяет подойти к направлениям реализации и самой сути устойчивого развития горных предприятий, как способности (свойству) горнотехнических систем постоянно эффективно выполнять свои функции по освоению и сохранению недр Земли на основе таких геотехнологических процессов, параметры которых учитывают временные изменения природных, техногенных и социально-экономических условий, зависящих от общественных потребностей, размеров осваиваемых участков недр и особенностей вовлекаемых в эксплуатацию георесурсов. По сути, задачей проектирования таких объектов, является своевременное выявление условий развития однажды созданной в недрах горнотехнической системы для обеспечения ее функционирования неопределенно долго.

Доказательством правомерности такого подхода является анализ последствий освоения недр после ликвидации горных предприятий – в России только на рудном Урале сотни брошенных, затопленных рудников, горняцких городов и сел, объектов промышленной инфраструктуры, все они оставлены после отработки балансовых запасов месторождений. Вокруг таких объектов сформированы зоны экологического бедствия, не решены социальные вопросы. Поэтому, несомненно, решение вопросов устойчивого развития в соответствии с принципами ООН правомерно только в свете текущей экономической эффективности действующего предприятия, или расчете ESG показателей для отчетов перед инвесторами. Вместе с тем, в контексте сохранения недр и самой возможности эксплуатации горнотехнической системы неопределенно долго, требуется изменение возможности к их устойчивому развитию.

Согласно опубликованным данным прогнозов журнала «Ресурсы, сбережение и рециклинг» (Resources, Conservation & Recycling), даже в случае наиболее благоприятного сценария развития глобальной экономики на принципах устойчивого развития спрос на медь возрастет в 3,5–5 раз. При экстенсивном же пути развития, это, по сути, современный путь – с высоким ростом сырьевой экономики, потребление спрос на медь может вырасти до 18 раз. Это не значит, что производственные мощности горных предприятий вырастут на аналогичную величину. Это означает, что извлекать из недр необходимо будет в разы больше горной массы, так как качество руд непрерывно снижается. Очевидно, что перспективы обеспечения общественных потребностей в связи с ростом населения связаны с изменением подходов к эксплуатации в недрах, созданных и перспективных горнотехнических систем.

В соответствии с вышеприведенным определением устойчивого развития, как способности горнотехнических систем постоянно эффективно выполнять свои функции по освоению и сохранению недр Земли, экономическая, экологическая и социальная составляющие устойчивого развития, раскрываются в новых аспектах, наряду с известными. Например, экологическая составляющая устойчивого развития, представляется не сколько не в мониторинге экологических показателей и минимизации выбросов, либо углеродного следа, а больше в:

- сохранении физической структуры участка недр и земной поверхности для поддержания своим строением, веществом и физическими полями устойчивости биосферных процессов;
- реализации возможностей управления миллиардами тонн промышленных и бытовых отходов, полная утилизация которых возможна только в выработанных пространствах недр;
- создании микроклиматических зон и управлении средой обитания в осваиваемом подземном пространстве в зависимости от его функционального назначения.

Социальная составляющая устойчивого развития горнотехнических систем включает:

- обеспечение общества необходимыми сырьевыми ресурсами максимально возможный срок;
- создание пространства для обеспечения потребностей общества в несырьевых ресурсах – транспортных коммуникаций, размещении производств, глубинной урбанизации, энергетике и пр.;
- обеспечение благоприятных условий труда при постоянном снижении доли ручного труда и влияния человеческого фактора при освоении недр.

Устойчивому развитию противодействует целый ряд факторов объективного характера:

- отсутствие норм и правил проектирования горных предприятий на принципах устойчивого развития;
- невозможность изменения производительности рудников в короткие сроки в связи со сложностью прогнозирования общественных потребностей и относительной инерционностью горнодобывающего производства;
- ухудшение качества многокомпонентных руд вновь вводимых в эксплуатацию месторождений по сравнению с ранее разрабатываемыми;
- ориентирование на добычу одного вида полезного ископаемого;
- отсутствие проектных решений по переработке бедных руд, относимых к некондиционным запасам;
- сложность интенсификации горных работ, особенно при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства;
- усложнение транспортно-логистических схем и систем управления качеством рудопотоков в связи с увеличением глубины горных работ и рудных площадей;
- малая доля проектных решений, учитывающих рециклинг отходов, их неконтролируемое складирование с негативными экологическими последствиями;
- рост энергоемкости основных и вспомогательных процессов горного производства с увеличением глубины горных работ и производительности рудника;
- недостаточный учет при проектировании всего георесурсного потенциала участка недр, включая возможности использования выработанных пространств.

В соответствии с классификацией георесурсов и на базе проведенного анализа выделены три базовых составляющих недропользования (группы георесурсов) – минерально-сырьевые потоки, выработанные пространства недр и энергетические ресурсы. Выбор сбалансированного управления ими является основой устойчивого развития горнотехнических систем, при этом требуются изменения принципов проектирования горных предприятий и создание новых геотехнологий и оборудования, например:

- комбинирование физико-технических и физико-химических геотехнологий для наиболее эффективной разработки месторождений;
- использование перемещаемого (мобильного) внутрирудничного оборудования, обеспечивающего управление объемами и качеством минерально-сырьевых потоков с выдачей на поверхность только кондиционных руд, обеспечивая принцип «не выдавать ничего лишнего»
- это высокопроизводительные внутрирудничные сортировочные станции, обеспечивающие

возможность сокращения выдачи на поверхность породной рудной массы с низким содержанием ценного компонента и характеризующейся повышенным разубоживанием;

- применение мобильных закладочных комплексов, предназначенных как для утилизации пород от проходки горных выработок и отходов внутрирудничной сепарации, так и для оперативного возведения искусственных конструкций различного назначения при создании условий многофункционального использования выработанных пространств;

- эксплуатация оборудования с элементами искусственного интеллекта, способного работать без участия человека в особо опасных зонах подземного рудника. При этом человеческий фактор производства трансформируется в сферу обслуживания такого оборудования (дистанционное управление технологическими процессами и ремонтно-восстановительные работы);

- создание микроклиматических зон в подземных рудниках в зависимости от факта и частоты присутствия человека с возможностью локальной подачи, отведения и управления параметрами воздушной среды;

- создание изолированных камер для реализации физико-химических процессов извлечения ценных компонентов из некондиционных руд и техногенного сырья для извлечения металлов, исключая контакт атмосферы рудника и пребывания людей в таких зонах;

- разработка новых принципов организации труда в подземном руднике для обеспечения безопасности производства – установление правил и критериев работы в условиях применения мобильного роботизированного оборудования и целенаправленного изменения физических свойств участка недр в целях адаптации к изменяющимся условиям.

В докладе раскрываются особенности и принципы проектирования горнотехнических систем для их устойчивого развития. Обосновываются параметры новых и усовершенствованных геотехнологических процессов. Например, подземная разработка кондиционных многокомпонентных руд системами с закладкой выработанного пространства и выщелачивание в созданных в недрах изолированных, загружаемых некондиционными рудами камерах-реакторах в заданном температурном режиме, с обеспечением требуемой плотности орошения, полноты сбора и циркуляции растворов, подачи окисляющих газов и бактериальных сред, позволяет получать продуктивные растворы для последующей гидрометаллургической переработки и с обеспечением длительного функционирования горнотехнической системы. Многофункциональное использование выработанных пространств в целях перехода от одной технологии к другой, ресурсовоспроизводства, включая создание техногенных образований с заданным качеством, размещения объектов промышленной инфраструктуры, утилизации отходов достигается интенсивным, по мере отработки участка месторождения, формированием в недрах горнотехнических конструкций достигается на базе применения подземных передвижных закладочных комплексов, обеспечивающих саму возможность интенсивного формирования требуемых горнотехнических конструкций.

При этом условием устойчивого развития горнотехнических систем при комплексном использовании всего георесурсного потенциала участка недр является переход рудника на погрузочно-доставочное и транспортное оборудование, оснащенное электрическим приводом и системами контроля качества горной массы в потоке. Это позволяет перераспределять рудничные минерально-сырьевые потоки с формированием рудопотоков стабильного качества, направлением некондиционных руд для выщелачивания в камерах-реакторах, а вмещающих пород - на подземные закладочные комплексы.

В целом, устойчивое развитие горнотехнических систем базируется на поэтапном, согласно общественным потребностям, переходом от одной технологии к другой, совершенствовании параметров геотехнологических процессов путем рационального управления минерально-сырьевыми, энергетическими и пространственными георесурсами по мере изменения исходной структуры и свойств осваиваемого участка недр.

#### **Вопросы к докладчику:**

**Акад. РАН А.А.Барях.** Дмитрий Николаевич, большое спасибо за интересный доклад. У меня два достаточно коротких вопроса. Я думаю, на них не обязательно отвечать, но коснуться их надо. Будущее, которое Вы нарисовали, имеет достаточно «темную» перспективу. Но с другой стороны, у нас идет программа по снижению металлоемкости, я имею в виду 12

такие отрасли промышленности, как авиастроение, автомобилестроение и др. и это как-то должно быть увязано. Второй вопрос у меня относится к физико-технической технологии. Как Вы относитесь к экологическим последствиям этих технологий? Какие на Ваш взгляд у них перспективы? Каковы могут быть новые технологические решения и экологические последствия их применения?

**К.т.н. А.Ф.Клебанов.** Несколько раз у Вас в докладе прозвучала тема, связанная с беспилотными технологиями, роботизированными технологиями. Эта тема очень важна для развития горной промышленности. Как и кем решаются задачи разработки новых принципов организации до норм проектирования горных предприятий при использовании роботизированных технологий?

**Акад. РАН В.Н.Захаров.** Создание технологических процессов и горнотехнических конструкций и оборудования совместно с горными работами. Тогда могут появится новые технологии и проектные решения.

**Проф., д.э.н. А.В.Мясков.** В Вашем докладе приведены три составные части устойчивого развития: экономические, экологические и социальные. Они «выпадают» из горных наук. Так ли это? Мой вопрос звучит так: есть ли предел развития горных наук? Не получится ли так, что те технологии, которые вводятся, начнут вмешиваться в ограничения или невозможность решения?

**К.т.н. А.П.Хмелинин.** Есть ли общественная потребность в выполняемой научной работе и как ее вычленить из многообразия возникающих проблем?

**Чл.-корр. РАН Д.Р.Капунов.** В Вашем докладе речь идет о традиционном подходе к техногенным образованиям? Какие горные науки, не связанные с горным делом, могут быть привлечены для достижения позитивных результатов?

**К.т.н. Д.И.Борисенко.** 40 минут пролетели как одно мгновение и большое спасибо за интересный доклад. Мой вопрос сводится к следующему: откуда брать энергию для осуществления поставленных задач?

### *Обсуждение доклада*

**Чл.-корр. РАН Д.Р.Капунов.** Прежде всего хочу поблагодарить председателя нашего Совета за постановку этого доклада, обсуждения этого кардинального вопроса. Доложенная работа по большому счету представляет перелом не только в развитии горных наук, перелом в понимании значения горных наук, а именно в переходе горных наук из области добычи полезных ископаемых к проблемам освоения Земли в целом. Последняя классификация горных наук, которой мы занимались в нашей стране, названы техническими науками, а сейчас звучит как «недропользование, горные науки». Этот перелом связан с подходом горнотехнической системы производственных предприятий, раскрытию понятия «устойчивого развития» всех особенностей недропользования, как способа освоения литосферы. Горные науки на наших глазах находятся в стадии развития, это – горное искусство. Сейчас это действительно «недропользование и горные науки». В этом отношении это важнейший вывод, раскрывающий понятие «устойчивого развития» как нового понимания освоения литосферы. В докладе показаны причины, которые не дают возможностей при освоении недр, осуществлению устойчивого развития. Устойчивое развитие обеспечивает существование процессов освоения недр неопределенно долго. Доклад получился емким и представительным. «Недели горняка» всегда шли под каким-то девизом – чему она посвящена и каким рассматриваемым вопросам.

**Проф., д.э.н. А.В.Мясков.** Безусловно, я хотел бы поблагодарить Дмитрия Николаевича за интересный доклад. Единственное, меня немного напрягло количество слайдов, которых было представлено в количестве 83 штук, и я в них немного потерялся. Я всех просил бы обратить внимание и вернуться к слайду, где были отражены те вызовы и огорчения, которые нас ждут в перспективе. Сформулированы положения, которые не дают развиваться горной промышленности, а на 9 и 10 слайдах отражены положения, что мы можем применять и что позволяет нам решить возникающие проблемы. Дальше на всех 83 слайдах было показано, что уже сделано из этих задач для того, чтобы решить те вызовы и проблемы, именно то, о чем говорилось на пленарном заседании «Недели горняка 2024», где окажемся с горными науками и каким образом надо решать возникающие проблемы. Именно

здесь показывается мощный научный подход к этой проблеме в лице ИПКОН РАН в решении многих задач недропользования, который и был сегодня представлен Д.Н.Радченко. Я искренне благодарен за такой объемный и системный доклад. Может быть мне не хватило одного демонстрационного листа, связанного с переходом информации с 8 к 9, 10 и 11 листам, где более системно и наглядно были бы показаны рассматриваемые технологии. Хочу выразить свою признательность чл.-корр. РАН Д.Р.Каплунову, когда его слышу и вижу на мониторе и горжусь, что в нашей горной науке есть такие ученые.

**Проф., д.т.н. М.В.Рыльникова.** Заслушанный нами сегодня доклад является определенным новым взглядом на развитие того, что было сделано акад. Н.В.Мельниковым, акад. К.Н.Трубецким, чл.-корр. РАН Д.Р.Каплуновым. Объединить в одно – и горнотехнические конструкции и их параметры, геополимеры, выщелачивание, закладочные комплексы и др. Вроде бы все это не сочетаемые вещи, но я считаю, что без решения полного набора показанных сегодня в докладе исследований нельзя говорить об устойчивом развитии горного предприятия. Именно совместное решение этих вопросов обеспечит развитие горнотехнических систем в усложняющихся условиях недропользования. И только при совместном решении этих вопросов можно обеспечить именно устойчивое развитие, причем это устойчивое развитие можно использовать при долговременном проектировании, развитии горных работ этих внешних связанных между собой вопросов. Без совместного решения проекта и без разработки норм технологического проектирования, без требований к переработке техногенных образований минеральных веществ и отходов ничего не получится, это пустое дело. Оценка воздействия разработок на окружающую природную среду, это тоже наша работа, наше дело. Поэтому устойчивое развитие это и решение вопросов комплексного использования тех ресурсов, о которых говорилось в докладе и необходимость Научным советом РАН решать вопросы именно в такой форме.

**Д.т.н. В.С.Федотенко.** Доклад Дмитрия Николаевича обращает нас к дискуссии, какие требования направляют на устойчивое развитие, а какие из них направляют на решение устойчивого функционирования. И на мой взгляд это деление принципиальное и правильное. В первом приближении можно сказать, что любой исследователь так или иначе к созданию условий развития горнотехнических систем. Это далеко не так. Для того, чтобы эти исследования приватизировать и систематизировать, на мой взгляд, необходима разработка программ развития новых горных наук и разработка программы Научного совета в связи с тем, что Научный совет объединяет множество организаций горного профиля, и я предлагаю в качестве дискуссии обсудить и, может быть, включить в план работы анализ и оценку объемов тематик, научной новизны и актуальности проектов и опытно-промышленных работ, произведенных в течение последних 5 лет, геотехнологий освоения недр центральных и региональных организаций горного профиля Российской Федерации. И тогда избежим дублирования и сможем ранжировать и приватизировать усилия специалистов и каждого специалиста в отдельности на решение наиболее актуальных вопросов, направленных на обеспечение устойчивого развития и функционирования горнотехнических систем.

**Проф., д.т.н. Г.В.Калабин.** Я хотел бы затронуть экологические вопросы. Он довольно серьезен и правильно говорили о том, что необходимы громадные объемы энергии, чтобы решить вопросы с переработкой отходов горного производства. Второй вопрос – их многообразие и объемы отходов. Остается проблема сохранения и утилизации отходов и это тоже громадная проблема, требующая серьезного подхода и обеспечение энергией. На это я и хотел бы обратить внимание.

**Проф., д.т.н. А.А.Хорешов.** На мой взгляд, устойчивого развития не будет, если не будет квалифицированных кадров на производстве. Подготовка кадров, я считаю, это самая сложная и важная проблема, которая касается не только конкретно горной промышленности, но и все отрасли промышленности РФ, а в горном деле – в первую очередь. Подготовка кадров для горной промышленности и подготовка кадров высшей квалификации. Этую проблему надо поднимать на всех уровнях (выставка-ярмарка рабочих мест и др.), проходящих в стране.

**Чл.-корр. РАН Д.Р.Каплунов.** Работа сделана не на голом месте, это настоящее развитие науки. Горное образование должно быть изменено, сейчас нет тех классификаций

и систем разработки, которые были прежде, должны быть разные программы для подготовки кадров для горной промышленности.

**Акад. РАН В.Н.Захаров.** Заседание, на мой взгляд, прошло достаточно плодотворно, и это связано с тем, что была представлена интересная тема и докладчик ее действительно преподнес очень интересно и показательно. Актуальность этой тематики будет возрастать от года к году, потому что без эксплуатации недр государство существовать не может и скорее всего не будет, потому что в данном случае это единственное геологическое ведомство, которое преобразует природу под себя и наоборот. Преобразуя природу под себя, наступают такие риски, которые на сегодняшний день приводят к громадным техногенным катастрофам к серьезным изменениям литосферы, к загрязнению всей окружающей среды до такой степени, когда существование человека становится критическим. В этой связи мы являемся такой частью человечества, которое все это делает. Мы должны понимать, что те тренды, которые сегодня существуют, говорят о том, что если такое экстенсивное развитие эксплуатации недр и изменение литосферы будет продолжаться, рост численности населения будет расти, то мы подойдем к тяжелейшим последствиям, когда это будет уже необратимо. И этими вопросами мы также занимаемся, пытаясь донести до человечества, что невозможно не обращать внимания на обратный эффект, природа не в состоянии во многих ситуациях использовать собственные внутренние ресурсы, восстанавливая биоту и приводя к более-менее приемлемое равновесие природных процессов, которые мы нарушаем. Здесь мы приходим к тому, что мы должны идти по пути минимизации воздействия на литосферу и природную среду с учетом того, что потребности в минерально-сырьевых ресурсах постоянно растут. В этой связи мы должны в обязательном порядке учитывать те тренды, которые на сегодня возникают в потребности человека. Человек постоянно среду обитания вокруг себя пытается улучшить, объемы потребления ресурсов растут, объемы энергии, которые необходимы для комфорtnого существования человеческого сообщества также растут. Эти дилеммы, абсолютно противоположные тренды нужно в любом случае оптимизировать и искать те технологии и технику, процессы, которые позволили бы развиваться тем регионам горнотехнической системы с позиций использования ресурсов, которые нам необходимы, не забывая при этом о том, чтобы территории приводились в то состояние, которое позволяет им дальше функционировать, не нанося вред среде обитания человека. Вариантов много, задач много, и совершенно очевидно мы приходим к междисциплинарным проблемам, которые возникают в этой ситуации и в этой связи, взаимодействуя с нашими коллегами, которые занимаются технологиями, функционированием горных предприятий не как того упрощенного варианта, который мы сегодня имеем, как добыча, складирование и переработка, а далее и «трава не расти». А это очевидно замкнутый цикл, который должен непрерывно функционировать со всеми процессами и минимизацией экологического воздействия. Междисциплинарность приводит к тому, что надо рассматривать те направления, которые нам необходимы и с точки зрения вывода из зон ведения горных работ человека, это дистанционная работа, роботизация, но не в плане создания роботов, а в плане постановки задачи и создании тех роботов, которые могут и должны функционировать в таких условиях, в операциях и технологических процессах. А также вопросы безопасности, экологичности, ведении всех горных работ, с точки зрения и геомеханики, и гидрогеологии, газодинамики и всех остальных негативных процессов, которые могут возникать. Комплекс задач большой, задачи актуальные и, я думаю, что то, о чем мы сегодня говорили, требует серьезного осмыслиения, и я думаю, что мы постараемся эти вопросы дополнительно обсуждая, строить их с точки зрения определения приоритетов и выстраиваемой последовательности развития нашего научного направления с точки зрения эффективности как на сегодняшний день, так и на далекую перспективу.

#### **РЕШЕНИЕ заседания Научного совета РАН по проблемам горных наук**

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

Заслушав и обсудив доклад заведующего лабораторией ИПКОН РАН доцента, канд.техн.наук Радченко Дмитрия Николаевича на тему: «*Научно-методическое обоснование условий устойчивого развития горнотехнических систем при комплексном*

*освоении месторождений многокомпонентных руд»* было отмечено, что выполненные исследования являются актуальными, перспективными и важными.

Доклад был хорошо проиллюстрирован.

В докладе отмечены и аргументировано приведены факторы, противодействующие устойчивому развитию, особенности и принципы проектирования горнотехнических систем.

Участники заседания в целом одобрили основные положения представленного доклада, отметили его актуальность, и рекомендовали автору продолжить научно-исследовательскую работу в данной области и пожелали успехов в выполнении дальнейших исследований, оформлении результатов проведенных исследований в виде коллективной монографии и в рамках докторской диссертации.

• 17-21 июня 2024г. Научный совет РАН принял участие в организации и проведении 6 конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». Всего было заявлено 270 участников конференции из 45 организаций, очно приняли участие 150 человек из России, Монголии, Казахстана и Кыргызстана.

Конференция организована и проведена Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, Научным советом РАН по проблемам горных наук и Советом молодых ученых Института при партнерстве Группы ЭВОБЛАСТ и информационной поддержке научно-технического и производственного журнала «Маркшейдерия и недропользование».

На 6-ю конференцию Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», посвященной 300-летию Российской академии наук, были представлены 134 доклада участников – руководителей, ученых и специалистов академических, отраслевых и учебных институтов, предприятий горной промышленности России из городов Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Новокузнецка, Хабаровска, Кемерово, Новосибирска, Апатит, Томска, Перми, Донецка, Владикавказа, Якутска – представители порядка 40 организаций (ГК ЭВОБЛАСТ (официальный партнер), ГК «Цифра», ООО «СиАрСи Рус», АО ВНИМИ, ГИ УрО РАН, ГоЙ КНЦ РАН, Горный журнал Казахстана, Горный институт НИТУ МИСИС, ИГД ДВО РАН, ИГД СО РАН, Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина ФИЦ КНЦ РАН (ИЭП КНЦ РАН), Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, ИПКОН РАН, ИФПМ СО РАН, МАИ, Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (КарГУ), НИУ ВШЭ, МИЭМ НИУ ВШЭ, Московский университет МВД России им. В.Я. Кикотя, НИ Томский государственный университет, НУИЛ «Физико-химии угля», НИУ «МЭИ», Новосибирский государственный университет, ООО «РивальСИТ», ООО «Экологический индустриальный клининг», ООО Научно-внедренческая компания «Горная геомеханика», РГГРУ, РУДН, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, ФГБНУ «РАНИМИ», ФГБНУ «ИФГП», ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН и др., а также представители СМИ журналы: Маркшейдерия и недропользование (информационный партнер), Горная промышленность.

Иностранные участники представляли научные организации Казахстана, Кыргызстана, Монголии, Китая из городов Алматы, Караганды, Улан-Батора, Пекина.

Материалы конференции научной школы акад. К.Н.Трубецкого опубликованы в сборнике конференции в июне 2024 г. и размещены на сайте.

Со вступительным словом при открытии научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого выступил директор ИПКОН РАН, председатель Научного совета РАН по проблемам горных наук академик РАН В.Н.Захаров, руководитель ведущей научной школы «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» член Президиума РАН академик РАН К.Н. Трубецкой.

С приветственным словом выступил академик НАН РК, д.т.н. Буктуков Н.С. и уч. секретарь д.т.н. Бояндинова А.А. (директор ИГД им. Д.А.Кунаева, Республика Казахстан). управляющий директор АО ЭВОБЛАСТ РУС Кондрашов А.В.

На пленарном заседании были представлены доклады – академика РАН К.Н.Трубецкого и к.т.н. Н.А.Милетенко (ИПКОН РАН) о вкладе профессора М.А.Иофиса в становление и развитие прикладной геомеханики в ИПКОН РАН (к 100-летию со дня рождения); академика РАН, руководителя Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН А.А.Баряха – о мониторинге безопасности горных работ на калийных рудниках; д.т.н. В.А.Дрибана (РАНИМИ) - о новом подходе к оценке устойчивости массива горных пород вокруг выработок; Л.А.Назарова (Новосибирский государственный университет) – о фильтрационных свойствах трещиновато-пористых геоматериалов: теория и лабораторный эксперимент; академика Республики Казахстан М.Ж.Битимбаева (Горный журнал Казахстана, г. Алматы) – о созидательном освоении недр управляемыми природно-техногенными системами в замкнутом цикле на основе циркулярной экономики; д.т.н. В.Н.Одинцева, в.н.с. ИПКОН РАН – о моделировании геомеханических процессов, вызванных разложением газогидратов в зоне вечной мерзлоты; проф., д.т.н. С.С.Кубрина – о роботизированном очистном комплексе по добыче угля подземным способом: задачи, требующие решения; проф., д.т.н. И.В. Зырянова о перспективах опытно-промышленной эксплуатации техники в естественных условиях до минус 60-70°C; к.т.н. А.Ю.Чебана, в.н.с. ИГД ДВО РАН – о совершенствовании технологий селективной выемки разносортных руд при освоении месторождений высокооцененного минерального сырья; к.т.н. А.Ф.Клебанова, (ГК «Цифра») – об организации удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации; к.т.н. А.В.Гришина (ООО НВК ГОРГЕОМЕХ) – о методике управления горным давлением при разработке калийных месторождений на больших глубинах залегания.

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

- основные цели и задачи, поставленные организаторами, считать достигнутыми. На пленарных заседаниях и секциях сделаны доклады, которые опубликованы в сборнике научных трудов по актуальным проблемам горных наук и промышленности, связанные с совершенствованием существующих и созданием высоконицентивных автоматизированных и роботизированных добычных комплексов для подземного и открытого способов разработки;
- рассмотреть в кругу специалистов возможность формирования условий реализации цифровых технологий для комплексного освоения недр;
- предусмотреть возможность проведения совещания по вопросам совершенствования нормативной и законодательной баз в области недропользования для широкого внедрения цифровых технологий в горнопромышленную отрасль;
- способствовать повышению уровня квалификации специалистов горнодобывающей отрасли за счет использования цифровых технологий;
- рекомендовать внедрение в программы учреждений высшего профессионального, дополнительного профессионального и поствузовского образования информации о современном состоянии горной науки и техники и использования цифровых технологий;
- отметить, что предложенные идеи и представленные разработки 6-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого в области комплексного освоения и сохранения недр Земли актуальны, востребованы, частично реализованы и являются стратегическими направлениями дальнейшего развития горных наук;
- поддержать приведенный выше перечень фундаментальных и прикладных исследований в целом ряде междисциплинарных научных направлений и задач;
- одобрить целесообразность проведения совещания членов Международной научной школы в форме конференций для обсуждения текущих результатов и перспектив развития горной науки;
- считать важнейшей задачей научной конференции поддержку и воспитание молодых научных сотрудников при выполнении научно-исследовательских работ по проблемам рационального и комплексного освоения и сохранения недр Земли;

- рассмотреть возможность разработки совместных проектов с научными, учебными и производственными учреждениями горного профиля России и стран ближнего зарубежья;
  - рассмотреть возможность продолжения и усиления научного сотрудничества научных ИПКОН РАН с организациями горного профиля по обозначенным направлениям комбинированных геотехнологий и вопросам экологической безопасности при освоении недр в формате совместных научно-исследовательских проектов;
  - рассмотреть возможность прохождения производственной и преддипломных практик с заключением договоров между вузами горного и геологического профиля и предприятиями минерально-сырьевого комплекса;
  - оргкомитету рассмотреть возможность включать в сборник трудов конференции проект решения по очередной проводимой конференции;
  - планировать подготовку и проведение 7-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» в 2026 году;
  - просить редакцию «Горного журнала», «Маркшейдерии и недропользования», «Горная промышленность», «Горного журнала Казахстана» опубликовать отчетные материалы 6-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого на страницах указанных изданий;
  - внести изменение в название секций «Совершенствование методов освоения месторождений полезных» и «Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр» с целью приведения к названиям специальностей согласно паспортам ВАК по данному направлению горных наук, уделить дополнительное внимание докладам по вопросам организации удаленных центров управления горным предприятием;
  - просить ГК ЭВОБЛАСТ РУС о развитие дальнейшего сотрудничества как официально партнера конференции.
- В целях укрепления научного и образовательного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов 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 2023 году*, в который были включены краткие важнейшие результаты научно-исследовательских работ 15-ти НИИ РАН, 2-х отраслевых институтов, 9-ти вузов горно-геологического профиля России и 3-х институтов и университетов СНГ (Республика Казахстан и Республика Беларусь).

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

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны комбинированные процессы малоотходной комплексной переработки эвдиалитового концентрата, обеспечивающие извлечение более 97% циркония (Zr) и редкоземельных металлов (РЗМ) из продуктивных растворов азотнокислотного выщелачивания, рециркуляцию отработанных растворов, регенерацию основного реагента и получение дополнительной продукции в виде метасиликата натрия и аммиачной селитры.

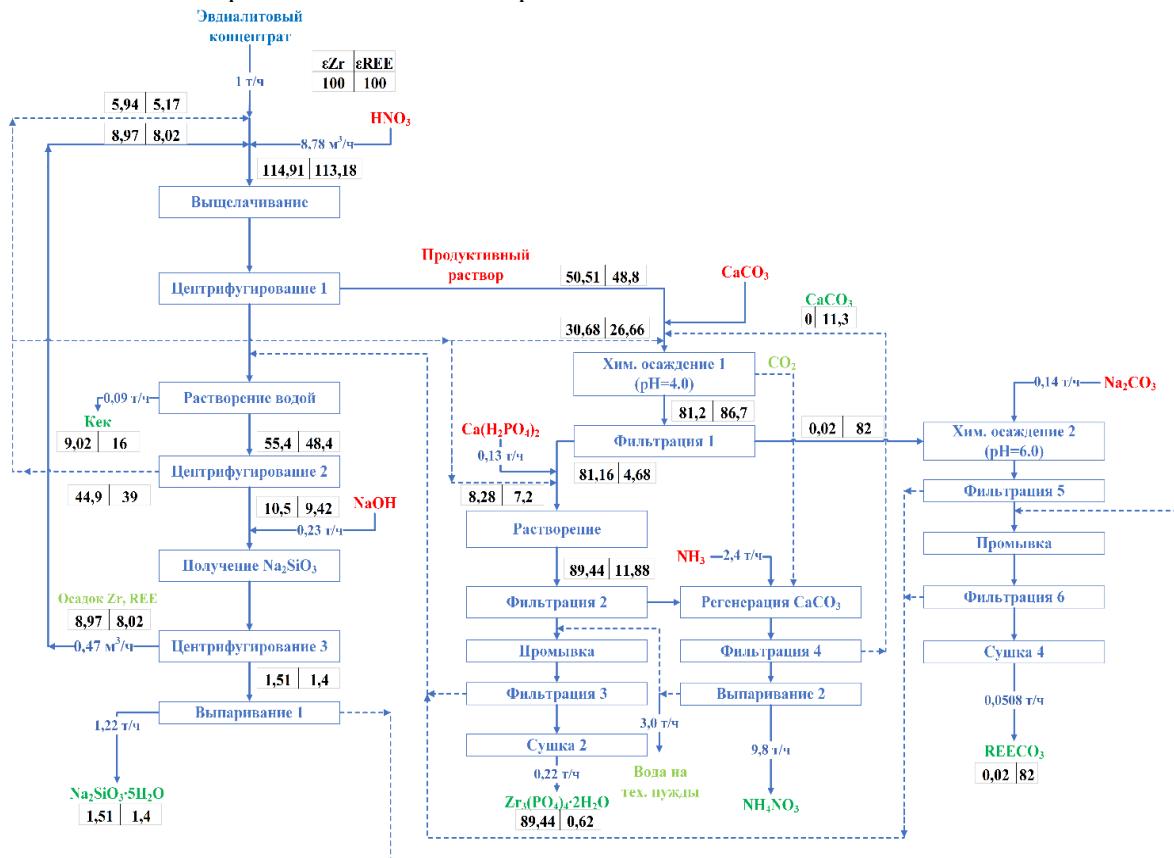


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема переработки эвдиалитового концентрата



1- исходный силикагель; 2- силикагель после промывки и выделения кека – остатков, не растворившейся в кислоте минеральной фракции (поз. 5); 3- переход силикагеля при добавлении едкого натра из гелеобразного в жидкое состояние (раствор метасиликата натрия) с попутным осаждением различных соединений Zr и РЗМ (поз. 6); 4- раствор метасиликата натрия

Рисунок 2 – Процесс переработки силикагеля с получением метасиликата натрия и соединений Zr и РЗМ

**Научная новизна.** Вскрыт механизм высокой сорбционной способности силикагеля по отношению к редким и редкоземельным металлам и разработаны методы его комплексной переработки, обеспечивающие дополнительное получение метасиликата натрия и доизвлечение Zr и РЗМ.

Полученные новые научные знания и технологические решения могут быть реализованы в процессах обогащения и глубокой комплексной переработки эвдиалитовых руд Ловозерского массива для селективного извлечения редких и редкоземельных металлов.

#### Публикации:

1. Чантурия В.А., Миненко В.Г., Кожевников Г.А., Самусев А.Л. Разработка технологии комплексной переработки эвдиалитового концентрата. // ФТПРПИ. - 2024.- №5. - С. 149-162. DOI: 10.15372/FTPPI20240514, EDN: OBSQNJ.

2. Чантурия В.А., Миненко В.Г., Рязанцева М.В., Самусев А.Л. Комплексная переработка эвдиалитового концентрата. // Цветные металлы. – 2024. - №12.

3. Чантурия В.А., Миненко В.Г., Рязанцева М.В., Самусев А.Л. Инновационные процессы извлечения и разделения редких и редкоземельных элементов при комплексной и глубокой переработке эвдиалитового концентрата. // Тезисы докладов Международной конференции «Плаксинские чтения – 2024». - С.11-20.

4. Заявка на патент РФ № 2024123733 от 16.08.2024 «Способ переработки эвдиалитового концентрата» Чантурия В.А., Миненко В.Г., Самусев А.Л., Кожевников Г.А.

2. Математическое моделирование и экспериментальные исследования газодинамики рудничной атмосферы позволили получить новые закономерности аэродинамического сопротивления трения ( $\alpha$ ) выработок и соответствующие им аппроксимирующие зависимости. Для анкерной крепи –  $\alpha = 0,00363 \cdot S^2 - 0,2549 \cdot S + 11,58$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения в пределах от 10 до 36  $m^2$ , (рисунок 3а). Для арочной крепи, с учетом шага установки элементов – таблица 1 и рисунок 3б. Результаты исследования имеют погрешность в среднем не более 10% от значений, полученных в ходе воздушно-депрессионных съемок на шахтах.

Полученные ранее зависимости коэффициентов аэродинамического сопротивления трения выработок не учитывают современные технологические параметры: увеличенные площади поперечного сечения выработок (более 16  $m^2$ ); технологию их проведения (комбайновый способ); способы крепления (анкерная и рамная металлическая арочная крепи), (см. рисунок 3а) светлая зона.

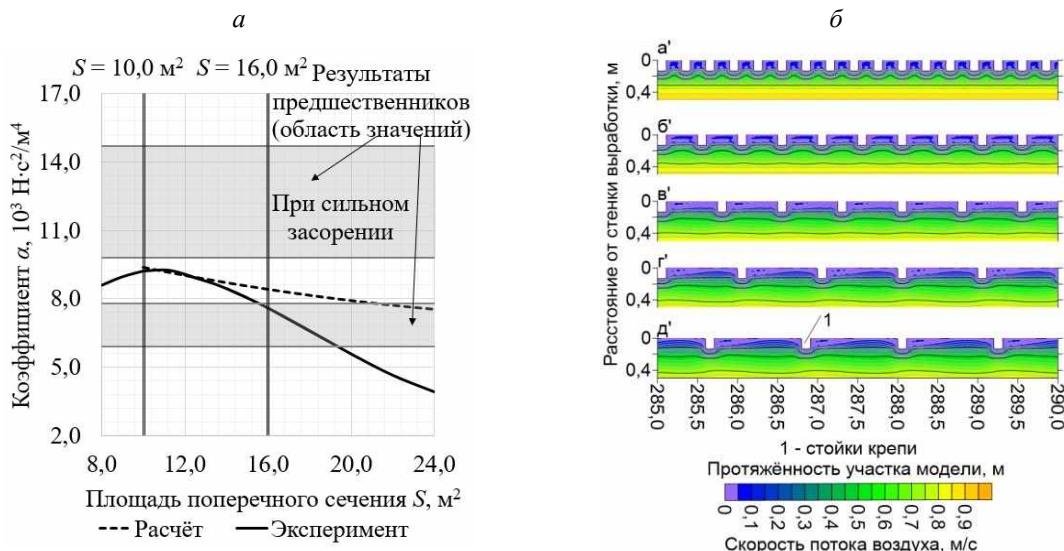


Рисунок 3 - а – зависимости коэффициента  $\alpha$  в сравнении с ранее известными; б – поток вблизи стены подземной горной выработки у стоек (1) арочной крепи (с шагом установки: а' – 0,30 м, б' – 0,50 м, в' – 0,75 м, г' – 1,00 м, д' – 1,20 м)

Таблица 1

Коэффициент  $\alpha$  выработок, закреплённых арочной крепью

Шаг, м	Зависимости для расчёта коэффициента $\alpha$ от типа крепи		
	КМП-А3 ( $S = 8,2-29,9 \text{ м}^2$ )	КМП-А4 ( $S = 11,5-37,7 \text{ м}^2$ )	КМП-А5 ( $S = 14,4-30,7 \text{ м}^2$ )
0,30	$0,0054 \cdot S^2 - 0,3147 \cdot S + 11,515$	$0,0028 \cdot S^2 - 0,2063 \cdot S + 10,478$	$0,0055 \cdot S^2 - 0,3242 \cdot S + 11,485$
0,50	$0,0062 \cdot S^2 - 0,3775 \cdot S + 14,752$	$0,0032 \cdot S^2 - 0,2471 \cdot S + 13,436$	$0,0051 \cdot S^2 - 0,3273 \cdot S + 14,028$
0,75	$0,0021 \cdot S^2 - 0,2127 \cdot S + 15,202$	$0,0026 \cdot S^2 - 0,2304 \cdot S + 15,387$	$0,0016 \cdot S^2 - 0,1787 \cdot S + 14,659$
1,00	$-0,0023 \cdot S^2 - 0,0148 \cdot S + 14,075$	$0,0019 \cdot S^2 - 0,2013 \cdot S + 16,045$	$0,0039 \cdot S^2 + 0,0868 \cdot S + 12,714$
1,20	$0,0058 \cdot S^2 + 0,1425 \cdot S + 12,712$	$0,0008 \cdot S^2 - 0,1424 \cdot S + 15,66$	$0,0085 \cdot S^2 + 0,3171 \cdot S + 10,319$

## Публикация:

О значениях коэффициентов аэродинамических сопротивлений трения горных выработок больших поперечных сечений. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2024. - № 2. - С. 425-439.

3. Сформулирована концепция и дано понятие «роботизированная горнотехническая система», под которой понимается совокупность горных конструкций, оборудования, технологических процессов горного производства в границах осваиваемого участка недр, когда между техническими устройствами информационный обмен и принятие решений происходят без участия человека. Определены методологические подходы и принципы роботизации горнотехнических систем физико-технической и физико-химической геотехнологии. Для открытых и подземных горных работ были выделены конкретные особенности, определяющие необходимость выделения безлюдных зон путем перехода к построению роботизированных горнотехнических систем.

Практическая значимость результата состоит в создании теоретического базиса для последующих исследований информационного базиса технологических процессов горного производства при организации информационного обмена между техническими устройствами и принятия решений без участия человека, разработке практических рекомендаций для проектирования роботизированных горнотехнических систем на базе перечня и требований к основным и вспомогательным беспилотным техническим средствам (устройствам, системам, агрегатам, аппаратам и т.п.), и выбора параметров роботизированных геотехнологий.

а)

б)

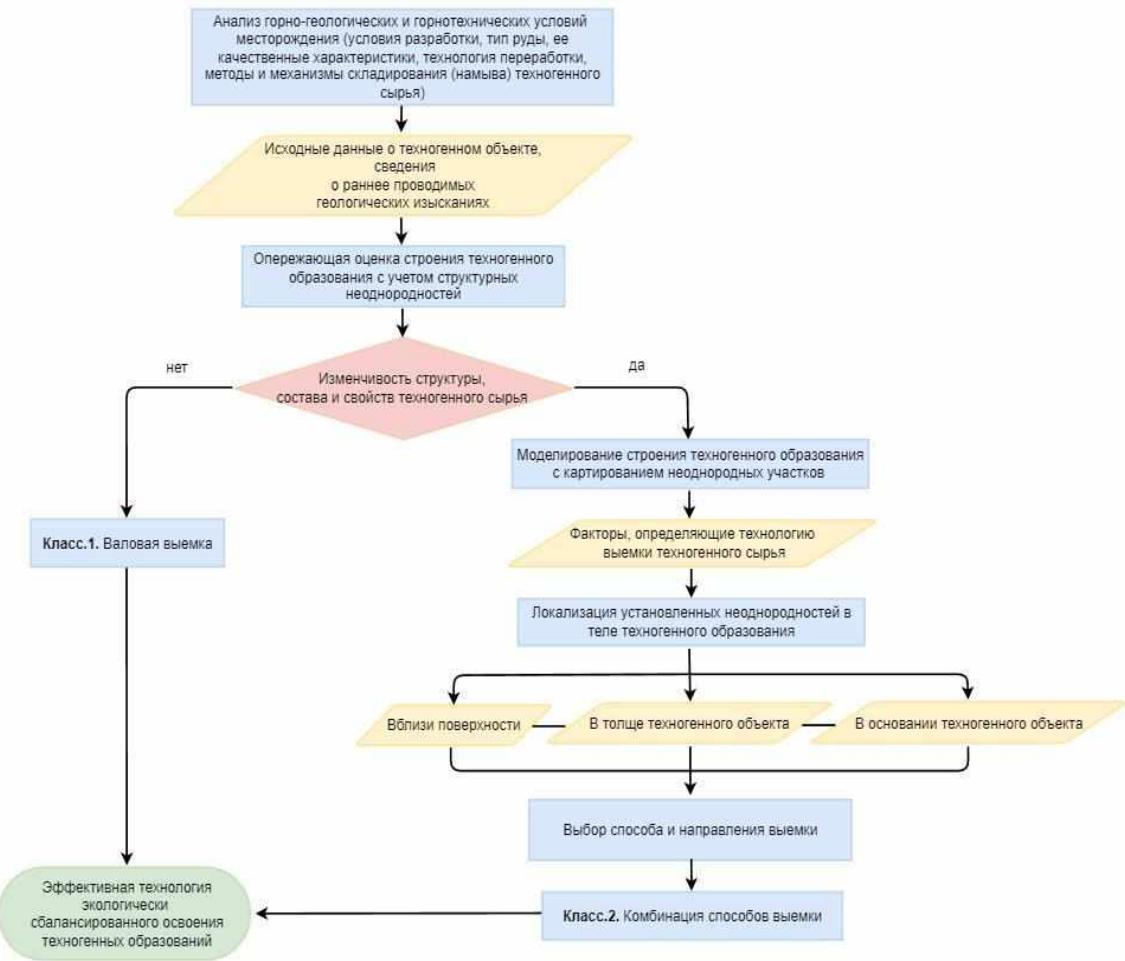


в)

г)



Рисунок 4 - Результаты исследований, свидетельствующие о необходимости перехода к роботизированным ПДМ



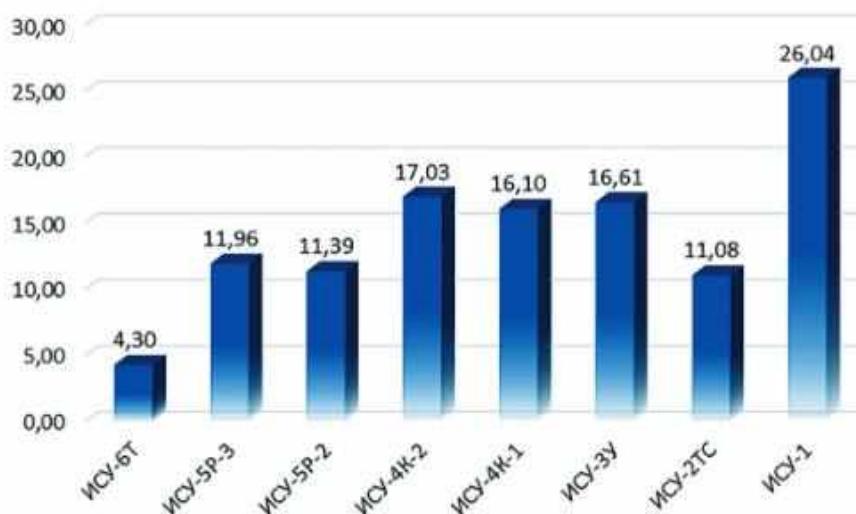
**Рисунок 5 - Алгоритм выбора технологических схем для работы автономных средств выемки на техногенных объектах**

4. Установлено, что управление взрывчатыми свойствами многокомпонентных взрывчатых веществ (ВВ) возможно за счет изменения гранулометрических показателей кристаллического окислителя при высокой модальности гранул по размерам. При этом, использование металлических горючих позволяет в достаточно широких пределах изменять теплоту взрыва и таким образом обеспечивать требуемые параметры при отбойке горных пород за счет изменения объемной концентрации энергии.

Разработан способ (в чем заключается? что нового в нем?) моделирования свойств многокомпонентных ВВ для их эффективного применения в условиях Севера и Арктики. С учетом природных и климатических условий рассматриваемых территорий, экономико-географических характеристик размещения месторождений, геокриологических условий и характеристик мерзлых пород, горно-геологических и горнотехнических характеристик ведения взрывных работ в мерзлоте разработан перечень (какой? в чем особенности?) материалов рециклинга для технологий взрывания с использованием энергоэффективных взрывчатых веществ в условиях севера и арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ). Предложены методы модификации свойств материалов рециклинга при использовании в условиях севера и АЗРФ, что позволяет повысить эффективность взрывчатых составов, использовать отходы горного производства и снизить негативное воздействие на окружающую среду.



**Рисунок 6 – Производство (прогнозируемое) гранулитов с использованием отработанного моторного масла, образуемого при дизельной генерации электроэнергии в условиях Севера и Арктики**



**Рисунок 7 – Снижение себестоимости производства 1 т различных по составу предложенных многокомпонентных ВВ по отношению к применяемым простейшим составам АСДТ, %**

#### Публикации:

1. Франтов А.Е., Викторов С.Д., Лапиков И.Н., Вяткин Н.Л., Болотова Ю.Н. Развитие методических подходов при моделировании свойств многокомпонентных гранулитов, применяемых в условиях низких температур и других осложняющих факторов. // Горная промышленность. - 2024;(5S):00–00. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-00-00>

2. A.E. Frantov, I.N. Lapikov. Resource potential of recycling materials for blasting in North and Arctic regions with diesel power operations //E3S Web Conf. Volume 592, 2024. Art.#: 03007.<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202459203007>

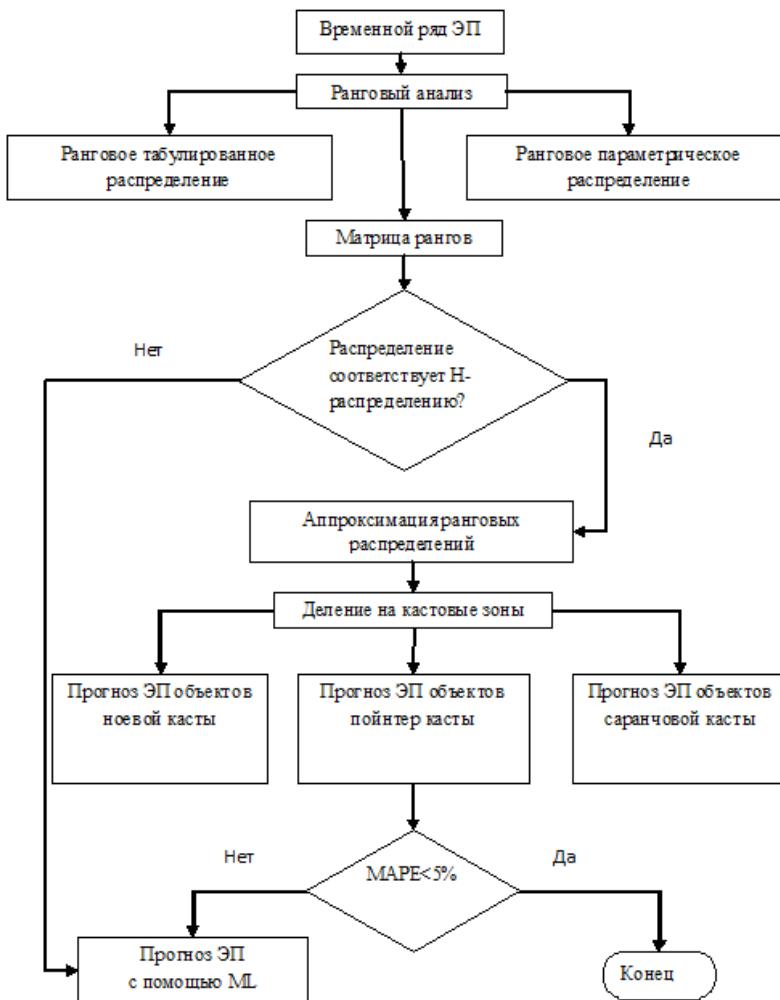


Рисунок 8 – Блок-схема гибридной методики долгосрочного прогнозирования

### Публикации:

1. Клюев Р.В., Дмитрак Ю.В., Атрушкевич В.А. Методологические основы энергоаудита на горно-обогатительных комбинатах. // В сборнике: Научные труды IV Международной научно-технической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов: Челябинск, 27-30 марта 2024 г.- С. 97-99.
2. Клюев Р.В. Повышение эффективности использования электроэнергии на горных предприятиях. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. // 2024.- № 2.- С. 230-244. EDN: HMSRRN (WOS Q<sub>4</sub> JCR).
3. Кузина А.В., Клюев Р.В. Обоснование параметров буровзрывных работ, обеспечивающих герметичность замораживающих колонок. Известия высших учебных заведений. //Горный журнал. - 2024. - № 2. - С. 92-100. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-2-92-100. (ВАК).
4. Моргоеva A.Д., Солдатов A.А., Клюев Р.В., Моргоеv И.Д. Сравнительный анализ методов прогнозирования электропотребления регионального диспетчерского управления. // Промышленная энергетика. – 2024. -. № 6. - С. 2-13. EDN: HTTWMV (ВАК).
5. Клюев Р.В., Туаева А.Э., Каджаев О.В., Кудзиев А.Б., Кюрджиев А.Н. Исследование влияния несинусоидального напряжения на работу силовых кабелей на предприятиях цветной металлургии // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2024. Том 9. №2 (36). С. 103-111. (ВАК).
6. Клюев Р.В., Силаев В.И., Гагулаев Х.У., Камарзаев Г.Р. Умные города будущего на основе индустрии 4.0. с использованием технологий 5G. // Материалы Международной научно-технической конференции «Автоматизация, энергетика и машиностроение: технологии

и инновации», посвящённой 5-летию Института энергетики (14–16 мая 2024 г.). - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщика, г. Грозный, 2024. - С. 187-190. (РИНЦ).

7. Силаев В.И., Гаев О.В., Клюев Р.В. Развитие возобновляемых источников энергии в контексте глобального энергетического кризиса и глобальных изменений климата // Материалы Международной научно-технической конференции «Автоматизация, энергетика и машиностроение: технологии и инновации», посвящённой 5-летию Института энергетики (14–16 мая 2024 г.). - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщика, г. Грозный, 2024. - С. 227-232. (РИНЦ).

8. Силаев В.И., Гаев О.В., Клюев Р.В. Проблема энергетического сектора в европейском союзе в контексте глобального энергетического кризиса и глобальных изменений климата. // Материалы Международной научно-технической конференции «Автоматизация, энергетика и машиностроение: технологии и инновации», посвящённой 5-летию Института энергетики (14–16 мая 2024 г.). - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщика, г. Грозный, 2024. - С. 233-237. (РИНЦ).

9. Гаев О.В., Силаев В.И., Клюев Р.В. Перспективы использования угля и декарбонизация энергетического сектора США // Материалы Международной научно-технической конференции «Автоматизация, энергетика и машиностроение: технологии и инновации», посвящённой 5-летию Института энергетики (14–16 мая 2024 г.). - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщика, г. Грозный, 2024. - С. 238-242. (РИНЦ).

10. Клюев Р.В., Гаврина О.А. Разработка комплексной методики определения токов однофазных замыканий на землю в распределительной сети карьера. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2024. - № 1. - С. 255-268. (WOS Q4 JCR).

11. Гаврина О.А., Силаев В.И., Гутиев С.О., Гаврин И.А. Влияние городов-мегаполисов на экономику стран с использованием технологий индустрии 4.0. и 5G. // Материалы Международной научно-технической конференции «Автоматизация, энергетика и машиностроение: технологии и инновации», посвящённой 5-летию Института энергетики (14–16 мая 2024 г.). - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщика, г. Грозный, 2024. - С. 162-165. (РИНЦ).

12. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Valiev N. G., Gavrina O. A. Environmentally sound geotechnologies for leaching metals from polymetallic ore processing wastes and wastewater. Mining Science and Technology (Russia). 2024;9(3):271–282. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-11-184> (Scopus Q1 SJR).

13. Гаврина О.А., Моргоев И.Д. Направления повышения точности моделей прогнозирования электропотребления. // Материалы XII Всероссийская научная конференция и молодежный научный форум «Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика» («ПАРУСА-2023») (РИНЦ).

14. Гаврина О.А., Марзоев С.А., Туаева А.Э., Кудзиев А.Б., Кюрджиев А.Н. Анализ влияния высших гармонических составляющих напряжения на работу силовых трансформаторов. // Грозненский естественнонаучный бюллетень. - 2024. - Том 9. - №3 (ВАК).

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

### **Геодинамические процессы при разработке рудных месторождений**

В 2024 году работы выполнялись в рамках тем № 122032900172-5 («Развитие методов контроля локальных участков земной коры и диагностики протекающих в ней геодинамических процессов разного масштаба, в том числе инициированных техногенной деятельностью») и № 122022800579-4 («Деформационные процессы, локализованные на границах тектонических блоков разных иерархических уровней - физические механизмы, предвестники, методы контроля и предупреждения»). Руководителями тем являются к.ф.-м.н. **Беседина А.Н.** и к.ф.-м.н. **Остапчук А.А.**

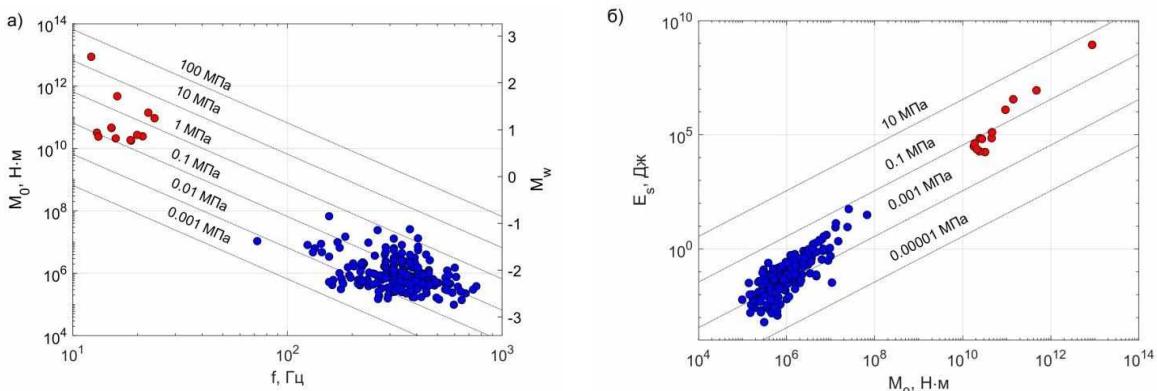
ИДГ РАН проводил анализ сейсмических записей и оценку очаговых параметров сейсмических событий, зарегистрированных в двух массивах горных пород, где ведется разработка месторождений твердых полезных ископаемых.

Первый участок – апатит-нефелиновое месторождение Хибинского массива (Мурманская область) с достаточно интенсивной природной и техногенной сейсмичностью. Было рассмотрено 13 сейсмических событий, зарегистрированных в течение месяца на одном из участков месторождения в 2020 г. в районе лежачего бока рудного тела. На этом участке отмечена миграция сейсмичности вместе с продвижением фронта горных работ. Считается, что инициированию наиболее сильных геодинамических явлений способствовали взрывные работы при торцевом выпуске руды вблизи эгириновой жилы, а также перераспределение напряжений за счет выполненной надработки массива.

Второй участок – Коробковское железорудное месторождение Курской магнитной аномалии (КМА), расположенное в асейсмичном регионе (Белгородская область). Горные удары в массиве ранее не наблюдались. Для последовательностей сейсмических событий, зарегистрированных после трёх массовых взрывов, взрывные камеры которых располагались вблизи Северо-Восточного разлома, выполнена оценка основных очаговых параметров.

Для апатит-нефелинового месторождения Хибинского массива получены значения магнитуд 0,74–2,5; сейсмический момент составил  $9,9 \cdot 10^4$ – $6,7 \cdot 10^7$  Н·м при угловой частоте 12–24 Гц. Сейсмическая энергия варьируется от  $1,7 \cdot 10^4$ – $8,7 \cdot 10^8$  Дж (рисунок 1). Характерный размер разрывов исследуемых событий по оценкам составил 27–54 м.

Для месторождения КМА зарегистрированные сейсмические события группируются в окрестности взрывных камер и участка разломной зоны. Магнитуда событий варьируется от –2,5 до –1,4, сейсмический момент находится в пределах двух порядков  $10^5$ – $10^7$  Н·м при угловой частоте источника 70–600 Гц (рисунок 1). Рассчитанная сейсмическая энергия составила 0,0006 – 1 Дж, приведенная сейсмическая энергия –  $2 \cdot 10^{-9}$  до  $2 \cdot 10^{-7}$  Дж/(Н·м) (рисунок 2). Размеры разрывов для зарегистрированных событий составили десятки сантиметров – первые метры.



**Рисунок 1 - а)** Соотношение между скалярным сейсмическим моментом и угловой частотой источника для сейсмических событий. Серые линии – линии постоянного сброшенного напряжения. **(б)** Излученная сейсмическая энергия в зависимости от скалярного сейсмического момента. Серые линии – линии постоянного кажущегося напряжения  $\sigma_a = \mu E / M_0$ . Синие значения – Коробковское месторождение, красные значения – месторождение Хибинского массива

Сопоставление полученных параметров сейсмических событий для двух месторождений с результатами регистрации слабой сейсмичности (с  $M < 4$ ) на различных месторождениях мира (рисунок 2) показало, что большая часть данных, включая результаты, полученные на месторождении Хибинского массива, находятся в диапазоне значений приведенной энергии  $E_s / M_0 \sim 5 \cdot 10^{-7}$  –  $5 \cdot 10^{-3}$  Дж/(Н·м), что соответствует типичным величинам для «нормальных» тектонических землетрясений. Отличаются группы событий, зарегистрированных на Коробковском месторождении и в подземной лаборатории URL в Канаде (значки 9 на рисунке 2) со значениями приведенной энергии меньше  $\sim 10^{-7}$  Дж/(Н·м).

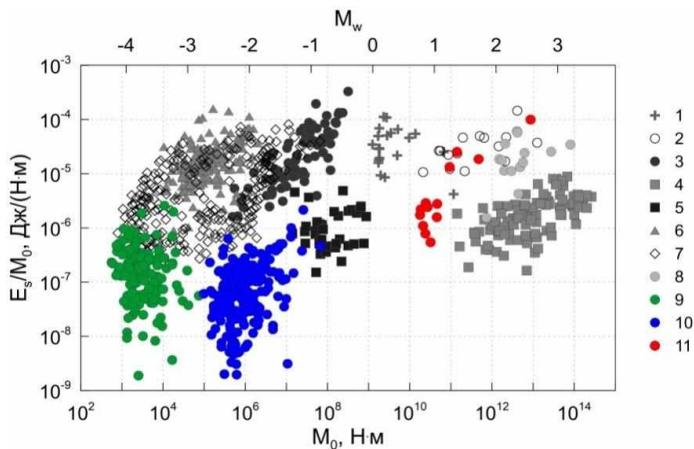


Рисунок 2 – Зависимость приведенной сейсмической энергии от сейсмического момента на различных месторождениях мира (1-9), 10 – Коробковское месторождение, 11 – месторождение Хибинского массива [1]

Еще одним важным параметром (помимо приведенной энергии), который описывает динамические свойства сейсмического источника, является скорость распространения разрыва  $V_r$ . Согласно классическим представлениям, для землетрясений с  $M > 3-4$  этот параметр не зависит от масштаба события и составляет величину  $(0,7-0,9)C_\beta$ . Для более слабых событий отмечается больший разброс значений. Для месторождения апатит-нефелиновых руд  $V_r$  составила  $(0,36-0,8)C_\beta$ , что приближается к диапазону значений для «нормальных» землетрясений. Для месторождения КМА скорость разрыва составила  $(0,08-0,5)C_\beta$ . Такие события можно отнести к классу «медленных» землетрясений.

Важным фактором, который может влиять на реализуемый тип сейсмического события («нормальное» или «медленное») является вещественный состав материала заполнителя трещины. Геолого-структурный анализ некоторых участков разломной зоны показал, что для Северо-Восточного разлома характерно присутствие геоматериалов со свойствами скоростного упрочнения [3]. На месторождении Хибинского массива ряд идентифицированных событий, для которых удалось обнаружить следы косесямической подвижки, был приурочен к эгириновой жиле, т.е. нарушению, выполненному достаточно прочным материалом со свойствами скоростного разупрочнения. Важно подчеркнуть, что очагом одного из крупнейших землетрясений в Хибинах (1989 г.,  $M=4,8-5$ ) являлась динамическая подвижка именно по пологопадающей эгириновой жиле.

Таким образом, сопоставление очаговых параметров микросейсмичности в окрестности двух горнодобывающих предприятий убедительно демонстрируют перспективность использования таких параметров, как приведенная энергия микроземлетрясений и средняя скорость распространения разрыва в качестве индикаторов возможности возникновения крупных динамических событий на исследуемом участке разломной зоны. Изучение очаговых параметров слабой сейсмичности дает важную дополнительную информацию о склонности участка к динамическим подвижкам по разломам и крупным тектоническим трещинам. Классификация сейсмических событий позволяет исследовать «тонкую структуру» их ансамбля для анализа напряженного состояния локальной области массива горных пород.

Основные результаты этих исследований опубликованы в работах:

1. В.В. Адушкин, А.Н. Беседина, Г.Г. Кочарян и др. Новый подход к контролю опасности техногенных землетрясений в окрестности горнодобывающих предприятий. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 519, №1. – С. 527-534. – DOI 10.31857/S2686739724110161.

2. А.Н. Беседина, Г.А. Гридин, Г.Г. Кочарян и др. Активизация сейсмоакустических событий после массовых взрывов на железорудном месторождении Курской магнитной аномалии. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – №1. – С. 3-14. – DOI 10.15372/FTPRPI20240101.

3. Особенности сейсмичности, инициированной массовыми взрывами, Коробковского железорудного месторождения. / А.А. Остапчук, К.Г. Морозова, А.Н. Беседина, Г.А. Гридин, А.В. Григорьева, Д.В. Павлов // Russian Journal of Earth Sciences. – 2024. – Т. 24. – DOI: 10.2205/2024es000941.

## Сейсмический эффект промышленных взрывов на карьерах КМА

Наиболее распространеными мощными промышленными взрывами являются массовые взрывы на карьерах КМА. Об их частоте свидетельствуют следующие данные. Например, в карьере Михайловского ГОКа (Курская обл.) в течение 2024 года было проведено 12 массовых взрывов, в карьере Лебединского ГОКа (Белгородская обл.) – 25. Мощность этих взрывов от 1500 до 4000 тонн ВВ. Целью этих взрывов являлась отбойка железной руды. О масштабах взрывных работ также свидетельствуют размеры карьеров, они простираются с юга на север на 5 км и с запада на восток на 3 км. Глубина карьеров достигла 350 м (от дневной поверхности). Отбойка руды ведется в блоках железистых кварцитов с крепостью по Протодьяконову от 16 до 20.

Как правило, при массовом взрыве взрывается от 1 до 10 блоков. Эти блоки находятся на различных бортах карьера и на различных горизонтах. Масса ВВ в блоках бывает от 10 тонн до 1000 тонн. При этом в каждой скважине масса ВВ практически одинакова и составляет около 1 тонны. По технологии КЗВ скважины в одной диагонали (от 1 до 10) детонируют одновременно. А между диагоналями устанавливаются замедления от 30 до 60 мс, так что в одной ступени замедления может детонировать одновременно до 10 тонн ВВ.

В практику БВР на карьерах КМА все больше внедряется электронное поскважинное взрывание. В этом случае между скважинами в диагоналях устанавливаются межскважинные замедления. Было бы ошибкой считать, что при таком взрывании в ступени замедления детонирует только одна скважина. Необходим анализ проектных моментов детонации каждой скважины блока, при этом в одну ступень детонации следует отнести скважины, которые детонируют в интервале времени 20–30 мс (оптимальное время замедления для горных пород данного карьера). Такой анализ для карьеров КМА показывает, что при поскважинном взрывании в одной ступени замедления детонируют три скважины, а масса ВВ в одной ступени уменьшается до 3 тонн ВВ. Конечно, это существенное уменьшение массы ВВ в одной ступени замедления, что позволяет понизить сейсмическое действие массового взрыва.

ИДГ РАН проводит сейсмический мониторинг каждого массового взрыва на Михайловском и Лебединском ГОКах. Целью мониторинга является определение сейсмического действия массового взрыва на охраняемые сооружения ГОКа и застройку региона вокруг карьера. Данные мониторинга поступают в проектный отдел БВУ и учитываются при проектировании массовых взрывов.

Мониторинг проводится на стационарных сейсмопунктах, которые оборудованы на бортах карьера. Расстояния от взрываемых блоков до сейсмопунктов составляют от 1 до 4 км. На бетонном постаменте сейсмопунктов установлены три сейсмоприемника (велосиметра) СМ-3, которые регистрируют скорости вертикальных колебаний земной поверхности и скорости горизонтальных колебаний в направлении Юг-Север и Запад-Восток. Сигнал с велосиметров оцифровывается АЦП Е-440 и затем записывается на винчестер ноутбука. Оцифровка проводится с частотой 2 кГц на канал. Полоса частот регистрации велосиметров от 0,5 Гц до 100 Гц. Запись сейсмограмм начинается за час до взрыва и продолжается в течение двух и более часов.

Одновременно с записью сейсмических колебаний ведется регистрация воздушных волн. Первичным преобразователем акустического давления служит измерительный конденсаторный микрофон фирмы Bruek&Keeag, тип 4147. Полоса частот регистрации микрофона от 0,02 Гц до 20 кГц.

В качестве примера, на рисунке 3 приведен зарегистрированный на сейсмопункте фрагмент велосиграмм (продолжительностью 50 секунд) колебаний земной поверхности при массовом взрыве на Михайловском ГОКе 29.11.2023. По оси абсцисс – время в секундах, по оси ординат – скорость в мм/с. Красная сейсмограмма – это вертикальные колебания, синяя – горизонтальные колебания в направлении Юг-Север и зеленая – горизонтальные в направлении Запад-Восток. Четвертая регистрограмма (черного цвета) – воздушные волны массового взрыва. Ноль времени на этих сейсмограммах соответствует моменту начала детонации первого блока. Реальное время взрыва этого блока было 13:00 по МВ. При этом массовом взрыве детонировало 8 блоков. Массовый взрыв закончился через 45 секунд, когда был взорван последний блок.

Как видно из этих рисунков, воздушные волны приходят позже сейсмовзрывных, так как их скорость распространения примерно в десять раз меньше, чем сейсмических. У воздушных волн отсутствует ударный фронт, поэтому назвать их ВУВ можно только условно. Это акустические волны.

Сейсмическое действие массовых взрывов определяют по вектору скорости колебаний. Он вычисляется по велосиграммам, приведенным на рисунке 3. Это позволяет определить максимальные значения векторов скорости для всех блоков. Для эпицентральных расстояний 1–5 км она составляет мм/с, т.е. для сейсмологии это сильные движения. Амплитуды этих волн зависят от эпицентрального расстояния и массы ВВ в одной ступени замедления. В этих волнах еще не просматривается разделение волн на P, S и R фазы.

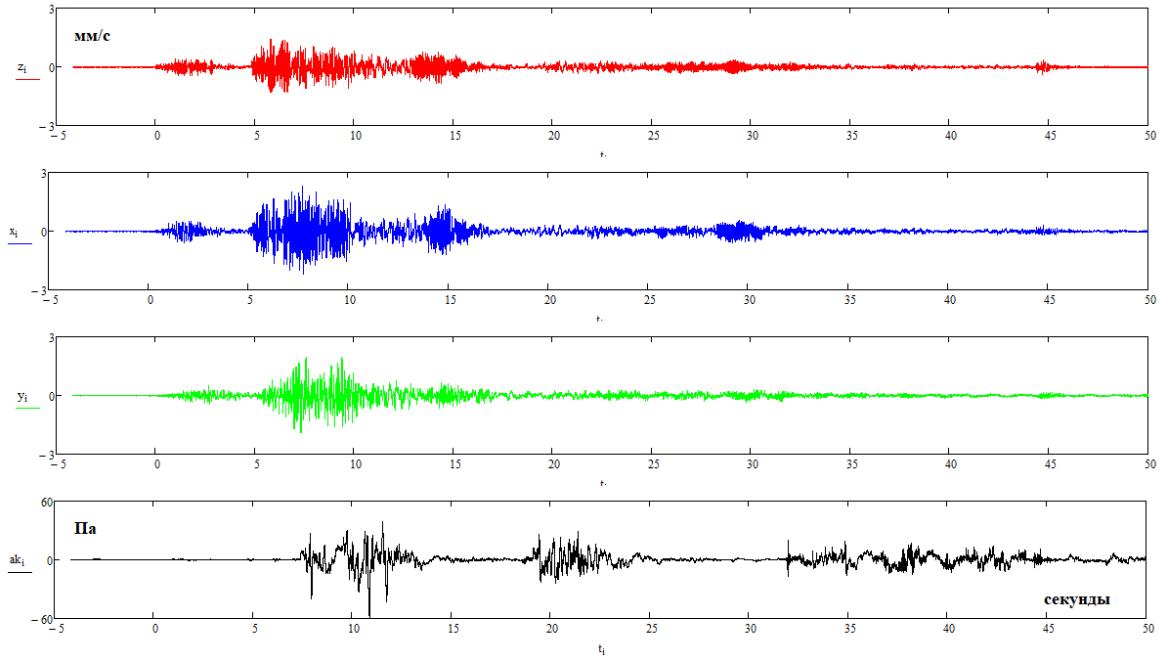


Рисунок 3 - Велосиграммы колебаний и ВУВ  
при массовом взрыве на Михайловском ГОКе

Ранее было установлено, что сейсмический эффект КЗВ взрывов (амплитуда скорости сейсмических колебаний) зависит от эпицентрального расстояния от блока до объекта (места регистрации) и от массы заряда в одной ступени замедления [Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. Недра. 1981. 192 стр.], которая имеет вид:

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

где  $V$  – величина вектора скорости колебаний в мм/с,  $q$  - масса заряда в одной ступени замедления в кг,  $R$  - эпицентральное расстояние в м,  $K$  - коэффициент сейсмичности,  $n$  – степень затухания амплитуды волны. Коэффициент  $K$  определяется физико-механическими свойствами горных пород. Многочисленные исследования показали, что для каждого ГОКа эта величина индивидуальная. Но степень затухания волны « $n$ » практически одинакова для всех ГОКов.

Выше говорилось, что в карьере Михайловского ГОКа в течение года проводится 12 массовых взрывов. Максимальные массовые скорости, полученные в результате годового мониторинга, с 29.11.2023 по 29.11.2024 года, показаны на рисунке 4. По этим данным методом наименьших квадратов была получена усредненная зависимость максимальной скорости колебаний от приведенного эпицентрального расстояния. Она показана на рисунке 4 красной прямой и описывается формулой вида (1) с коэффициентом сейсмичности  $K=4800$  и степенью затухания  $n=1,7$ .

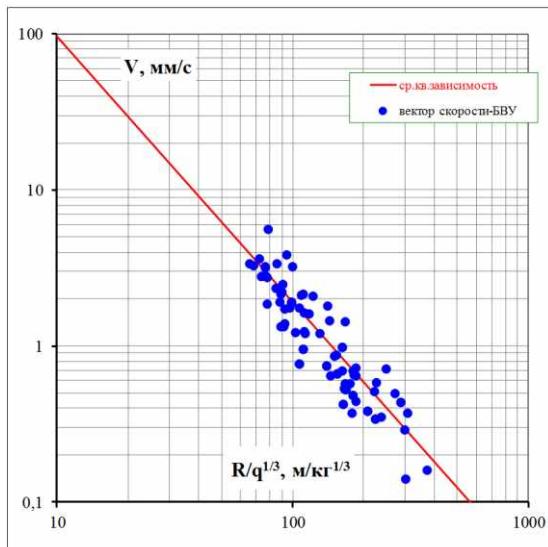


Рисунок 4 - Средне квадратичная зависимость амплитуды сейсмовзрывной волны от приведенного (по массе ВВ в ступени замедления) эпикентрального расстояния

Эта зависимость указывает на главную особенность КЗВ, что сейсмический эффект (амплитуда сейсмовзрывной волны) таких взрывов определяется максимальной массой ВВ в одной ступени замедления, а не массой ВВ в блоке и не суммарной массой ВВ массового взрыва. Однако сейсмический эффект в сейсмологии принято характеризовать магнитудой, которая определяется по амплитуде сейсмической волны и характеризует сейсмическую энергию источника. И если для ПЯВ и для химических камерных зарядов в этом нет никакого противоречия, то для КЗВ, очевидно, что энергия взрыва (суммарная масса ВВ массового взрыва) не характеризует сейсмическое действие взрыва.

В соответствии с требованиями «Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, Правил безопасности при взрывных работах» Ростехнадзора при БВР должна быть обеспечена сохранность жилой застройки в регионе и охраняемых сооружений (производственные сооружения) ГОКа.

Согласно СП 14.1330.2014 или СНиПу II-7-81 «Строительство в сейсмических районах», мерой сейсмического воздействия землетрясений и взрывов является интенсивность сейсмических колебаний, выражаемая в баллах сейсмической шкалы. В России пользуются шкалой С.В. Медведева, специально разработанной для горных взрывов.

В соответствие с этой шкалой определим интенсивность сейсмического действия массового взрыва 29.11.2023 г. Инструментальная часть шкалы позволяет перейти от зарегистрированных максимальных скоростей колебаний к величине интенсивности колебаний в баллах. Так как формула (1) демонстрирует зависимость амплитуды колебаний от эпикентрального расстояния по степени 1,7, то можно произвести пересчет зарегистрированных на сейсмопункте фактических амплитуд колебаний на различные охраняемые объекты ГОКа и застройку региона по формуле:

$$V = V_{\text{сп}} \cdot \left( \frac{R_{\text{сп}}}{R} \right)^{1.7}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{сп}}$  - амплитуда колебаний на сейсмопункте,  $R_{\text{сп}}$  - расстояние блока от сейсмопункта,  $R$  - расстояние от блока до охраняемого объекта,  $V$  – расчетная скорость колебаний на охраняемом объекте. Причем, для этих расчетов знания коэффициента сейсмичности не требуется, что существенно повышает достоверность расчета.

Так как количество охраняемых объектов значительное, то вместо определения интенсивности сейсмического действия массового взрыва на охраняемые объекты целесообразнее по формуле (2) рассчитать изосейсты интенсивности колебаний от блоков, которые дали наибольшую сейсмичность. Критерием выбора таких блоков служит величина произведения  $V_{\text{сп}} \cdot R_{\text{сп}}^{1.7}$ , которая по смыслу означает максимальную скорость колебаний на эпикентральном расстоянии 1 км. Для данного массового взрыва по этому критерию можно выделить наибольшее сейсмическое действие от второго блока, взорванного через 5 секунд после первого блока.

Из сейсмограмм на рисунке 3 было получено, что на сейсмопункте максимальное значение вектора скорости колебаний от этого блока была  $V_{\text{сн}}=2,77$  мм/с, эпицентральное расстояние от сейсмопункта до блока составляло  $R_{\text{сн}}=1,67$  км. Эти значения подставим в формулу (2). Интенсивности колебаний 5 баллов согласно шкале С.В. Медведева соответствует скорость колебаний от 15 мм/с до 30 мм/с. Подставим в формулу (2)  $V=15$  мм/с и получим расстояние  $R=0,62$  км, на котором достигается указанная скорость колебаний. Это будет радиус изосейсты, которая ограничивает область (круг), внутри которой интенсивность колебаний равна 5 баллам и более. Аналогичным образом сделаны расчеты двух, трех, четырех и шести балльных изосейст. Рассчитанные радиусы изосейст изображены на Google-карте карьера на рисунке 5. В центре изосейст показано расположение блока в карьере. Цифры указывают балл различных зон.

Пунктирная черная окружность является изолинией, на которой вектор скорости колебаний имеет величину 1 мм/с. Это пороговое значение амплитуды колебаний, которое может ощущать человек. На территории вне пунктирной изолинии сейсмические колебания населением не ощущаются.

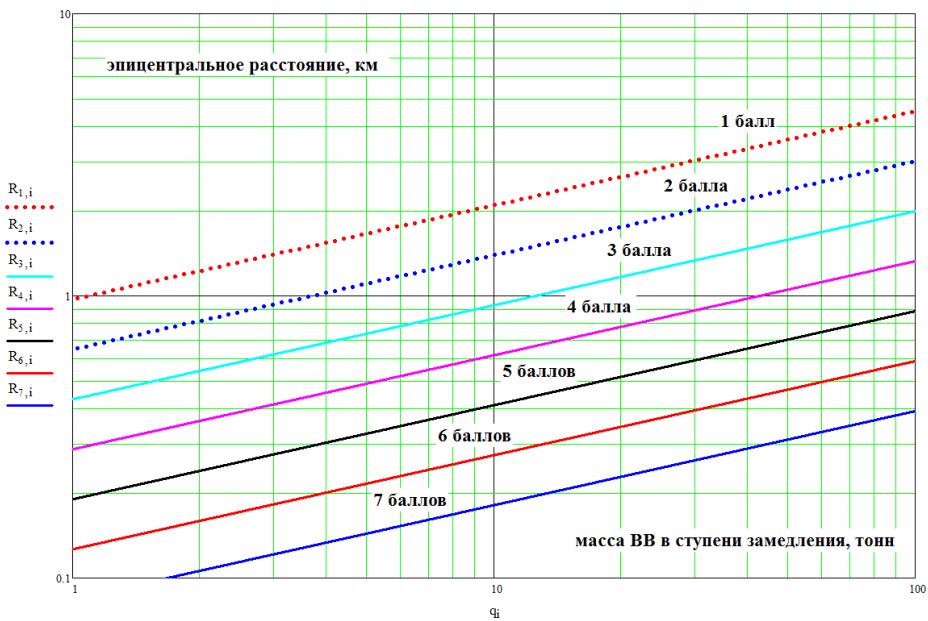
Из рисунка 5 можно сделать вывод о наибольшей интенсивности сейсмических колебаний по охраняемым объектам ГОКа, расположение которых на этом рисунке показано желтыми метками. Важно отметить, что зоны с интенсивностью колебаний более 4 баллов не вышли за пределы бортов карьера, а интенсивность колебаний в жилых кварталах города Железногорска, расположенному западнее карьера, составляла 1 балл. Никаких макро и микроповреждений в застройке и инфраструктуре города при такой интенсивности колебаний не может быть. Напомним, что первичные микроповреждения в виде осыпания побелки или волосяных трещин в штукатурке могут появиться при интенсивности колебаний 5 баллов. Из рисунка 3 также следует, что жители юго-восточных кварталов города могли ощущать сейсмические колебания этого массового взрыва.

Если рисунок 5 дает представление об интенсивности колебаний для конкретного блока и для конкретного массового взрыва 29.11.2023 г., то среднеквадратичная зависимость максимальной скорости колебаний от приведенного расстояния, представленная на рисунке 4, позволяет для каждой скорости колебаний рассчитать зависимость эпицентрального расстояния от массы ВВ в ступени замедления, для которых это значение скорости будет наблюдаться. Если в качестве этих скоростей взять величины, соответствующие баллам шкалы С.В. Медведева для горных взрывов, то получим зависимости эпицентрального расстояния от массы ВВ в ступени замедления для соответствующих баллов интенсивности колебаний.

Результаты этих расчетов для баллов от 2 до 8 представлены в виде номограммы на рисунке 6. Цифры на этом рисунке показывают различные зоны балльности. Из рисунка 6 видно, например, что при массе ВВ в ступени замедления 10 тонн (значение, характерное для ГОКов КМА) зона с интенсивностью колебаний 5 баллов будет на расстоянии от 0,4 км до 0,6 км от блока. Как правило, проектировщики массовых взрывов путем варьирования массы ВВ в ступени замедления стремятся, чтобы 5-ти балльная зона сейсмических колебаний не выходила за пределы бортов карьера.



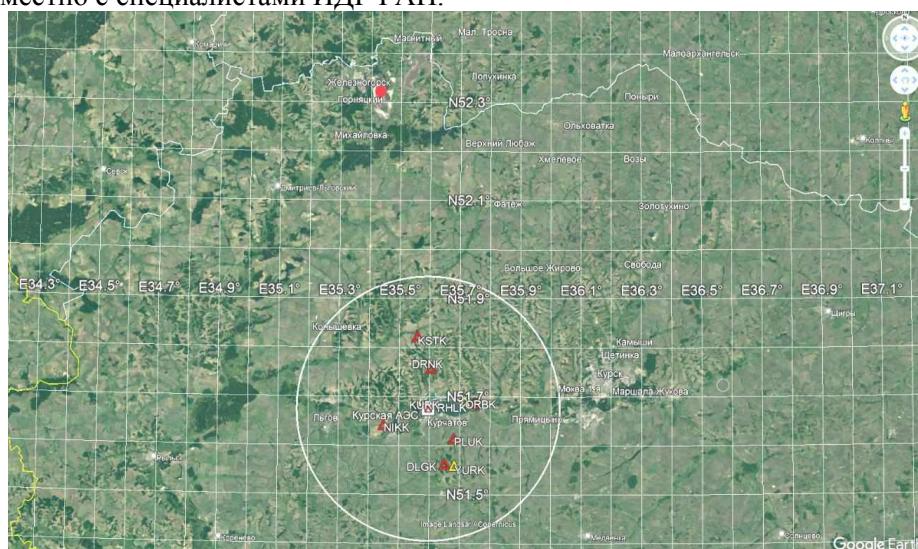
**Рисунок 5 - Изосейсты интенсивности колебаний от второго блока.**  
**Цифры – баллы интенсивности колебаний. Метки указывают расположение охраняемых объектов ГОКа**



**Рисунок 6 - Номограмма интенсивности колебаний в баллах в зависимости от массы ВВ в ступени замедления и эпизентрального расстояния**

Выше говорилось, что сейсмический эффект массового взрыва характеризуют данные, представленные на рисунке 4. Однако в сейсмологии сейсмический эффект (мощность сейсмического источника) характеризуют магнитудой, которая определяется по амплитудам различных фаз объемных и поверхностных сейсмических волн. Магнитуда также позволяет рассчитать по уравнению макросейсмического поля Шебалина-Блейка интенсивность колебаний на различных расстояниях от сейсмического источника.

Рассмотрим данные о магнитудах массовых взрывов, которые приводятся в сейсмических бюллетенях различных геофизических служб. Наиболее близкой к Михайловскому карьеру расположена сейсмическая сеть Атомэнергопроекта, которая была создана для сейсмического мониторинга атомной электростанции в г. Курчатов Курской области. Сеть состоит из 7 станций, которые находятся на расстоянии от 50 до 100 км к югу от карьера Михайловского ГОКа. Их расположение очерчено кругом на рисунке 5. Станции оснащены сейсмоприемниками СПВ-3К и регистраторами Delta. Полоса частот регистрации от 0,5 Гц до 65 Гц. Обработку сейсмограмм и анализ данных сети сотрудники Атомэнергопроекта ведут совместно с специалистами ИДГ РАН.



**Рисунок 7 - Схема расположения сейсмостанций сети АЭП. Красные треугольники – сейсмостанции. Красный круг – карьер МихГОКа**

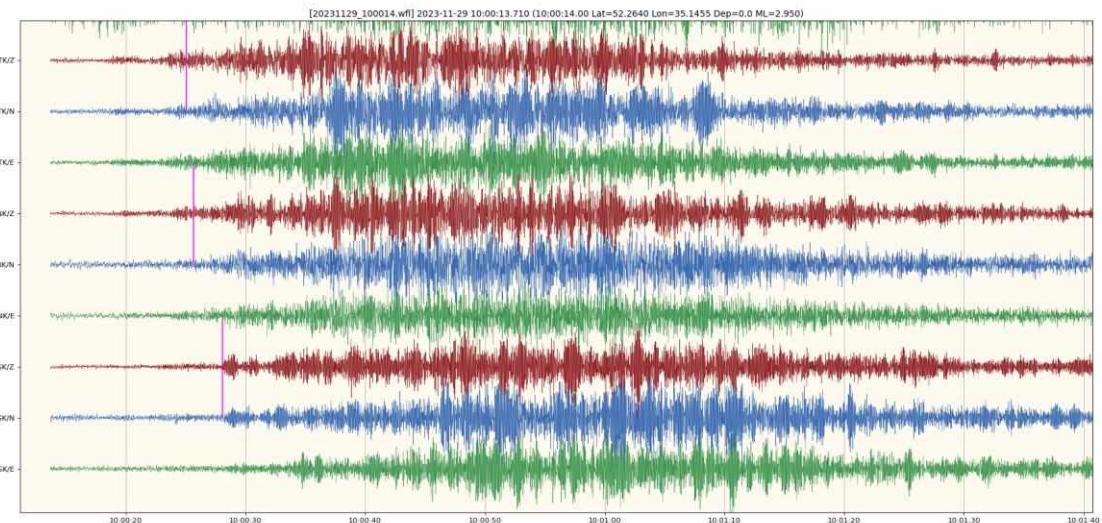
На рисунке 8 приведены сейсмограммы массового взрыва 29.11.2023, зарегистрированные тремя станциями этой сети KSTK, DRNK и DLGK расположеными от карьера на эпицентральном расстоянии 51–71 км. Особенность этих сейсмограмм в том, что на региональных расстояниях 50–100 км невозможно выделить сейсмовзрывные волны от различных блоков, как это делалось на «портрете» массового взрыва на рисунке 3. На региональных расстояниях эти волны «слились» в один общий цуг колебаний.

По амплитуде объемных волн этой сети была определена локальная магнитуда (по Рихтеру) массового взрыва 29.11.2023, которая оказалась равна  $ML=2,95$ .

Анализ сейсмограмм для всех 12 массовых взрывов, которые проводились в течение года на Михайловском ГОКе показал, что магнитуды этих взрывов имеют значения от 2,81 до 3,34. Вариация магнитуд незначительная.

Отметим, что магнитуды массовых взрывов на КМА на две единицы меньше, чем магнитуда Камбаратинского взрыва камерного заряда той же мощности. Отсюда можно заключить, что энергию карьерного массового взрыва, как сейсмического источника, следует оценивать не суммарной массой взорванного ВВ при массовом взрыве, а величиной на два порядка меньшей. В качестве такой величины естественно принять массу ВВ в одной ступени замедления. Последующие исследования позволят получить корреляционную зависимость магнитуды от массы ВВ в ступени замедления для Михайловского, Лебединского и других карьеров, где проводятся массовые взрывы по технологии КЗВ.

При работе с сейсмическими данными геофизических и сейсмологических служб следует проводить идентификацию сейсмограмм от массовых взрывов и тектонических землетрясений. Анализ показывает, что в качестве критерия идентификации можно использовать спектры сейсмограмм. Для примера, на рисунке 9 показана вертикальная составляющая акселерограммы (серый цвет) от массового взрыва на Лебединском ГОКе, зарегистрированная на сейсмопункте внутри карьера. Мощность взрыва 2903 тонны ВВ, расстояния от блоков до сейсмопункта 0,29–1,87 км. Ниже показана акселерограмма землетрясения в Турции (черный цвет). Дата землетрясения 06.02.2023, магнитуда  $M=7,7$ , эпицентральное расстояние до сейсмостанции 145 км. Для сравнения специально подбирались акселерограммы с одинаковой амплитудой, которая составляла около 0,37g. Внизу, на рисунке 9, приведены рассчитанные амплитудные спектры Фурье этих акселерограмм. Главное, что видно из рисунка 9 - максимумы спектров приходятся на частоты, которые отличаются на два порядка.



**Рисунок 8 - Волновые формы массового взрыва 29.11.2023 г., зарегистрированные на трех сейсмостанциях сети Атомэнергопроекта**

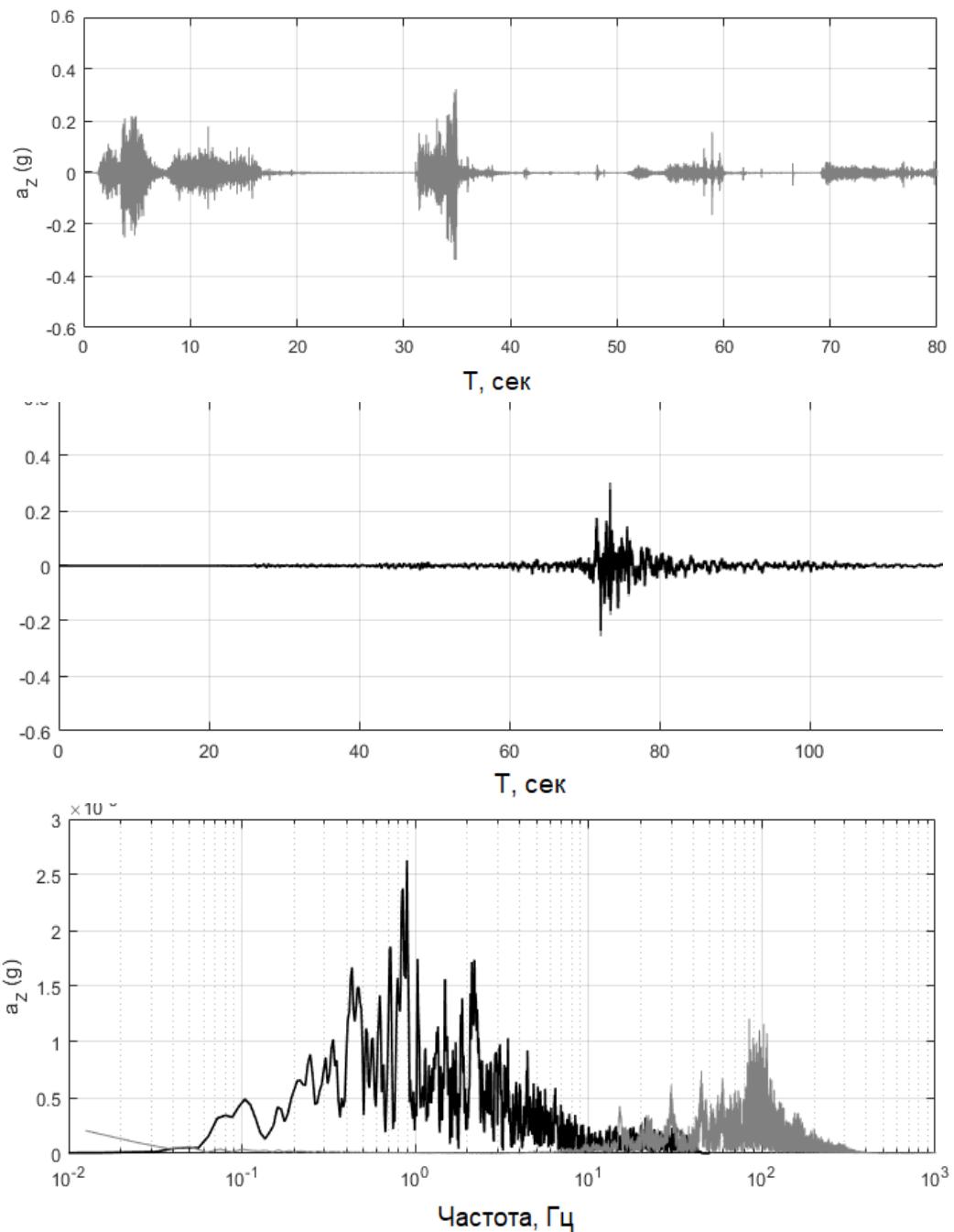


Рисунок 9 - Акселерограммы массового взрыва (серый цвет) и землетрясения (черный цвет) и их амплитудные спектры Фурье

С одной стороны, отличие спектров сейсмограмм от взрывов и землетрясений является фактором идентификации сейсмограмм от массовых взрывов. С другой стороны, это различие указывает, что интенсивность сейсмического действия (балл) на сооружения и застройку от массовых взрывов будет меньше, чем от землетрясений. Следовательно, для массовых взрывов необходим дополнительный анализ уравнения макросейсмического поля Шебалина-Блейка, которое было установлено для тектонических землетрясений.

Вышеприведенные результаты мониторинга массовых взрывов в карьерах КМА были получены в ходе выполнения Госзадания № 122032900172-5 «Развитие методов контроля локальных участков Земной коры и диагностики протекающих в ней геодинамических процессов разного масштаба, в том числе инициированных техногенной деятельностью».

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

7-ая Международная конференция «Триггерные эффекты в геосистемах», 02–05 июля 2024 г., г. Долгопрудный, МФТИ.

### **Публикации ИДГ РАН:**

Электронный журнал «Динамические процессы в геосферах», выпуски №№ 1–4, 2024 г.

### **2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

### **УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ**

### **ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

### **ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА**

### **ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

В 2024 году научно-исследовательские работы в Институте горного дела ДВО РАН велись по следующим направлениям программы фундаментальных научных исследований:

- 1.5.7.2. Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья
- 1.5.7.3. Развитие методов мониторинга развития опасных техногенных процессов; обеспечение безопасного ведения горных работ
- 1.5.7.4. Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр

### **ГОРНОЕ НЕДРОВЕДЕНИЕ**

**Геомеханика.** По результатам морфометрического анализа современного рельефа земной поверхности района склонного к горным ударам оловорудного месторождения Фестивальное (Хабаровский край) с использованием радарной съемки SRTM 30 и инструментальных изменений напряжений методом щелевой разгрузки установлена тектоническая структура массива горных пород и определен геодинамический режим на участках ведения подземных горных работ, который характеризуется преобладанием горизонтальных напряжений сжатия (напряжения ориентированы субмеридионально и субширотно:  $\sigma_{\text{мер}}=\sigma_{\text{шир}}=1,6\div1,7\text{ гН}$ , в зонах тектонических нарушений уровень напряжений превышает 50 МПа), и наличием крутопадающих активных разломов широтного и меридионального направления (рисунок 1).

**Геотехнология.** Разработан комплексный метод оценки эффективности работы шлюзовых промывочных приборов, драг и шлихобогатительных установок для переработки концентратов, включающий: минералогический анализ, изучение поверхности частиц золота методами электронной микроскопии, определение содержания гравитационно извлекаемого золота, исследование морфологических характеристик частиц золота, установление минералов спутников, анализ технологических характеристик обогатительного оборудования, разработку рекомендаций по увеличению извлечения и их реализацию. Применение данного метода позволяет определить потери золота и установить их причины, разработать способы извлечения золота всех классов крупности, обосновать технологическую схему обогащения песков и переработки концентратов и др.

Обоснован способ открытой разработки кварцевой жилы, который может быть использован для разработки месторождений кристаллосыря с обеспечением повышения сохранности высокочистого кварца. Способ включает выявление и уточнение контуров зон с наиболее качественным кварцем путем бурения наклонных разведочных скважин. Осуществляется опережающее извлечение наиболее качественного кварца путем выбуривания керна большого диаметра специальным оборудованием, установленным на экскаваторе и позиционируемым с учетом угла падения жилы. Выбуривание и отделение керна большого диаметра ведется поэлементно на высоту разрабатываемого уступа. Доработка оставшихся запасов зон с наиболее качественным кварцем осуществляется гидромолотом перед отбойкой оставшейся части кварцевого сырья.

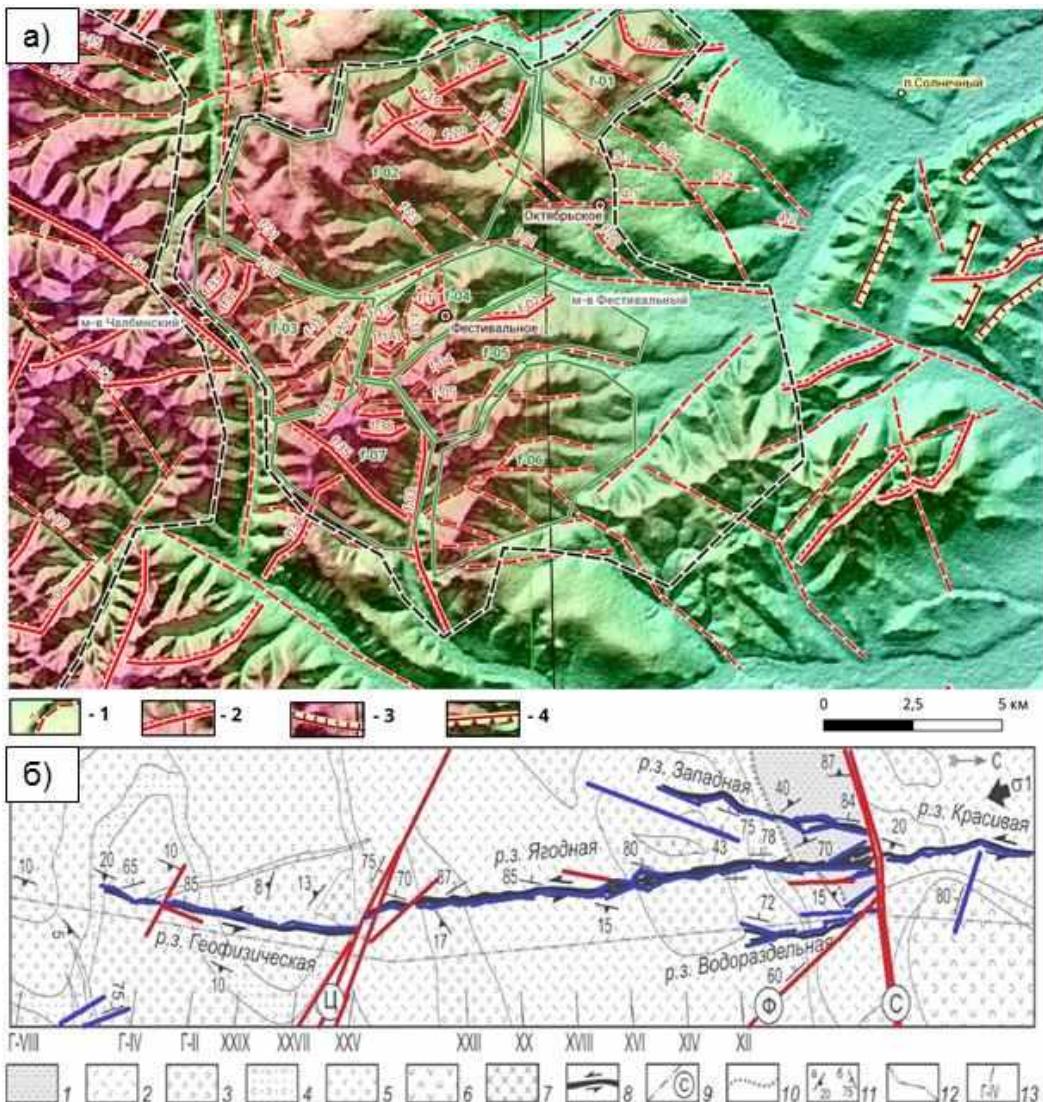
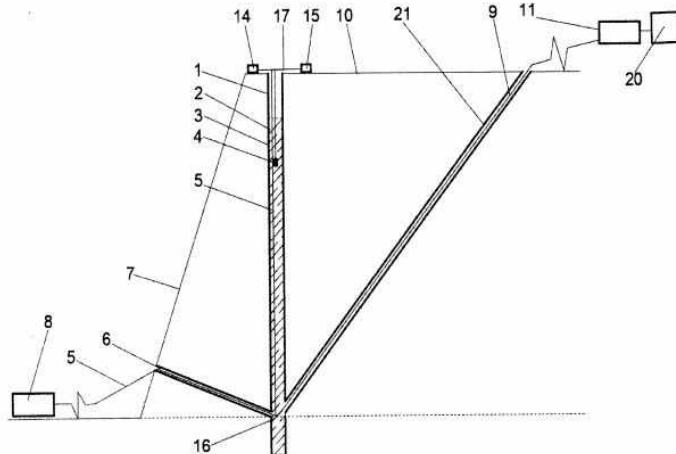


Рисунок 1 - Морфотектоническая схема Фестивального горного массива Комсомольского рудного поля: 1 – разрывные нарушения невыясненной кинематики; 2 – сбросы; 3 – линии отрыва висячих крыльев обращенных надвигов от лежачих; 4 – тыльные кромки висячих крыльев; (б) геологическое строение месторождения Фестивальное в плане: 1 – доаптские породы терригенного основания (преимущественно флиш); 2–6 – породы апт-кампанского вулканогенного чехла: туфы дацитов и липаритодацитов (2), туфоконгломераты (3), туфопесчаники (4), андезиты (5), туфы андезитов (6); 7 – сеноман-кампанские монцодиориты силинского комплекса; 8 – рудные зоны (р.з.), стрелки указывают направление смещения; 9 – разломы, в том числе дорудные, активизированные Перевальнянским сдвигом: Северный (С), Фланговый (Ф), Центральный (П); красным цветом выделены предполагаемые активные разломы, синим – пассивные; 10 – подошва вулканогенного чехла; 11 – элементы залегания: стратифицированных образований (а) и тектонических нарушений (б); 12 – линия проекции на вертикальную плоскость западного крыла Перевальнянского сдвига; 13 – направление разведочных профилей и их номера;  $\sigma_1$  – ориентировка регионального сжатия

Разработан способ измерения скорости детонации скважинного заряда при прямом инициировании, включающий формирование зарядной скважины с размещенным зарядом взрывчатого вещества и измерительным коаксиальным кабелем, установленным для измерения скорости детонации заряда взрывчатого вещества и подключенным к измерительному прибору. Измерение скорости детонации осуществляется при верхнем расположении боевика в зарядной скважине. Один измерительный коаксиальный кабель устанавливается в зарядной скважине через дополнительно пробуренную скважину со стороны откоса уступа, другой измерительный коаксиальный кабель – со стороны дневной поверхности (рисунок 2). Кабели подсоединяются к измерительным приборам, основанным на методе

импульсной рефлектометрии. Концы измерительных коаксиальных кабелей оснащены магнитами для протягивания их из нижней части зарядной скважины до устья зарядной скважины и фиксации на дневной поверхности.



**Рисунок 2 - Общий вид разреза реализации способа: 1 – зарядная скважина; 2 – взрывчатое вещество; 3 – верх; 4 – боевик; 5 – коаксиальный кабель; 6 – дополнительная пробуренная скважина; 7 – откос уступа; 8 – измерительный прибор; 9 – коаксиальный кабель; 10 – дневная поверхность; 11 – измерительный прибор; 14,15 – металлические наконечники; 16 – нижняя часть; 17 – устье скважины; 20 – автоматизированный комплекс; 21 – скважина**

**Геоинформатика.** Установлена зависимость развития горнодобывающего комплекса ДФО от введения санкционных ограничений, включающих запреты экспорта продукции черной и цветной металлургии, горного оборудования, рестрикции на кредитование компаний, запрет на новые капитальные вложения со стороны зарубежных инвесторов и другие, что в результате привело к общему спаду производства добывающей промышленности (за исключением некоторых субъектов ДФО). Определены основные положения о перспективе разработки дальневосточных полиметаллических и редкometалльных руд, в частности лиевых месторождений, продукция из которых пользуется потенциально высоким спросом, что может способствовать условиям для импортозамещения лицевой продукции в России.

На основании оценки экономических показателей работы горнодобывающих предприятий обоснована возможность повышения эффективности освоения твердых полезных ископаемых на территории ДФО. В ДФО действует экспортно-сырьевая модель экономики на фоне почти полного отсутствия обрабатывающих производств и низкого потребления. Золотодобыча является фактором внутрирегиональных пространственных диспропорций в ресурсном регионе. Для региона нет единой программной основы долгосрочного развития недропользования и горнодобывающей отрасли, создания фундаментальной горнometаллургической индустрии полного технологического цикла. Для устойчивой работы горнорудной промышленности в регионе подготовлены запасы и имеются ресурсы для пяти видов рудных полезных ископаемых: драгоценных металлов (золото и серебро), железорудного сырья (ЖРС), меди, урана. Наиболее надежной сырьевой базой для индустриального развития ДФО является ЖРС, а его освоение и использование должно осуществляться под контролем государства.

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

### Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов.

Разработана технологическая схема извлечения цинка из некондиционных руд и отходов горного производства (хвостов флотации), основными особенностями которой являются использование их предокисления перед выщелачиванием активным перкарбонатным раствором и выщелачивание активным сернокислотно-хлоридным раствором, которые подготавливают посредством обработки соответственно содовых и сернокислотных исходных растворов в проточных электрохимических реакторах и их последующего озонирования.

Последовательная обработка растворами минеральной массы, содержащей цинк, позволяет существенно снизить процесс пассивации поверхности основного цинксодержащего минерала - сфалерита, препятствующей его переводу в растворенное состояние. Экспериментальная схема с последовательной электроактивацией и озонированием обеспечила 57%-е извлечение цинка в продуктивные сернокислотно-хлоридные растворы, 44%-е - в сернокислотные; схема с совмещенной электроактивационной и озонированной обработкой растворов - соответственно 40 и 37%.

Выявлен многокомпонентный состав первичной золото-медно-порфировой руды, в которой наряду с халькопиритом, золотом, пиритом присутствует магнетит. Установлены две генерации магнетита, различающиеся по составу и габитусу кристаллов, наличию включений и примесей титана, марганца, хрома, ванадия, никеля. С целью повышения комплексности использования перерабатываемой золото-медно-порфировой руды разработана принципиальная схема магнитного обогащения для доизвлечения железа и сопутствующих ценных элементов из хвостов сульфидной флотации. Предложенная схема обеспечивает возможность получения из хвостов флотационного обогащения руды крупностью минус 0,071 мм в слабом магнитном поле магнетитовых концентратов 1 и 2 с содержанием железа 63,85% и 50,31% соответственно. Методами сканирующей электронной микроскопии в магнетитовых концентратах установлено самородное железо в виде свободных зерен и включений в магнетите и интерметаллиды состава Fe, Cr, Ni, Ti, V, Mn с содержанием (отн. масс. %): Fe (60–82), Cr (0,4–20,5), Ni (3–8), Ti (0,4–1), Mn (0,5–3,5) (рисунок 3). В составе концентратов в сростках магнетита с кварцем определены микровключения аргентита и самородного серебра с примесью Cd. В условиях обогащения золото-медно-порфировой руды по комбинированной флотационно-магнитной схеме показана возможность получения золото-медных и магнетитовых концентратов.

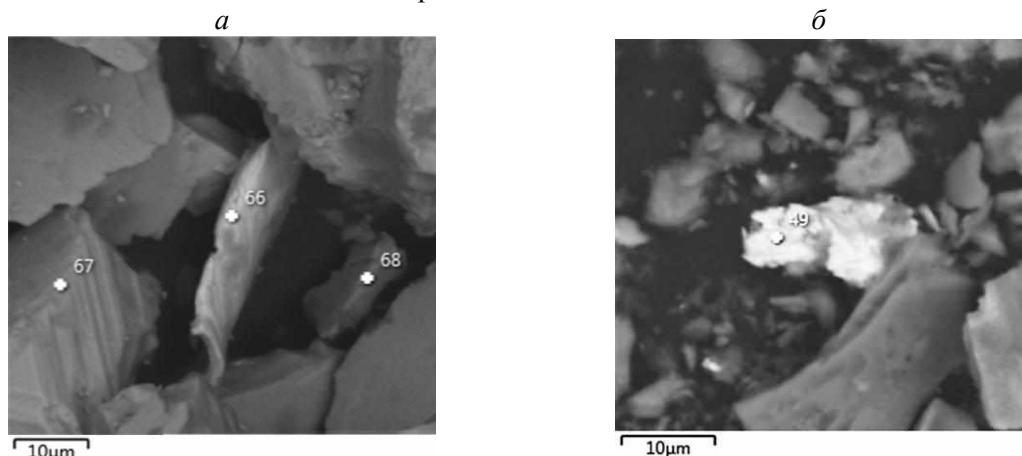


Рисунок 3 – SEM-изображения магнетитового концентрата: а – включения самородного железа; спектр 68 (масс. %): Fe 97,2, O 2,8 - без примесей; спектр 67 (масс. %): Fe 95,7, Ti 0,3, Si 2,9, Al 1, O 4,7 - с примесью титана и шламовым покрытием; спектр 66 (масс. %): Fe 53,6, Ni 36,9, Mg 0,3, Ca 0,2, Si 0,8, Al 1,7, O 6,5 - сплав никеля и железа со шламами; б – интерметаллид со шламовым налетом, спектр 49 (масс. %): Fe 65,3, Cr 15,3, Ni 7,6, Mn 1,6, Cu 0,9, Si 2,9, Al 1, Na 0,7, O 4,7

Установлено, что на минеральных частицах, подвергавшихся первичному флотационному обогащению и прошедших контакт с водно-солевой средой хвостохранилищ, образуются поверхностные покрытия, существенно снижающие их флотационный потенциал. За счёт механической обработки такого материала и подбора селективно действующих композиций реагентов необходимое взаимодействие между компонентами флотационной системы достигается лишь частично. Проблема повышения степени доступности кристаллических структур решалась на основе использования ультразвуковых воздействий. Применение в качестве собирателей смесей жирных кислот, прошедших ультразвуковую обработку, обеспечивает существенное повышение селективности флотации флюорита. Исследования по схеме с замкнутым циклом позволили выделить концентрат, содержащий свыше 93% CaF<sub>2</sub> с извлечением в него флюорита 73,6% (таблица 1).

Таблица 1

## Результаты обогащения техногенных хвостов по схеме с замкнутым циклом обработки промпродуктов

Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		CaF <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Флюоритовый концентратт	13,62	93,18/2,0	0,79	73,60	0,98
Хвосты 1	62,91	2,45	7,01	8,94	40,28
Хвосты 2	3,73	23,87	44,69	5,17	15,23
Промпродукт 1-2	18,9	9,7	23,57	10,69	40,9
Шламы	0,75	36,87	38,26	1,60	2,61
Отходы общие	86,38	5,27	12,55	26,40	99,02
Исх. питание	100,00	17,24	10,95	100,00	100,00

Разработана схема скважинного выщелачивания золота из глубокозалегающих мерзлых россыпей с послойной оттайкой, в соответствие с которой предлагается производить послойную оттайку песков рабочими растворами путем их порционной подачи в продуктивный пласт и выдерживания пауз, что обеспечивает преимущественно горизонтальную фильтрацию растворов по оттаявшему слою продуктивного пласта и таяние нижележащего слоя. После его оттаивания и выхода основной части золота в продуктивный раствор производят его откачку на поверхность. Бурение скважин производится стадийно – скважины второй очереди предлагается бурить между скважинами первой очереди после первой стадии протайки пласта. Бурение скважин ведут с заглублением в плотик с последующей подачей в призабойную часть глинисто-илистого материала для создания гидроизолирующего слоя между плотиком и нижней частью продуктивного слоя (рисунок 4). Скважины первой очереди после подачи рабочих растворов через скважины второй очереди будут выполнять функцию откачных, что сведет к минимуму потери продуктивных растворов, а соответственно обеспечит достаточно высокий уровень извлечения золота из продуктивного пласта песков россыпи.

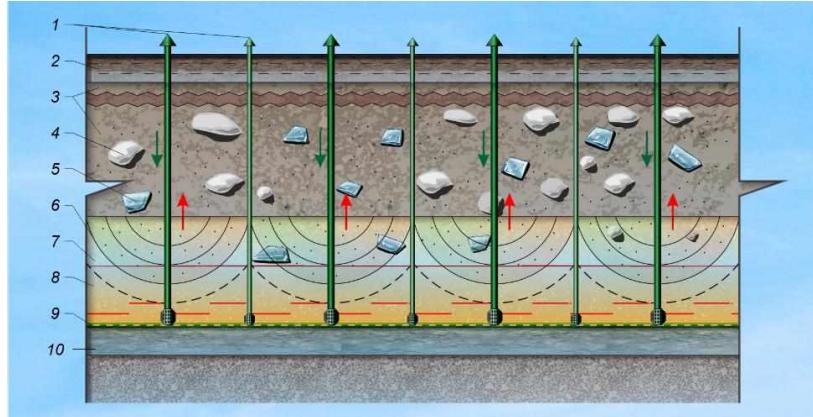


Рисунок 4 - Схема скважинного подземного выщелачивания с послойной оттайкой продуктивных песков: 1 – технологические скважины (закачные-откачные); 2 – почвенный слой; 3 – торфа; 4 – валуны в торфах; 5 – льдистые включения в торфах; 6 – зоны стадийного протайивания; 7 – гравийно-песчано-глинистый продуктивный пласт; 8 – продуктивная зона трещиноватых сланцев и песчаников; 9 – искусственный водоупорный слой; 10 – плотик

Разработана комбинированная технологическая схема извлечения золота из техногенных образований (хвостов ШОУ) Хабаровского края на основе использования предварительной реагентной обработки материала перед проведением гравитационного обогащения и процесса выщелачивания золота при переработке хвостов гравитационного обогащения. На основе изучения вещественных и технологических характеристик пробы выявлены основные минеральные формы нахождения золота и определены потери ценного компонента с хвостами гравитационного обогащения в классах крупности:  $-0,5+0,2$  мм – 17,94 г/т;  $-0,2+0$  мм – 8,62 г/т. Использование предварительной реагентной обработки при перечистке

хвостов гравитационного обогащения класса крупности  $-0,5+0,2$  мм позволяет на 27 % снизить потери золота. Применение стандартной схемы цианидного выщелачивания не привело к высоким результатам выхода золота в продуктивный раствор, выдерживание техногенного материала в режиме пропитки цианидным раствором в течение 72 часов позволило достичь извлечение золота 96,4%. Использование комплексного реагента «Флотент GL3G» позволило получить не уступающие стандартному цианидному выщелачиванию показатели по выщелачиванию золота из раствора.

### Публикации Института

Сотрудниками Института в 2024 году опубликованы 1 монография, 135 статей в журналах, в том числе 11 – в зарубежных; в изданиях из перечня ВАК опубликовано 18 статей, индексируемых в базе Web of Science – 9, Scopus – 38; 58 опубликованных докладов.

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

### Разработка полуэмпирической модели газовыделения из угольного пласта

Для построения полуэмпирической модели газовыделения из угольного пласта продолжены натурные измерения содержания легких изотопов углерода шахтного метана в пробах угля и рудничной атмосферы, отобранных в горных выработках угольных шахт Кузнецкого угольного бассейна. В лабораторных условиях с применением анализатора DLT-100 методом резонансно-усиленной спектроскопии поглощения изучено содержание изотопов углерода метана в пробах газа, на основании которого определялось смещение изотопного состава углерода метана  $\delta^{13}\text{C}$ . Установлено, что смещение  $\delta^{13}\text{C}$  для метана, содержащегося в угле и рудничной атмосфере, отличается на 12-16%. При этом наблюдается обогащение рудничной атмосферы более легкими изотопами углерода  $^{12}\text{C}$ , предположительно образованными в результате биометаногенеза. Показано, что при лаг-фазе 15 сут., в течение которой активность микробных сообществ начинает нарастать, предельный суточный выход метана составляет  $1 \text{ мг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ . При этом в течение 20 суток образуется  $4,286 \text{ мг/г}$  ( $5,98 \text{ м}^3/\text{т}$ ) биогенного метана, влияющего на формирование газового баланса выемочного участка. Полуэмпирическая модель, описывающая изотермический процесс диффузии метана из пластов-спутников в очистной забой, разработана и исследована в среде Comsol Multiphysics. В численных экспериментах с учетом данных, полученных при изучении изотопии углерода шахтного метана, установлено изменение содержания метана на выемочном участке во времени при различных коэффициентах молекулярной диффузии  $D_{\text{fCH}_4}$ . Так, например, при  $D_{\text{fCH}_4}=9,86\cdot10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , и начальном значении концентрации метана в кровле и почве пласта  $c_0=3\cdot104 \text{ кг}/\text{м}^3$  весь объем метана из этих источников поступит в горные выработки в течение 150 сут. (рисунок 1).

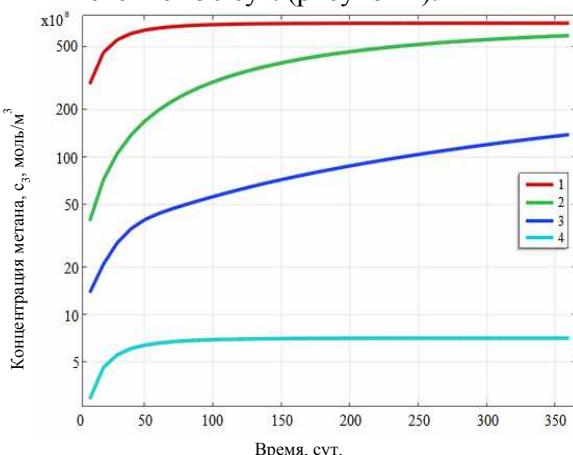


Рисунок 1 – Увеличение содержания метана  $C_3$ , поступающего в очистной забой из пластов-спутников, во времени при изменении коэффициентов его молекулярной диффузии  $D_{\text{fCH}_4}$

$$\begin{aligned}
 1 - D_{\text{fCH}_4} &= 9,86 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}, \\
 c_0 &= 3 \cdot 104 \text{ кг}/\text{м}^3; \\
 2 - D_{\text{fCH}_4} &= 9,86 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}, \\
 c_0 &= 3 \cdot 105 \text{ кг}/\text{м}^3; \\
 3 - D_{\text{fCH}_4} &= 9,86 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}, \\
 c_0 &= 3 \cdot 104 \text{ кг}/\text{м}^3; \\
 4 - D_{\text{fCH}_4} &= 9,86 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}, \\
 c_0 &= 3 \cdot 102 \text{ кг}/\text{м}^3
 \end{aligned}$$

Полуэмпирическая модель газовыделения из угольного пласта на основе изучения коллекторских свойств. / О.В. Тайлаков, М.П. Макеев, Е.А. Уткаев, Д.Н. Застрелов. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – №6(166). – С. 76-84. – DOI 10.26730/1999-4125-2024-6-76-84.

Определение источников метановыделения в очистной забой угольных шахт анализом изотопного состава углерода метана. / О.В. Тайлаков, Е.А. Салтымаков, С.В. Соколов [и др.]. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – №5. – С. 133-140. – DOI 10.15372/FTP\_RPI20240512.

### *Обоснование возможности развития трещин гидроразрыва от параметров массива и технологии гидрообработки*

Представленная модель обеспечивает достоверность расчётов параметров направленного гидроразрыва в горных породах, в том числе и для дегазации угольного пласта и позволяет закладывать в проект оптимальные параметры оборудования и трещины гидроразрыва.

На рисунке 2 показана траектория трещины гидроразрыва, распространяющаяся недалеко от забоя очистной выработки. Расчёты проведены при следующих данных. Глубина разработки 650 м; объёмный вес пород 25 кН/м<sup>3</sup>; предел прочности пласта 10 МПа; его угол внутреннего трения 20°; ширина и высота очистной выработки 20 м и 3 м; ширина и высота монтажной камеры 5 м и 4,5 м; модуль упругости пласта 5000 МПа, его коэффициент Пуассона 0,2. Коэффициент трещиностойкости пласта 0,27 МПа·м<sup>1/2</sup>.

Полудлина трещины равна 6,82 м, числе циклов нагружения 18. Траектория трещины с увеличением длины становится пологой кривой и с каждым циклом её наклон к горизонту по сравнению с зародышевой трещиной, у которой угол наклона 30°, уменьшается.

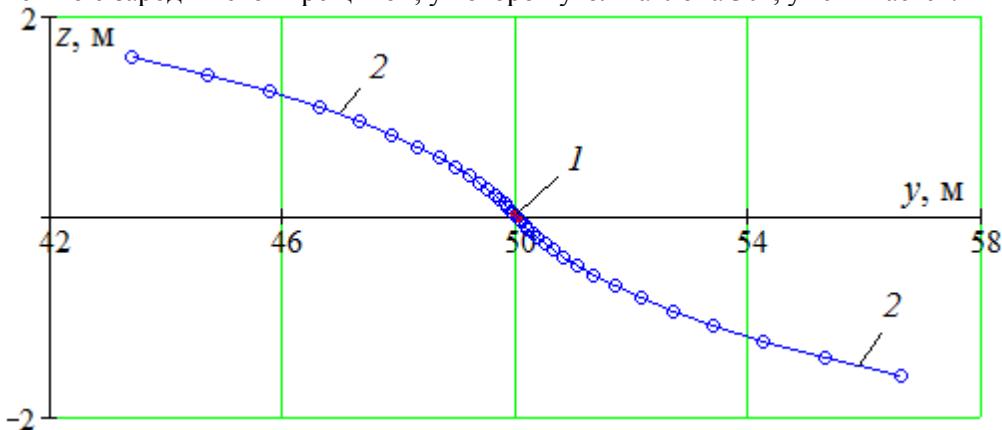


Рисунок 2 – Один из вариантов расчёта параметров трещины гидроразрыва

Черданцев, Н.В. Моделирование распространения плоской трещины гидроразрыва в угольном пласте около очистной выработки. / Н.В. Черданцев. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2024. – №3. – С. 23-33. – DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.86.21.003.

### *Обоснование связи параметров акустической эмиссии с фильтрационно-коллекторскими свойствами угля*

Экспериментально установлено влияние удаления сейсмоприемника от забоя выработки на спектр акустического излучения (шума) комбайна в течение одного цикла проходки подготовительной выработки. Регистрация шума осуществлялась шестью сейсмоприемниками (СМП) аппаратуры «Микон-ГЕО». Показано, что это влияние обусловлено в основном следующими причинами: этапом работы комбайна после остановки для крепления бортов подготовительной выработки (отбойка слоя разрушенного угля в плоскости груди забоя, отбойка угля менее нарушенного слоя); зависимостью коэффициента затухания звука от частоты, напряженного состояния массива и расстоянием между излучателем и СМП; интерференцией продольной, поперечной и каналовых волн, имеющих различную скорость распространения. Сказанное подтверждается рисунком 3, на котором показаны спектры шума от 5 СМП, установленных на расстоянии 11; 21; 31; 47,7; 57,7 и 67,7 м от груди забоя, в два последовательных 9-минутных интервала времени. По мере удаления сейсмоприемника от рабочего органа комбайна интерференция волн приводит к колебательному характеру амплитуд спектра, а зависимость коэффициента затухания звука от частоты приводит к завалу спектра в области высоких частот. Это влияет на достоверность прогноза

геодинамических явлений, основанного на спектральном анализе шума работающего оборудования. Для снижения этого влияния предложено переносить сейсмоприемник не реже чем через 10-15 м ухода забоя от момента установки сейсмоприемника.

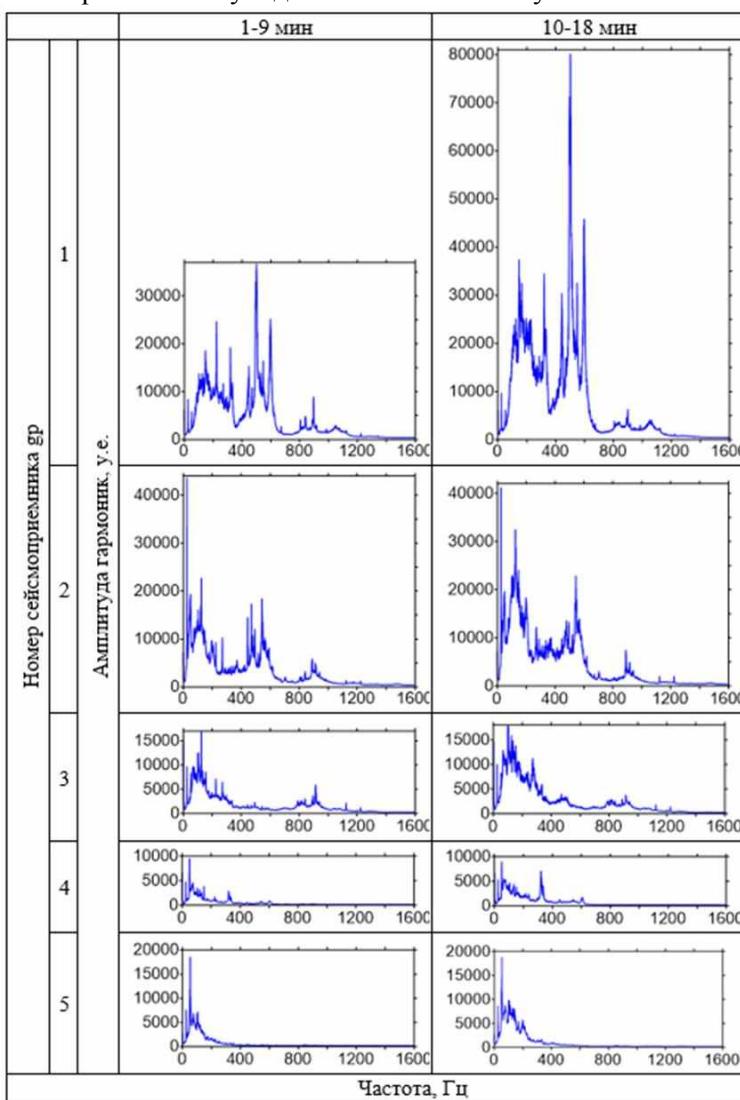


Рисунок 3 – Спектры шума от сейсмоприемников

Шадрин, А.В. Сущность методов прогноза выбросоопасности угля, основанных на спектральном анализе «шума» работающего оборудования. / А.В. Шадрин // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2024. – №1. – С. 5-17. – DOI 10.25558/VOSTNII.2024.76.26.001.

Шадрин А.В., Шнайдер И.В. Экспериментальное определение коэффициента затухания спектральных составляющих «шума» работающего проходческого комбайна. // 6-я конференция международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. - М.: ИПКОН РАН. – 2024. – С. 217–220.

***Методика проведения натурных исследований газовыделения из угольного пласта, исключающая потери газа в процессе отбора проб***

Разработана инновационная методика проведения натурных исследований газовыделения из угольного пласта с момента его разрушения, исключающая потери газа в процессе отбора проб (рисунок 4). Методика позволяет уточнять изменения напряженно-деформированного состояния призабойной части газонасыщенного пласта одиночной выработки с учетом времени с момента обнажения забоя, глубины отработки, темпов подвигания и сечения выработки.

Разработан алгоритм определения основных параметров газовыделения подготовительной выработки: объема выделившегося газа, начальной скорости и коэффициента затухания газовыделения по мере роста глубины бурения шпура.

Для рассмотренного экспериментального участка выработки установлено, что в процессе бурения шпура в изолированном от атмосферы выработке режиме снижение газового потенциала пласта в зоне неупругого деформирования составило не менее 30% от природного состояния.

Разработанные технические устройства, используемые при проведении натурных исследований, позволяют надежно герметизировать устье скважины и пробоотборник, замерять полный объем выделившегося газа и сохранять пробы угля в неокисленном состоянии.

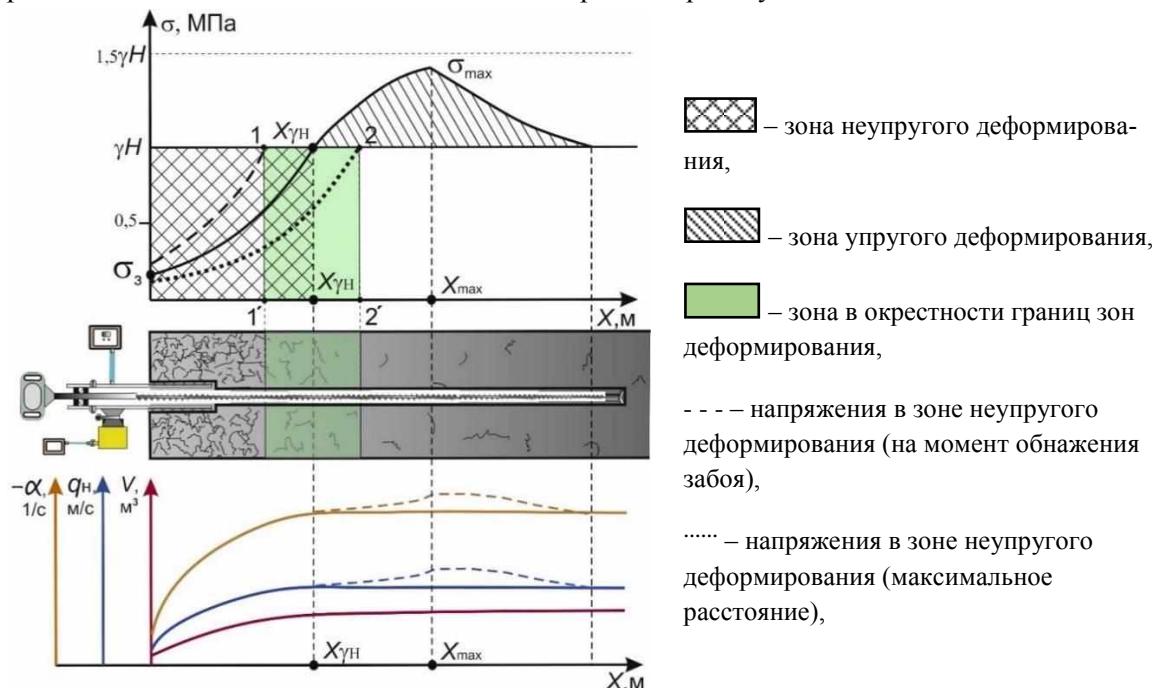


Рисунок 4 – Схема бурения шпура с учётом изменённого напряженно-деформированного состояния массива

1-1' – граница зоны неупругого деформирования (на момент обнажения забоя), 2-2' – граница зоны неупругого деформирования (максимальное расстояние),  $V$  – объем выделившегося газа,  $q_n$  – начальная скорость газовыделения,  $-\alpha$  – коэффициент затухания газовыделения

Плаксин М.С. Описание погрешности замеров газоносности угольного пласта прямым методом. Пути решения. / М.С. Плаксин, Р.И. Родин, Е.Н. Козырева. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2024. – № S1. – С. 27-33. – DOI 10.25558/VOSTNII.2024.64.86.004.

Разработка метода оценки газокинетических и энергетических характеристик природного угля. / М.С. Плаксин, Р.И. Родин, Г.В. Иванов, А.В. Шинкевич. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – № 1(161). – С. 82-91. – DOI 10.26730/1999-4125-2024-1-82-91.

#### **Актуальные направления совершенствования технологии оценки достоверности используемой промышленностью геологической информации**

Инструментарий оценки достоверности интерпретационных геологических материалов угольных месторождений должен представлять собой систему методик обеспечивающих:

1. Количественную оценку степени неоднозначности моделей, отображающих характер изменения в пространстве недр наиболее изменчивых показателей месторождения (гипсометрии, мощности пласта и породных прослоев и др.) и возможность прогнозирования ожидаемых погрешностей их изучения в межскважинном пространстве.

2. Возможностью использования методик в режиме мониторинга достоверности запасов.

3. Минимизацию размеров оцениваемых локальных фрагментов участков недр и возможность оценки в одном и том же контуре неоднозначности основных показателей месторождения с учетом требований, вытекающих из принятого способа освоения участка недр (подземный или открытый).

4. Использование геометрического подхода к оценке неоднозначности геологоразведочной информации.

Опираясь на требования российской классификации запасов и прогнозных ресурсов и опыта государственного регулирования стран – членов БРИКС обоснована эталонная плотность разведочной сети, ориентированная на использование при проектировании геологоразведочных работ и являющаяся инструментом антикриминальной защиты, необходимым в связи с государственным курсом на развитие в России юниорного бизнеса (таблица 1).

Таблица 1

**Обобщенные данные стран БРИКС об ориентировочных расстояниях между разведочными линиями в зависимости от сложности условий залегания и выдержанности мощности угольных пластов**

Группа сложности геологического строения	Группа выдержанности мощности пластов	Категория (Россия-CRISCO)		
		C <sub>1</sub> -Measured	C <sub>2</sub> -Indicated	P <sub>1</sub> -Inferred
1	Выдержаные	250-500	500-1000	1000-2000
2	Относительно выдержаные	150-250	250-500	500-1000
3	Невыдержаные	75-150	100-250	250-500

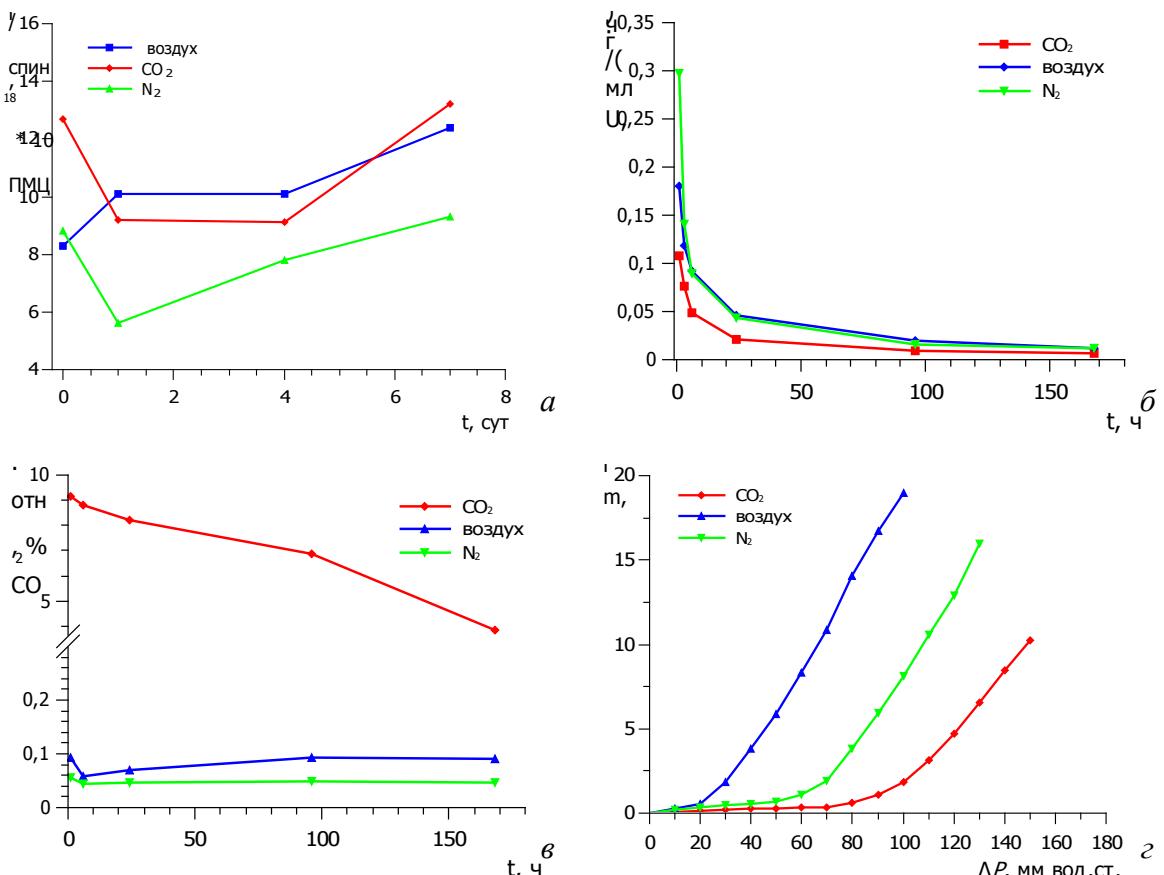
Шаклеин С.В., Рогова Т.Б., Писаренко М.В. Методические требования к инструментарию оценки достоверности разведанных запасов угля. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2024. – № 5. – С. 42-56.

***Исследование влияния газообразных ингибиторов на кинетику процессов окисления нативного угля кислородом***

Исследованы особенности изменения химического состава углей, склонных к самовозгоранию, после их взаимодействия с газовыми средами различной химической активности (азот, воздух, диоксид углерода) в начальный момент взаимодействия с воздушной средой. Данные ЭПР-спектроскопии свидетельствуют о рекомбинации свободных радикалов и перераспределении радикального состава в поверхностном слое углей, что в дальнейшем может привести к развитию радикально-цепного процесса окисления (рисунок 5, а).

Исследована сорбционная способность углей по отношению к кислороду воздуха, после их первичной обработки в среде азота, воздуха и CO<sub>2</sub>. Анализ скорости поглощения кислорода и состава газовой фазы показывает, что наибольшей сорбционной активностью к кислороду обладают образцы угля, обработанные в инертной среде. Пробоподготовка в воздушной среде приводит к первичному окислению вскрытой внешней поверхности и способствует снижению сорбционной способности на начальном этапе контроля (рисунок 5, б). Обработка углей в среде углекислого газа способствует дезактивации процесса окисления вследствие продолжительной десорбции CO<sub>2</sub> из объема угля (рисунок 5, в).

Исследовано влияние обработки углей низкой и средней стадий метаморфизма газовыми средами различной химической активности на смачиваемость их поверхности и фильтрационные свойства слоя. Показано, что угли, прошедшие пробоподготовку в воздушной среде, имеют повышенную скорость фильтрации вследствие поверхностного окисления и гидрофилизации контактирующего слоя. Фильтрационные показатели углей, обработанных в среде азота и CO<sub>2</sub>, ухудшаются, что указывает на гидрофобизацию их поверхности (рисунок 5, г).



**Рисунок 5 - Изменение количества ПМЦ (а); скорости сорбции кислорода (б); количества выделяемого  $\text{CO}_2$  (в) при низкотемпературном окислении угля СС, обработанного в среде азота, воздуха и  $\text{CO}_2$ ; результаты фильтрации воды через слой порошка угля Д после обработки в среде азота, воздуха и  $\text{CO}_2$  (г)**

Patrakov Yu.F., Semenova S.A., Yarkova A.V. Investigation of the Sorption Activity of Native Coals to Atmospheric Oxygen. // Solid Fuel Chemistry. 2024. Vol. 58. No. 3, pp. 171–176. DOI: 10.3103/S0361521924700101.

Patrakov Yu.F., Majorov A.E., Semenova S.A. Deactivation of Coal Oxidation by Mixtures Based on Portland Cement. // Coke and Chemistry, 2024, Vol. 67, No. 6, pp. 315–320. DOI: 10.3103/S1068364X24600581

#### *Универсальный алгоритм компоновки структурных схем имитационных моделей технологий разработки угольных месторождений открытым и подземным способами*

Разработан универсальный алгоритм компоновки структурных схем моделей, позволяющий путем соединения пяти типовых элементарных блоков, созданных в отечественной программной среде GPSS Studio, синтезировать имитационные модели роботизированных технологий открытых и подземных горных работ с учетом особенностей человеко-машинного управления и динамико-стохастических аспектов технологических процессов (рисунок 6).

При помощи алгоритма созданы блочно-модульные динамические модели роботизированных технологий открытых и подземных горных работ, на которых определены зависимости влияния соотношения долей дистанционного и автоматического управления, количества операторов и управляемых ими горных машин на производительность забоев, степень использования операторов и простой машин при человеко-машинном управлении (рисунок 7).

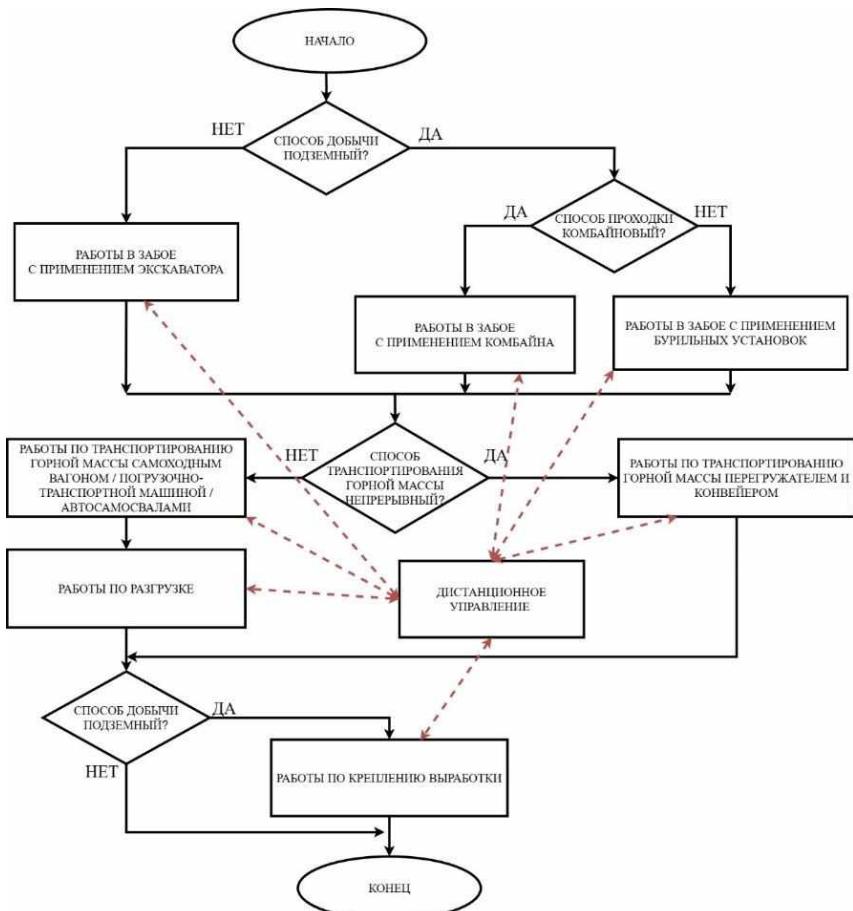


Рисунок 6 – Универсальный алгоритм компоновки структурных схем имитационных моделей технологий открытых и подземных горных работ

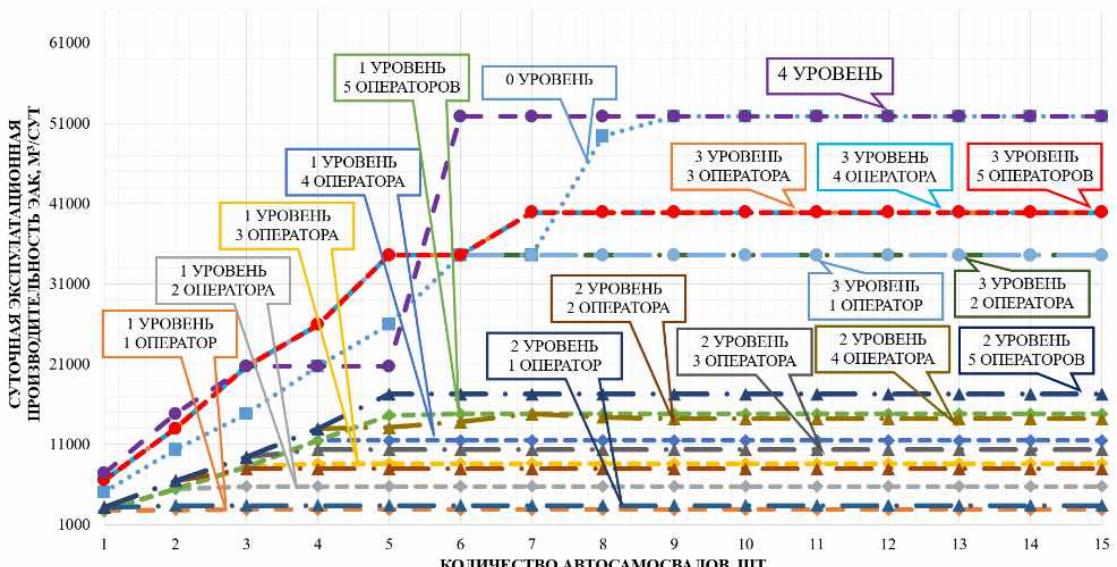


Рисунок 7 – Влияние уровня роботизации процессов, количества автосамосвалов и операторов на суточную эксплуатационную производительность экскаваторно-автомобильного комплекса

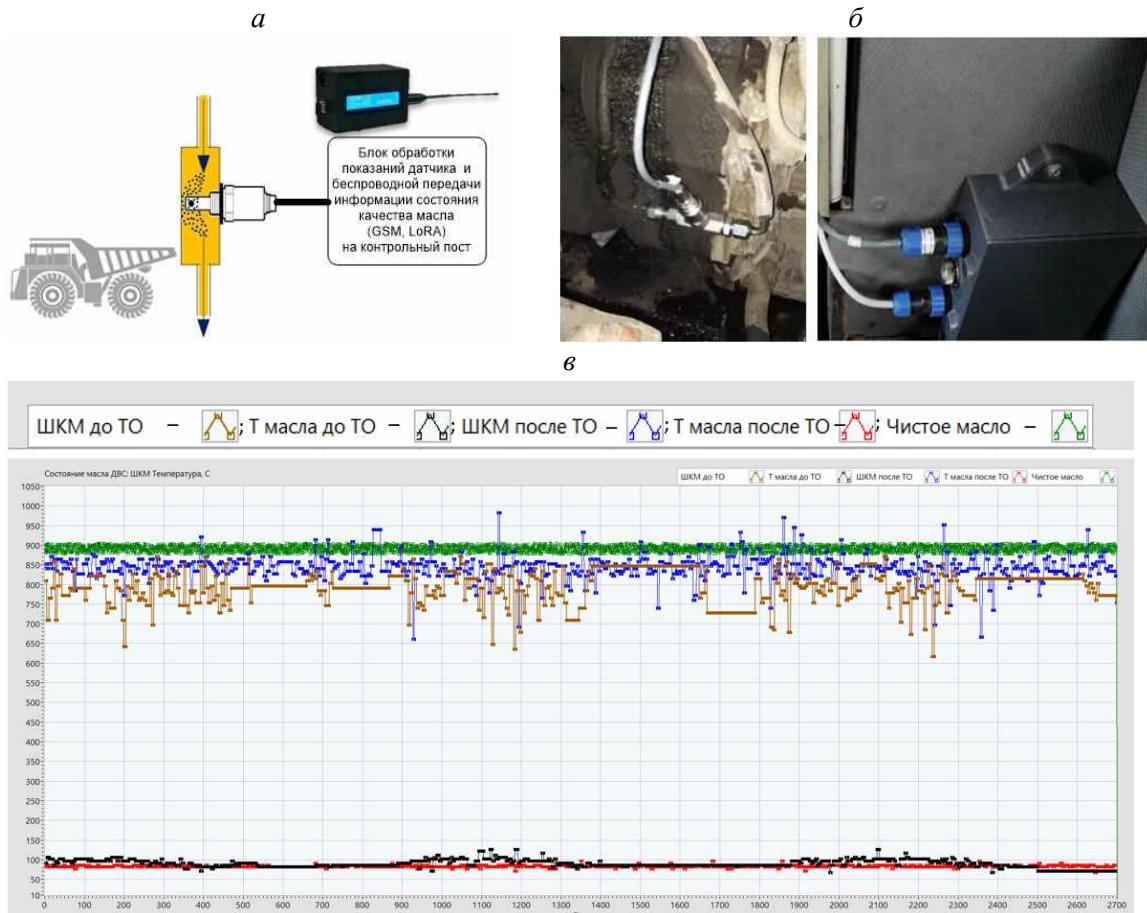
Кузнецов, И.С. Система имитационного моделирования открытых горных работ с учетом внеплановых простоев. / И.С. Кузнецов, В.В. Зиновьев, П.И. Николаев. // Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего: Материалы Международной научно-практической конференции. В 4-х томах, Москва, 17–23 ноября 2023 года. – Москва: Российская академия наук, 2024. – С. 537-541.

**Разработана методика оперативной оценки состояния моторных масел карьерного автотранспорта на основе анализа данных изменения емкости и проводимости в процессе эксплуатации**

Методика основана на сравнительном анализе данных мониторинга качества масла с его цифровым профилем. На данные мониторинга изменения емкости и проводимости, получаемые сенсором на основе дизелектрического метода, влияют эксплуатационные характеристики масла, обусловленные его загрязнением в процессе эксплуатации.

Отличительной особенностью подхода является формирование шкалы количественной оценки эксплуатационного состояния масла на основе статистических данных лабораторного спектрального анализа проб с различной наработкой (рисунок 8).

Для оперативной оценки разработано программное обеспечение системы сбора (серверная и агрегатная часть), беспроводной передачи данных на пост оператора, а также анализа состояния моторного масла карьерных самосвалов.



**Рисунок 8 – Аппаратно-программный комплекс сбора и анализа данных, где: а – структурная схема сбора и передачи данных; б – система сбора данных в агрегатное исполнении; в – программное обеспечение анализа эксплуатационных данных**

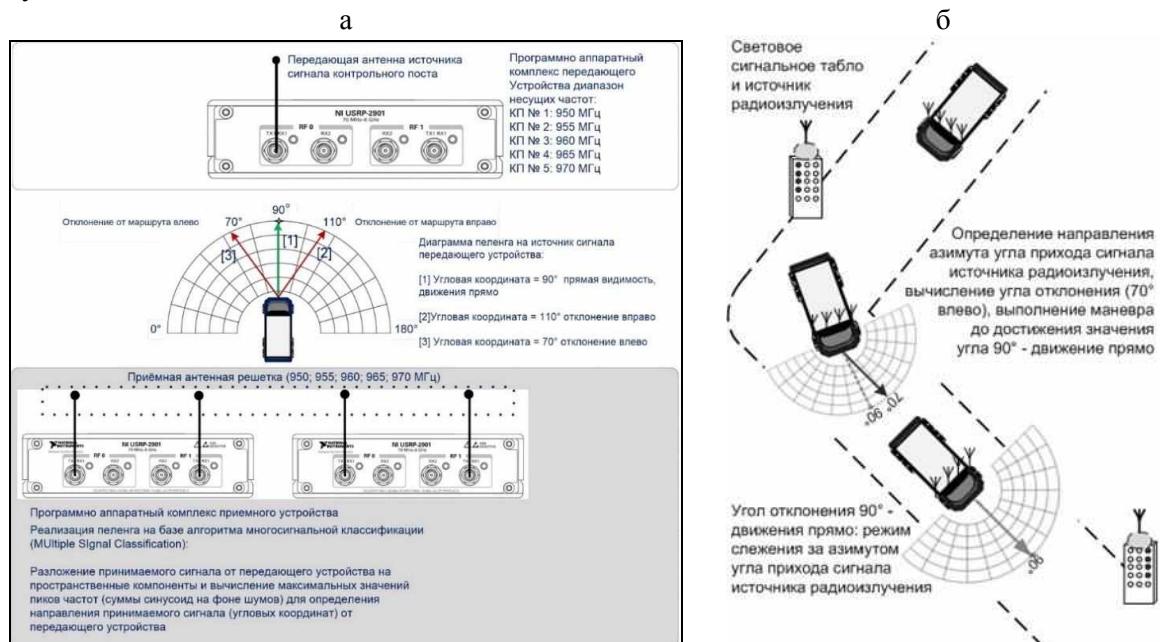
Применение методики и разработанных программно-аппаратных решений направлено на обеспечение эффективности и эксплуатационной надежности горных машин, снижение простоев, увеличение межремонтного периода и остаточного ресурса их работы за счет предотвращения преждевременных и внезапных выходов из строя двигателей экскаваторно-автомобильного комплекса, а также оптимизации временных затрат на выполнение сервисных операций.

Контроль качества моторного масла карьерных самосвалов на основе высокочастотной обработки проб / Д.Ю. Худоногов, М.В. Ефременкова, М.С. Никитенко, С.А. Кизилов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – №9. – С. 145-149.

Система контроля качества масла в режиме реального времени эксплуатации агрегатов в полевых и лабораторных условиях / Д.Ю. Худоногов, М.В. Ефременкова, М.С. Никитенко, С.А. Кизилов // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 15–16 декабря 2022 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2022. – С. 90–95.

**Способ ориентации подвижных объектов относительно стационарного источника радиосигнала на основе радиопеленгационного метода**

В основе предложенного способа лежит алгоритм позиционирования автономного транспортного средства (АТС) при движении в рамках закрытого технологического участка, который предполагает выполнение основного блока на базе системы машинного зрения (МЗ), а также блока позиционирования с применением средств радиопеленгации, в качестве дополнения к работе алгоритмов позиционирования АТС в условия потери управляющей системой на основе машинного зрения пространственной привязки к маршруту. В этом случае радиопеленгация позволяет определить направление на источник радиоизлучения, который устанавливается непосредственно на световом информационном табло, а приемное устройство на борту АТС, обеспечивает корректировку его движения, как показано на рисунке 9.



**Рисунок 9 – Аппаратно-программный комплекс позиционирования АТС на основе радиопеленгации (а) и схема выполнения маневра АТС на основе радиопеленгации (б)**

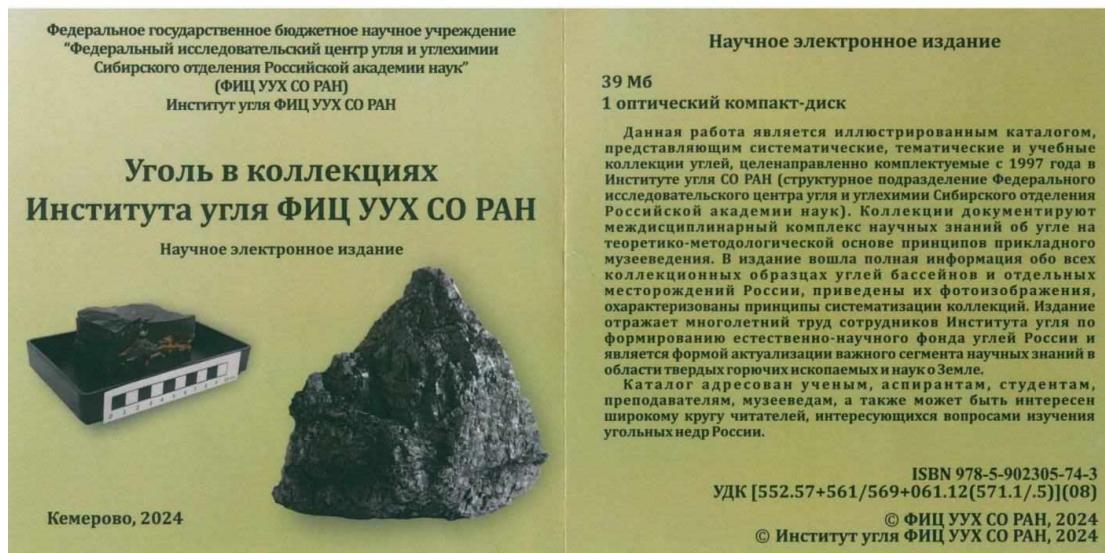
В совокупности с алгоритмами машинного зрения радиопеленгация обеспечивает дополнительный функциональный сервис в маневренности АТС, в частности в условиях ограничения работы методов машинного зрения или потери зоны визуального контакта со световым маркером сигнального табло, а также способствует в решении задачи удержания на траектории с минимальной корректировкой курса при помощи рулевого управления, тем самым позволяет более качественно выполнять движение автономным транспортным средством. Предложенный способ позиционирования автономного транспортного средства в условиях потери пространственной привязки к маршруту показал работоспособность предлагаемых решений, дальнейшая реализация и исследования которых позволят улучшить движение по заданной траектории на закрытых технологических участках.

Худоногов, Д.Ю. Применение методов пеленгации в задачах ориентации автономных транспортных средств на закрытом технологическом участке. / Д.Ю. Худоногов, М.С. Никитенко, С.А. Кизилов. // Современные научноемкие технологии. – 2023. – №12-2. – С. 239-245. – DOI 10.17513/snt.39888.

Никитенко, М.С. Способ позиционирования автономного транспортного средства на основе машинного зрения и радиопеленгации. / М.С. Никитенко, Д.Ю. Худоногов, Я.В. Попинако. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – №12-2. – С. 84-86. – DOI 10.37882/2223-2966.2023.12-2.20.

**Научно-справочный каталог  
«Уголь в коллекциях Института угля ФИЦ УУХ СО РАН»**

Подготовлен и издан научно-справочный каталог «Уголь в коллекциях Института угля ФИЦ УУХ СО РАН», актуализирующий потенциал действующих угольных коллекций в контексте документирования процессов углеобразования, генетических типов, разнообразия технологических марок, видов метаморфизма, литотипов, мацералов углей и других вопросов угольной науки. Коллекционный фонд Института угля ФИЦ УУХ СО РАН комплектуется с целью документирования комплекса научных знаний об угле и актуализации профильных знаний средствами музееведения. В качестве основных экспозиционных материалов в соответствии с разработанной концепцией используются образцы угля, систематизированные по многочисленным признакам генезиса и другим параметрам. Это позволило сформировать не имеющие аналогов коллекции с обширным тематическим охватом.



Кравцова, Л.А. Уголь в коллекциях Института угля ФИЦ УУХ СО РАН: Тематический иллюстрированный каталог. Научное электронное издание. / Л.А. Кравцова, О.Б. Шрайбман. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, 2024. – 188 с. – ISBN 978-5-902305-74-3. – EDN AUXTWY.

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

**Геомеханика**

• Проведены экспериментальные исследования влияния условий водонасыщения на прочность при сжатии образцов доломита и известняка, представляющих вмещающие породы на месторождениях алмазов трубки «Ботуобинская» и трубки «Дальняя» (рисунок 1). Установлено существенное влияние времени выдержки в водонасыщенном состоянии на прочность материала. Отмечено, что изменение прочности может носить различный, в том числе немонотонный характер. Показано, что такое поведение материала может быть связано с неравномерным распределением влаги и образованием «сухого» ядра в образце. После окончания насыщения значительная часть пор остаётся незаполненными или заполненными

водой частично, и большая часть воды сосредоточена во внешних слоях, что приводит к неравномерному изменению прочностных и деформационных свойств в объеме образца, и, как следствие, к неравномерному распределению напряжений во время испытания, а это оказывает влияние на величину предельной разрушающей нагрузки.

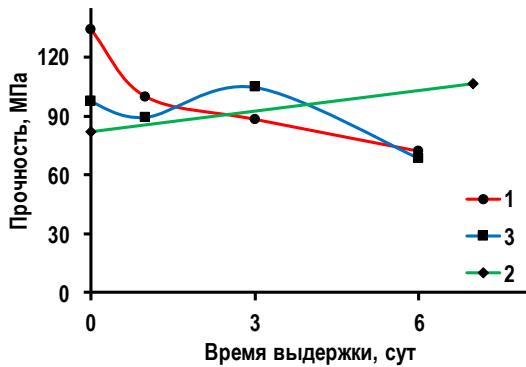


Рисунок 1 - Зависимости прочности доломита при сжатии от времени выдержки для трёх серий испытаний

- В результате экспериментальных исследований установлены закономерности изменения удельной энергоемкости разрушения доломита трубы «Интернациональная» и известняка карьера «Мохсоголлох» насыщенных растворами ПАВ (Лауретсульфат натрия (SLES) и Неонол АФ 9-12 в концентрациях 0,1 и 1%) под воздействием температур. Так, в диапазоне положительных температур (+5...+20°C) энергоемкость разрушения исследуемых образцов снижается: доломита на 23-34% (в среднем 28%), известняка на 5-10% (в среднем 8%), по сравнению с контрольными образцами (воздушно-сухие, без обработки ПАВ), а в зоне отрицательных температур (-5...-30°C), по сравнению с воздушно-сухими образцами, энергоемкость разрушения насыщенных ПАВ образцов увеличивается: у доломитов на 50-100%, а известняков до 10% в зависимости от температурного значения. В ходе экспериментальных работ было установлено, что показатели и характер разрушения водонасыщенных образцов исследуемых пород, полностью соответствуют параметрам разрушения образцов насыщенных ПАВ.

### Горная теплофизика

- На основе результатов математического моделирования процесса тепломассообмена в массиве горных пород вокруг алмазных трубок с учётом фильтрации вод водоносных горизонтов и наличия замораживающих устройств разработаны способ и рекомендации создания предохранительного льдопородного водоупорного кольца вокруг алмазных трубок с целью предотвращения поступления рассолов водоносного комплекса в подземное выработанное пространство, позволяющие обеспечить их безопасную отработку на весь период эксплуатации в зоне наличия водонапорных горизонтов (рисунок 2).

Рисунок 2 - Способ опережающего

воздевения подземных ледопородных

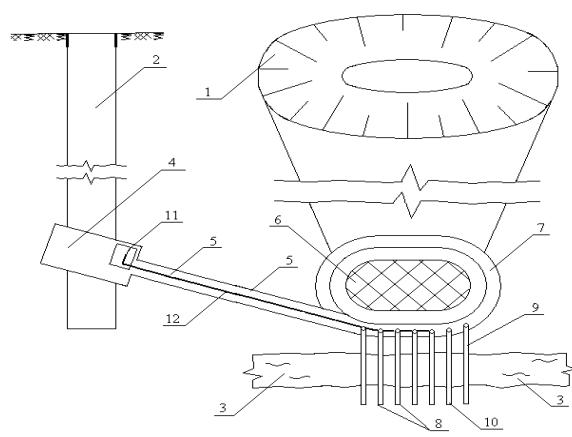
барьеров для защиты кимберлитовых

рудников криолитозоны от высоконапорных

водопритоков

(1 – отработанный законсервированный кимберлитовый карьер; 2 – вертикальный ствол строящегося рудника; 3 – верхняя граница подземного водоносного горизонта;

4 – рудничный двор; 5 – квершилаг; 6 – рудное тело (отрабатываемая алмазосодержащая трубка); 7 – кольцеобразная горизонтальная выработка; 8 – нисходящие вертикальные скважины; 9 – термометрические скважины; 10 – контролирующие скважины; 11 – морозильная станция; 12 – нитки магистральных трубопроводов (прямая и обратная)



Способ включает выполнение следующих операций: проходку вертикального ствола и выработок околоствольного двора; кольцеобразной горной выработки по периметру отрабатываемого рудного тела; бурения нисходящих вертикальных скважин и размещение в них замораживающих колонок; монтаж подземной замораживающей станции и трубопроводов для подачи хладоносителя; проходку и оборудование термометрических и наблюдательных скважин для контроля процесса наморозки льдопородного барьера. Реализация разработанного способа позволит обеспечить безопасную подземную отработку кимберлитовых месторождений, в том числе при проведении капитальных горных выработок и ведении очистных работ в блоках.

- Разработана двухмерная математическая модель теплообмена и влагопереноса в прибортовом и подкарьерном массивах горных пород карьера криолитозоны, которая учитывает тепло- и массообменные свойства пород, динамику изменения температуры и влажности атмосферного воздуха, осадки в виде снега и дождя, скорости ветра, геометрические размеры карьера, уклон откоса склона. Основанная на математической модели компьютерная программа для ЭВМ позволяет сделать многолетний прогноз и провести исследование особенностей формирования температурного и влажностного режимов прибортового и подкарьерного массивов горных пород карьера криолитозоны, в том числе глубоких кимберлитовых. Программа написана в среде программирования Visual C++10 и работает в диалоговом режиме для операционных систем Microsoft Windows.

### Горнопромышленная геофизика

- Для мониторинга геокриологической обстановки массива многолетнемерзлых горных пород разработан алгоритм обработки и интерпретации данных измерений комплексом геофизических методов (георадиолокация, методы сопротивлений), основанный на определении границ и типа геокриологического объекта (сезонно-талый слой, наледь, талые (влажные) породы, сильнольдистые породы, пластовый лёд) по установленным признакам (вид границы, статистическое распределение амплитуд георадиолокационных сигналов, диапазон электросопротивления), и на анализе изменения его параметров (геометрических размеров и удельного электрического сопротивления) по данным периодических измерений (рисунок 3).

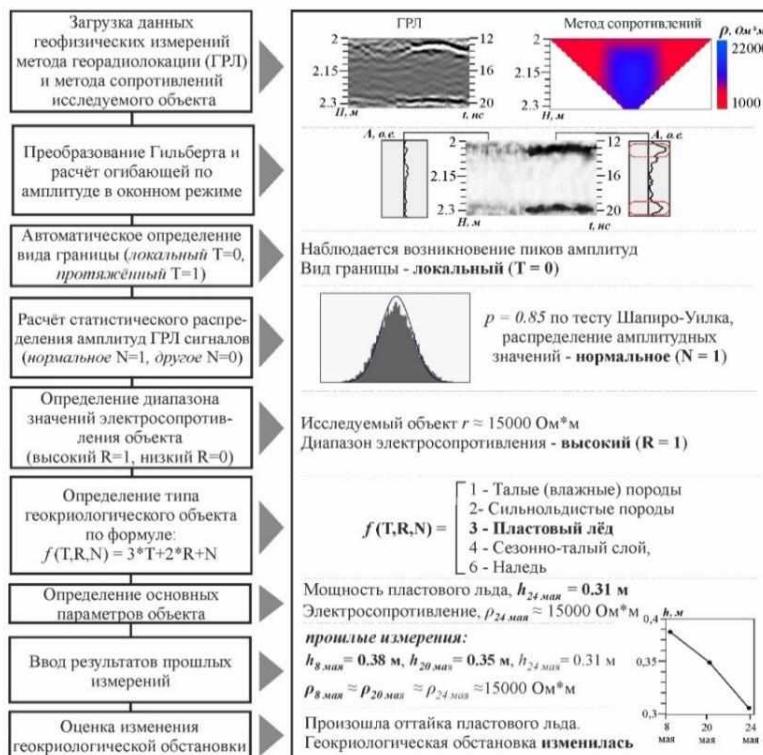


Рисунок 3 – Разработанный алгоритм и пример его апробации

## Экономика освоения георесурсов

- Исследованы механизмы влияния геологических параметров (морфологии и структуры залежи, площади балансовых запасов, мощности продуктивных пластов, среднего содержания) на эффективность освоения россыпных месторождений. Показано, что с учетом кластерной организации продуктивной толщи золотосодержащих песков ошибка геометризации для некоторых участков работ может превышать 100%. Проведено моделирование и последующий анализ участка россыпного месторождения золота по различным вариантам бортового содержания в пробе для оконтуривания россыпи по мощности и в краевой выработке для оконтуривания в плане и выявлены особенности, которые должны учитываться при планировании горных работ, выборе способов валовой или селективной отработки отдельных участков, альтернативных технологий обогащения.

Расчет ошибки эффекта от освоения россыпного месторождения или его участка представим в виде:

$$\frac{\sigma_E}{\mathcal{E}} \approx \left( \frac{\sigma_S}{S} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_m}{m} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_y}{y} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{G_a}}{G_a} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_J}{J} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_L}{L} \cdot \frac{L}{1-L} \right)^2 + \\ + \left( \frac{\sigma_D}{D} \cdot \frac{D}{1-D} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_P}{P} \cdot \frac{1}{1-K} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_C}{C} \cdot \frac{K}{1-K} \right)^2,$$

где  $S$ ,  $m$  – площадь и мощность заданного блока соответственно;  $G_a$  – среднее содержание полезного компонента;  $J$  – коэффициент извлечения;  $L$  – потери;  $D$  – разубоживание;  $P$ ,  $C$  – цена и затраты на единицу конечного продукта соответственно;  $\sigma_x$  – средняя квадратическая ошибка аргумента ( $S$ ,  $m$ ,  $y$ ,  $G_a$ ,  $J$ ,  $L$ ,  $D$ ,  $P$ ,  $C$ ); коэффициенты:  $f(L)=L/(1-L)$ ;  $f(D)=D/(1-D)$ ;  $f_p(K)=1/(1-K)$ ;  $f_C(K)=K/(1-K)$ ;  $K=C/P$ .

Сравнение данных, полученных при разведке и разработке золотосодержащих россыпных месторождений, показывает, что погрешности подсчета запасов колеблются от -7 до +32%, а погрешности подсчета ширины россыпи – от -50 до +10%. Анализ данных разведки и эксплуатации россыпных месторождений в бассейне р. Колымы и в верховьях р. Индигирки показал, что одной из основных причин ошибочной оценки эффекта от освоения россыпных месторождений является неточность определения морфологии и структуры россыпи, при этом погрешности зависят в первую очередь от ширины россыпей и содержания золота. При существующих технике и технологиях добычи и переработки песков некачественная горногеологическая подготовка месторождений и их участков снижает эффект от освоения на 20–60%.

Резервы, связанные с высококачественным геологическим обеспечением участков россыпных месторождений, должны учитываться в числе основных для совершенствования организационно-технических подходов к разработке имеющих кластерное строение россыпей.

## Физико-техническая геотехнология

- Экспериментальными исследованиями влияния температуры очистного пространства на показатели потерь от смерзания при донном выпуске руды под налегающими обрушенными породами в условиях подземной разработки рудных месторождений криолитозоны установлено, что при выпуске рудной массы влажностью 1% и понижении температуры очистного пространства с -1°C до -5°C потери от ее смерзания возрастают более чем в 4 раза, при -7°C, происходит прекращение выпуска, вследствие зависания отбитой руды в очистном блоке. При выпуске руды без увлажнения с понижением температуры, показатели потерь изменяются незначительно (рисунок 4).



Рисунок 4 – Динамика изменения потерь отбитой руды при ее выпуске из блока на физической модели при различной отрицательной температуре и влажности

Результаты исследования позволяют объяснить механизм образования потерь отбитой руды от смерзания при выпуске, определить температурные границы их возникновения, а также предельные значения температуры очистного пространства, при которых выпуск руды из блока становится невозможным. Данные положения будут использованы при разработке рекомендаций по обеспечению безопасного и эффективного выпуска руды при подземной разработке рудных месторождений криолитозоны.

- На примере Кангаласского месторождения проведена апробация в натурных условиях методики определения толщины снимаемого слоя при экскавации взорванного массива многолетнемерзлых горных пород драглайном в условиях изменения температурного режима забоя экскаватора. Установлено, что для экскаватора ЭШ-10/70 с увеличением температуры породы в забое от -2 до +8°C средняя толщина снимаемого слоя увеличивается от 0,2 до 1,2 метра за смену, в зависимости от температуры породы в забое. При отработке смерзшейся взорванной горной массы толщина снимаемого слоя падает до минимальных значений ввиду невозможности ее экскавации, вплоть до полной остановки драглайна. Полученные данные позволяют прогнозировать производительность драглайна при отработке взорванного массива многолетнемерзлых вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию, месторождений криолитозоны.

- Обоснованы условия рационального применения водно-тепловой мелиорации на разработке россыпных месторождений Якутии при нестационарном термомеханическом состоянии массива дисперсных пород. Расчетным путем определена требуемая толщина теплоизолятора (искусственный снег) при задаваемой глубине промерзания пород (на примере месторождений Алданского района). С целью искусственного повышения температуры проточной воды предложена принципиальная схема установки для ее нагрева сфокусированной энергией солнца, на основе применения линз Френеля. Проведен сравнительный расчет, определяющий количество тепла, необходимое для оттайки мерзлых пород в зависимости от их мощности, а также расчет параметров нагревательной установки для оттайки участка мерзлых пород. Развитие традиционной технологии водно-тепловой мелиорации на основе комбинированного использования солнечного излучения для оттайки мерзлых пород, с внедрением новых конструкционных решений, направленных на минимизацию теплопотерь и материалоемкости процесса, за счет концентрации солнечного излучения линзами Френеля, позволит существенно повысить эффективность подготовки мерзлых пород к выемке за счет сокращения эксплуатационных затрат и уменьшения экологического воздействия на окружающую среду.

## Обогащение полезных ископаемых

- Экспериментальными исследованиями на лабораторной модели крутонаклонного концентратора влияния конфигурации его донной части (форма днища) на уровень извлечения магнетита установлено, что применение дугообразной восходящей формы днища по ходу движения потока позволяет исключить негативное влияние образующихся застойных зон на процесс разделения в рабочей камере и повысить уровень извлечения. Показано, что при разделении частиц магнетита (имитатор тяжелых частиц плотностью 5,2 г/см<sup>3</sup>) от речного песка (удельный вес 2,3-2,5 г/см<sup>3</sup>) при рациональных значениях скорости потока гидросмеси (объемный расход в пределах 0,30-0,5 л/с) и угле наклона концентратора 70 градусов получены уровни извлечения магнетита для класса крупности -0,315+0,2 мм – до 93,5%, для класса -0,2+0,0 мм – до 59,77%, что соответствует полноценному извлечению вольфрама в крупных классах (имитатор золота, плотностью 19,3 г/см<sup>3</sup>), а для класса -0,1+0,0 мм – до 97%.

Главным конструктивным отличительным признаком нового варианта крутонаклонного концентратора является изменение донной части концентратора, которая представляет собой сменную, дугообразной формы, вставку ленточного типа с вертикальными равноотстоящими друг от друга поперечно устанавливаемыми тонкими перегородками небольшой высоты, за которыми имеются отверстия, для разгрузки тяжелых минералов (рисунок 5).

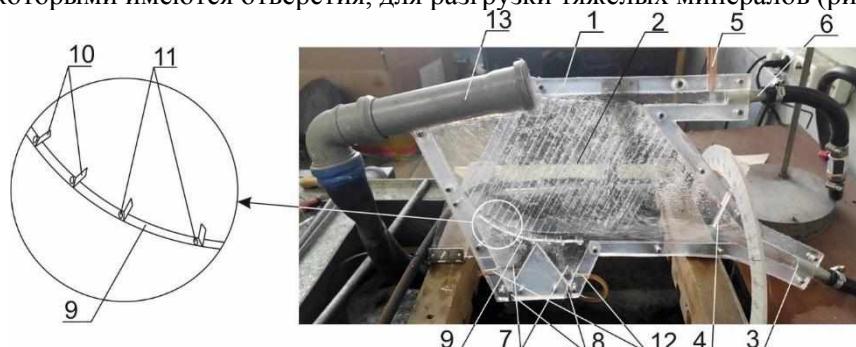


Рисунок 5 – Модернизированный концентратор

1 – корпус, 2 – пакет пластин с рифлями, 3 – патрубок для нагнетания воды, 4 – клапан для регулировки потока воды, 5 - бункер для подачи исходного материала 6 – патрубок для подачи транспортной воды, 7 – камеры накопители концентратов, 8 – патрубки для разгрузки концентратов, 9 – сменная, дугообразной формы, вставка ленточного типа, 10 – перегородки, 11 – отверстия для разгрузки тяжелых минералов, 12 – патрубки для дополнительной подачи воды в камеры, 13 –слив хвостов

- Разработана конструкция и установлены оптимальные параметры принципиально нового конусообразного центробежного пневмосепаратора (разработка ИГДС СО РАН). Экспериментальными исследованиями на его лабораторной модели показано, что наилучшие показатели извлечения тяжелых фракций минерального сырья (для класса крупности - 0,63+0,315 мм - от 87 до 91%, для -0,315+0,2 мм - от 55 до 74%, для -0,2+0,0 мм - от 43 до 78%) достигаются при высоте рабочей камеры сепаратора -300 мм, угле конусообразного корпуса 80°, высоте устанавливаемых вдоль образующей внутренней стенки корпуса поперечных пластин - 5 мм и диапазоне скоростей аэродинамического потока от 10 до 20 м/с.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований разделения зернистых фракций разной крупности и плотности в аэродинамическом потоке являются основой для конструирования полупромышленных и промышленных обогатительных центробежных пневмосепараторов по обогащению минералов различной плотности, крупностью менее 0,63 мм. Применение центробежных и газодинамических сил в основном процессе обогащения позволит уменьшить массогабариты пневмосепараторов.

## Физико-химическая геотехнология

- Разработан способ безотходной комплексной переработки бурого угля, заключающийся в экстракции гуминовых веществ после его термовыщелачивания при температуре 160°C в течение 1 часа на первом этапе и последующей переработкой остаточного угля

в сорбенты высокотемпературной (800°C) щелочной активацией в течение 1 часа на втором этапе. Разработанный способ позволяет варировать выход получаемых продуктов в зависимости от используемого сырья и параметров процесса: количество щелочного реагента и стадийности экстрагирования. Экспериментальными исследованиями буровых углей Кангаласского и Харанорского месторождений доказана возможность их комплексной переработки в продукты нетопливного назначения для нужд сельского хозяйства и экологии (гуминовые вещества и сорбенты).

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

В период с 10 по 13 сентября 2024 года, в Якутске состоялась III Всероссийская конференция «Физико-технические проблемы добычи, транспорта и переработки органического сырья в условиях холодного климата» посвященная 25-летию Института проблем нефти и газа СО РАН, ИГДС СО РАН являлся соорганизатором подготовки и проведения конференции.

Сотрудники Института приняли участие в выставке разработок и в работе II Арктического конгресса «Арктика – территория стратегических научных исследований», в рамках мероприятий Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации, празднования 300-летия Российской академии наук и 75-летия Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (с 20 по 22 сентября в г. Якутске).

### **Публикации Института:**

Всего публикаций – 67, в том числе: 4 в WoS и 14 в Scopus, 22 статьи в журналах ВАК, 4 - в РИНЦ, 1- прочие публикации, 14 статей и докладов в материалах конференций, 3 патента РФ, свидетельство на базу данных и 4 программы для ЭВМ.

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

Работы выполнены в рамках проекта «Изучение геосистем горнопромышленных территорий с благороднометалльным оруденением золото-кварцево-сульфидной формации Забайкалья с целью прогноза гипогенного и гипергенного-техногенного минерального сырья и оценки их влияния на окружающую среду с использованием экспедиционных исследований».

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

Изучение вещества хвостохранилищ, как источников недоизвлеченных полезных компонентов с целью разработки технологий их извлечения является актуальной задачей, требующей проведения всесторонних минералого-геохимических исследований, на основе которых возможна разработка эффективных технологий их переработки. Это чрезвычайно важно для Забайкалья, являющегося одним из рудных регионов страны, где наряду с Уралом и Рудным Алтаем добыча ценнейших полезных ископаемых продолжается более 320 лет. Объемы образованных за эти годы отходов горного производства только в Восточном Забайкалье исчисляются сотни миллионов т, занимая большие площади сельскохозяйственных земель.

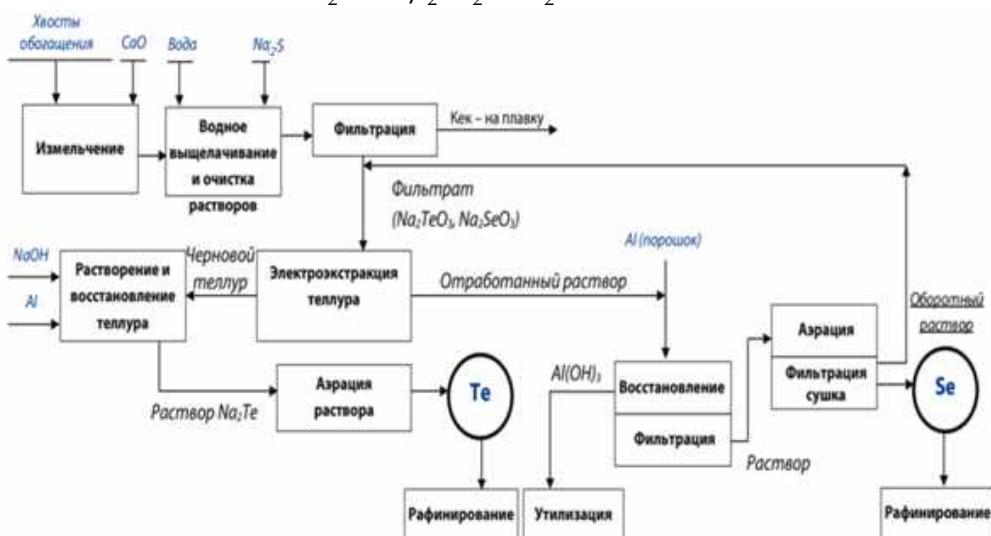
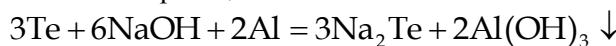
**1. Результаты изучения содержаний теллура и селена и разработка основ гидрометаллургической технологии их извлечения как попутных компонентов золота при переработке руд оставшихся запасов Балейского рудного поля и лежальных хвостов обогатительной фабрики ЗИФ-1 комбината Балейзолото (д.г.-м.н Г.А. Юргенсон, к.г.-м.н О.В. Еремин, к.г.-м.н. Е.С. Эпова, д.т.н. Л.В. Шумилина)**

Разработана основа гидрометаллургической технологии извлечения теллура и селена из хвостов обогащения золотосеребряных руд Балейского рудного поля. Исследования вещественного состава золотосеребряных руд Балейского рудного поля позволили впервые сделать анализ содержания теллура и селена в первичной и окисленной рудах Балейского рудного поля, а также в лежальных хвостах фабрики ЗИФ-1 бывшего комбината Балейзолото. Пределы содержаний (г/т): в рудах Тe от 0,05–421 и Se 0,3–7,23; в хвостах обогащения и 1,17–1,34, Se 0,08–3,1 и Тe 0,07–1,4. Важнейшими носителями Тe являются теллуриды Au и Ag, особенно, гессит ( $Ag_2Te$ ), содержащий 31,63–42,00% Тe, и другие теллуриды,

содержащие (мас. %): 11,4 до 58,02 Те. До 0,9% Те обнаружено в пирите. Теллуриды ассоциируют с Au самородным, сульфосолями и сульфидами, содержащими Ag. Se входит в состав пирита и блеклых руд.

В отвальных хвостах в восстановительных условиях в системе Cu-Ag-Au-Te-S образуются халькозин, ковеллин, теллуриды, антимониды, самородные Au, Ag, электрум, их твердые растворы, а при избытке кислорода в системе Au и Ag находятся в растворах в формах  $\text{Au}(\text{OH})_5^{2-}$ ,  $\text{Ag}(\text{OH})_2^+$ , Te – в форме теллуритов и теллуратов, Se – селенитов и селенатов.

Технологическая схема (рисунок 1) состоит из двух циклов: первый цикл – извлечение теллура из хвостов обогащения золотосеребряных руд, второй цикл – извлечение селена из отработанных растворов электроэкстракции теллура. Химизм процесса растворения и восстановления теллура описывается реакциями:



**Рисунок 1 – Базисная гидрометаллургическая технология получения теллура и селена из хвостов обогащения золотосеребряных руд Балейского рудного поля**

Получаемые теллур и селен могут содержать от 2,0 до 7,0% примесей, поэтому должны подвергаться очистке. По ГОСТ 17614–80 в странах СНГ выпускают теллур трех марок: ТО (99,93%), Т1 (99,3%), Т2 (96,5%), а селен – по ГОСТ 10298–79 двух марок СТ-0 (99,8%), СТ1 (99,0%). Разработанная базисная гидрометаллургическая технология получения теллура и селена из хвостов обогащения золотосеребряных руд рекомендуется для дальнейших лабораторных исследований в процессе доработки Балейского рудного поля.

## 2. Индий и скандий в рудах и отвальных хвостах Шерловогорского месторождения и базовая технология их извлечения

Выполнены работы по выявлению минеральных форм, запасов и технологии извлечения индия и скандия из оставшихся запасов, складов некондиционных руд и хвостохранилища Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения. Установлено, что индий концентрируется в кассiterите и сфалерите. В концентрате деревянистого олова Шерловой Горы содержание индия достигает 0,23%, в обычных касситеритах – до 0,06%, а в сфалеритах – 0,005–0,08%, среднее содержание в рудах в результате разведки месторождения было принято равным 1,52 г/т. В хвостохранилище они равны 3,8 г/т. Суммарные запасы индия составляют 237,438 т.

Промышленные концентрации скандия установлены в рудах Шерловогорского рудного поля еще в процессе его разведки. ГКЗ СССР по категории С<sub>2</sub> были утверждены запасы его в количестве 15 т при среднем содержании в руде 0,2 г/т. В дальнейшем в ходе отработки месторождения и эксплорации пересчитывались только запасы олова. Содержание скандия в вольфрамитах составляет 0,026%, в касситеритах – 0,01%, но основные его содержания находятся в эксплозивных брекчиях, в определенной мере являющихся рудами

олова: в них содержание его составляет до 150–650 г/т, в среднем 48–72 г/т по разным выборкам и минимальные в кварцевых порфирах – до 3–31 г/т, в среднем 7 г/т. А это, более, чем на порядок, выше 0,2 г/т, принятом ГКЗ. Содержание скандия в концентратах Шерловской Горы составляло 0,01%. По нашим данным, только в хвостах обогащения оловянных руд находится до 118 г/т скандия. Запасы скандия только в хвостохранилище составляют 2078,84 т, общие запасы скандия, включая неотработанную часть месторождения, забалансовые руды и отвалы бедных оловянных руд, составляют 2153,29 т. Даже без учета попутного извлечения всех остальных элементов, включая серебро, но учитывая то, что Шерловогорская ландшафтно-геохимическая горнорудная геосистема относится к наиболее опасному кадмий-олово-сурьмяно-висмут-мышьяково-свинцово-цинковому геохимическому типу, переработка рассматриваемых отходов горного производства вполне целесообразна.

Исходя из этого, разработаны основы следующих базовых комбинированных технологий извлечения редких и цветных металлов из олово-полиметаллического минерального сырья: 1) скважинное подземное выщелачивание техногенных отходов хвостохранилища обогатительной фабрики Шерловогорского ГОКа с извлечением ионов металлов из продуктивных растворов сорбцией и экстракцией; 2) пирометаллургическая, включающая предварительное дробление и измельчение техногенного сырья (бедные руды, горные породы вскрыши, отвалы бедных руд, отвалы бедных олово-цинковых руд, отвалы свинцово-цинковых руд), фильтрацию пульпы, перемешивание кеков с лежальными хвостами Шерловогорского ГОКа и их грануляция, двухступенчатый обжиг, поэтапная дистилляция и рафинирование черновых металлов (рисунок 2);

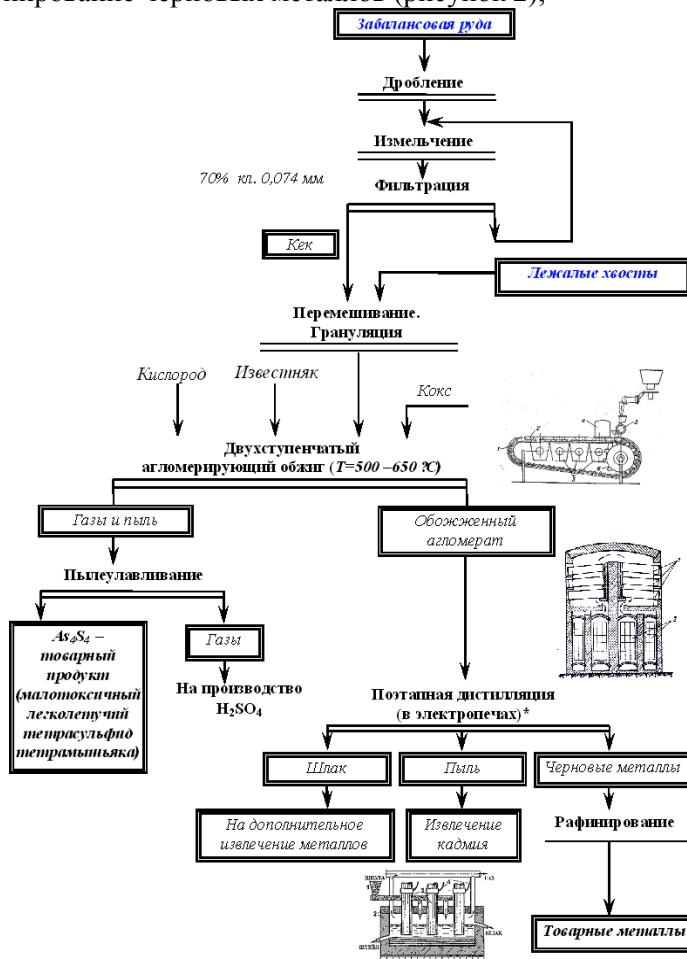
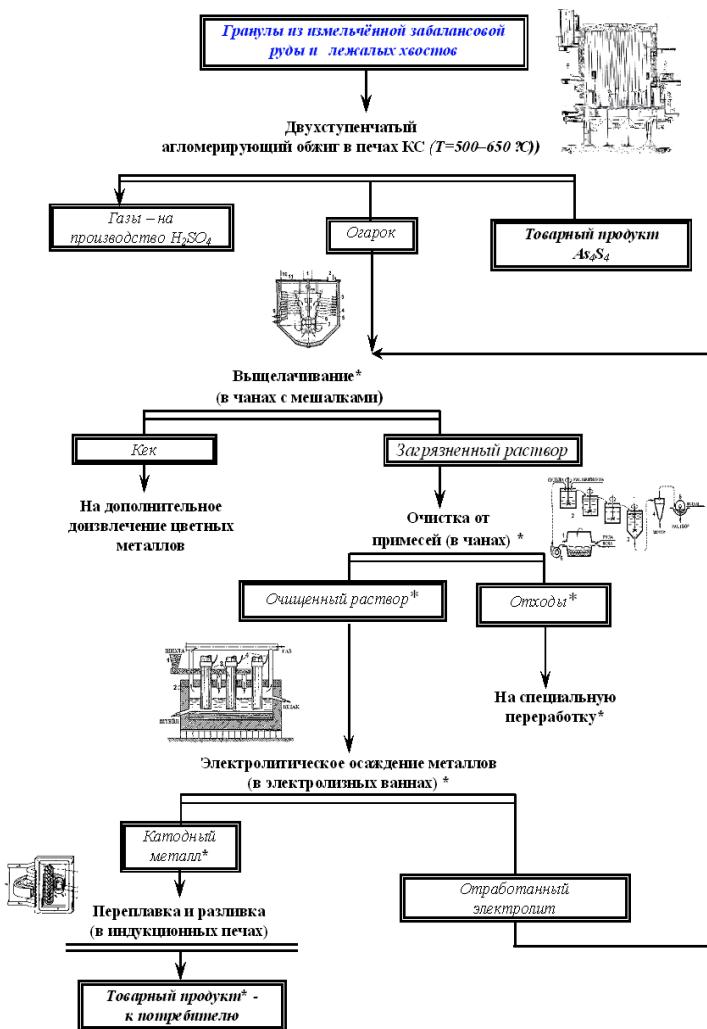


Рисунок 2 – Пирометаллургическая технология извлечения редких и цветных металлов из отходов предприятий горного кластера

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

3) пиро-гидрометаллургическая в периодическом режиме выщелачивания гранул из измельчённой забалансовой руды и лежальных хвостов (рисунок 3).



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

Кроме того, может быть использована и флотационно-гидрометаллургическая технология, состоящая из двух этапов: I этап – флотационный (флотация лежальных хвостов и измельчённой руды) с циклами химического вскрытия коллективного концентрата, II этап – гидрометаллургический с применением поэтапных локальных циклов (выщелачивание, сорбция, десорбция, экстракция). Можно использовать и хлоридовозгонку с применением в качестве хлоринаторов хлора (хлорида водорода, хлорида кальция), предназначенная для переработки сырья неотработанных запасов.

#### Публикации по теме:

1. Epova E.S., Yurgenson G.A., Eremin O.V. Experimental Modelling of Hypogene Processes for Baley Ore Field as an Example. // Chemistry for Sustainable Development. – Vol. 32. – 2024. – P. 338-347. DOI:10.15372/CSD2024566. EDN: RTTIGE.
2. Юргенсон Г.А., Шумилова Л.В. Теллур и селен в золотосеребряной руде Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). // Металлург. – 2024. №9. – С. 30-36. DOI: 10.5235/00260827\_2024\_9.
3. Yurgenson G.A., Shumilova L.V. Tellurium and selenium in the gold-silver ore of the Baley ore field (Eastern Transbaikalia) and development of their associated extraction method // Translated from Metallurg. – 2024. – №9. – P. 112–118. DOI: 10.52351/00260827\_2024\_9\_112.
4. Шумилова Л.В., Юрженсон Г.А. К технологии извлечения индия и скандия из руд и отвальных хвостов Шерловогорского месторождения в Забайкалье. // Международная конференция «Плаксинские чтения – 2024». Инновационные процессы обогащения и глубокой переработки редкometаллического и горнохимического сырья и комплексных руд цветных и черных металлов. – Апатиты. – С. 453–458.

**Рисунок 3 – Пирометаллургическая технология извлечения редких и цветных металлов в периодическом режиме выщелачивания отходов предприятий горного кластера**

## 2.7. 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. Обоснованы: условия обеспечения долговременной устойчивости уступов и участков бортов карьеров на предельном контуре; геотехнологическая стратегия освоения пологопадающих месторождений бедных комплексных руд комбинированными системами подземной разработки; методика комплексной оптимизации технологического карьерного автотранспорта в динамике развития горнотехнических систем; комплексная методика адаптации параметров буро-взрывных работ к изменяющимся условиям разработки месторождений; эффективные технологические схемы рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья; методы управления производственным риском на основе контроля опасных производственных ситуаций. Реализация разработанной методологии с учетом взаимосвязи основных технологических процессов способствует экономически эффективному, технически и технологически безопасному комплексному освоению запасов месторождений твердых полезных ископаемых.

*Методологические аспекты переходных процессов при формировании горнотехнических систем глубоких карьеров. / В.Л. Яковлев, А.В. Глебов, А.Г. Журавлев [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – №6. – С. 85-97.*

2. Разработана методика оптимизации транспортной системы глубокого карьера на примере циклично-поточной технологии, характеризуемая следующими ключевыми особенностями:

- учет динамики переходных процессов во времени на всем жизненном цикле карьера;
- оценка результатов оптимизации на основе баланса затрат и прибыли с учетом нормированной рентабельности инвестиций в разработку месторождения, а критерием является наиболее полное освоение запасов месторождения;
- применение основанном на взаимной адаптации и имитационном моделировании алгоритма оптимизации параметров комплекса циклично-поточной технологии в динамике развития горнотехнической системы.

*Журавлев, А.Г. Методический подход к оптимизации параметров транспортной системы карьера в динамике развития горнотехнической системы. / А.Г. Журавлев, В.А. Черепанов, И.А. Глебов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – №4. – С. 232-247.*

3. Разработана методология обоснования геотехнологической стратегии освоения пологих средней мощности (10-25 м) месторождений бедных комплексных руд, включающая: методику оценки эффективности и определения оптимальных параметров комбинированной системы разработки по критерию прибыли на 1 т погашаемых балансовых запасов в зависимости от мощности залежи, ширины камеры и междукамерного целика, угла откоса породной выпускной траншеи; методику определения оптимальной производственной мощности подземного рудника по критерию суммарных эксплуатационных затрат на выпуск и доставку, транспортирование руды, проходку выработок и амортизацию оборудования, отнесенных на 1 т добытой руды, в зависимости от мощности залежи, грузоподъемности и количества погрузо-доставочных машин и автосамосвалов. Оптимальная геотехнологическая стратегия достигается применением комбинированной системы разработки с оптимальными параметрами и составом комплекса самоходного оборудования, что позволяет получить экономический эффект 2474-3259 руб/т за счет снижения потерь и разубоживания в 2-2,5 раза и увеличения производственной мощности рудника в 1,6 раза.

*Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Соломеин Ю.М. Обоснование рациональной конструкции днища блока при комбинированной системе разработки пологих залежей средней мощности. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2024. - Т. 22. - №3. - С. 5-12.*

## Имитационное компьютерное моделирование транспортной системы карьера



Рисунок 1 – Повышение коэффициента использования экскаваторов за счет корректировки режима работы автомобильного транспорта при имитационном компьютерном моделировании работы технологического транспорта в глубоком карьере

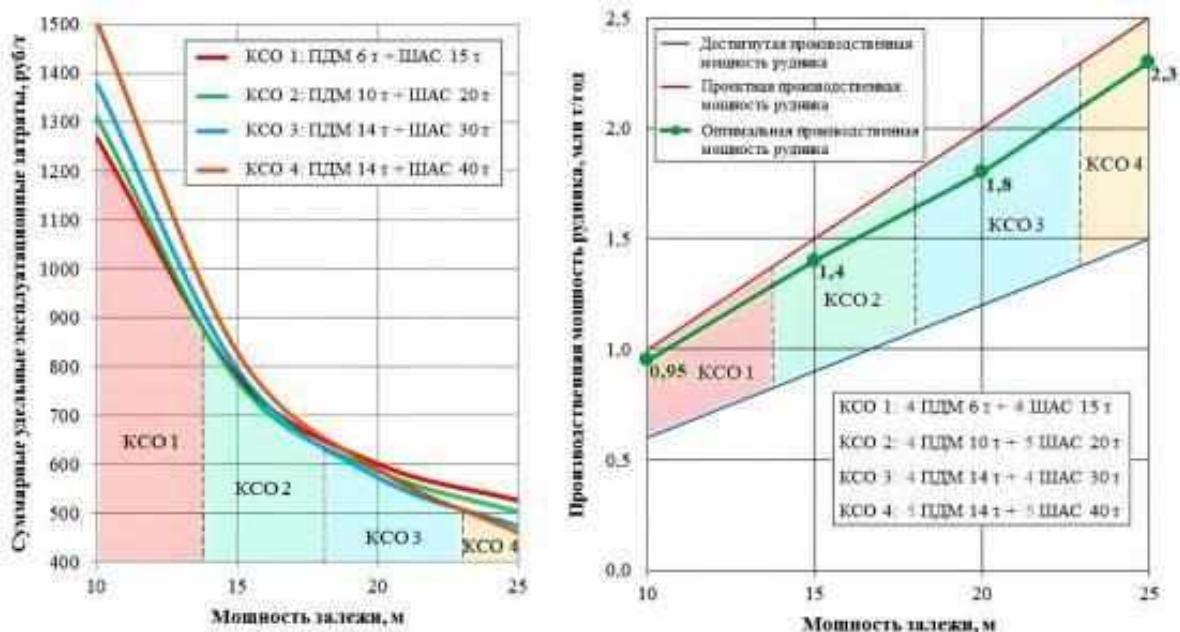


Рисунок 2 – Зависимости суммарных удельных эксплуатационных затрат (а) и производственной мощности рудника (б) от мощности залежи и грузоподъемности погрузо-доставочной машины и автосамосвала

4. Разработана комплексная методика адаптации параметров буровзрывных работ к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложно-структурных месторождений твердых полезных ископаемых, отличающаяся тем, что свойства массива горных

пород и разрушающей нагрузки уточняются в динамике развития горных работ. Методика основана на учете: неоднородности горного массива по трещиноватости и по данным шарошечного бурения; взаимосвязи скорости детонации эмульсионных ВВ с плотностью и диаметром заряда ВВ в разных его диапазонах; повышении скорости детонации основного заряда ВВ при увеличении активной массы промежуточного детонатора, в том числе в зависимости от количества введенных микросфер в состав эмульсии; изменения уровня сейсмо-взрывного воздействия на охраняемые участки бортов карьера, здания и сооружения.

*Изыскание новых приемов к учету свойств и строения массива при дезинтеграции его буровзрывным способом в динамике разработки сложноструктурных месторождений. / В.Л. Яковлев, С.Н. Жариков, А.С. Реготунов, В.А. Кутуев. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – №4(164). – С. 86-96.*

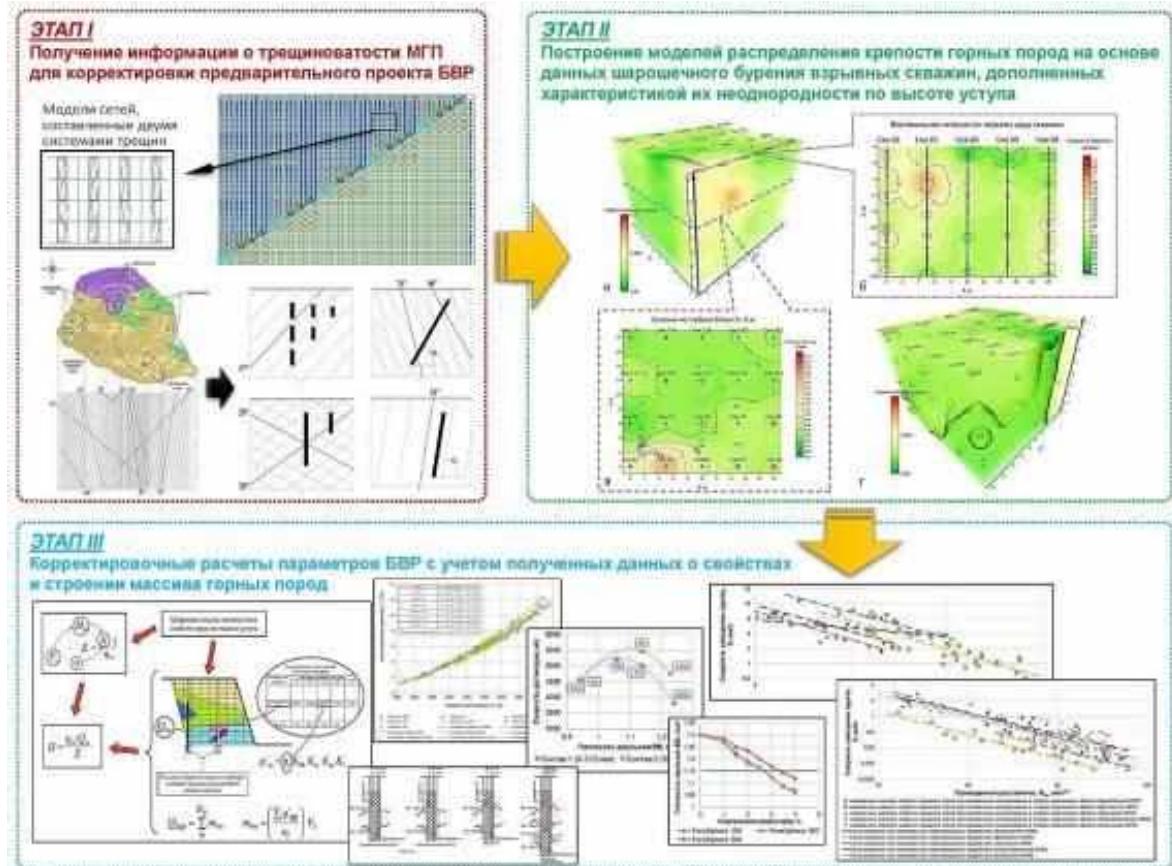


Рисунок 3 - Комплексная методика адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложно-структурных месторождений

5. На основе аналитических исследований и усовершенствованных методик формирования геологических баз данных за счет введения комплексных расчетных показателей качества на основе логических выражений и математических функций, обоснованы на стадии моделирования процессов методы технологической адаптации рудоподготовки минерального сырья к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям карьеров. С использованием методологических подходов по выделению в горном массиве сортовых видов рудного сырья разработана методика автоматизированного перспективного и текущего планирования открытых горных работ в режиме управления качеством при комплексном извлечении минеральных ресурсов в динамике развития горнотехнических систем.

*Методика оценки геологических баз данных с целью районирования в карьере технологических типов и сортов руд. / В.Л. Яковлев, В.Д. Кантемиров, А.М. Яковлев, Р.С. Титов // Маркинг и недропользование. – 2024 – №5(133) – С. 12-20.*

### Методика текущего и перспективного планирования открытых горных работ (ОГР)

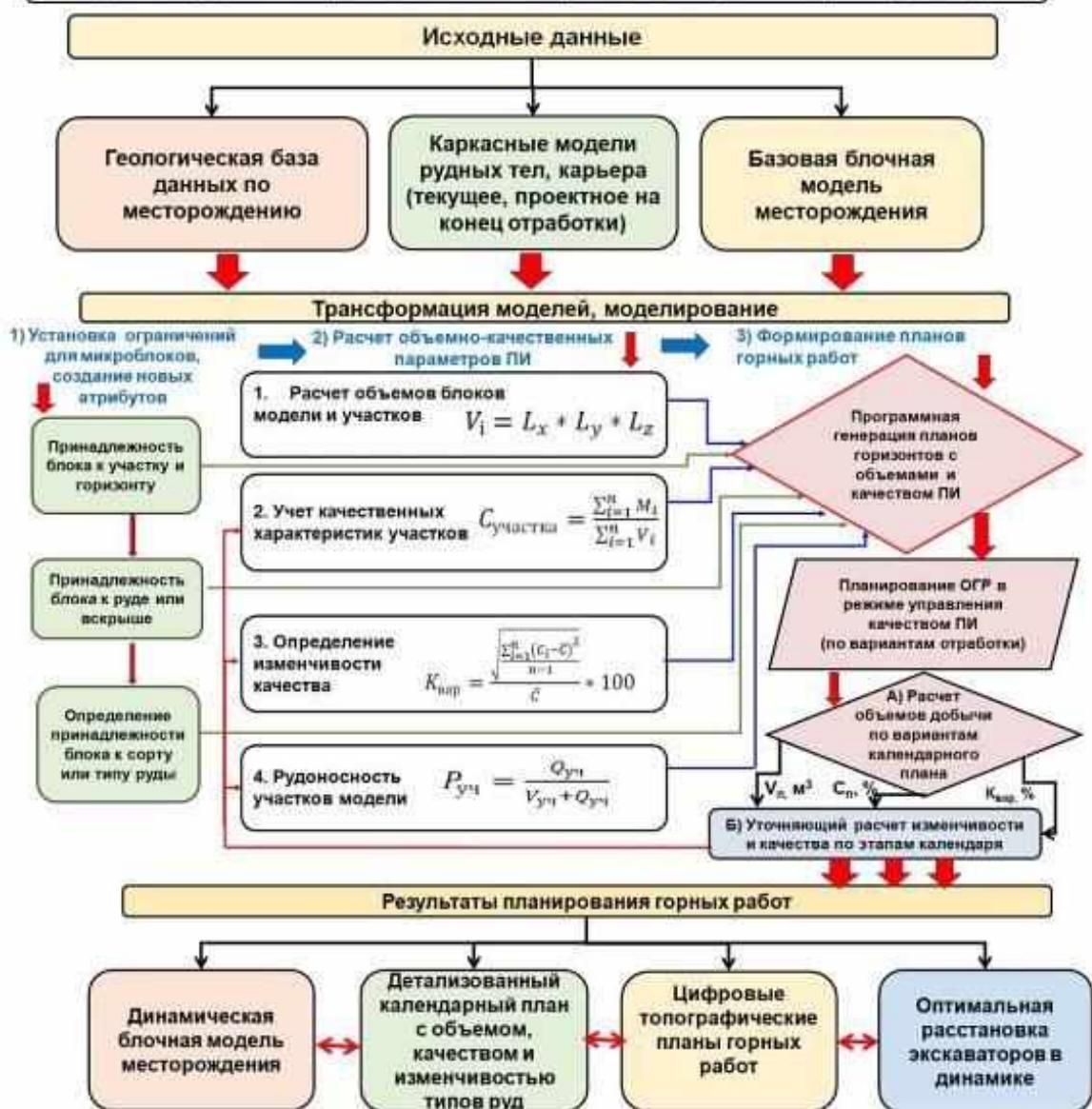


Рисунок 4 – Алгоритм методики текущего и перспективного планирования горных работ

6. Разработаны методы управления производственным риском на горнодобывающем предприятии на основе контроля и прогноза опасной производственной ситуации (ОПС), базирующиеся на методологическом принципе дуальности риска – выгода от деятельности обременена риском возникновения ущерба – и позволяющие планомерно повышать безопасность труда на горнодобывающем предприятии при обеспечении требуемого уровня эффективности производства: идентификация опасной производственной ситуации; производственное планирование с учетом её устранения; координация деятельности предприятия по устранению ОПС.

**Яковлев В.Л., Кравчук И.Л., Неволина Е.М. Методологические принципы управления риском на горнодобывающих предприятиях в условиях неопределенности среды. / В.Л. Яковлев, И.Л. Кравчук, Е.М. Неволина // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – №10. – С. 27-36.**



Рисунок 5 - Взаимообусловленность производственного конфликта и двойственной природы производственного риска

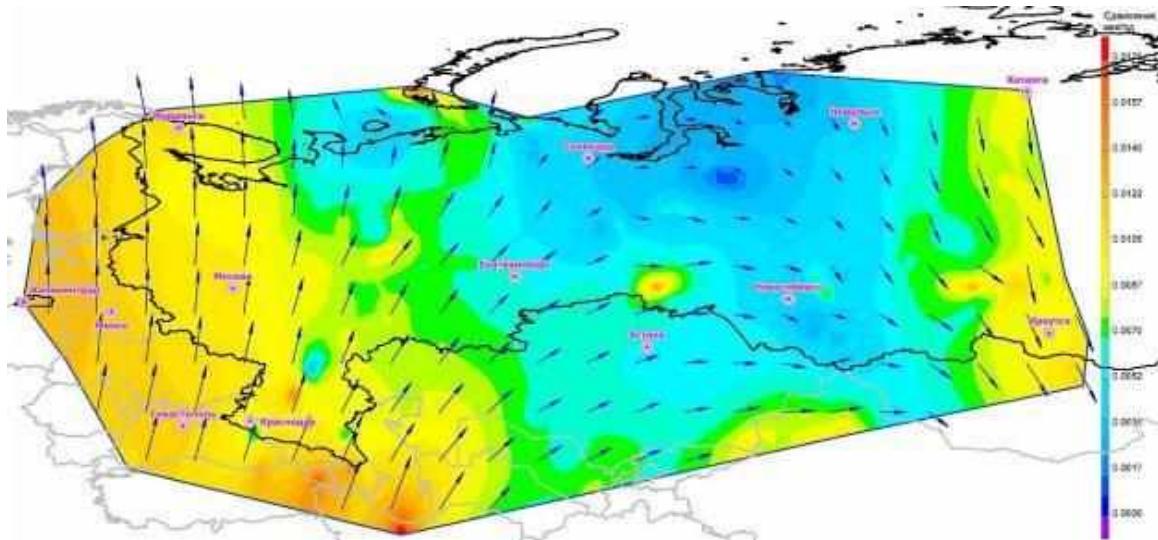
**Направление: Геомеханика, современная геодинамика, мониторинг опасных техногенных процессов**

1. На основании проведенных экспериментально-аналитических исследований параметров современных геодинамических движений на разных масштабных уровнях выполнено районирование территорий Российской Федерации по риску техногенных катастроф, в результате:

- построены карты районирования территории РФ по уровню деформационных процессов, предназначенные для получения информации о неравномерностях распределения скоростей горизонтальных сдвигений и деформационных полей;
- установлен комплексный критерий геодинамической активности по интенсивности и периодичности вертикальных перемещений земной поверхности;
- установлены закономерности между показателями растяжения, сжатия и геодинамической активности по данным радионометрии, позволяющие выявлять и подразделять деформации в горном массиве на малоглубинные объекты разуплотнения, активные дизъюнктивные нарушения и зоны деформаций сжатия;
- усовершенствована технология поэтапного снижения риска и уменьшения тяжести аварийных нарушений ключевых элементов подготовительно-нарезных выработок (ПНВ) от совместного воздействия геодинамических движений и процессов подземной разработки;
- обоснованы расчетные параметры предельной толщины проявления зоны опасных деформаций в зависимости от коэффициента выемочных мощностей в кровле и бортах очистного пространства при выемке крутопадающих рудных тел: мощных, средней и малой мощности.

**Федягин, А.С. Методика оценки геотехнических рисков горнодобывающих предприятий. / А.С. Федягин, О.В. Зотеев // Горный журнал. – 2024. – №1. – С. 9-14.**

2. По результатам многолетних инструментальных наблюдений сформирована и зарегистрирована база данных скоростей современных геодинамических движений территории Российской Федерации, на основе которой созданы карты районирования по уровню деформационных процессов на земной поверхности, предназначенные для получения информации о неравномерностях распределения скоростей горизонтальных сдвигений и деформационных полей, выявления зон концентрации главных и сдвиговых деформаций – для обоснованного выбора расположения сложных объектов промышленной инфраструктуры с целью обеспечения их долговременной устойчивости и безопасной эксплуатации.



**Рисунок 6 – Фрагмент карты векторного поля современных геодинамических движений (собственные движения, свободные от трендовой составляющей Евразийской литосферной плиты) территории Российской Федерации**

3. В соответствии с теоретическими представлениями о формировании поля почвенного радона экспериментально установлены закономерности между показателями растяжения, сжатия и геодинамической активности по данным радонометрии, позволяющие выявлять и подразделять деформации в горном массиве на:

- малоглубинные объекты разуплотнения;
- активные дизъюнктивные нарушения;
- зоны деформаций сжатия.

Установленные закономерности могут быть использованы в сфере инженерно-геологических изысканий, в том числе при исследовании подработанных территорий.

**Зуев, П.И. Использование метода триангуляции с линейной интерполяцией при геодинамическом районировании горного массива с помощью радонометрии. / П.И. Зуев, Т.Ш. Далатказин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – №4. – С. 491-499.**

4. На основе анализа результатов многолетнего мониторинга деформаций земной поверхности на Сарановском месторождении установлены кинематические критерии оценки геодинамической активности: интенсивность и периодичность скоростей вертикальных смещений земной поверхности. По выявленным с помощью вейвлет-анализа периодичностям скоростей территория месторождения разделена на пять участков (а), характеризующихся типовыми спектrogramмами. Интенсивность скоростей вертикальных смещений оценивается на основе их среднеквадратического отклонения (б). Риск внезапного проявления геодинамической активности в виде повреждений зданий и сооружений становится высоким при СКО>10 мм/год (в).

**Коновалова, Ю.П. Изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород под воздействием современных геодинамических движений на различных временных интервалах. / Ю.П. Коновалова // Проблемы недропользования. – 2024. – №4(43). – С. 46-55.**

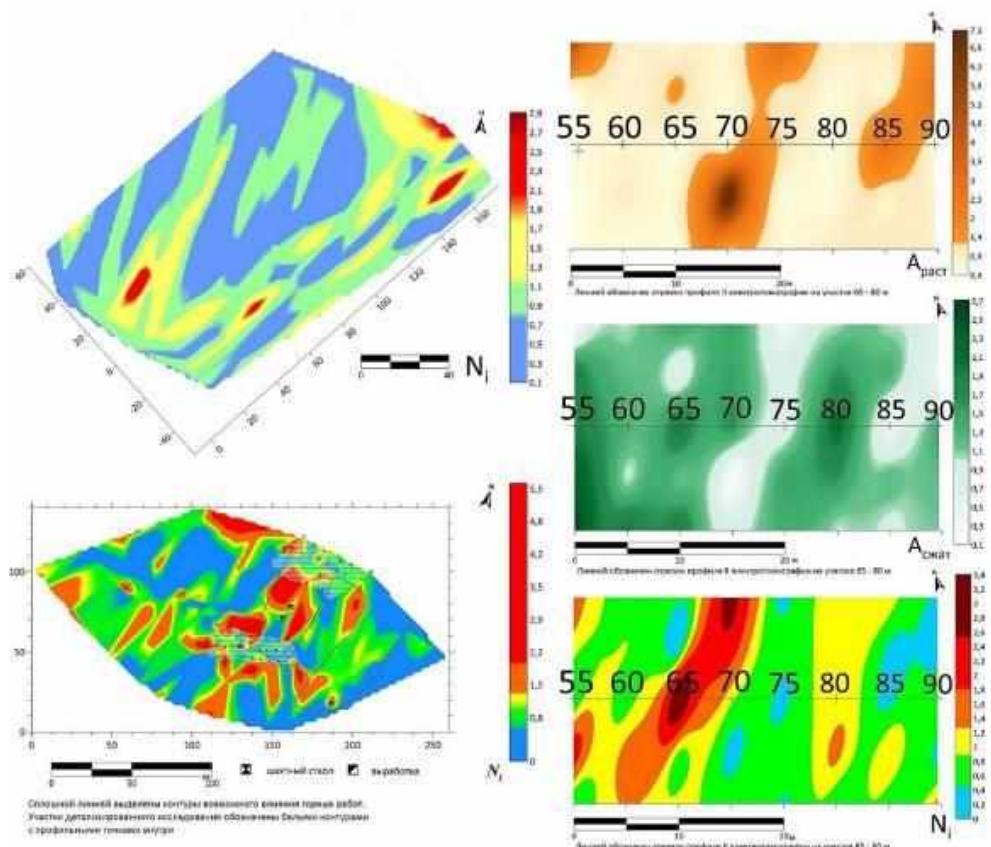
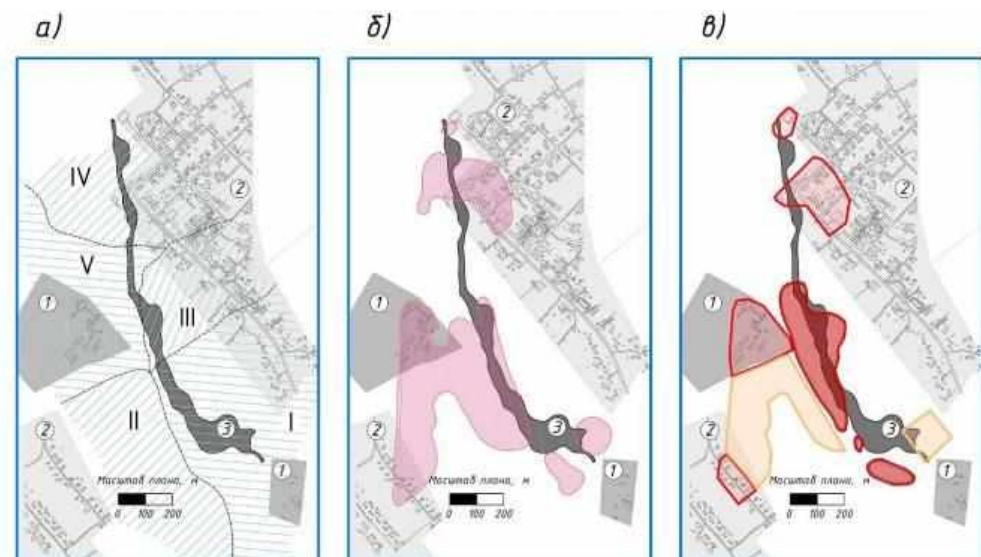


Рисунок 7 – Результаты исследований по выявлению участков растяжения и сжатия с использованием радонометрии



Условные обозначения

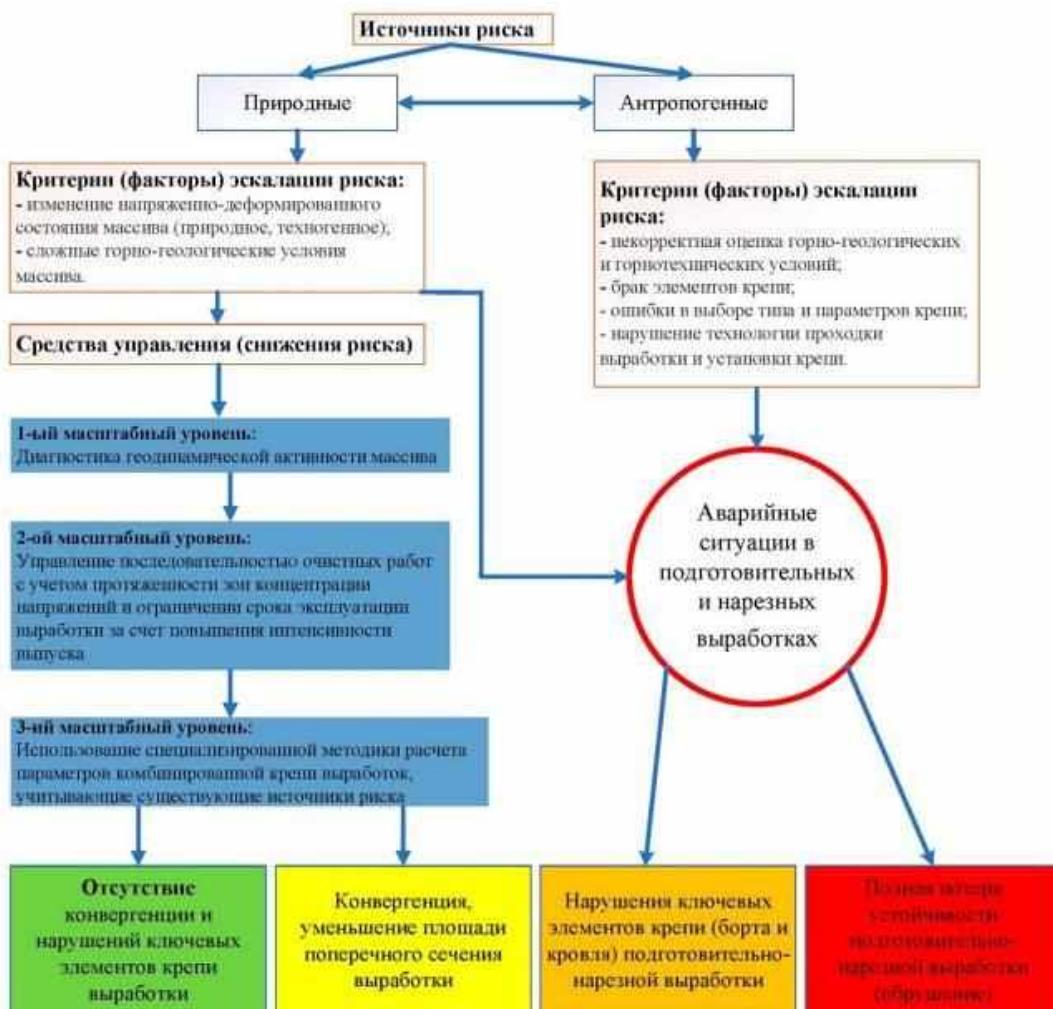
- ① – промплощадка
- ② – населенный пункт
- ③ – контуры рудных тел
- IV – участки с различной периодичностью геодинамических движений
- V – участки поверхности СКО скоростей вертикальных движений больше 10 мм/год;
- зона реализовавшихся аварийных процессов от горных работ;
- зона высокого риска;
- зона риска аварий при застройке

Рисунок 8 – Геодинамическое районирование поверхности месторождения хромитов

5. Усовершенствована технология поэтапного снижения риска и уменьшения тяжести аварийных нарушений ключевых элементов подготовительно-нарезных выработок от совместного воздействия геодинамических движений и процессов подземной разработки, учитывающая комплексирование критериев риска их возникновения для трех масштабных уровней и предусматривающая последовательное применение следующих мероприятий:

- на 1-м уровне – диагностика геодинамической активности рудопородного массива отражающей зависимость замеряемых значений деформаций массива от параметров его НДС;
- на 2-м уровне – обоснование оптимальной последовательности выемки рудной залижи с учетом протяженности зон концентрации напряжений по трассе подготовительно-нарезных выработок и длительность воздействия на крепь зон концентрации напряжений;
- на 3-м уровне – применение усовершенствованной методики расчета несущей способности и параметров комбинированной крепи путем поэтапного учета коэффициента упрочнения, вмещающего рудопородного массива для каждого компонента комбинированной крепи.

*Комплексная методика выбора параметров крепления подготовительно-нарезных выработок. / Т.Ф. Харисов, Е.Л. Сосновская, А.Н. Авдеев, О.Д. Харисова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – №1. – С. 376-387.*



**Рисунок 9 – Схема поэтапного учета совместного негативного воздействия геодинамических движений и процессов подземной разработки на устойчивость подготовительно-нарезных выработок**

6. Установлено, что механизм деформирования и обрушения пород в приконтурном массиве выработанного пространства при выемке рудных тел малой, средней мощности и мощных происходит, в основном, под действием растягивающих напряжений.

Установлены 4 зоны разрывных (растягивающих) деформаций в окрестности очистного пространства при выемке крутопадающих рудных тел малой, средней мощности и мощных: в висячем боку очистного пространства, в лежачем, в потолочине и на контуре выработок, пройденных вблизи выработанного пространства.

Установлено, что при выемке рудных тел малой мощности предельная толщина зоны опасных деформаций составляет: в кровле (потолочине) очистного пространства 3 м; в бортах очистного пространства 2,5 м (выемочных мощностей). При выемке рудных тел средней мощности и мощных предельная расчетная толщина зоны опасных деформаций составляет: в висячем боку рудного тела 6 м, лежачем боку 2,6 м и в кровле (потолочине) очистного пространства 4 м.

**Сосновская, Е.Л. Прогноз удароопасности при разработке жил малой и средней мощности системами с закладкой на больших глубинах. / Е.Л. Сосновская, А.Н. Авдеев // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. - 2024. - Вып. 2. - С. 471-483.**

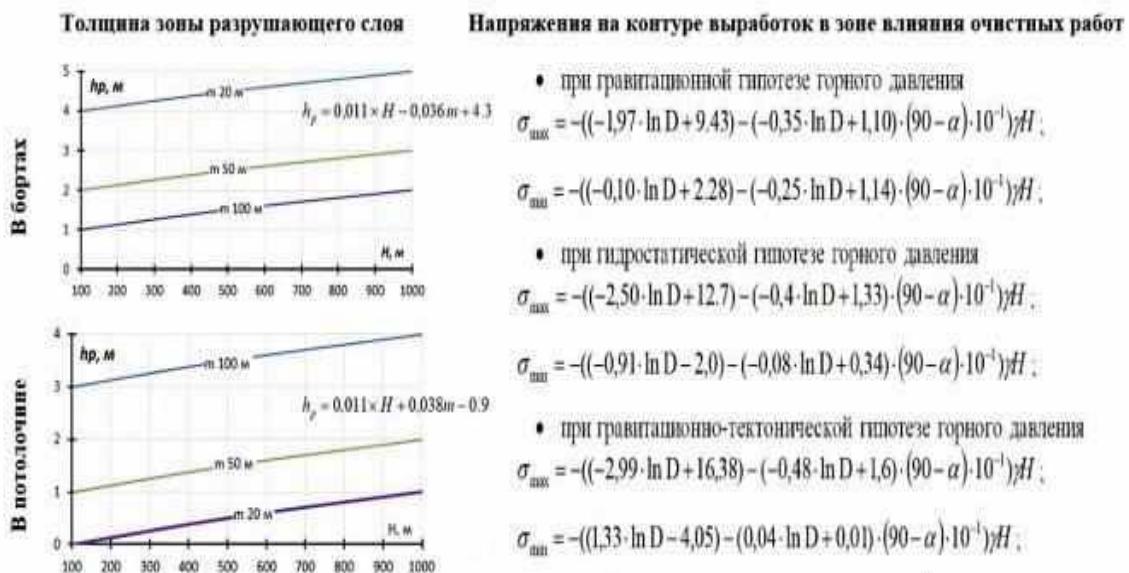


Рисунок 10

**Направление: Изучение и моделирование горно-технических систем и процессов техногенного преобразования недр, численное моделирование и геоинформатика**

1. Показано, что защищенность – способность природно-технологической системы восстанавливать свои параметры в результате воздействия на нее внешних или внутренних технологических, природных или экономических факторов. Степень защищенности системы характеризуется индикаторами, превышение которых разрушает или изменяет свойства системы. Методические основы оценки защищенности природно-технологических систем основываются на индикативном подходе при инициировании процессов реабилитации нарушенных земель, мониторинге концентрации деформаций земной поверхности и прочностных и деформационных характеристик пород, ранжировании территорий с учетом комплексных показателей загрязнения подземных и поверхностных вод, а также индикаторов эколого-экономической эффективности землепользования.

**Об основных положениях методики проектирования мероприятий, локализующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах. / Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Собенин А.В. И др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. - №6. - С. 85-94.**

2. Для оценки защищенности горнoprомышленных территорий при инициировании процессов реабилитации обоснован индикативный подход на основе:

- комплекса биогеохимических показателей миграции тяжелых металлов в системах «грунт – растение», «побег – корень»;
- индикатора эффективности восстановления биоты «почвенного дыхания CO<sub>2</sub>», при

котором окультуренная почва содержит до 2800–5000 ppm, слабо окультуренные участки содержат – 600-1000 до 2600 ppm, техногенный грунт с небольшими участками растительности в среднем до 400-450 ppm, при полном отсутствии растений грунт содержит ниже 400 ppm;

- индикаторов эколого-экономической эффективности землепользования – локальный и региональный (КИ). Значение данных индикаторов  $> 1$  свидетельствует о минимизации и компенсации ущерба земельным ресурсам,  $< 1$  о некомпенсированности нанесенного ущерба.

*Антонинова Н.Ю. К вопросу об использовании мелиоративных приемов в целях формирования биогеохимических барьеров. / Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Собенин А.В., Кузнецова Я.А., Горбунов А.А.// Горная промышленность. - 2024. - №1. - С. 120-125.*



**Рисунок 11 – Индикаторы защищенности горнорудных территорий при инициировании процессов экологической реабилитации**

3. Показано, что формирование зон концентрации деформаций земной поверхности является индикатором негативных последствий эксплуатации недр в процессе добычи, переработки, и размещения отходов производства. На основе экспериментальных данных, полученных для Кузнецкого горнодобывающего региона, установлено, что разность скоростей движений смежных пунктов, расположенных в непосредственной близости от эпицентров техногенных сейсмических событий выше, чем по региону. (Бачатского - 2013, M=5.2 и Кыргайского -2021, M=4.9).

*Панжин А.А. Исследования природной и техногенной сейсмичности Кузнецкого угольного бассейна / А.А. Панжин // Проблемы недропользования. – 2024. – №1(40). – С. 102-114.*

4. Разработана методика применения ГИС для районирования, прогноза и оценки защищенности горнорудных территорий. Структурированы источники данных, предложены методы их обработки, включающие геофильтрационное, гидрогеомиграционное и физико-химическое моделирование, обработку данных ДЗЗ с учетом комплексного показателя загрязнения. Использование комплекса предложенных методов позволяет проводить количественное ранжирование защищенности горнорудной территории. Показано, что индикаторами состояния подземных и поверхностных вод являются формы миграции элементов.

*Рыбникова Л.С. Оценка эффективности очистки кислых шахтных вод (на примере медноколчеданных рудников Среднего Урала). / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников, В.Ю. Наволокина // Записки Горного института. – 2024. – №267. – С. 388-401.*

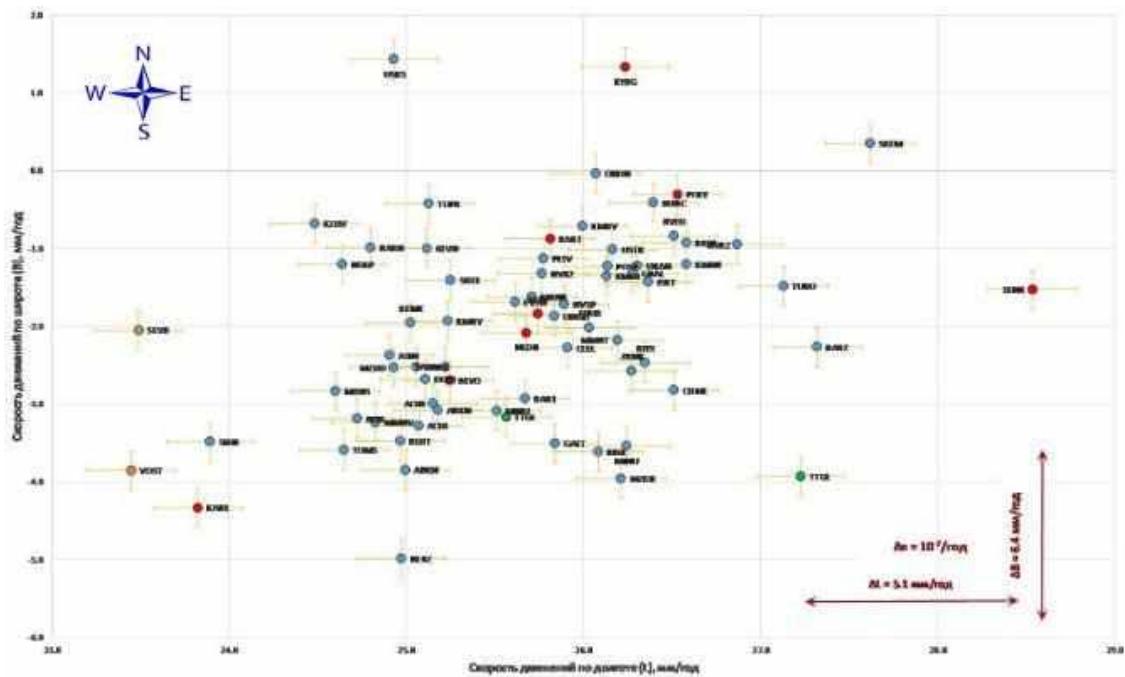


Рисунок 12 – Скорости современных геодинамических движений Кузбасса

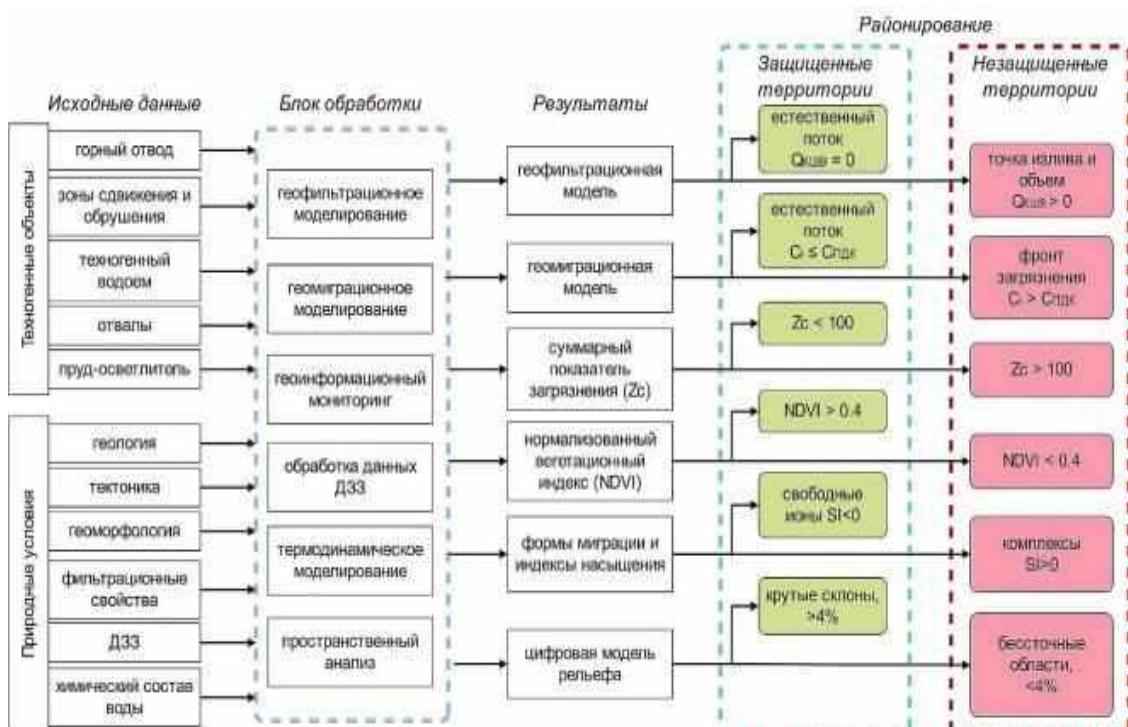


Рисунок 13 – Методика применения ГИС для районирования, прогноза и оценки защищенности горнопромышленных территорий

5. На основании установленной взаимосвязи величины отскока бойка с применением скелерометров разных конструкций, в т.ч. и отечественных, с прочностными и деформационными характеристиками магматических и метаморфизованных пород Баженовского месторождения: пределом прочности в образце, модуля деформаций, классом дробимости и линией сопротивления по подошве (ЛСПП) разработан экспресс-метод получения, обработки и накопления данных о прочностных свойствах пород и их взрываемости для подготовки массива к выемке.

**Харисов, Т.Ф. Анализ результатов определения упругих характеристик горных пород в лабораторных условиях. / Т.Ф. Харисов, А.Н. Авдеев, Д.А. Коптяков // Проблемы недропользования. – 2024. – №3(42). – С. 41-50.**

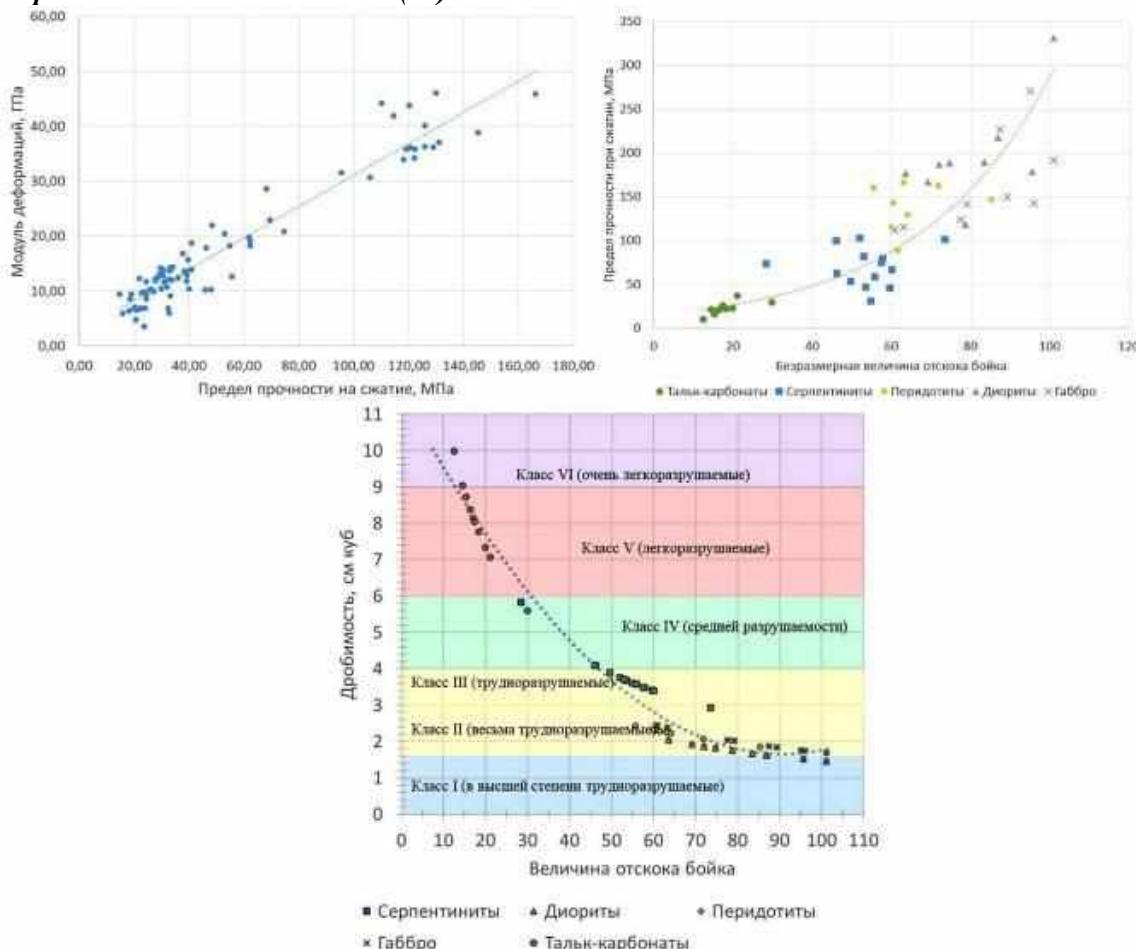


Рисунок 14 – Взаимосвязь модуля деформации, предела прочности пород при сжатии дробимости пород с безразмерной величиной отскока бойка скелерометра

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

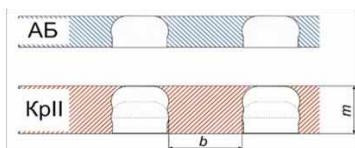
**1. Методика оценки и прогноза оседаний земной поверхности по данным измерения деформаций горных выработок (2.3.7.4. Методы мониторинга опасных техногенных процессов; безопасного ведения горных работ)**

Для условий камерной системы разработки месторождений солей (рисунок 1) предложена оперативная схема контроля и прогноза оседаний земной поверхности, основанная на шахтных измерениях горизонтальной конвергенции очистных камер. Методика позволяет оценить вклад отработки каждого пласта в интенсивность деформирования подработанного массива и развития процесса сдвижения, что является крайне важным при определении мер охраны рудников от затопления (рисунок 1, таблица 1).

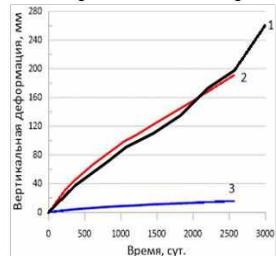
Таблица 1

## Скорости горизонтальной конвергенции и оседаний земной поверхности

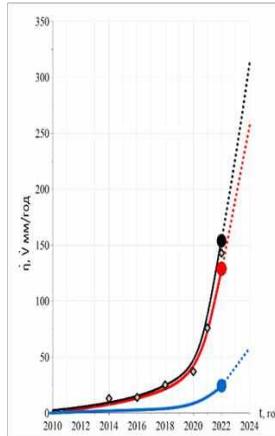
Участок	Пласт	Скорость гор. конвергенции камер ( $\dot{U}$ ), мм/год	Расч. скорость верт. деформации целиков ( $\dot{V}$ ), мм/год	Расч. скорость оседания, мм/год	Факт. скорость оседания, мм/год
1	КрII АБ	113.2	67.04	96.20	95.0
		70.0	29.16		
2	КрII АБ	187.38	128.58	153.08	143.0
		60.0	24.50		



а) Схема отработки пластов КрII и АБ



б) Характер нарастания оседаний земной поверхности (1) и деформаций целиков на пластах КрII (2) и АБ (3)



в) Графики скоростей вертикальных деформаций целиков и оседаний земной поверхности

**Рисунок 1**  
**– Выявленные закономерности оседания земной поверхности и деформирования целиков**

Baryakh A.A., Evseev A.V., Lomakin I.S., Tsayukov A.A. Operational control of rib pillar stability. // Eurasian Mining. – 2020. – №2. – С. 7-10. (Scopus Q1).

Барях А.А., Евсеев А.В., Глебова П.А., Васильева Е.Л. Прогноз оседаний земной поверхности по данным измерений деформаций горных выработок. // Горный журнал. – 2023. – №11. – С. 10-14. (Scopus Q3).

Руководитель – академик РАН, д.т.н. А.А. Барях (bar@mi-perm.ru), Авторы – А.А. Барях, А.В. Евсеев, И.С. Ломакин, А.А. Цаюков, П.А. Глебова, Е.ЛО. Васильева

**2. Получение глубинного сейсмического разреза ниже забоя скважин на месторождениях водорасторимых полезных ископаемых (2.3.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых)**

На основе изучения отраженных волн в системе наблюдений межскважинного сейсмического просвечивания получен глубинный сейсмический разрез в межскважинном пространстве и в интервале водозащитной толщи (см. рисунок 2). Выполнено выделение волновых полей восходящих и нисходящих волн, миграция и суммирование по общей глубинной точке. Алгоритм учитывает высококонтрастную границу кровли солей и опробован при различных параметрах систем наблюдений.

Чугаев А. В., Санфиров И. А., Тарантин М. В. Сейсморазведка на отраженных волнах при межскважинных исследованиях на Верхнекамском месторождении калийных солей. // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64. - №2. – С. 293-307. [Q2, IF 1.2].

Чугаев А.В., Санфиров И.А., Тарантин М.В. Трапезникова А.Б., Носков А.О. Получение сейсмических изображений в методе межскважинного просвечивания на основании углубленного анализа волнового поля. // Инженерная и рудная геофизика 2022: Сборник материалов 18-ой научно-практической конференции и выставки, Геленджик, 05–08 сентября 2022 года. – Москва: ООО «ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ», 2022. – С. 411-421.

Руководитель – д.т.н., проф. И.А. Санфиров (sanf@mi-perm.ru), Авторы – Чугаев А.В., Санфиров И.А., Тарантин М.В.

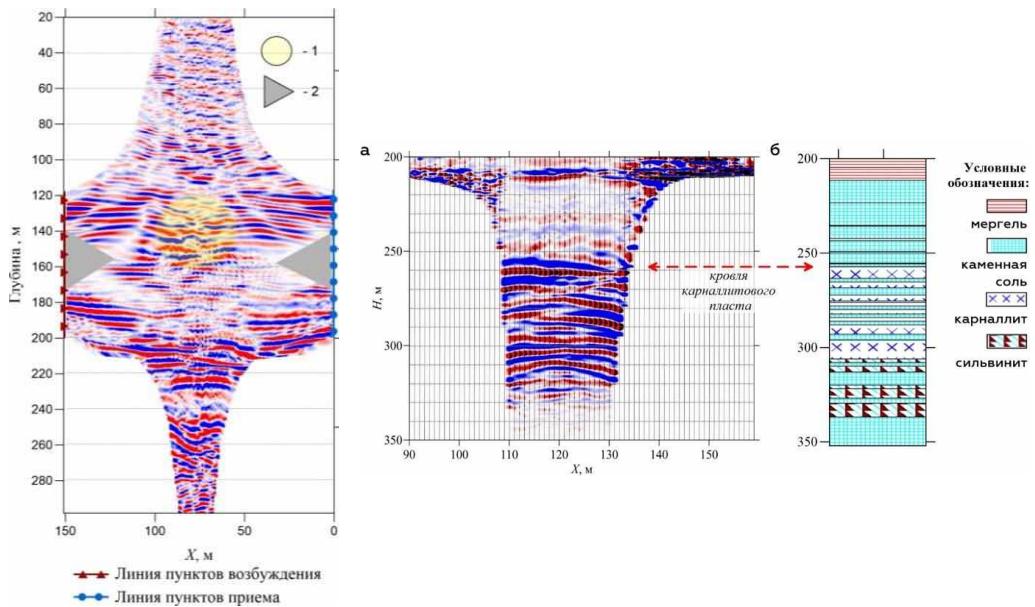


Рисунок 2 – Глубинный сейсмический разрез по данным обработки межскважинного просвечивания: *а* – глубинный сейсмический разрез, *б* – разрез ниже забоя скважин, *в* – литологическая колонка

**3. Метод анализа устойчивости воздушных потоков в рудничных вентиляционных сетях при пожарах (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)**

Разработан лабораторный стенд, имитирующий проветривание наклонной горной выработки с интенсивным тепловым источником (пожаром). Экспериментальные исследования на стенде подтвердили корректность математической модели тепломассообменных процессов в наклонной выработке при пожарах. Численное трехмерное моделирование выявило условия, способствующие образованию тепловой конвекции и изменению направления движения воздуха (рисунок 3). Определена зависимость критической тепловой мощности, соответствующей моменту опрокидывания воздушной струи, от аэродинамических параметров горной выработки. Полученные результаты стали основой для метода анализа устойчивости воздушных потоков в рудничных вентиляционных сетях при пожарах.

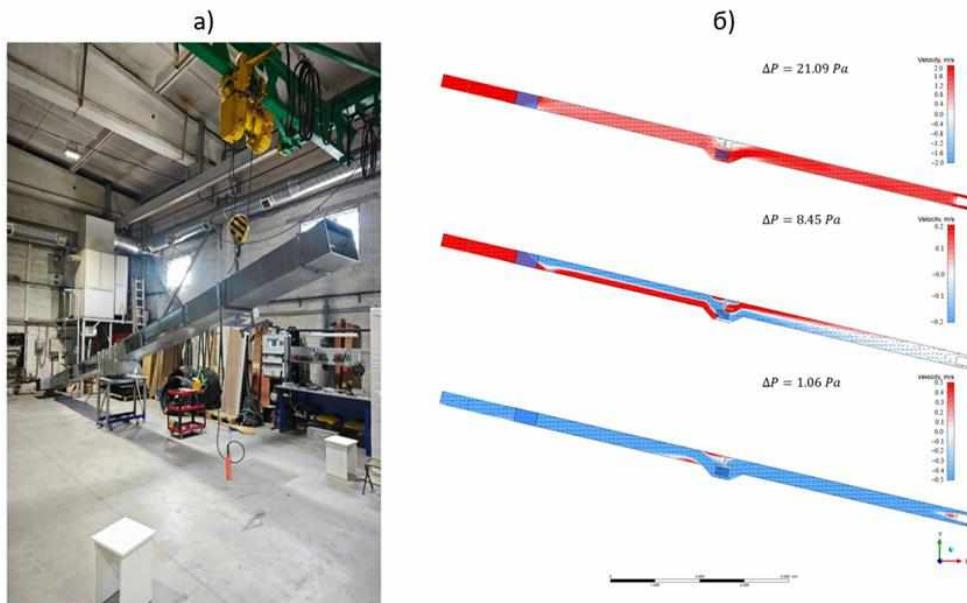


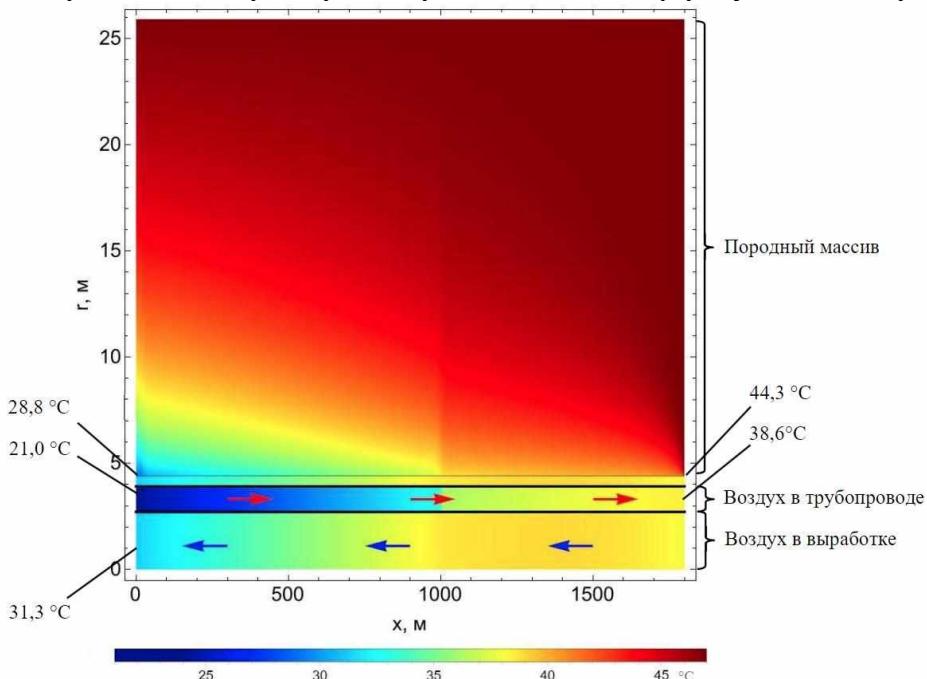
Рисунок 3 – Лабораторный стенд (а) и рассчитанные распределения продольной компоненты скорости воздушного потока при различных режимах проветривания (б)

Levin L., Popov M., Semin M., Zhikharev S. Experimental and Numerical Study of Air Flow Reversal Induced by Fire in an Inclined Mine Working. // Applied Sciences. – 2024. – Т. 14. – №. 15. – Статья № 6840. (Q1 Web of Science).

Руководитель – чл.-корр. РАН, д.т.н. Л.Ю. Левин (aerolog\_lev@mail.ru), Авторы – Л.Ю. Левин, М.А. Семин, М.Д. Попов, С.Я. Жихарев

**4. Установлено влияния лучистого теплообмена на микроклиматические параметры в забое глубокого рудника (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)**

Проведенные экспериментально-теоретические исследования на глубоком калийном руднике показали, что для точного прогноза распределения температур воздуха в вентиляционном канале и тупиковой выработке необходимо учитывать не только конвективно-диффузационный, но и лучистый теплообмен. Численное моделирование нестационарного тепломассопереноса показало, что лучистый теплообмен может быть основной причиной растепления окружающих пород с течением времени. Помимо лучистого теплообмена в модели учтены динамическое продвижение забоя и нагрев воздуха от вентиляторов местного проветривания (рисунок 4). На основе моделирования разработаны новые технические решения для нормализации параметров микроклимата в атмосфере тупиковых выработок.



**Рисунок 4 – Рассчитанное теплораспределение в тупиковой выработке с учетом лучистого теплообмена, динамического продвижение забоя и нагрева воздуха от вентилятора**

Olkhovsky D., Zaitsev A., Bublik S. Study on the influence of radiation heat transfer on microclimatic parameters in the blind heading of a deep potash mine. // International Journal of Thermal Sciences. – 2024. – Т. 199. – Статья № 108904. (Q1 Web of Science).

Руководители – чл.-корр. РАН, д.т.н. Л.Ю. Левин (aerolog\_lev@mail.ru), д.т.н. А.В. Зайцев (artem.v.zaitsev@yandex.ru), Авторы – Д.В. Ольховский, А.В. Зайцев, С.А. Бублик

**5. Обоснованы интегральные показатели крупномасштабной структуры турбулентного течения в тупиковых выработках, проветриваемых нагнетательным способом (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)**

С помощью трех разработанных показателей (спутный поток, максимальная продольная и средняя поперечная скорости воздуха в сечении тупиковой выработки) выявлены фундаментальные закономерности изменения крупномасштабной структуры осредненного течения. Определены два типа структуры течения, существующие до и после критического

отставания конца трубопровода от груди забоя, которое составило около 25 м для рассмотренного типа тупиковых выработок. Полученные результаты имеют большое практическое значение для проветривания тупиковых горных выработок.

Semin M., Faynburg G., Tatsiy A., Levin L., Nakariakov E. Insights into turbulent airflow structures in blind headings under different ventilation duct distances. // Scientific Reports. – 2024. – Т. 14. – №1. – Статья № 23768. (Q1 Web of Science).

Руководители – чл.-корр. РАН, д.т.н. Л.Ю. Левин (aeroalog\_lev@mail.ru), д.т.н. М.А. Семин (seminma@inbox.ru). Авторы – М.А. Семин, Г.З. Файнбург, А.В. Таций

**6. Метод определения коэффициента длительной прочности соляных пород (2.3.7.1. Геомеханика, гидро- газо- и термодинамика горных пород; физико-химические свойства и разрушение геоматериалов)**

Разработан ускоренный метод определения коэффициента длительной прочности соляных пород, основанный на построении расчетной кривой длительной прочности по скорости установившейся ползучести и критическим деформациям на пределе остаточной прочности. Использование метода позволяет сократить время длительных испытаний до 5-7 дней.

Результаты проведенных исследований предназначены для оценки допустимой степени нагружения соляных междукамерных целиков для условий конкретных отрабатываемых участков шахтных полей рудников различных калийных месторождений.

Барях А.А., Ударцев А.А., Паньков И.Л. К оценке длительной прочности соляных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – №11. – С. 5–22. DOI: 0.25018/0236\_1493\_2024\_11\_0\_5.

Руководитель – академик РАН, д.т.н. А.А. Барях, bar@mi-perm.ru. Авторы – Барях А.А., Ударцев А.А., Паньков И.Л.

**7. Оценка радиационной обстановки в Кунгурской Ледяной пещере (2.3.4.2. Изотопная геохимия и геохронология)**

Оценка радиационной безопасности произведена с учетом параметров радиационного (гамма) фона, замеров концентраций радона и торона, микроклиматических показателей (температура воздуха, влажность), скорости воздушных потоков, освещенности и расчета показателя специальной оценки условий труда.

Для показателей гамма-активности и концентрации радона прослеживается отчетливая зависимость от сезона года и соблюдения регламента проветривания, установленного в пещере. Применяемые режимы проветривания обеспечивают безопасные значения радиационного фона и торона.

Красиков А.В., Казанцева А.С. Радиологический мониторинг и оценка радиационной обстановки в Кунгурской Ледяной пещере. // Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2024, Вып. 1. – С. 198–213.

Krasikov A.V., Kazantseva A. S. Radiological monitoring and assessment of the radiation situation in the Kungur Ice Cave. // Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 278, December 2024, 107540 (Scopus Q2)

Руководитель – д.г.н. О.И. Кадебская (icecave@bk.ru). Авторы – Красиков А.В., Казанцева А.С.

**8. Определение коэффициента добротности горных пород в масштабе месторождения (2.3.1.5. Сейсмология и методы сейсмической томографии)**

Выполнена адаптация метода Гладвина-Стейси для расчета интегральной добротности на основании характеристик первых вступлений сейсмических событий. Разработанная методика позволяет определять добротность на интервале расстояний от первых сотен метров до нескольких километров с использованием записей техногенных сейсмических событий.

Мурыськин, А.С. Определение добротности среды на территории рудников на примере Верхнекамского и Жезказганского месторождений. / А.С. Мурыськин // Горное эхо. – 2024. – № 1(94). – С. 55-59. – DOI 10.7242/echo.2024.1.9. – EDN CWLWUP.

Руководители – д.т.н., проф. И.А. Санфиров (sanf@mi-perm.ru), к.т.н. Д.Ю. Шулаков (shulakov@mi-perm.ru). Автор – Мурыськин А.С.

## **9. Трансформация региональных аномалий силы тяжести на сфераобразной Земле для решения геологических задач (2.3.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых)**

Разработан новый метод трансформации аномалий силы тяжести, предназначенный для изучения территорий от 1 млн. кв. км и более, использующий геодезические координаты (широту, долготу) точек задания поля и сферу Каврайского в качестве модели нашей планеты. В его основе лежит моделирование гравитационного поля двумя системами точечных масс, находящихся на разных глубинах. Созданное программно-алгоритмическое обеспечение обеспечивает высокую точность и скорость вычисления информативных компонент поля.

Метод может использоваться при изучении структурно-тектонического строения крупных блоков суши и акваторий, а также для прогнозирования месторождений полезных ископаемых.

Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н. и др. Подавление помех геологической природы при трансформации региональных аномалий силы тяжести. // Геофизика. - 2024. - №5. - С. 24–29.

Долгаль А.С. Построение глобальной аналитической модели аномалий силы тяжести методом истокообразной аппроксимации. // Горное эхо. - 2024. - №1(94). - С. 49–54.

Руководитель – д.г.-м.н. С.Г. Бычков (bsg@mi-perm.ru). Авторы – Долгаль А.С., Новикова П.Н.

## **10. Геологическая модель механизма дегазации калийных пластов смешанного состава в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)**

На основе установленных закономерностей распределения газовой компоненты в калийных пластах смешанного состава (карналлит+сильвинит) разработана геологическая модель механизма дегазации, включающая миграцию водных растворов по калийным пластам в направлении карналлитов. В процессе миграции функционировала трехзонная система галогенного метасоматоза, сопровождавшаяся сильвинитизацией карналлита. Это приводило к уменьшению объема карналлитового пласта, формированию систем трещин в вышележащих породах в процессе их деформирования и миграции свободных газов из пласта смешанного состава в вышележащие породы с последующей возможной аккумуляцией в галопелитовых слоях и прослойках, полостях и пустотах.

Андрейко С.С., Нестеров Е.А., Бобров Д.А. Модели механизма дегазации пласта Б смешанного состава в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – Вып.1. – С.507–514.

Руководитель – д.т.н., проф. С.С. Андрейко (ssa@mi-perm.ru). Авторы – Андрейко С.С., Нестеров Е.А., Бобров Д.А.

## **11. Выявлены резкие колебания минерализации воды на участке функционирования технических водозаборов г. Березники (2.3.11.1. Гидрология, гидрохимия и экологическое состояние вод суши)**

На основе длительных непрерывных мониторинговых наблюдений с частотой измерений  $v=72$ /сутки за гидрологическими и сопряженными с ними гидрохимическими параметрами на Камском водохранилище в теплый период, в районе г. Березники, в придонной области установлена возможность резких, весьма быстрых колебаний удельной электропроводности, очень тесно связанной с ней минерализации воды. В результате выполненных исследований показано, что в течение 20 минут может наблюдаться изменение фиксируемых показателей качества воды практически на порядок, что имеет принципиальное значение для обеспечения как экологической безопасности водного объекта, так и его использования для целей водоснабжения.

Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Опуптин М.А., Синцова Т.Н., Исахов А.А. Опыт применения логгеров для исследования динамики состояния водных объектов, расположенных в зонах активного техногенеза. // Водное хозяйство России. – 2024. – №6. – С. 81-90.

Руководитель – д.г.н. А.П. Лепихин ([lepihin49@mail.ru](mailto:lepihin49@mail.ru)). Авторы – Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Опутин М.А., Синцова Т.Н.

**12. Выявлена цикличность осадконакопления и геохимических изменений в пелитоморфных породах соликамской свиты (2.3.5.1. Закономерности образования и размещения твердых полезных ископаемых в различные периоды истории Земли)**

Использование сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 TESCAN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350/X-max 20 для расчленения пелитоморфных пород соликамской свиты, позволило установить, что цикличность осадконакопления определялась периодическим привносом во впадину аллюмосиликатного материала с суши обусловившим проявление 9 циклов седиментации проявившихся на фоне постепенной смены эвапоритовой обстановки морской. Вариации содержания петрографических оксидов и геохимических модулей позволили показать изменение состава разываемых пород на водосборах и степень их гипергенного преобразования, что дает возможность реконструировать палеогеографические обстановки.

Уткина Т.А., Чайковский И.И. Литохимическая цикличность соликамской свиты в юго-западной части Соликамской впадины (Предуральский краевой прогиб). // Литология и полезные ископаемые. – 2024. (в печати) (IF 1,1).

Руководитель – д.г.-м.н. И.И. Чайковский ([ilya@mi-perm.ru](mailto:ilya@mi-perm.ru)). Авторы – Уткина Т.А., Чайковский И.И.

**13. Обоснована система пассивной очистки шахтных вод Кизеловского угольного бассейна (2.3.11.1. Гидрология, гидрохимия и экологическое состояние вод суши)**

На основе программы геохимического моделирования произведен прогноз состава сточных вод, формирующийся при добавлении различных количеств щелочных реагентов, и оценка масс образующегося осадка. Определены основные формы нахождения металлов в реках-приемниках шахтных вод, выявлены основные вторичные минеральные фазы, формирование которых способствует выведению токсичных элементов из водных растворов, и осуществлен прогноз устойчивости образованных минеральных соединений при их миграции в водотоках.

Фетисова Н. Ф., Фетисов В. В. Подходы к выбору систем очистки дренажных вод заброшенных горных выработок Кизеловского угольного бассейна. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 109–124. (Scopus Q2)

Руководитель – к.г.-м.н. Б.А. Бачурин ([bba@mi-perm.ru](mailto:bba@mi-perm.ru)). Авторы – Фетисова Н.Ф., Фетисов В.В.

**2.9. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ - ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ КНЦ РАН)**

✓ В 2024 году Горный институт КНЦ РАН продолжил научные исследования в следующих направлениях:

- ✓ Развитие методологии рационального и экологически сбалансированного недропользования при освоении минерально-сырьевых ресурсов Северо-Запада Арктической зоны Российской Федерации;
- ✓ Развитие научных основ обеспечения геомеханической безопасности природно-технических систем горнодобывающей отрасли;
- ✓ Создание ресурсосберегающих технологий переработки природного и техногенного минерального сырья;
- ✓ Разработка цифровых технологий и информационных систем для решения задач горно-обогатительного производства.

Исследования выполнялись по 5 темам НИР в соответствии с государственным заданием. Наиболее значимые полученные результаты распределены по отраслям знаний:

## Геотехнология

Разработана архитектура Горно-геологической цифровой платформы, являющейся следующим шагом развития Горно-геологических информационных систем (ГГИС) и реализующей: доступ к классам моделей объектов и системным инструментам через открытый набор API-функций; возможность функционирования в различных операционных системах; масштабируемость рабочих мест специалистов при высокой степени защиты информационной системы от несанкционированного доступа и потери данных. Использование разработанной архитектуры позволит существенно ускорить и упростить процесс разработки цифровых инструментов на основе унификации средств их интеграции в единую цифровую пространство, что обеспечит решение задачи импортозамещения для программных продуктов класса ГГИС.

На основе численного моделирования с использованием метода дискретных элементов выполнены исследования процесса торцевого выпуска руды для условий, соответствующих отработке запасов апатит-нефелиновой руды Хибинскими подземными рудниками. По результатам моделирования разработана методика нормирования потерь и разубоживания при вариациях параметров конструктивных элементов системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды и применением самоходного горного оборудования. Методика разработана с учетом современного уровня развития техники и горной технологии.

Разработана концепция цифрового планирования открытых и подземных горных работ на основе комплексного учёта горно-геологических и горнотехнических ограничений. В основе концепции лежит представление массива горных пород и технологических объектов в виде связанной 3D-структуры дискретных элементов, к которым применяется набор операций, обеспечивающих имитацию их отработки. Особенностью решения является единый алгоритмический подход к оптимизации планирования открытых и подземных горных работ, а также имитационному моделированию процессов выемки и транспортирования горной массы.

На основе маркетинговых исследований и сценарного моделирования обоснована экономическая нецелесообразность получения редкоземельной продукции из апатитового концентраты на базе ПАО «Акрон», а также нефелинового, сфенового, эгиринового, титаномагнетитового концентратов, стронция, фтора, оксидов рубидия, цезия и галлия из апатит-нефелиновых руд месторождения Олений ручей. Многовариантными расчетами определено, что рентабельность производства редкоземельной продукции может быть достигнута при повышении мировых цен в 5,6 раза.

## Геомеханика

По результатам исследований параметров напряженного состояния массива пород Ждановского месторождения комплексом натурных и численных методов подтвержден его гравитационно-тектонический тип. Установлен тензор исходного поля напряжений, где главные компоненты (максимальная, промежуточная и минимальная) соотносятся как

$$\sigma_{\max}(T_1) : \sigma_{int}(\gamma H) : \sigma_{\min}(T_2) = 1 : 0,5 : 0,4$$

на глубинах (z) до 1000 м. Для глубин ведения горных работ свыше 1000 м прогнозируется замедление роста тектонических компонент поля напряжений, аппроксимируемое полиномами третьей степени:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= -2 \cdot 10^{-8} z^3 + 5 \cdot 10^{-5} z^2 + 0,03z + 5, & \text{МПа;} \\ \sigma_{\min} &= -8 \cdot 10^{-9} z^3 + 2 \cdot 10^{-5} z^2 + 0,01z + 2, & \text{МПа.}\end{aligned}$$

На основе оценки устойчивости приборового массива методом предельного равновесия и комплексного мониторинга геомеханического состояния установлена стадийность потери устойчивости карьерных откосов в массивах скальных пород, состоящая сначала в разупрочнении участка массива вследствие длительных техногенных и природных нагрузок, а затем в нарастании скорости его деформирования и обрушении.

Для исследования механизмов развития фильтрационно-деформационных процессов разработаны геофильтрационная и гидрогеомеханическая 3D-модели природно-технической системы «водохранилище – прилегающая территория – карьер» (рисунок 1).

Отличительной особенностью моделей является одновременный учет гидростатических, гидродинамических и геомеханических условий и нагрузок. Модели апробированы на примере водохранилища Селиакка-Ярви АО «Кольская ГМК» в ходе оценки текущего и прогнозного гидрогеомеханического состояния водохранилища в зоне активного ведения подземных горных работ.

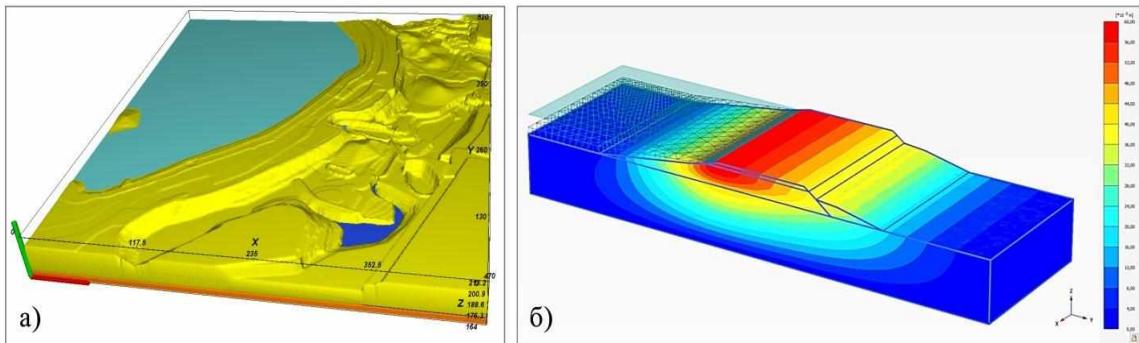


Рисунок 1 – Геофильтрационная (а) и гидрогеомеханическая (б) 3D модели природно-технической системы «водохранилище-прилегающая территория - карьер» как цифрового образа для исследования различных механизмов развития фильтрационно-деформационных процессов

Предложена классификация уровней сейсмичности по величине потока сейсмической энергии (фоновый, фоновый повышенный, высокий, экстремально высокий уровень сейсмичности) для условий подземных рудников, отрабатывающих апатит-нефелиновые месторождения Хибинского массива, что позволяет районировать месторождения по сейсмичности для прогнозирования опасных участков.

По результатам испытаний образцов скальных горных пород месторождений Кольского региона выявлена закономерность, показывающая увеличение значений пределов прочности  $\sigma_{сж}$  (в диапазоне от 50 до 220 МПа) и критических значений удельной энергии деформирования  $W_{сж}$  (в диапазоне от 0,03 до 0,40 МДж/м<sup>3</sup>) пород при нагружении их в условиях трехосного осесимметричного сжатия ( $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ). Установлено, что прочность и удельная энергия деформирования пород при трехосном сжатии связаны с их пределом прочности при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  и величиной бокового давления  $\sigma_3$  зависимостями

$$\sigma_1 = 7,34\sigma_3 + \sigma_{сж} \quad \text{и} \quad W_{tp} = \left( 27,73 \frac{\sigma_3}{\sigma_{сж}} + 1 \right) W_{сж}$$

где  $W_{сж}$  – энергия деформирования при одноосном сжатии.

На основе гидрогеомеханического 3D-моделирования насыпного грунтового сооружения (дамбы) на слабых несвязанных грунтах (намывных хвостовых отложениях) выявлены характерные закономерности фильтрационно-деформационных процессов. Зона влияния сооружения с разнонаправленным переуплотнением намывных отложений достигает трех его размеров с выдавливанием отложений в сторону низового склона и отжимом в сторону верхового. Вследствие этого под сооружением возникает зона аномального гидростатического напора, приводящая к 2-х кратному снижению его фильтрационной устойчивости.

### Разрушение горных пород

Применительно к условиям ведения взрывных работ на руднике «Железный» АО «Ковдорский ГОК» экспериментально установлено увеличение амплитуды и продолжительности колебаний зданий за счёт совместного воздействия сейсмовзрывных и ударных воздушных волн, что отрицательно влияет на сопротивляемость конструкций разрушению.

На основе экспериментальных наблюдений за сейсмическим действием массовых взрывов на карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» предложен методический подход к прогнозированию сейсмического действия взрывов на прибортовой массив, основанный на анализе реакции массива горных пород на взрывные воздействия, дифференциации участков

массива по степени их сейсмической восприимчивости и склонности этих участков к разуплотнению и разрушению.

### Обогащение полезных ископаемых

Разработана схема крупнокускового обогащения маложелезистой апатитовой руды Ковдорского месторождения, обеспечивающая за счет двухстадиальной сухой магнитной сепарации удаление из технологического потока не менее 45% хвостов обогащения, крупностью более 10 мм, что при высоком значении извлечения  $Fe_{\text{магн.}}$  96,97% приводит к росту содержания  $Fe_{\text{общ.}}$  в 1,46 раза и  $Fe_{\text{магн.}}$  в 1,82 раза.

Сформулированы и подтверждены технологическими исследованиями основные принципы оптимизации технологии обогащения магнетит-апатитовых руд, включающие: введение операции предварительного грохочения, измельчение надрешетного продукта в стержневой мельнице, использование гидравлических грохотов в замкнутом цикле с шаровой мельницей, стадиальный вывод концентрата. Практическая реализация технологии позволит увеличить качество железорудного концентрата с 64 до 66%  $Fe_{\text{общ.}}$ .

Обоснован и численными экспериментами проверен методологический подход к моделированию структуры суспензии магнитных частиц микронного размера, заключающийся в калибровке параметров компьютерной модели экспериментальными данными зависимости вязкости от температуры и скорости сдвига (рисунок 2). Установлено, что свойства магнитной суспензии определяются внутренним вращением цепочечных агрегатов магнитных диполей. Модель может быть использована для изучения структур агрегатов тонкодисперсных частиц магнитных минералов.

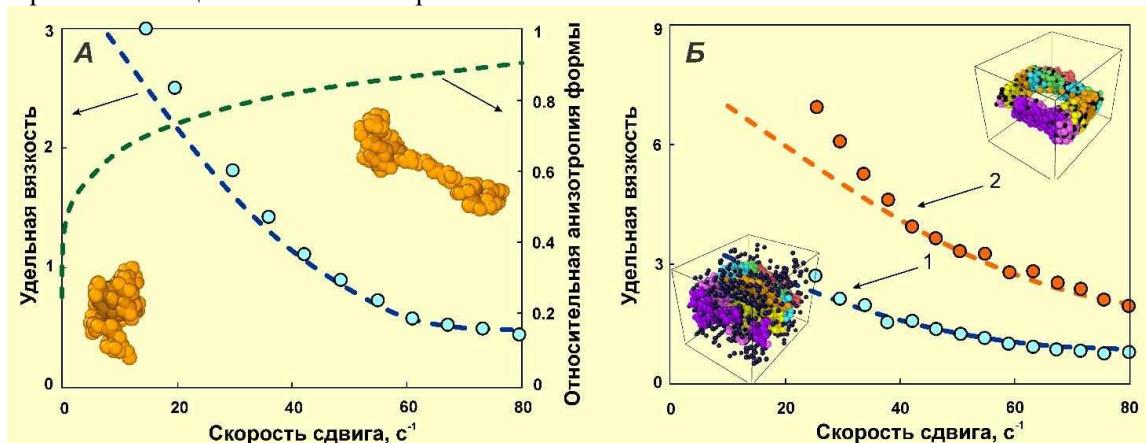


Рисунок 2 – Кривые вязкости суспензии частиц магнетита размером 1 мкм:  
(А) – анизотропия формы цепочечных агрегатов; (Б) – в присутствии одноименно (1) и разноименно (2) заряженных частиц кварца.

Обозначения: линии – расчет, окружности – эксперимент; черный цвет – частицы кварца

На основе выявленных особенностей вещественного состава отходов обогащения лопаритовых руд и закономерностей их разделения разработана комбинированная гравитационно-магнитно-флотационная технология обогащения, обеспечивающая получение кондиционного нефелинового концентрата с массовой долей  $Al_2O_3$  28,12% и извлечением 78,84%  $Al_2O_3$ , а также лопаритового концентрата, содержащего 5,07%  $Nb_2O_5$  при извлечении 40,96% от исходного питания.

Разработаны новые реагенты-собиратели – азотные монопроизводные фталевой кислоты, использование которых в сочетании с бутиловым ксантофилом в составе собирательной смеси при флотации сульфидных медно-никелевых руд обеспечивает снижение потерь никеля с хвостами на 0,6–2%.

Предложен к использованию в составе собирательной смеси для флотации апатит-нефелиновых руд реагент ФЕ-10/1,3 (ПАО «Уралхимпласт») взамен импортного реагента из класса эфиров фосфорной кислоты с сохранением высоких показателей получения апатитового концентрата. Предложенный реагент прошел стадию опытно-промышленных и промышленных испытаний.

## Горная экология

Выполнено обоснование экоинвестиционного подхода к восстановлению природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, заключающегося в повышении энергетической составляющей в ходе эволюции системы «горная порода – биота» в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием. Анализ данных мониторинга восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов Кольского ГПК, свидетельствует о формировании фитоценоза с устойчивой видовой структурой, соответствующей фитоценозу окружающего природного ландшафта, что характеризует скорость восстановления.

В развитие методологии восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, разработан методический подход к мониторингу динамики восстановления на основе анализа температурного поля по спутниковым снимкам. Выявлены приоритетность и пространственное распределение трендов с использованием нечеткой нейросетевой модели взаимосвязи факторов восстановления за период с 2000 г. по 2024 г. на примере фитоценоза, формирующегося на откосах складированных отходов переработки руд Хибинской группы месторождений.

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

#### 1.5.7. Горные науки

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

*С использованием трехмерной аэротермопылегазодинамической модели атмосферы, модернизированной с учетом механизмов конвекции (плавучести) и фоновой стратификации и апробированной на процессах переноса пылевых загрязнений с поверхности хвостохранилища, спрогнозированы уровни загрязнения городской атмосферы мелкой пылью. Показано, что влияние параметра фоновой стратификации атмосферы в интервале  $-0.05 \div +0.05^{\circ}\text{C}/\text{м}$  на уровень ее загрязнения мелкой (до 20 мкм) пылью: при скорости ветра 5–11 м/с на 1–2 порядка ниже предельно допустимых; максимальные интервалы уровней загрязнения в поперечном к направлению ветрового потока измерении при скорости ветра 5 м/с не превысят 10%, с ростом скорости ветра до 11 м/с эффект уменьшается до 2%. (ИППЭС КНЦ РАН, 1.5.7.4.)*

#### АННОТАЦИЯ

В неспециализированной программе COMSOL, на базе аэротермопылегазодинамической модели атмосферы, примененной для исследования процессов пыления и переноса загрязнений на площадке «хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты», спрогнозированы уровни загрязнения атмосферы г. Апатиты мелкой пылью (до 20 мкм). Численные эксперименты выполнены при скорости набегающего ветрового потока 5 и 11 м/с и изменении площади пыления от 2 до 10 га при случайном выборе двадцати дискретно расположенных пылящих участков (рисунок1). Параметр фоновой стратификации проварирован в интервале  $-0.05 \div +0.05^{\circ}\text{C}/\text{м}$ .

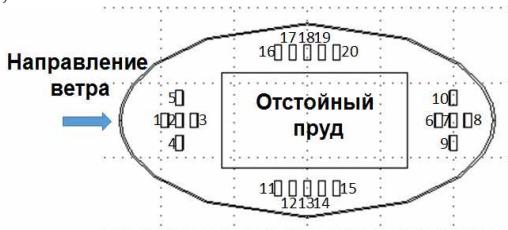
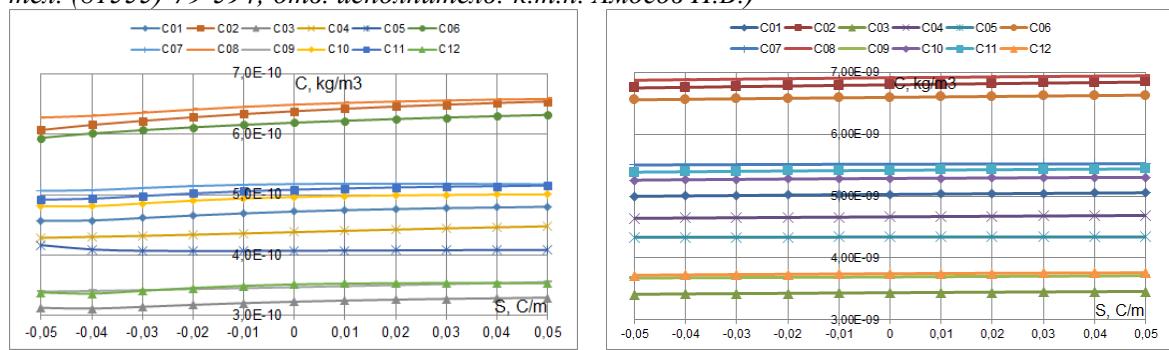


Рисунок 1 – Схематичное расположение участков пылящей поверхности (№№ 1–20) на территории хвостохранилища (отстойный пруд)

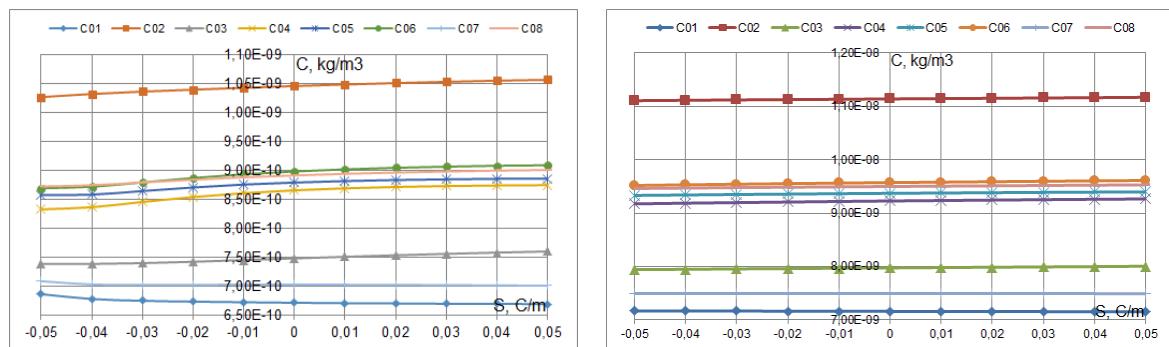
Анализ результатов численных экспериментов, выполненных по отработанному методическому подходу и принятых модельных предположений, позволил сформулировать выводы о влиянии параметра фоновой стратификации атмосферы на уровень ее загрязнения:

- имеем значительный запас «прочности» (1-2 порядка) по уровням загрязнения атмосферы при скоростях ветра 5 и 11 м/с (рисунки 2, 3);
- максимальные интервалы уровней загрязнения атмосферы в поперечном к направлению ветрового потока измерений при скорости ветра 5 м/с диапазон не превысят 10%, а с ростом скорости ветра до 11 м/с эффект уменьшается до 2%;
- отсутствует необходимость выполнения вычислений и анализа результатов при значительных скоростях ветра (17 и 23 м/с) в силу практически нулевого эффекта механизмов учета плавучести и фоновой стратификации. (Научный руководитель: д.т.н. Макаров Д.В., тел. (81555)-79-594; ответственный исполнитель: к.т.н. Амосов П.В.)



Сочетания участков пылящей поверхности: C01 – 8-2-16; C02 – 10-18-3; C03 – 4-3-8; C04 – 5-17-4; C05 – 10-3-9; C06 – 2-19-18; C07 – 19-8-14; C08 – 7-18-16; C09 – 11-3-1; C10 – 16-9-6; C11 – 2-19-8; C12 – 1-8-6

Рисунок 2 – Графические изображения зависимости концентрации пыли II-го интервала крупности (10 – 20 мкм) в центре модели г. Апатиты в зависимости от значения параметра фоновой стратификации при скорости ветра 5 м/с (слева) и 11 м/с (справа) для соответствующей комбинации выбора площадок и площади пыления 6 га



Сочетания участков: C01 – 14-10-9-13-3; C02 – 18-16-15-17-11; C03 – 4-3-5-10-20; C04 – 8-1-20-19-7; C05 – 20-17-7-14-9; C06 – 5-16-7-6-18; C07 – 10-2-12-11-6; C08 – 2-17-19-11-7

Рисунок 3 – Графические изображения зависимости концентрации пыли II-го интервала крупности (10÷20 мкм) в центре модели г. Апатиты в зависимости от значения параметра фоновой стратификации при скорости ветра 5 м/с (слева) и 11 м/с (справа) для соответствующей комбинации выбора площадок и площади пыления 10 га

#### Сведения об опубликовании:

Амосов П.В. Особенности интенсивности пыления на пространственно-разнесенных участках хвостохранилища при вариации параметра фоновой стратификации и скорости ветра. // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы VIII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 300-летию Российской академии наук и 35-летию Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Апатиты, 24–29 июня 2024 г. / Ответственный редактор Д.В. Макаров. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН. - 2024. - С. 157-158. DOI:10.37614/978-5-91137-515-7 (РИНЦ)

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

### **ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РОССИИ**

Поставки природного газа и нефти России в Европу практически в 2022 году прекратились. Европа в 2022 году заполнила свои газохранилища без российского газа. Россия вынуждена перенаправить экспорт газа и нефти в Азиатско-Тихоокеанский регион. Но газопровод «Сила Сибири», проложенный в Китай не компенсирует утраченные позиции, а проект газопровода «Сила Сибири-2» через Монголию под большим вопросом. Но открытые на Ямале гигантские месторождения газа позволили России переориентироваться на производство сжиженного природного газа (СПГ). Кроме нефти и газа Россия обладает значительным экспортным потенциалом по углю, золоту, алмазам, урану.

#### **Нефть**

Разведанных запасов нефти в России хватит до конца XXI века. По мнению главы «Роснефти» Сечина И.И. ресурсная база новых проектов в России сопоставима с ресурсной базой всех новых регионов перспективной добычи в мире. Несмотря на то, что объем геологоразведочных работ в 2022 году по сравнению с предыдущим годом увеличился на 39%, в настоящее время объем прироста запасов нефти меньше, чем ее добыча и меньше показателей 2014 года.. В условиях нестабильности, связанной с санкциями, крупные инвестиции в большие проекты по добыче нефти отсутствуют, предпочтение отдается мелким и средним проектам, отдача которых происходит быстрее. Несмотря на санкции крупнейшая мировая компания ВР продолжает владеть акциями в таких крупных проектах как «Таас Юрх», «Харампурнефтегаз», «Ермак Нефтегаз». Одним из первоклассных проектов в России является «Восток Ойл» с подтвержденными запасами 6,2 млрд т, который может обеспечить долгосрочные потребности мира, нефть которого отличается премиальными качествами.[1] Необходимо отметить, что «Роснефть» уже ведет добычу на месторождениях Ванковерского кластера, входящего в проект «Восток Ойл». Успешно ведутся геологоразведочные работы на левом берегу Енисея, и на полуострове Таймыр. Надо сказать, что проект «Восток Ойл» является единственным проектом в мире, способным оказать стабилизирующее влияние на мировые рынки углеводородов. Сечин И.И. также отметил, что мировой спрос на нефть будет расти. [2] Страны ОПЕК поставляют на рынок 90% добываемой нефти. В то время как Россия только 50%, что ставит ее в невыгодное положение. Несмотря на рекордную обеспеченность запасами нефти стран Ближнего Востока (Саудовской Аравии – 70 лет, Кувейта и Ирака – 100 лет) уже в ближайшие годы возникнет дефицит мощностей добычи.

Отказ Европы от поставок нашей нефти привел к развороту нашего экспорта на восток в Тихо-Океанский регион [3]. Крупнейшими импортерами нашей нефти являются Китай и Индия, которые потребляют 90% наших поставок. По данным таможенного управления Китая импорт нефти из России в 2022 году составил 86,25 млн. тонн, увеличившись по сравнению с 2021 годом на 8%. Поставки этой нефти в Китай и Индию осуществляются по трубопроводу «Восточная Сибирь – Тихий Океан» (Китай), а в основном морским путем посредством целой флотилии танкеров, закупленных Россией. При этом, поскольку половина этого флота относится к теневому флоту, то это позволяет обходить ценовое ограничение в цене Российской нефти в 60 долларов. Следует отметить, что и Китай и Индия, покупая российскую нефть с дисконтом, перерабатывают ее в нефтепродукты, которые реализуют на внешнем рынке с большой выгодой для себя.

#### **Газ**

Газ, как и нефть, является важнейшим стратегическим ресурсом России. Наличие таких крупнейших месторождений с запасами газа как Ковыктинское месторождение (годовая добыча 25 млрд тонн), Чаяндинское (добыча 25 млрд т), Бованенковское (добыча 67,4 млрд т) и ряд других месторождений обеспечивают надежный ресурс этого стратегического сырья. Для реализации на внешний рынок этих объемов были построены трубопроводы «Ямал-Европа», «Сила Сибири», «Северные потоки 1 и 2», «Турецкий поток» транзитные

трубопроводы через Украину через газораспределительные станции «Сохранивка» и «Суджа». С введением санкций, Польша перекрыла трубопровод «Ямал-Европа», взорваны подводные трубопроводы Северных потоков 1 и 2. Украина перекрыла транзитную нитку, идущую через Сохранивку. И наконец, главное – Европа совсем отказалась от наших поставок нефти и газа. Причем на настоящий момент газохранилища Европы заполнены на 100%. В этих условиях России ничего не оставалось, как переориентироваться с рынков Европы на рынки Тихо-Океанского региона. Объем поставок нашего газа в Европу составлял 170-180 млрд куб. м. Что мы имеем сейчас. Сегодня по магистральному трубопроводу «Сила Сибири» Россия поставляет в Китай 15-16 млрд куб. м, при расчетной мощности газопровода до 2025 года 38 млрд куб. м. Кроме того, предполагается построить трубопровод с острова Сахалин в северные районы Китая мощностью 10 млрд. куб. м. Если реализуется проект подачи газа в Китай по газопроводу «Сила Сибири 2», то его мощность составит 59 млрд куб. м. Однако, этот проект находится в стадии согласования. Из двух ниток «Турецкого потока» задействована одна, мощностью около 16 млрд куб. м. В Турции предполагается устроить ХАБ по распределению газа для поставок в Европу и близлежащие страны. Остается нитка газопровода на Украине через Суджу, мощностью 16 млрд куб. м. С 2025 годом Украина отказывается от транзита нашего газа через свою страну. Газопроводы – мероприятие чрезвычайно дорогое и их строительство занимает значительное время. К тому же, как показало настоящее время, они достаточно уязвимы для различного рода диверсий, а также не следует забывать о том, что с изменением геополитической обстановки в мире, долгосрочные контракты по объемам и цене поставляемого газа могут быть нарушены. Поэтому за последние 10 лет широко развивается система поставок сжиженного природного газа (СПГ) морским путем с использованием специальных морских судов. Россия не осталась в стороне от этих тенденций и построила на Ямале предприятие «Ямал-СПГ» Новотэка мощностью 16 млн. тонн сжиженного газа, Завод построен на базе Южно-Тайбейского месторождения, доказанные запасы которого составляют 826 млрд куб. м. На сегодня заводом произведено 100 млн тонн СПГ. Там же строится предприятие «Новотэка» по производству сжиженного газа «Арктик СПГ-2», коммерческие поставки которого намечены на ближайшее время. На Сахалине также действует завод по производству СПГ. Поставки СПГ в страны Азиатско-Тихоокеанского региона осуществляются по Северному морскому пути с помощью ледоколов достаточно длительное время года, а планируется открыть Северный морской путь для круглогодичной эксплуатации в ближайшие годы, для чего создается флот мощных атомных ледоколов, способных преодолевать мощный ледяной покров. Для отгрузки СПГ построен морской терминал «Сабетта». Основными потребителями нашего СПГ являются Китай, Япония, Южная Корея. Следует отметить, что потребность в газе в мире будет постоянно нарастать, поскольку большинство промышленных предприятий работает на газе, планомерно осуществляется перевод тепловых электростанций с угля на газ. Он мало заменим в быту для отопления и приготовления пищи. Все разговоры о переходе на «зеленую энергетику» с использованием возобновляемых источников энергии: солнечные батареи, ветровые установки, приливные и гидротермальные станции пока не получили масштабного развития, а гидроэнергетика не везде может быть использована, а атомная энергетика пока не в состоянии заменить энергию, получаемую из углеродного топлива. Ведущими предприятиями по добыче и реализации как природного, так сжиженного газа является «Газпром», «Новатэк» и «Газпром нефть».

## Уголь

Россия является одним из мировых лидеров по производству и экспортту угля, она занимает пятое место в мире по объемам угледобычи после Китая, Индии, Индонезии и США. По сведениям Минприроды России запасы угля в России расположены в границах 22 угольных бассейнов и 146 отдельных месторождений. По данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых, запасы угля в РФ по состоянию на 01.01.2023 категории А+В+С1 составляет 195,9 млрд т Запасы каменного угля оцениваются в 129,4 млрд т (из которых 50,1 млрд т пригодны для коксования). Запасы бурого угля – 146 млрд т. Запасы антрацитов учитываются в объеме 9 млрд т. Порядка 174,6 млрд т (63%) пригодны для условий открытой разработки. Фонд действующих угледобывающих предприятий России в 1 полугодии

2023 года насчитывает 54 шахты, и 135 разрезов [4]. Суммарная производственная мощность угледобывающих предприятий на начало 2022 года составила 523 млн т угля в год.

Основные потребители угля на внутреннем рынке – это электростанции и коксохимические заводы. Из угледобывающих регионов самым крупным производителем и поставщиком угля является Кемеровская область. Кузбасс в 1 полугодии 2023 года произвел около половины (48,7%) всего добываемого угля в стране, а также 61,4% углей коксующихся марок. Кузбасс также является крупнейшим экспортером российского угля (64,4%), в том числе для коксования. С 2018 года объем угледобычи превысил 299 млн т, в том числе свыше 40 млн. т коксующегося угля. За это же время было экспортировано свыше 90 млн т ежегодно, в том числе в среднем 10 млн. т коксующегося угля.

После того как Евросоюз полностью прекратил прием российского угля, он пошел в восточном направлении. В прошлом году Индия нарастила импорт Российского угля на 148%, до 16,7 млн т, а Китай на 11,2% до 59,52 млн тонн. Несмотря на колебание цен на тонну угля, существует прогноз, что он будет рентабелен для экспорта даже при цене 100\$ за тонну. Минэнерго России рассчитывает сохранить объемы добычи на уровне 2022 года в объеме 449 млн тонн, в том числе с объемом экспорта 220 млн тонн. По прогнозам спрос на уголь в будущем будет только расти. За первую половину 2023 года мировой спрос увеличился на 1,5% до 4,7 млрд т. По прогнозу глобальный спрос на энергетический уголь будет расти до 2039 года до 7,01 млрд тонн в год. Основной спрос на Российский уголь предъявляет Китай, который подтвердил строительство двух крупнейших тепловых электростанций и Индия. Новыми рынками сбыта могут стать и африканские страны, в частности Марокко объявила о намерении стать в Африке угольным ХАБом.

В свете того, что большинство стран мира подписали Парижское соглашение о сокращении выбросов парниковых газов и, в первую очередь углекислого газа, необходимо отметить следующее. Зеленая энергетика за счет использования возобновляемых источников энергии, еще не скоро заменит углеродную энергетику. Развивающиеся страны еще долго будут использовать уголь, как наиболее дешевое сырье, для тепловых электростанций. Да, принятие положений об обложении налогом стран, имеющий наиболее высокий объем выбросов и выпуска продукции, имеющей углеродный след, грозит серьезными осложнениями экономики этих стран. Но надо принимать во внимание, что изменение климата на Земле вследствие технологических выбросов строго математически не доказано. Имеются гипотезы, что извержение вулканов дают более существенный вклад в загрязнение земной атмосферы. Есть и другая точка зрения, что потепление климата связано не с антропологическим влиянием, а это длительные циклы жизни Земли, связанные с периодами потепления и охлаждения. Не надо сбрасывать со счетов и то соображение, что климатическая теория может использоваться в качестве рычага «удушения» экономики стран, построенной на углеродной энергии, например России. В Южной Корее в печати появились первые сведения о превращении углекислого газа с помощью бактерий в биопластик. Это возможное решение утилизации углекислого газа.

## Золото

Геополитическая остановка в мире и отказ от долларовой системы взаиморасчетов между странами, привел к необходимости иметь большой золотой запас. По итогам 2022 года по объемам золотодобычи Россия занимает 2-ое место (330 т) после Китая (374 т), далее располагаются Австралия, Канада, США, входящие в топ пятерку с добычей от 320 до 175 тонн соответственно [5]. В 2022 году цена на золото достигла пикового значения в 2052 дол/унц. Среди топ 20 компаний по добыче золота в 2022 году наши компании занимают следующие места: 6 –е место – Polyus Gold International (79 т), 15-е место Polymetal International (45,1 т), 18-е место Nord Gold (31,9 т). Для сравнения, 1ое место в списке занимает компания Newmont с объемом добычи 186,6 т. В России в лидерах 2022 года с большим отрывом от остальных регионов, остаются Красноярский край и Магаданская область, но их начинает догонять по объемам производства Якутия. Перспективы заметного прироста в ближайшие годы сохраняются у Забайкалья, Чукотки и Хабаровского края. Десятка крупнейших регионов-золотодобытчиков обеспечивает более 90% производства золота в России. Лидером по вкладу в добычу в нашей стране уже многие годы остается Красноярский

край, в котором основной объем добычи (более 49 т золота в год) формирует Олимпиадненское золоторудное месторождение с крупнейшим в стране одноименным рудником. Магаданская область в последние годы наращивает добычу благодаря развитию добычи на Наталкинском месторождении, руднике Павлик, а также благодаря сохранению динамики в россыпной добыче (которая приносит более 40% золота в этом регионе) В Республике Саха (Якутия) значительный объем добычи также добывается из россыпных месторождений (более 30% от общего объема добычи в этом регионе)

По состоянию 01.01.2021 г. балансовые запасы золота составили 15319,9 т, которые заключены в 6059 месторождениях: 620 коренных (439 собственно золоторудных, и 181 комплексных) и 5439 россыпных, которые имеют достаточный вес в золотом балансе России.

Наибольшие запасы россыпного золота локализованы в Якутии - 278 т (25% всех запасов в России) и на Колыме - 137,8 т (12,4%). Более 4% запасов содержат Иркутская область, Забайкальский край, Амурская область и Чукотский АО. Общие запасы россыпного золота на конец 2021 года составляли 1112,2 т (7,2% российских запасов золота). Среднее содержание золота в россыпях колеблется от 0,44 до 1 г/куб. м [6].

### **К стратегически важному сырью для России еще относятся алмазы и уран.**

Общий объем производства алмазов в мире в 2022 году составил 119,96 млн карат, из которых 41,9 млн пришлось на Россию. Это рекордные 35% рынка. Вместе с африканскими странами РФ контролирует почти 90% мирового рынка алмазов. Среди африканских стран лидерами по добыче алмазов стали Ботсвана, Демократическая Республика Конго и Южная Африка, кроме того в топе производителей Канада и Бразилия. При этом основные экспортёры этого сырья не являются его производителями. Объединенные Арабские Эмираты продали 89,4 млн карат (27%) от мирового экспорта, в то время как Евросоюз продал 75,2 млн карат, что составляет 22,7% [7].

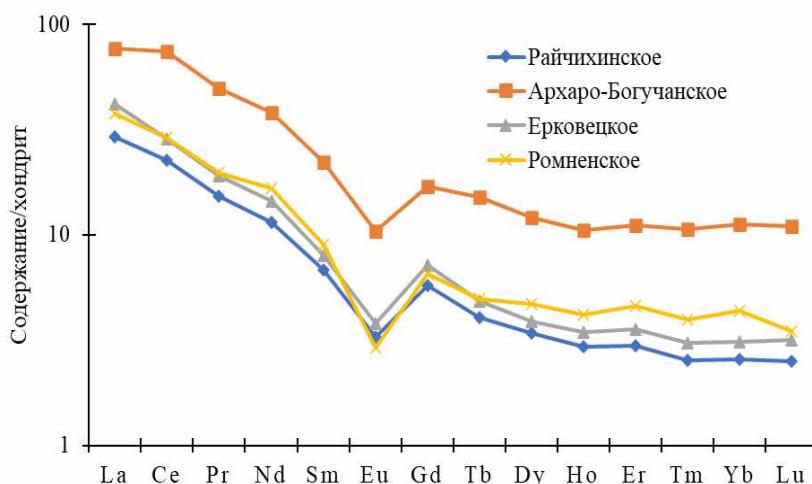
С появлением атомного оружия уран воспринимается как «щит родины». В настоящее время атомная энергетика широко распространяется по всему миру, что соответственно требует урановой руды. Появились морские суда, подводные лодки с атомными двигателями, наконец, появились малые мобильные АЭС, предназначенные для работы в труднодоступных местах Арктического шельфа и в отдаленных северных районах Дальнего Востока. В России запасами урана обладают следующие регионы: Забайкальский, Западно-Сибирский и Витимский. С распадом СССР, часть урановых месторождений в Украине и Казахстане оказалась за рубежом. Основным производителем урана в России является ПАО «Приангарское производственное горно-химическое объединение им. У.П. Славского, расположенное в г.Краснокаменск Забайкальского края. Этому предприятию уже 55 лет. Росатом имеет ряд контрактов по проектированию, строительству и эксплуатации АЭС. Часть добываемого урана идет на экспорт.

### **Литература**

1. Сечин И.И. Результаты геологоразведки на проекте «Восток Ойл» кратко превышают прогнозы. // Из доклада на Петербургском XXV международном экономическом форуме (ПМЭФ).
2. Сечин И.И. Новый мировой энергорынок: крестовый поход против Российской нефти. // Доклад на XXV (ПМЭФ).
3. Сечин И.И. Причины и последствия переформатирования мирового энергетического рынка. // Нефтяное хозяйство. – 2023. - №8. – С. 6-11.
4. Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за первое полугодие 2023 года. // Уголь. - 2023 - №9. – С. 5-13.
5. Лесков М.И., Баушев С.С. Золотодобывающая промышленность России: текущее состояние и перспективы. // Аналитический доклад на ежегодной конференции в апреле 2023 г. «Золото и технологии».
6. Лаломов А.В., Владимирцева О.В., Бочнева А.А. Роль россыпных месторождений золота в РФ. // Аналитический доклад в журнале «Золото и технологии». 2023.
7. Агентство «Прайм» Россия впервые заняла больше трети мирового рынка производства алмазов. // Профиль ноябрь 2023.

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

1. Изучены условия формирования REY (РЭ + Y) в палеогеновых углях и продуктах их сгорания (ПСУ) Ерковецкого, Райчихинского и Архаро-Богучанского месторождений в зоне сопряжения Нижнезейской впадины с Туранским массивом. Установлено, что наиболее высокие содержания REY, существенно превышающие кларк, выявлены в LREY (La, Ce, Nd), MREY (Y, Gd, Dy), HREY (Er, Yb). В углях соотношение нормализованных REY – SmN/YbN и LaN/ YbN >1 указывает на возможное формирование их за счет кислых эфузивов, а наличие европиевой аномалии, свидетельствующей о дополнительных питающих провинциях в гранитоидах Туранского массива (рисунок 1). Накопление редких элементов угленосных месторождений Приамурья проходило в условиях высокой подвижности Туранского массива с локальным проявлением магматической, в том числе вулканической деятельности преимущественно с контрастными формами сопряжения с Нижнезейского бассейна. С учетом этих особенностей, разработана модель формирования в углях REY, включающая три стадии: эрозию питающих провинций массива, перенос водными потоками комплексов и их накопление на периферии бассейна.

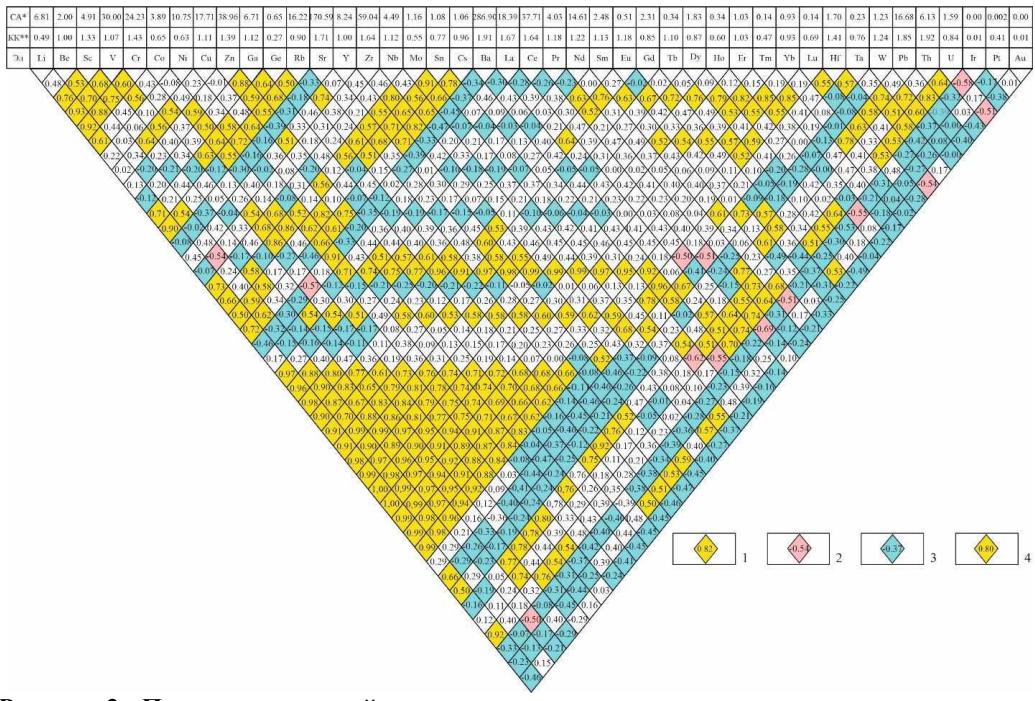


**Рисунок 1 - Распределение нормализованных по хондриту REY в буровоугольных месторождениях Приамурья**

**Сорокин А.П., Дугин С.В.** Редкие элементы и цветные металлы в палеогеновых буровоугольных месторождениях Зейско-Буреинского осадочного бассейна (Приамурье, Дальний Восток): модели накопления, условия обогащения, критерии оценки ресурсного потенциала (Обзор). // Химия твердого топлива. – 2024. – № 1. – С. 3-24. <https://doi.org/10.31857/S0023117724010011>

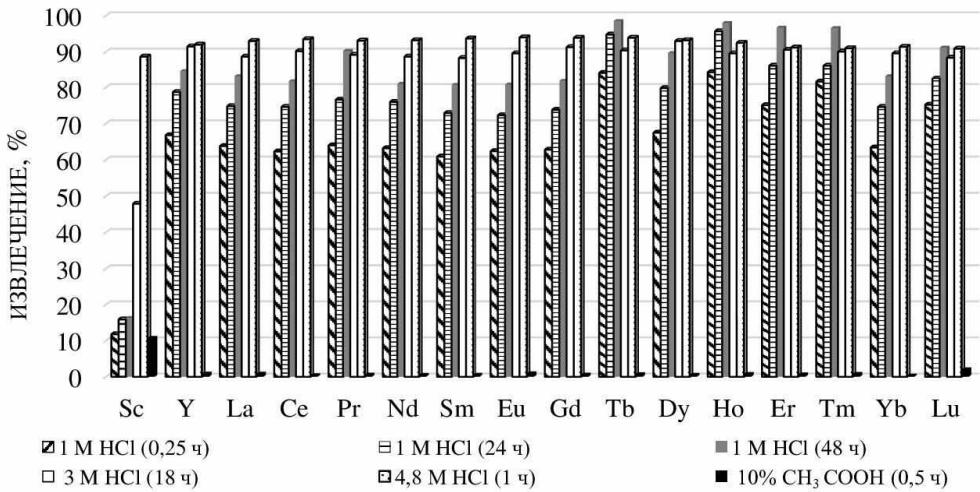
2. Приведены результаты геохимического анализа содержания редких элементов в каменных углях пласта V-VI юго-восточной части Огоджинского месторождения. Коэффициенты концентрации показывают низкие содержания практически всех редких и рассеянных элементов в опробованной части пласта. Парная корреляция (рисунок 2) и проекция переменных величин химических элементов на факторную плоскость позволяют выделить не менее двух групп элементов: первая группа – Nd, Pr, Ce, La, Gd, Sm, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Eu, Tm, Yb, Lu, Pb, вторая – Be, Rb, Mo, Cr, Ge, Co, Sc, V, Nb, U, Th, Cs, Sn, Li, Hf, Ga, Zr. Группировка редких элементов по геохимическим связям позволяет предположить наличие двух обособленных металлогенических источников. Перспективы выявления промышленных содержаний редких элементов в угольных отложениях Огоджинского месторождения остаются достаточно высокими.

**Белозеров Н.И., Дугин С.В., Гиренко И.В.** Редкие элементы в каменных углях Огоджинского месторождения (Верхнее Приамурье, Дальний Восток России). // Отечественная геология. – 2024. – № 1. – С. 53-60. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2024-10005>.



**Рисунок 2 - Показатели парной корреляции химических элементов в каменных углях (16 проб): 1-4 – корреляция: 1 – положительная значимая, 2 – положительная незначимая, 3 – отрицательная значимая, 4 – отрицательная незначимая; CA\* – среднее арифметическое; KK\*\* – коэффициент концентрации**

3. На основании экспериментальных данных по одностадийному выщелачиванию редкоземельных элементов (РЗЭ) как органическими, так и неорганическими кислотами из бурого угля Сергеевского месторождения (Приамурье) установлено, что основная часть РЗЭ в исследуемом угле представлена в виде комплексных соединений с фульво- и гуминовыми кислотами и для извлечения РЗЭ необходима минимальная концентрация кислоты. В целом около 74-97 мас.% РЗЭ извлекаются разбавленными растворами неорганической кислоты при умеренной температуре и достаточном времени контакта. Более высокая концентрация кислоты и температура незначительно влияют на экстрагируемость РЗЭ и Y. Максимальное извлечение Sc, напротив, зависит от температуры и концентрации кислоты. Извлечение Sc увеличивалось почти в 2 раза до 88.7% при повышении концентрации HCl с 1 М до 4.8 М и нагревании до 75°C. Извлекаемая фракция Sc, по-видимому, связана с кислоторастворимыми силикатными минеральными формами. Угли Сергеевского месторождения могут быть использованы в качестве источника редкоземельных элементов (рисунок 3).



**Рисунок 3 - Степень извлечения редкоземельных элементов при разных условиях выщелачивания**

**Радомская В.И., Сорокин А.П., Шумилова Л.П.** Перевод в раствор редкоземельных элементов из углей Сергеевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7-1. – С. 148–158. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2024\\_71\\_0\\_148](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_71_0_148)

4. Анализ распределения содержаний REY (лантаноиды + Y) позволяет выделить в угленосной толще палеогенового возраста 4 угольных горизонта, разделенных туфами: РЦ21-2п-4к, РЦ21-6п-8к, РЦ21-10п-12к, РЦ21-12п-14к. В первом из них повышенные концентрации REY отмечаются в кровле (43,11 г/т) и глинах (135,67 г/т), во втором – в кровле (21,20 г/т) и подошве (до 35,06 г/т), в четвертом – в нижней части разреза до 29,96 г/т в углях и 90,32 г/т в глинах. Ранее высокие концентрации REY в углях авторы связывали с повышением в углях гуминита, обеспеченного за счет периодического поступления в торфяники крупной древесной растительности в процессе затопления болот и суши в периоды крупных, в т.ч. катастрофических наводнений.

Рассмотрим другие показатели в разрезах угольной толщи. Отношения Fe/Ti и (Fe+Mn)/Ti большие 20 и 20±5 соответственно указывают на наличие в осадках продуктов подводных вулканических извержений или гидротермальных процессов. Повышенные значения Fe/Ti и (Fe+Mn)/Ti характерны для углей (от 88 и 93 до 196 и 210) при минимальных содержаниях в глинах и туфах (от 1,46 и 1,50 до 5,44 и 5,52). Эти значения в углях преимущественно повышаются по мере приближения к туфам при низких концентрациях в самих туфах (РЦ21-5). Следует отметить, что значения Fe/Ti и (Fe+Mn)/Ti в углях неравномерно снижаются по разрезу от середины угольных горизонтов к кровле и подошве (таблица).

Таблица

**Отношения химических элементов в углях и вмещающих породах Райчихинского месторождения**

Порода	Шифр пробы	REE	Fe/Ti	(Fe+Mn)/Ti	Sr/Ba	V/(V+Ni)	Mo/Mn	U/Th	Sr/Cu	Ce/Ce*	Eu/Eu*	La/Yb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Глина	РЦ21-1	135.67	4.40	4.46	0.13	0.88	0.00247	0.20	2.11	1.08	0.79	13.52
Уголь	РЦ21-2п	43.11	38.87	41.22	0.32	0.79	0.00103	0.26	12.50	1.00	0.75	7.23
Уголь	РЦ21-2к	7.84	88.33	93.33	0.37	0.94	0.00406	0.45	25.94	0.96	0.07	7.01
Уголь	РЦ21-3п	17.06	147.66	157.12	0.29	0.56	0.00080	0.29	126.96	0.97	0.49	15.75
Уголь	РЦ21-3к	25.38	196.79	210.70	0.28	0.34	0.00016	0.28	44.62	0.93	0.63	18.92
Уголь	РЦ21-4п	23.44	91.72	97.44	0.37	0.54	0.00023	0.30	65.02	1.03	0.54	11.48
Уголь	РЦ21-4к	22.59	9.73	10.33	0.27	0.51	0.00082	0.27	28.42	1.04	0.53	11.45
Туф	РЦ21-5	25.37	2.27	2.40	0.24	0.83	0.00581	0.31	5.29	1.00	0.62	11.69
Уголь	РЦ21-6п	21.70	21.42	22.84	0.27	0.65	0.00060	0.27	40.15	1.02	0.48	13.03
Уголь	РЦ21-6к	21.56	44.09	47.09	0.28	0.55	0.00032	0.24	30.74	1.01	0.49	13.62
Уголь	РЦ21-7п	10.56	83.00	88.06	0.31	0.29	0.00061	0.33	29.61	0.92	0.13	10.89
Уголь	РЦ21-7к	12.86	173.03	184.79	0.29	0.03	0.00083	0.24	29.47	0.96	0.38	10.59
Уголь	РЦ21-8п	31.82	150.12	160.32	0.25	0.20	0.00003	0.19	77.57	1.00	0.66	10.54
Уголь	РЦ21-8к	35.06	147.47	157.29	0.25	0.16	0.00007	0.19	31.06	1.01	0.69	10.21
Туф	РЦ21-9	60.43	1.46	1.50	0.18	0.70	0.00823	0.28	2.33	1.13	0.61	18.77
Уголь	РЦ21-10п	23.86	12.78	13.39	0.34	0.31	0.00085	0.25	23.19	1.02	0.62	7.08
Уголь	РЦ21-10к	27.13	117.71	123.74	0.28	0.15	0.00071	0.18	26.29	1.03	0.63	9.63
Туф	РЦ21-11	61.10	2.99	3.09	0.21	0.45	0.00323	0.24	5.56	1.14	0.64	19.75
Уголь	РЦ21-12п	18.00	97.42	101.72	0.39	0.13	0.00250	0.21	19.62	0.96	0.52	9.94

продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Уголь	РЦ21-12к	9.85	102.66	106.75	0.35	0.14	0.00532	0.23	29.02	0.98	0.17	7.96
Уголь	РЦ21-13п	20.90	106.19	110.82	0.38	0.31	0.00165	0.20	21.35	0.97	0.60	8.22
Уголь	РЦ21-13к	25.28	82.30	86.05	0.38	0.21	0.00147	0.19	29.93	0.96	0.62	10.13
Уголь	РЦ21-14п	29.96	76.28	79.59	0.49	0.45	0.00362	0.25	9.36	0.90	0.71	5.16
Уголь	РЦ21-14к	28.95	94.02	98.24	0.32	0.29	0.00288	0.19	14.19	0.92	0.66	10.36
Глина	РЦ21-15	90.32	5.44	5.52	0.13	0.90	0.00222	0.19	3.76	0.99	0.77	13.68

Примечание: п - полосчатые угли; к - комковатые угли.

Показатель Sr/Ba характеризует палеосоленость в углях и колеблется от 0.13 до 0.49, что характерно для пресноводных отложений. Величина отношений V/(V+Ni) в пределах 0.13-0.94 свидетельствует в целом для всех горизонтов об умеренно бескислородной обстановке формирования торфяников, что также подтверждается отношением Mo/Mn (от 0.00003 до 0.005).

Цериевая аномалия (Ce/Ce\*) в райчинских углях колеблется от 0.90 до 1.14, что говорит об окраинно-континентальных условиях их накопления. Обращают на себя внимание значения отношений La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> колеблющихся от 5.16 до 19.75. Показатели менее 4 позволяют предполагать о существенной роли в питающих провинциях магматических пород основного состава, тогда как величины более 8 свидетельствуют о доминировании в областях питания кислых магматических образований (гранитоидов). Величина европиевой аномалии Eu/Eu\* изменяется от 0.07 до 0.79. При значении Eu/Eu\* менее 0.90, можно предположить о внутрикоровой трансформации (частичном плавлении в континентальной коре) пород в источниках сноса.

Соотношение Sr/Cu служит индикатором изменения палеоклимата во время формирования угленосных отложений. Значения Sr/Cu от 1.3 до 5 указывает на влажный климат, тогда как Sr/Cu более 5 предполагает сухой климат. Величины Sr/Cu в углях месторождения составляют от 9.36 до 126.96, что говорит об образовании углей в теплом климате на протяжении накопления угленосных отложений. При этом значения Sr/Cu постепенно увеличиваются от прослоев угля в подошве разреза к кровле, что говорит о постепенном увеличении сухости климата.

Приведенные данные существенно дополняют имеющиеся материалы о палеогеографических условиях формирования палеогеновых угленосных отложений Приамурья. Они свидетельствуют о приуроченности первичных торфяников к зоне сопряжения в системе впадина-поднятие на площади разгрузки палео-Буреи терригенных отложений при выходе на озерно-аллювиальную равнину. Существенные колебания концентрации REY указывает на многостадийное изменение тектонического режима, изменчивости водосборных площадей бассейна палео-Буреи. Это приводило к частому смещению и переуглублению русла реки с вовлечением в размыве разнообразных коренных источников, включая кислых изверженных и основных пород, транспортировке и накоплению микрокомпонентов в многоэтажных дельтах. Можно предполагать, что процесс формирования углей был достаточно сложным с эпизодами размыва торфяников. Маломощные линзы туфов в углях, а на других участках месторождения и глин, свидетельствуют о том, что их было не менее четырех. Они фиксируют эти перерывы, а изменчивость в разрезе показывает, что процесс накопления туфов был более масштабным, доказательством которого служит минеральные комплексы в углях по всему разрезу. Поэтому, следует осторожно относится к общему балансу минеральной части комплекса REY, не включающего в них только терригенные составляющие палео-Буреи. Тогда можно существенно увеличить, наряду с терригенным типом, роль обогащения REY за счет туфов.

**Дугин С.В., Сорокин А.П.** Геохимические особенности угленосных отложений Райчинского буру угольного месторождения (Приамурье, Дальний Восток). // Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии: Седьмая Всерос. науч. конф. с

междунар. участием, 02–04 октября 2022, Благовещенск: сб. докладов, г. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. - 2024. - С. 63-65.

5. Актуальность обусловлена как необходимостью замещения импорта глинозема в алюминиевой промышленности его производством из отечественного сырья с целью решения проблемы сырьевой безопасности, так и накоплением большого количества золошлаковых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики, которые, с одной стороны, нарушают экологическую обстановку, а, с другой стороны, являются своего рода полезными ископаемыми, находящимися на поверхности Земли, и, следовательно, не требуют затрат на их добычу из недр. Изучение химической термодинамики реакций фторидно-аммониевой переработки техногенного золошлакового сырья проведены с целью оптимизации технологического процесса с использованием программы для предварительных расчетов термодинамики химических реакций. Изучена химическая термодинамика фторидно-аммониевой технологии переработки золошлаковых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики Амурского региона, в ходе которой получены различные полезные продукты: наноразмерный аморфный кремнезем, глинозем марок Г0 и Г1, красный железо-оксидный пигмент  $Fe_2O_3$ , концентрат  $(Ca, Y)F_2$ , обогащенный редкоземельными и тугоплавкими элементами, благородными металлами и другими полезными компонентами. Для предварительных расчетов термодинамики химических реакций использовалась  $vB$ -программа, использующая базу данных о величинах термодинамических потенциалов и их производных для более 300 химических веществ, созданную авторами на основе текстового файла. Программа позволяет вычислять изменения энталпии, потенциала Гиббса, константы равновесия, а также погрешности вычисления изменений потенциала Гиббса и энталпии.

**Пушкин А.А., Римкевич В.С., Гиренко И.В.** Химическая термодинамика фторидно-аммониевой переработки золошлаковых техногенных отходов. // Известия Томского политехнического университета. – 2024. – № 12. – С. 38-47. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/12/4551>

6. В процессе фторидно-аммониевой переработки шлаков, полученных на Экспериментальном технологическом комплексе «Амур», извлечены оксиды кремния, алюминия, железа с удалением водорастворимых фторидов натрия, калия, и концентрат редкоземельных и других элементов. Рассчитана топохимическая кинетика процессов, проведена статистическая проверка гипотез регрессионного и корреляционного анализов. Разработана эффективная инновационная схема комплексной переработки шлаков с извлечением товарных продуктов (оксидов Al, Si, Fe) и получением концентрата стратегически важных элементов и металлов. Предлагаемая схема имеет замкнутый цикл по воде и дополнительным реагентам, предусмотрена система их регенерации.

**Римкевич В.С., Пушкин А.А., Гиренко И.В.** Эффективная фторидно-аммониевая технология переработки золошлаковых отходов после сжигания углей Приамурья. // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 112-6. – С. 40-46. <https://doi.org/10.18411/trnio-08-2024-293>.

## **2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ ИМ. О.Ю. ШМИДТА РАН**

Х/д: «Сейсмическое микрорайонирование для объекта  
«Комплекс по производству сжиженного газа «Мурманский СПГ»»,  
Р.Э. Татевосян, зав. лаб. 305 ИФЗ РАН

Определены параметры сейсмических воздействий на площадку размещения объекта «Комплекс по производству сжиженного газа «Мурманский СПГ». Проведены работы по уточнению исходной сейсмичности (УИС) и сейсмическому микрорайонированию (СМР).

Работы по СМР проводились методом многоканального анализа поверхностных волн (MASW) и методом регистрации микросейсм. По результатам полевых работ построены сейсмогеологические модели грунтовой толщи, карты резонансных частот и приращения сейсмической интенсивности. С учетом УИС построены карты итоговой балльности площадки с вероятностью превышения 5% и 1% за 50 лет, необходимые для проектирования

объекта. Даны рекомендации по техногенному изменению грунтовых условий для повышения безопасности при снижении общих затрат на строительство объекта (рисунок 1).

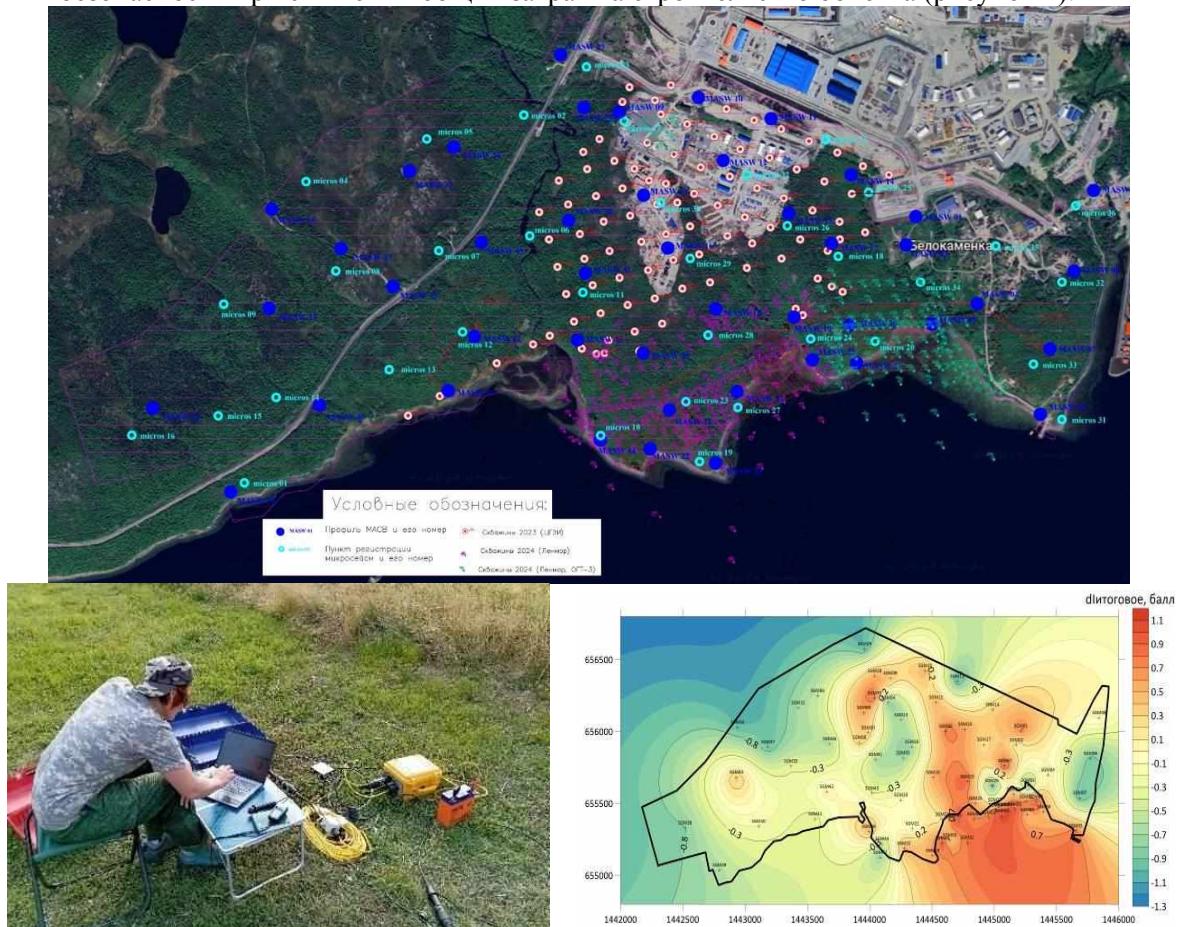


Рисунок 1 – Площадка размещения объекта с пунктами полевых наблюдений (вверху); регистрация микросейсм (внизу слева); итоговая карта приращения интенсивности (внизу справа)

#### Публикации:

Калинина А.В. и др. Результаты выполнения сейсмического микрорайонирования для объекта «Комплекс по производству сжиженного газа «Мурманский СПГ». Итоговый отчет. 2024.

Автор для переписки: Калинина А.В., Kalinina\_AV@mail.ru

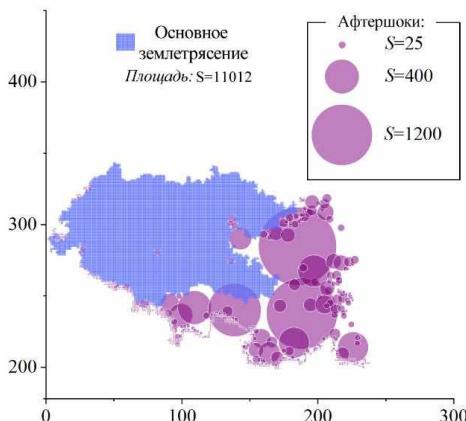
НИР «Физика сейсмического процесса: лабораторные эксперименты, полевая верификация, петрофизический анализ» (FMWU-2022-0014),  
Пономарев А.В. г.н.с. ИФЗ РАН

На основе имеющихся представлений о дискретном состоянии геологической среды построена общая модель процесса эволюции напряженного состояния такой системы. В основу положен нелинейный характер взаимодействия дискретных блоков среды с диссипацией упругой энергии, возможность разрушения элементов среды со сбросом накопленной энергии, подчиняющаяся кинетической концепции прочности твердых тел академика С.Н. Журкова. Построенная модель демонстрирует основные статистические закономерности реального сейсмического процесса. На рисунке показан пример расчета пространственного расположения эпицентра землетрясения и распределения возникшей афтершоковой последовательности.

Основываясь на кинетической концепции прочности, модель дает физическое обоснование наблюдаемым закономерностям сейсмического процесса и позволяет анализировать свойства системы, опираясь на физически понятные параметры, такие как напряжения, прочность, температура.

Работа имеет фундаментальное значение для понимания природы процессов организации и проявлений сейсмичности Земли. Анализ модельных результатов и сопоставление с данными наблюдений реальной сейсмичности в ограниченной пространственно-временной области может позволить выделить особенности организации сейсмичности в данной области и факторы ее определяющие.

Предложенное в работе модельное представление геологической среды может позволить получить оценки поля напряжений в геологических объектах со сложным полем нагружения и пространственной геометрией (подземные газовые хранилища, нефтегазовые коллекторы, горные выработки). Модель может представлять интерес и при анализе прочностных характеристик горных пород и накопления разрушений под действием внешних нагрузок. Модель может быть использована при прогнозе организации сейсмичности выделенного региона и возможных максимальных землетрясений (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Рассчитанное пространственные распределения основного модельного землетрясения и афтершоков в модели на решетке элементов  $L \times L = 500 \times 500$**

#### **Публикации:**

Черепанцев А.С., Смирнов В.Б. Закон продуктивности землетрясений в модели Олами–Федера–Кристенсена–Журкова. // Физика Земли. 2024. № 4. С. 3–20.

Авторы для переписки: Черепанцев А.С., s6319a@mail.ru  
Смирнов В.Б., vs60@mail.ru

#### **НИР «Изучение региональных характеристик сейсмических очагов и среды распространения сейсмических волн на территории России по данным сейсмических наблюдений и разработки в области инженерной сейсмологии как основы для оценки сейсмической опасности» (FMWU-2022-0013), Павленко О.В., г.н.с., д.ф.-м.н., ИФЗ РАН**

Результаты полевых работ по исследованию влияния форм каньонов, характеристик вмещающей среды и сейсмических волн, подходящих из полупространства, на параметры колебаний поверхности (по записям землетрясений) сравнены с расчетно-аналитическими оценками, представленными в публикациях; в целом данные согласуются. Показано, что усиление амплитуд колебаний от дна к вершине каньона связано с размером и наклоном бортов каньона, скоростью волн в полупространстве, углом падения и частотным составом сейсмических волн; доминирующая частота, соответствующая максимальному усилию, не чувствительна к углу падения волн; максимальный эффект – для горизонтальных колебаний (усиление до ~6 для крутых склонов) в направлении поперек оси каньона.

Амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний на дне каньона снижены по сравнению с амплитудами колебаний на скале в свободном поле в ~1.2-1.5 раз; интенсивность колебаний на дне каньона ниже интенсивности на скале в свободном поле на ~0.4-0.5 балла. С высотой интенсивность горизонтальных колебаний растет на ~0.3-0.6 балла на 100 м высоты. Эффекты частотно-зависимы для горизонтальных колебаний: наибольшее усиление – на низких частотах, наименьшее – на высоких. Для вертикальных колебаний однозначной зависимости нет. Неблагоприятные влияния каньона на колебания грунта могут быть довольно велики; их следует учитывать при проектировании (рисунок 3).

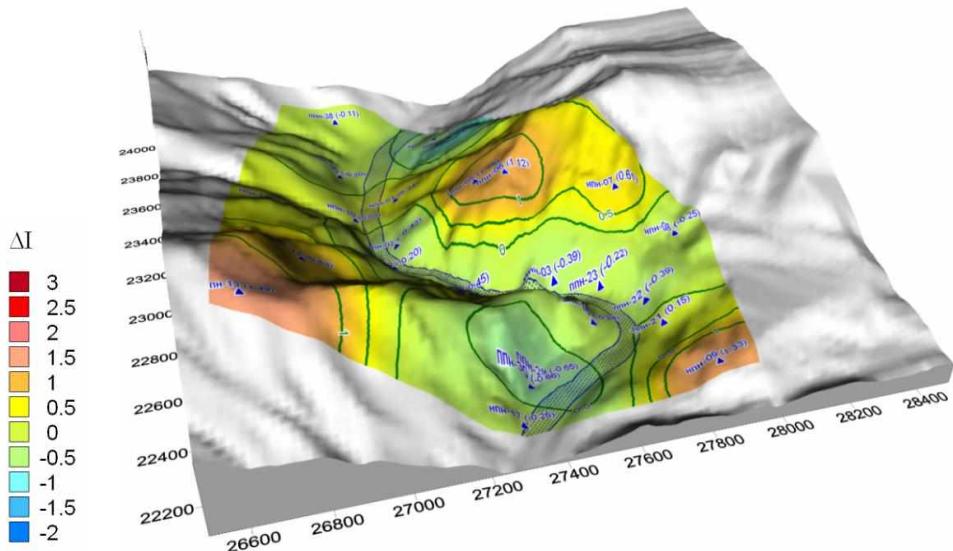


Рисунок 3 – Схема распределения приращений сейсмической интенсивности на поверхности участка створа и бортов каньона Рогунской ГЭС для горизонтальной составляющей колебаний в диапазоне 1-10 Гц

**Публикации:** Бугаевский А.Г. Сейсмический каньонный эффект: расчеты и результаты наблюдений. // Доклад на XVI научно-технической конференции ПАО «РусГидро» «Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии» (16 НТК), готовится к публикации.

Автор для переписки: Бугаевский Алексей Геннадьевич, в.н.с., к.ф.-м.н.,  
agbug@mail.ru

**НИР «Сейсмотектонический, сейсмологический и геолого-геофизический мониторинг потенциальных очагов сильных землетрясений для сейсмоактивных регионов России как основа для постадийного (долго-, средне- и краткосрочного) прогноза сейсмической обстановки и оценки сейсмической опасности» (FMWU-2022-0020)**

Руководитель темы: А.С. Ларьков, в.н.с., зав. лаб. 702 ИФЗ РАН

Руководитель работы: Н.К. Капустян, г.н.с. лаб. 702 ИФЗ РАН

## Новые возможности интерпретации данных сейсмического мониторинга состояния техногенных объектов

Сущность результата: на экспериментальных примерах представлены новые возможности интерпретации данных сейсмического мониторинга состояния техногенных объектов и районов их размещения путем включения в обработку дополнительных параметров получаемой сейсмической записи.

**Новизна результата:** впервые экспериментально доказано, что особенности временного хода параметров сейсмической записи (амплитуд техногенных сигналов, микроимпульсов) указывают на изменение напряженно-деформированного состояния объекта.

*Значимость результата:* для районов размещения ГЭС выделение из микросейсм колебаний от агрегатов ГЭС с анализом временного хода их амплитуд дает информацию о текущей сейсмичности района в радиусе десятка километров от ГЭС; использование амплитуд колебаний от проходящих поездов при мониторинге вблизи ж/д насыпи и сравнение сезонных (зима-лето) значений позволяют классифицировать грунты на устойчивые и неустойчивые к воздействию транспорта; мониторинг микроимпульсов арктической станцией дает дополнительные сведения о ледовых полях для проводки судов Севморпути.

Возможные сферы практического применения результата: безопасность гидротехнических сооружений, железнодорожных насыпей; контроль ледовой обстановки (рисунок 4).

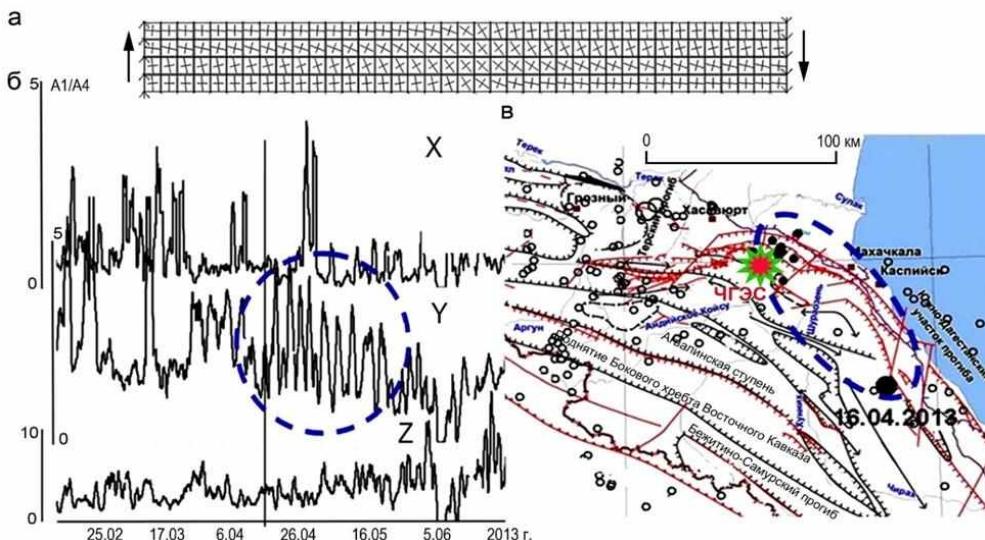


Рисунок 4 - Сопоставление сейсмодеформационных процессов с геодинамикой Дагестана:  
 а – схема деформирования плотины при сдвиге берегов; б – временной ход относительных амплитуд X, Y и Z компонент при просвечивании плотины вибрациями от агрегатов ГЭС;  
 в – карта разрывных нарушений, звездой показано расположение Чиркейской ГЭС

Автор для переписки: Капустян Н.К., nkapustian@gmail.com

**2.14. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Фундаментальные и прикладные исследования проводятся в рамках следующих основных направлений научных исследований ФГБНУ «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 2024 году Институт проводил исследования по 5-ти фундаментальным темам государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и 12-ти хоздоговорным работам.

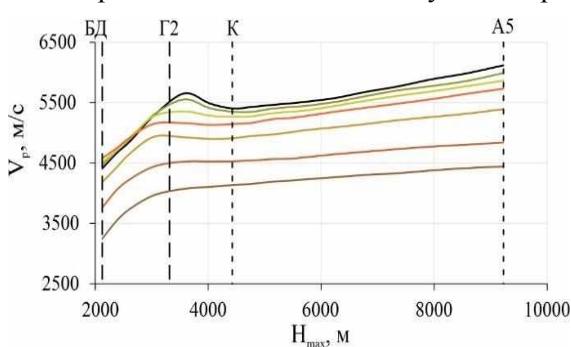
Наиболее значимые результаты по направлению «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды»:

**FRSR 2023-0007 Разработка геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана на угольных шахтах в зонах динамического влияния разломов**

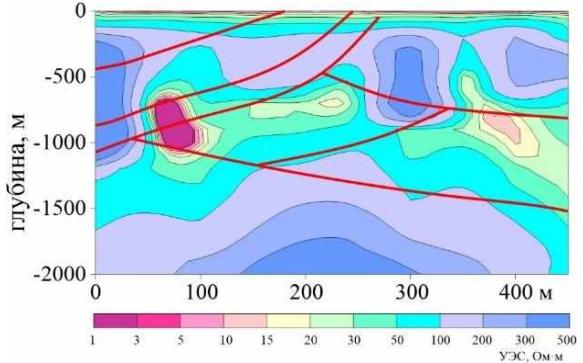
Определены сейсмические и электрометрические характеристики аномального скопления метана и вмещающих пород в зоне динамического влияния разлома. Впервые для Донбасса установлены закономерности изменения скорости распространения продольных упругих волн в скелете угленосных пород, обусловленные величиной постдиагенетического изменения и размером зерен (рисунок 1), что позволяет повысить эффективность использования сейсморазведки при выделении аномальных скоплений метана трещинного типа

по их скоростным характеристикам. Установлено, что падение значений скорости распространения сейсмических волн на 10-20% и более на отдельных участках профилей, а также наличие областей с высокими значениями кажущегося электросопротивления в нижней части разреза, отличающихся от проводящего фона на 10–15% и более, связаны с аномальными скоплениями метана в зоне динамического влияния разлома (рисунок 2). При анализе данных геофизических исследований скважин установлено, что аномальные скопления метана выделяются по увеличению удельного электрического сопротивления литолого-стратиграфической пачки выше 100% и уменьшению скорости продольных волн на величину более 40-50% относительно такой же, но водонасыщенной и не трещиноватой пачки.

Полученный результат представляется исключительно важным с точки зрения обеспечения безопасной и эффективной разработки угольных месторождений параллельно с сопутствующей добычей метана. Результаты определения аномальных скоплений метана предназначаются для планирования работ по дегазации угольного месторождения и поисков нетрадиционных источников углеводородных газов.



**Рисунок 1 - Постдиагенетическое изменение скорости распространения продольных упругих волн в скелете угленосных пород Донбасса**



**Рисунок 2 - Изменение электросопротивления пород в зоне динамического влияния разломных структур**

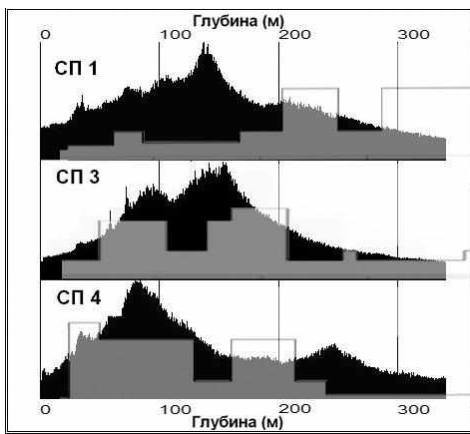
Методами структурной геологии на участке исследования установлено:

1. Зоны динамического влияния разломов выявляются по наличию в рельефе пликативных форм, согласующиеся с кровлей нижележащей толщи пород. В нижележащих отложениях зоны динамического влияния разломов проявляются участками расщепления угольных пластов и развитием мелкоамплитудной тектоники, которая повышается с глубиной залегания пластов.

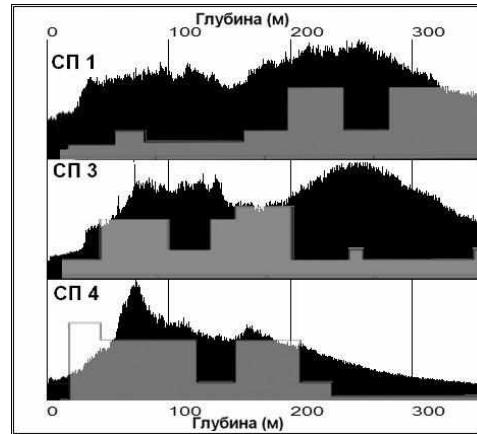
2. Зоны динамического влияния региональных разломов характеризуется снижением мощности всех свит карбона за счёт выхода на дневную поверхность и разрушения угольных пластов и маркирующих известняков. По размерам участков изменения мощности угольных пластов можно приблизительно оценить зоны геодинамического влияния крупных региональных и менее протяжённых локальных надвигов, сбросов и сдвигов.

Разработана математическая модель связи дизъюнктивной нарушенности отложения каждой свиты карбона с глубиной залегания пластов, показавшая, что чем глубже расположены пласти свиты, тем больше влияние тектоники.

Разработаны алгоритмы и программные модули обработки и анализа данных микросейсмического мониторинга, позволяющие получить зависимости амплитудно-частотных характеристик регистрируемых волновых полей от времени для различных частотных диапазонов и усредненные амплитудно-частотные характеристики микросейсмических колебаний за длительный период времени. Для прогноза пространственного расположения геологических аномалий разработаны программные модули построения распределения скорости распространения волны Рэлея по глубине. С их помощью, исходя из априорных данных о строении горного массива и распространении скоростей сейсмических волн в породных слоях рассчитаны распределения амплитуды сейсмических колебаний в верхней части разреза. Сравнительный анализ результатов расчетов с данными бурения показал, что для областей вне зоны влияния тектонических нарушений зоны наибольших спектральных амплитуд вертикальной компоненты поля колебаний можно сопоставить с породными слоями, характеризующимися малыми скоростями распространения сейсмических волн (рисунок 3).



a)



б)

**Рисунок 3 - Сопоставление распределения амплитуды сейсмических колебаний по глубине с априорными данными о распределении скоростей распространения сейсмических волн для вертикальной (а) и горизонтальной (б) компонент регистрируемых сейсмических колебаний**

**FRSR 2024-0002 Исследование деформированного состояния и геофизических свойств подработанного углепородного массива**

Определены критерии выявления зон разуплотнения по данным сейсмометрии, критерии интерпретации результатов сейсмометрии участков техногенно измененного подработкой углепородного массива, как на сейсмических разрезах ОГТ, так и на изображениях среды, полученных методом дифрагированных волн. Установлены взаимосвязи физико-механических свойств пород участков горного массива, измененных подработкой, с их геофизическими параметрами, являющиеся базовыми критериями для дальнейшего прогноза изменений состояния массива горных пород при подземной разработке угольных месторождений. Доказано, что изменение в результате подработки прочностных свойств горных пород над очистной выработкой, влечет за собой изменение величины граничного угла и параметров горного массива и земной поверхности (рисунки 4, 5).

В результате анализа геомеханических конечно-элементных моделей установлен характер влияния упругих свойств горного массива в зоне беспорядочных обрушений над лавой на параметры сдвижения горного массива и земной поверхности при последующих подработках. Разработана физико-геологическая модель подработанного углепородного массива по петрофизическим данным, которая отражает изменение коэффициента пористости, удельного электрического сопротивления и скорости продольных волн литолого-стратиграфических пачек песчаникового и аргиллитового типа. Установлено, что при образовании трещинной пористости, обусловленной подработкой и равной 0,5 и 1%, происходит уменьшение значений электросопротивления, соответственно, на 90 и 95%, а скорости продольных волн на 10 и 20%. Более чувствительным к подработке массива горных пород является параметр удельного электрического сопротивления. Результаты работы будут положены в основу дальнейших исследований, направленных на установление закономерностей изменений горно-геологических и физических параметров массива горных пород на подработанных территориях.



**Рисунок 4 - Постановка задачи и схема влияния многократной подработки на граничные углы сдвижения**

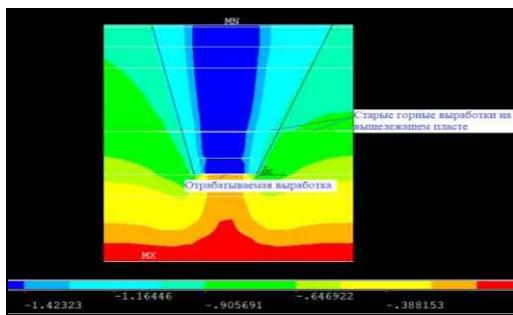


Рисунок 5 - Модель распространения оседаний при снижении физико-механических свойств горного массива в зоне беспорядочного обрушения ( $\delta_0$  – граничный угол)

Наиболее значимые результаты по направлению «Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых»:

**FRSR-2023-0006 Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород**

Разработана аналитическая модель формирования и трансформации напряженного состояния обводненного массива горных пород при отработке свиты пластов с учетом основных влияющих факторов. При значительном развитии очистных работ, с помощью предельного перехода и суперпозиции формул, дающих решение задачи о распределении поля напряжений при отработке одиночного пласта, можно получить выражения для расчета коэффициентов концентраций напряжений для конкретных глубин. Кроме коэффициентов концентраций можно рассчитывать деформационные характеристики массива, мощности пласта и размеры целиков в обводненных массивах, не прибегая к мощным программным средствам.

Разработана модель деформирования приповерхностной зоны сдвижения массива горных пород в условиях обводнения. В качестве рабочей гипотезы для моделирования деформирования приповерхностной зоны сдвижения обводненного массива горных пород была разработана новая геомеханическая схема (рисунок 6).

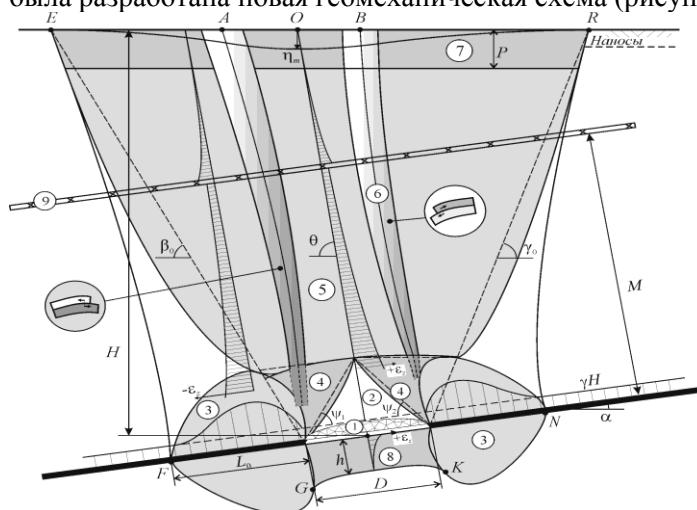


Рисунок 6 – Геомеханическая схема сдвижения горного массива вокруг очистной выработки

Установлено, что на размер приповерхностной зоны  $P$  влияют глубина, мощность подрабатываемого пласта, мощность наносов и минимальный размер выработанного пространства в подрабатываемом угольном пласте. Получена новая зависимость величины приповерхностной зоны от перечисленных параметров.

Особенности приповерхностной зоны представляют собой практический интерес с точки зрения эффективного расположения в ней многих подземных сооружений. В пределах этой зоны наблюдается практическое отсутствие сдвиговых горизонтальных и относительных вертикальных деформаций и локализация максимальных горизонтальных сдвигений на ее верхней границе – земной поверхности; основным видом сдвижения является

равномерное перемещение породных слоев, находящихся в пределах этой зоны, подобно наносам.

Проведен анализ геомеханического мониторинга состояния земной поверхности на территории ликвидированных шахт ЦРД.

По результатам проведенных серий инструментальных наблюдений на профильных линиях получены фактические значения вертикальных смещений реперов от активизации процесса сдвижения при затоплении массива горных пород. Разница между сериями наблюдений во всех случаях составляла более одного года. Указанный интервал времени достаточен для проявления процесса сдвижения горных пород при изменении их физико-механических свойств в результате размокания. По каждой наблюдательной линии построены графики фактических и расчетных значений вертикальных смещений реперов (рисунок 7).

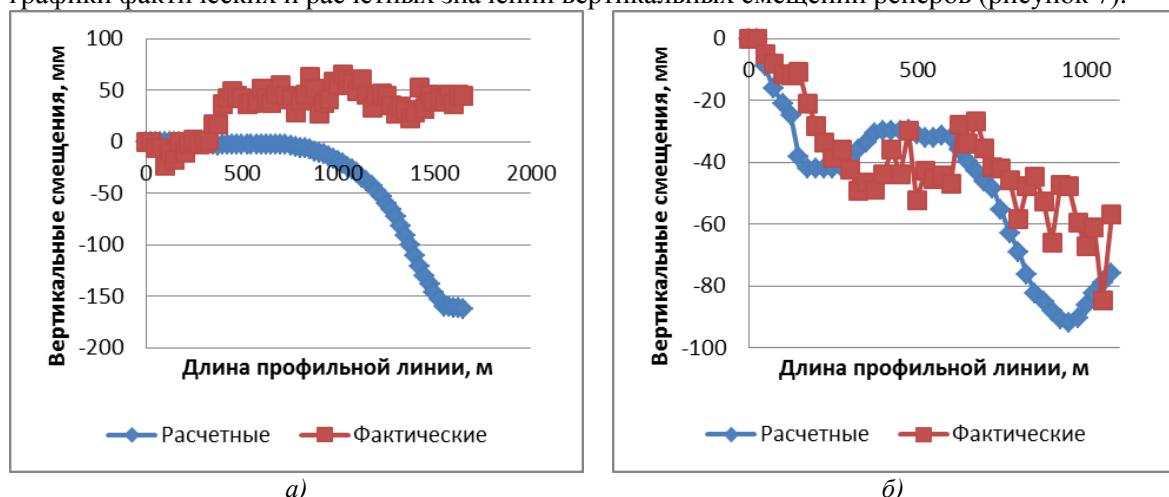


Рисунок 7 - Графики с явно выраженным поднятием (а) и опусканием (б) земной поверхности

По результатам исследований можно сделать однозначный вывод о том, что обводнение массива горных пород приводит (в большинстве случаев) к поднятию земной поверхности, которое зафиксировано экспериментальным путем и имеет системный характер.

Выполнено моделирование гидромеханических процессов в условиях массового закрытия шахт центрального района Донбасса (ЦРД).

При построении региональной расчетной модели был использован разработанный математический аппарат для аппроксимации фильтрационной неоднородности массива и для учета возможных граничных условий при крутом падении угольных пластов и большом количестве их отработки на каждой шахте. Это дало возможность сохранения основных критериев подобия построенной модели реальным гидрогеологическим условиям. На данном этапе исследований ключевым моментом является построение непротиворечивой математической модели в самых общих чертах, без детального описанной процессов, происходящих процессов на конкретных шахтах. В рамках такого подхода при решении задач регионального масштаба появляется возможность проследить процесс изменения гидрогеологического состояния всей группы связанных шахт, с учетом выполненной аппроксимации параметров математической модели и реальных граничных условий, связанных с действующими водоотливами на конкретных шахтах.

На рисунке 8а представлены результаты моделирования процесса затопления группы шахт в нестационарной постановке. Результаты моделирования отвечают уровням затопления в некотором промежуточном состоянии, когда уже сработали гидравлические связи, расположенные на самом верхнем горизонте группы рассматриваемых шахт. На рисунке 8б показана стационарная депрессионная воронка, которая сформировалась на сегодняшний день из-за работающего водоотлива на шахте. Как видно из рисунка, депрессионная воронка над выработанным пространством группы шахт имеет почти плоское дно, что определяет наличие незначительных градиентов давлений на этих участках.

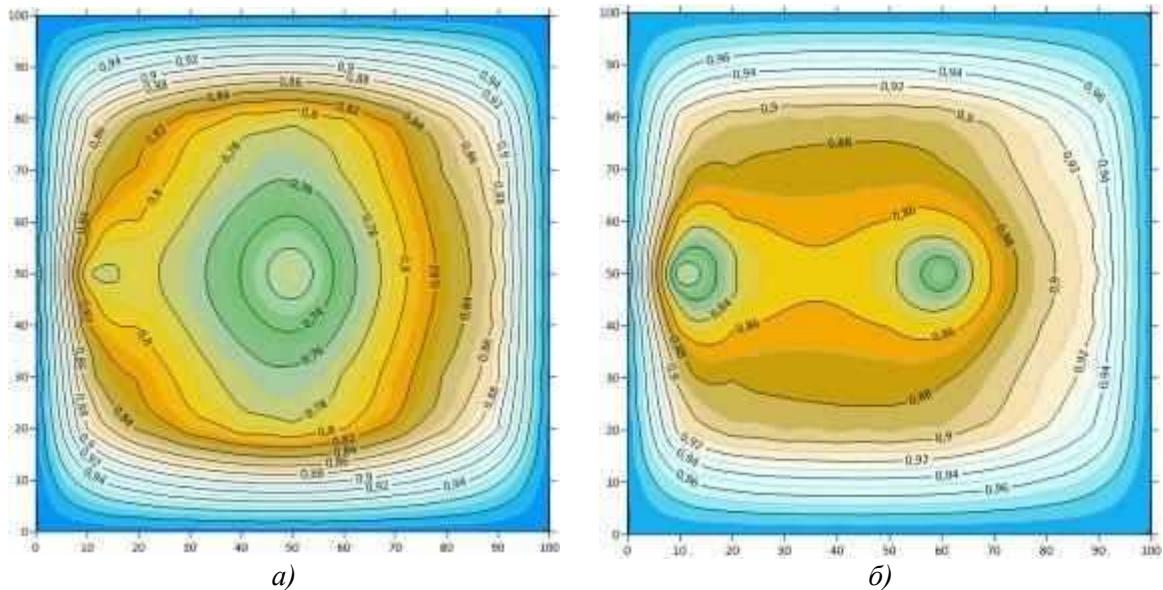


Рисунок 8 - Распределение пьезометрических напоров в начальный период затопления (а) и в стационарном состоянии (б) при затоплении группы шахт

**FRSR-2024-0001 «Изучение геомеханических и геофльтрационных процессов в подработанных обводненных горных массивах»**

Разработана гидродинамическая модель фильтрации и массопереноса, позволяющая прогнозировать изменения техногенного режима подземных вод в гетерогенных средах с учетом различия течений в крупных трещинах и внутри пористых блоков (рисунок 9-10). Установлено, что в условиях нестационарной фильтрации дифференциация распределения давлений в блоках и трещинах приводит к образованию пьезометрических волн (рисунок 11), с амплитудой, равной разности давлений в блоках и трещинах. Полученные результаты показывают, что при кажущейся стабилизации режима подземных вод, процессы массообмена в подработанном горном массиве продолжают находиться в активной фазе, в результате чего возникает угроза отложенного (на срок до нескольких лет) воздействия процессов обводнения массива на региональную экосистему. Выявленные волновые особенности процессов подземной гидродинамики могут быть широко использованы при решении задач по ликвидации и восстановлению угледобывающих предприятий.

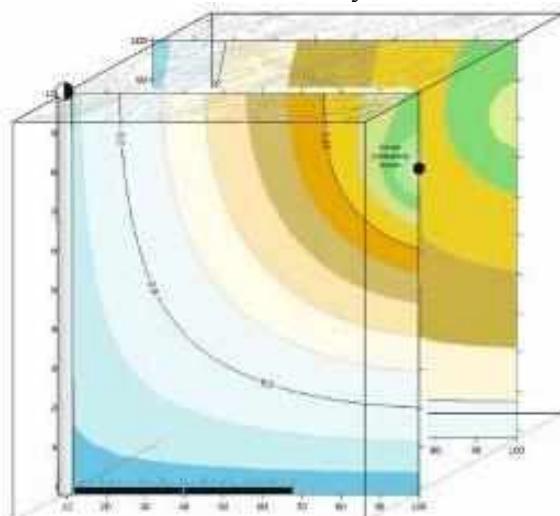


Рисунок 9 - Схематизация модели на фрагменте вертикального разреза исследуемого участка

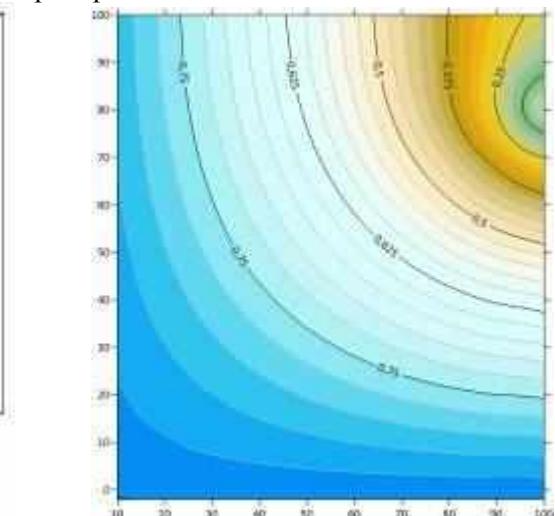


Рисунок 10 - Распределение напоров в трещинах для сильно раздробленных горных пород (стационарный режим)

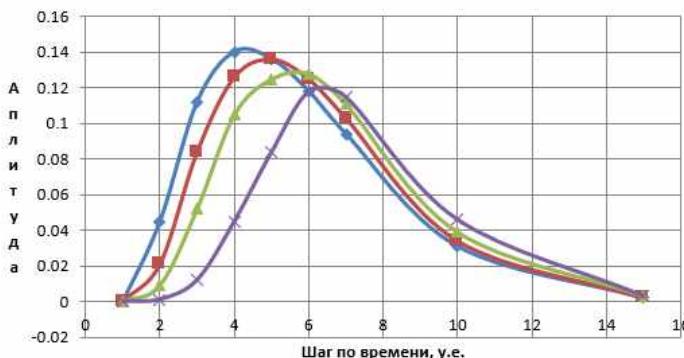


Рисунок 11 – Распространение пьезометрической волны вдоль вектора градиента давлений

Разработан новый интегральный поход к оценке пустотности подработанного массива горных пород. Выявлены основные закономерности в характере распределения значений коэффициента пустотности в различных горно-геологических условиях (рисунок 12), что свидетельствует об универсальности предложенной методики, которая может быть использована при решении широкого ряда практических гидрогеомеханических задач.

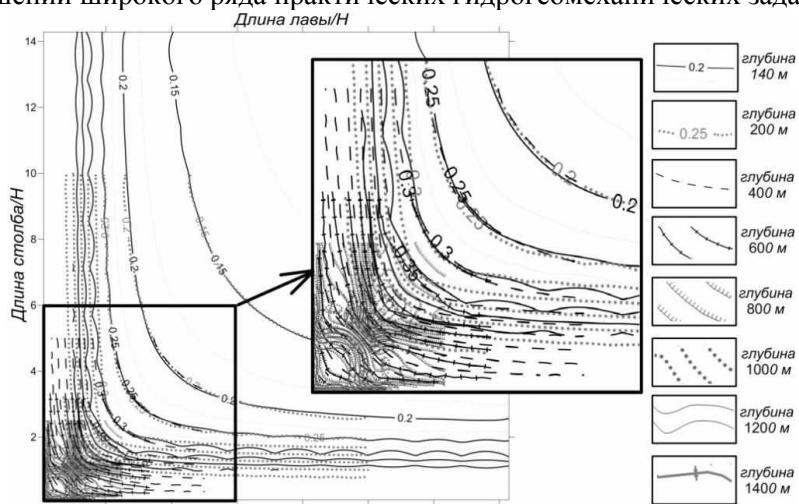


Рисунок 12 - Совмещенная карта распределения значений  $k_p$  в различных горнотехнических ситуациях для условий полого залегания горных пород

**«Заключение по безопасному ведению горных работ под затопленными горными выработками в северо-западном блоке шахты «Воркутинская» АО «Воркутауголь» при проведении проходческих и монтажных работ на выемочном участке 114-с пласта «Четвертый»**

В результате выполнения работы получены следующие результаты:

- выполнен расчет устойчивости целика по условиям гидро- и удароопасности;
- выполнен расчет предельных градиентов давлений для нормативных целиков для различных глубин по пласту «Четвертый»;
- определен безопасный уровень затопления для целика шириной 42 м.

В результате проведенных исследований установлено, что целик между затопленным конвейерным штреком 813-ю и действующим магистральным вентиляционным штреком 14-с пласта «Четвертый» является нормативным и имеет существенный запас устойчивости от разрушения под воздействием процессов суффозии.

#### Прогнозы развития гидрогеологической ситуации в техногенных горизонтах и на поверхности обосабленных шахт Донбасса

Прогноз развития гидрогеологической ситуации проводился с целью обеспечения безопасности объектов поверхности от влияния активизации процесса сдвижения земной поверхности при затоплении выработанного пространства шахт.

Проведены работы по детальному изучению гидрогеологической ситуации на 26 шахтах Донбасса, определены безопасные уровни затопления техногенных горизонтов шахт с целью исключения подтопления поверхности и предотвращения вредного влияния деформаций на объекты поверхности. По результатам анализа гидравлических связей между шахтами и расхода перетоков, периода затопления техногенных горизонтов шахт и инфраструктуры поверхности определены оптимальные схемы водоотливных комплексов на базе погружных насосов.

По результатам изучения гидрогеологической ситуации на семи шахтах Донецко-Макеевского района составлен прогноз развития гидрогеологической ситуации в случае полной остановки подземных водоотливных комплексов. Определены сроки и скорости затопления выработанного пространства шахт, локализованы места потенциального излива подземных вод на земную поверхность и определены их ожидаемые объемы.

### Прогнозы долговременной геомеханической устойчивости вертикальных стволов шахт

На ряде шахт выполнен прогноз долговременной геомеханической устойчивости крепи стволов и проведена проверка соответствия горно-геологическим и геомеханическим условиям поддержания вертикальных вентиляционных стволов с определением расчетной оценки состояния их крепи. На основании проведенного телеметрического обследования сделана оценка фактического состояния крепи с сопоставлением расчетных и фактических оценочных характеристик.

По результатам моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород сделана оценка влияния возможных подработок стволов на их геомеханическую устойчивость и разработаны мероприятия по обеспечению долговременной геомеханической устойчивости стволов.

По объекту «Строительство защитного водоотливного комплекса на шахтоучастке №5» (шахта «Индустрія №71») выполнена также оценка фактического состояния не только стволов, но и сопряжений с примыкающими горными выработками, в том числе вентиляционными и иными технологическими каналами (с указанием их параметров и глубины заложения) с сопоставлением расчетных и фактических оценочных характеристик. Создана имитационная модель затопления ствола и выполнена оценка влияния изменения уровней затопления на геомеханическую устойчивость (рисунок 13). Разработаны рекомендации по обеспечению устойчивости ствола для использования в водоотливном комплексе.

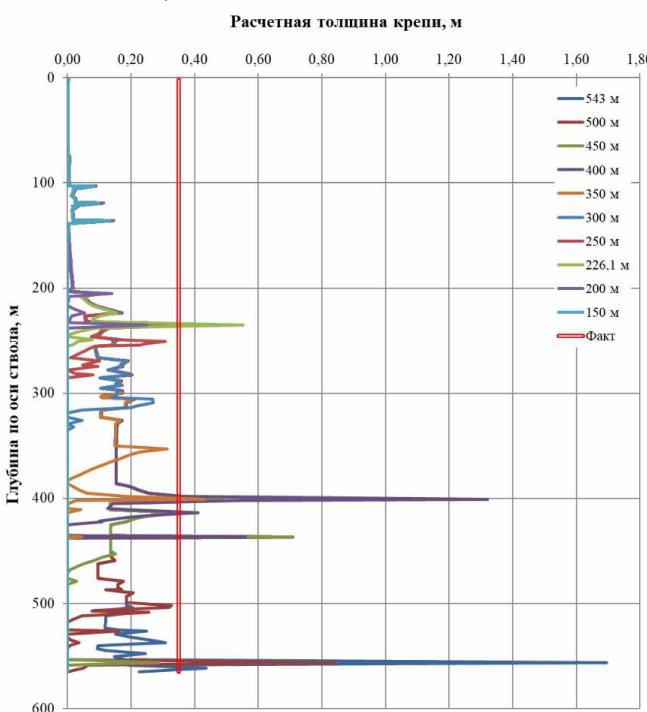


Рисунок 13 – Графики результатов моделирования затопления

Также в рамках приносящей доход деятельности (выполнения хозяйственных договоров) было:

- выполнено обследование и, при необходимости, разработка мер защиты для 204 жилых домов, общественных и производственных зданий, в том числе 185 жилых домов одноэтажных, с мансардой и двухэтажных индивидуальной постройки; шести общественных и 13 производственных зданий, произведены расчеты деформаций и определен ресурс для магистральных газопроводов высокого давления, канализационной насосной станции, трубопровода хозфекальных вод и стальных магистральных водоводов по более чем 500 точкам. Для проектируемого здания «Детского реабилитационного центра» определены ожидаемые деформации земной поверхности, вызванные активизацией процесса сдвижения над затопленными горными выработками до проектного и аварийного уровней. В результате выполненных работ были предложены технические решения, обеспечивающие безопасную эксплуатацию объектов поверхности на подрабатываемых территориях;

- выполнены работы по отнесению угольных шахт пластов  $h_7$ ,  $h_8$  в условиях шахт ОП «ШАХТА ИМ. ЛУТУГИНА» ОП «ШАХТА «ЗАРЯ», ОП «ШАХТА «ПРОГРЕСС», шахт пластов  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_6$ ,  $l_8$  в условиях шахты ОП «ШАХТА КОМСОМОЛЕЦ ДОНБАССА» ООО «Импекс –Дон» и угольного пласта  $k_2$  в условиях шахты «Самсоновская Западная» ООО «ТД «Донские угли» к категории удароопасности. Проведен химический анализ каждого угольного пласта и определены его физико-механические свойства.

Наиболее значимые результаты по направлению «Исследования деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты»:

**FRSR-2023-0002 «Разработка геомеханических основ защиты объектов поверхности в условиях сложной структуры рельефа подрабатываемых территорий и исследование формирования зон интенсивных деформаций горного массива»**

Разработана мультимодельная методика определения устойчивости склонов мезорельефа в условиях подработки, подразумевающая расчет коэффициента запаса устойчивости склона несколькими различными методами, а выбор результатов – на основании его применимости в конкретных горно-геологических условиях и с учетом экспертных оценок. Определены параметры устойчивости подработанных склонов рельефа и сформирована методика расчёта сдвигений и деформаций таких участков поверхности для условий Донбасса (рисунок 14).



**Рисунок 14 - Основные этапы оценки устойчивости склонов рельефа на подрабатываемой территории**

Разработана методика оценки технического состояния подработанных зданий, расположенных в условиях сложной структуры рельефа, отличающаяся тем, что при отборе обследуемых зданий учитывается характер деформаций земной поверхности в пределах горного отвода и влияние структуры рельефа на величину сдвижения земной поверхности. Для определения степени повреждения конструкций в труднодоступных местах предложено применение специализированных масштабных марок, позволяющих определять повреждения с использованием не метрических камер. Полученные результаты позволяют отбирать

к обследованию здания, наиболее пострадавшие от воздействия деформаций земной поверхности, вызванных подработкой (рисунок 15).



#### **4) отдельные специализированные сектора:**

- разрушения горных пород;
- норм и нормативов горного оборудования.

#### **Основные научные темы**

Научно-исследовательская часть Института – это центр передовых инженерно-технических, научных компетенций в сфере разработки месторождений алмазов открытым и подземным способом, обогащения алмазосодержащих руд.

Исследования, выполняемые Институтом, направлены на решение самых сложных стратегических и ключевых проблем, возникающих перед Группой АЛРОСА, в том числе:

- отсутствие экономически эффективных технологий отработки месторождений;
- рост затрат на добычу природных алмазов;
- ухудшение горно-геологических условий с глубиной отработки месторождений;
- эксплуатация гидротехнических сооружений;
- воздействие на окружающую среду;
- необходимость обеспечения безопасности, устойчивости и эффективности основного производства;
- высокая степень техногенной повреждаемости алмазов.

В отчетном периоде выполнены (завершены):

- 3 научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- 25 технологических работ;
- оказаны 122 инженерно-технические услуги, имеющие большое значение для обеспечения безопасности, устойчивости и эффективности горнодобывающего производства, в том числе наиболее важные разработки и научные исследования в следующих областях.

#### **В результате научно-исследовательской деятельности внедрено в производство:**

11 научно-технических мероприятий, в том числе на объектах Мирнинско-Нюрбинского ГОК – 2, Айхальского ГОК – 1, Вилуйской ГРЭ – 2, ЕСО – 2, институт «Якутнипроалмаз» - 4.

В 2024 г. на правообладателя АК «АЛРОСА» (ПАО) получено 16 охранных документов Российской Федерации:

- 1 патент на изобретение;
- 1 патент на полезную модель;
- 10 свидетельств на программы для ЭВМ;
- 4 свидетельства на базы данных.

Наиболее важные результаты научно-исследовательских работ института, выполненных в 2024 г. в области горных наук, следующие.

#### **1. Выбор вариантов изменения схемы проветривания подземных горных выработок рудника «Интернациональный».**

Исполнители:

М.В. Тишков - начальник комплексного отдела подземных горных работ (КОПГР), к.т.н.

Д.П. Семенов - заведующий лабораторией технологий подземных горных работ.

М.В. Утенков - заведующий сектором разработки и оптимизации схем вентиляции подземных рудников.

С.В. Копин – ведущий научный сотрудник сектора разработки и оптимизации схем вентиляции подземных рудников, к.т.н.

*Цель работы* – определение технических параметров схем проветривания рудника «Интернациональный» и выполнение их технико-экономической оценки, для последующего принятия решения по выбору проектируемого варианта.

*Задачи работы:*

Определение параметров изменения составных частей аэродинамической системы проветривания рудника с производством соответствующих расчетов и моделирования, предложенных вариантов изменения схемы проветривания рудника, с учетом перспективы

развития горных работ, с последующим проведением их укрупненной технико-экономической оценки, обеспечивающих проветривание горных выработок достаточным количеством воздуха.

В ходе выполнения исследования задачами работы являлась оценка эффективности работы ГВУ, проведение исследований аэродинамической сети проветривания рудника на соответствие проекту, выявления определяющих в потребности расхода воздуха факторов перспективного развития горных работ (выделение ядовитых и горючих газов на отметках 0м/-145м и -790м/-1250м) выполнялась на результатах выполнения воздушно-депрессионной съёмки, материалов, предоставленных службой ПВС рудника.

Исходными данными послужили результаты ВДС и математических расчетов, выполненных ООО «НИПИ Горного дела», Филиалом «Якутский ВГСО», а также материалы, предоставленные службой ПВС рудника «Интернациональный».

В ходе анализа данных были разработаны, на основе соответствующих многочисленных многовариантных расчетов и моделирования с использованием аналитического комплекса «АэроСеть», основные положения и технические решения, позволившие нормализовать процесс организации проветривания на руднике.

Предложенные решения в дальнейшем в процессе развития горных работ потребуют проведение аудита состояния объектов воздухораспределения (как отрицательного, так и положительного регулирования) на горизонтах ведения горных работ с последующей корректировкой решений по установке новых или перераспределения иже имеющихся средств регулирования.

Выявленные локальные участки (выработок) в составе общей вентиляционной сети представлены на руднике тремя зонами: блок №2 в составе до сопряжения с выработками горизонта -145м и со стволами КС и СС; «глубокие горизонты» в отметках -790м/-1250м; остальная часть сети выработок рудника.

Разработана схема организации вентиляции рудника на полное проектное развитие вентиляционной сети, при рабочей точке ГВУ, находящейся в области промышленного использования.

Предложенная схема организации проветривания рудника предусматривает сооружение вентиляционных регулирующих устройств отрицательного и положительного регулирования, позволяющих решить задачу обеспечения потребителей нормативным количеством свежего воздуха на весь период эксплуатации рудника при условии деления сети рудника на два изолированных контура (локальных участка проветривания) с исключением из процесса проветривания ствола ВВС, для чего на вентиляционном уклоне отм. -625 м устанавливается вспомогательная вентиляторная установка главного проветривания (ПВВУГП) предназначенная для оптимизации параметров работы главной вентиляторной установки (ГВУ) и регулирования вентиляционных струй в выделенных контурах в зависимости от текущей потребности в свежем воздухе в местах производства работ.

Подача свежего воздуха на блок №2 осуществляется стволу КС через сопряжение выработками горизонта +85м по в количестве 120 м<sup>3</sup>/с. Непосредственно в забои выемочного участка поступает 102 м<sup>3</sup>/с свежего воздуха. Отработанный воздух выдается по вентиляционной сбоке горизонта + 85м на ствол СС в количестве 134 м<sup>3</sup>/с. По стволу ВВС подается свежий воздух в количестве около 4 м<sup>3</sup>/с.

По стволу КС, за счет работы ГВУ на стволе СС с дебитом 352м<sup>3</sup>/с, подается 296м<sup>3</sup>/с воздуха. Непосредственно на нижние и глубокие горизонты поступает по стволу КС, на отметку -625 м, 196 м<sup>3</sup>/с свежего воздуха. Здесь размещен ПВГВУ с дебитом 200м<sup>3</sup>/с. На гор. -950 м с учетом утечек и расхода на поддержание выработок вышележащих горизонтов суммарно для проветривания нижележащих горизонтов подается 142 м<sup>3</sup>/с. На горизонтах -950 м и -1250 м организованы два отдельных друг от друга рециркуляционных контура с притоком в свежую струю исходящего воздуха в количестве 8 м<sup>3</sup>/с и 12 м<sup>3</sup>/с соответственно, необходимых для обеспечения расчетного количества воздуха. Организация подачи и регулировка количества воздуха с исходящей струи осуществляются через вентиляционные двери с регулируемым окном, за счет депрессии, создаваемой в выработках работой ГВУ.

Для создания возможности подачи указанных объемов воздуха на глубокие горизонты используются ППВУ-2 ед., расположенные на отметке -1250 м и ВМП на отметке -950 м.

Общий дебит ППВУ составляет 164 м<sup>3</sup>/с на гор. -1250 м, ВМП для поддержания устойчивости процесса подмешивания работает с дебитом 8 м<sup>3</sup>/с на гор. -950 м.

Таким образом часть исходящей струи воздуха, при условии ее надлежащего качества, частично с помощью вентиляторных установок и объектов подается в свежую, что позволяет компенсировать недостающее необходимое количество воздуха на выемочных участках.

Комплекс мер по предлагаемым изменениям позволяет нормализовать обстановку на рабочих местах персонала, в части обеспечения их свежим воздухом.

Результат работы (предложенная схема) прият к реализации с 2026 по 2027 год с внедрением на предприятии. С января 2028 года планируется приступить к монтажу вентиляционных агрегатов, их наладке и испытаниям (рисунок 1).

Таблица

**Перечень дополнительных вентиляционных объектов и оборудования для предлагаемого варианта**

№ п/п	Тип объекта	Назначение	Местоположение	Примечание
1	2	3	4	5
<b>Отм. - 625 м</b>				
б/н	Howden 425XZ + 9НKE (8 лопаток + реверс)	ПВВУГП	Вентиляционный уклон около сопряжения со стволом КС	Возможно применение аналога, агрегата с подходящими аэродинамическими характеристиками
<b>Блок 2</b>				
1	Без изменения	Исходящая струя	Сопряжение со стволом СС	Формирование основной трассы
		Поступающая струя	Сопряжение со стволом КС	
2	Шлюзовые ворота - 1 ед.	Изоляция исходящей струи	Откаточная выработка отм. 0м	Демонтаж вент. сооружения типа «парус» - 2ед.
3	Дверь вентиляционная с вент. окном (мет.) - 1 ед.	Изоляция исходящей струи	Откаточные выработки отм. +43м, +45м, +46м, +73м.	BXB
	Дверь вентиляционная деревянная - 3 ед.			
4	Шлюзовые ворота - 2 ед.	Разделение вент. сетей блока №2 и рудника на отм. -145м	Сpirальный съезд 0м/-145м	отм. -145м
<b>«Нижние» и «глубокие горизонты</b>				
5	Шлюзовые ворота - 2 ед.	Изоляция исходящей струи	Автоуклон -690м/-790м	отм. -790м
6	Шлюзовые ворота - 2 ед.+ 2ед.	Изоляция исходящей струи	Транспортный уклон	отм. -790м
			Закладочный орт №4	отм. -807м
7	Дверь вентиляционная с вент. окном (мет.) - 2 ед.	Изоляция исходящей струи	Горизонт - 950м	Демонтаж дверей вентиляционных с вент. окном (мет.) - 4 ед.
	Вент. сооружение типа «парус» - 1 ед.	Регулировка распределения воздуха по сети		Установка ВМП типа ВМ-6М (7,7 м <sup>3</sup> /с)
8	Вент. сооружение типа «парус» - 1 ед.	Регулировка распределения воздуха по сети	Горизонт - 1050м	Демонтаж дверей вентиляционных с вент. окном (мет.) - 2 ед.
9	Дверь вентиляционная с вент. окном (мет.) - 4 ед.	Изоляция исходящей струи	Сбойки с ВВ (исходящая струя) в отм. -1079м/-1227м	Демонтаж вент. сооружения типа «парус» - 4ед.

1	2	3	4	5
10	Вентилятор Korfmann d(AL)17-2500 - 2ед.	ППВУ	Горизонт - 1250м	Работа ППВУ через переключку
	АВШД - 1 ед.	В комплекте ППВУ		В случае реверса
	Дверь вентиляционная с вент. окном (мет.) - 2 ед.	Регулировка распределения воздуха по сети		Демонтаж дверей вентиляционных с вент. окном (мет.) - 3 ед.

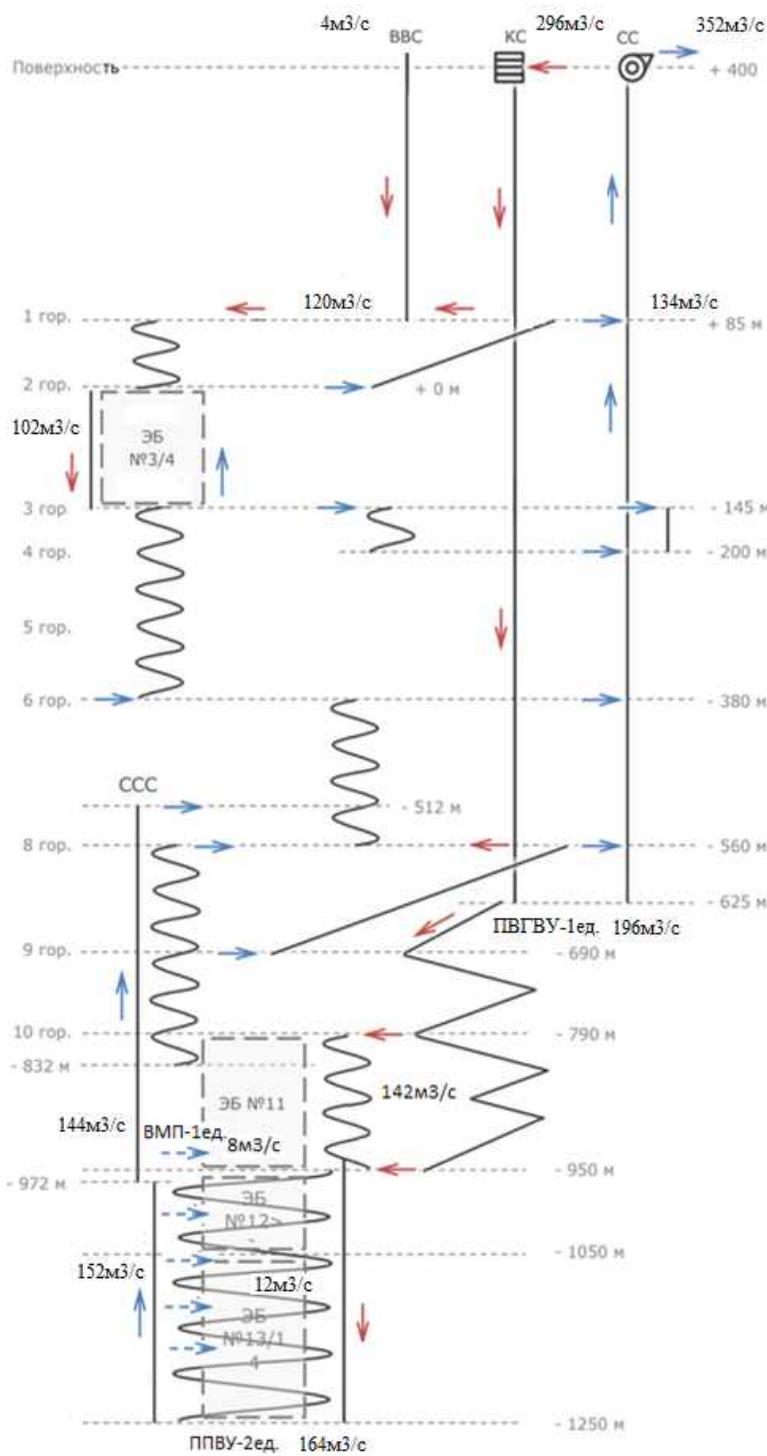


Рисунок 1 - Предложенная схема организации вентиляции рудника «Интернациональный»

## **2. Технико-экономическая оценка по выбору камерной системы разработки для рудника «Мир-Глубокий».**

Исполнители:

Тишков М.В. - начальник комплексного отдела подземных горных работ, к.т.н.

Семенов Д.П. - заведующий лабораторией технологий подземных горных работ.

Гладкая Ю.В. - заведующий лабораторией прогнозирования.

Юркова Н.К. - главный специалист лаборатории прогнозирования.

*Целью и главной задачей работы являлся выбор варианта системы разработки запасов глубоких горизонтов рудника «Мир-Глубокий» в отм. -575/-1300м, абс, при годовой производительности по руде 2,0 млн т на основании экономических расчетов.*

Вскрытие запасов тр. Мир в отм. -575/-1300м, абс. планируется клетевым и скиповым стволами центрально-флангового расположения, глубиной 1435 и 1475м, соответственно. Проходка стволов предусмотрена параллельно буровзрывным способом, отработка эксплуатационных блоков – восходящим порядком.

К оценке были принятые следующие варианты:

Вариант 1 – камерная система разработки с закладкой выработанного пространства с двух-стадийным порядком отработки, высота камер 50м, камеры прямоугольного сечения;

Вариант 2 – камерная система разработки с закладкой выработанного пространства, высота камер 40м, камеры ромбовидного сечения.

### **Система разработки с камерной выемкой и закладкой с двух-стадийным порядком отработки камер (hк = 50м).**

Рудная залежь в подэтаже условно разделяется на панели. Каждая панель делится на секции, состоящие из 3 камер.

Параметры секций:

длина – 15 м;

ширина – 42 м (соответствует трем камерам);

высота – 50 м (равна высоте выемочного подэтажа).

Отработка камер в соседних (смежных) секциях может осуществляться независимо друг от друга, при этом расстояние между двумя отрабатываемыми камерами смежных секций должно составлять не менее двойной ширины камеры (28 м).

Параметры камер:

длина 15 м;

высота 50 м;

ширина 14 м.

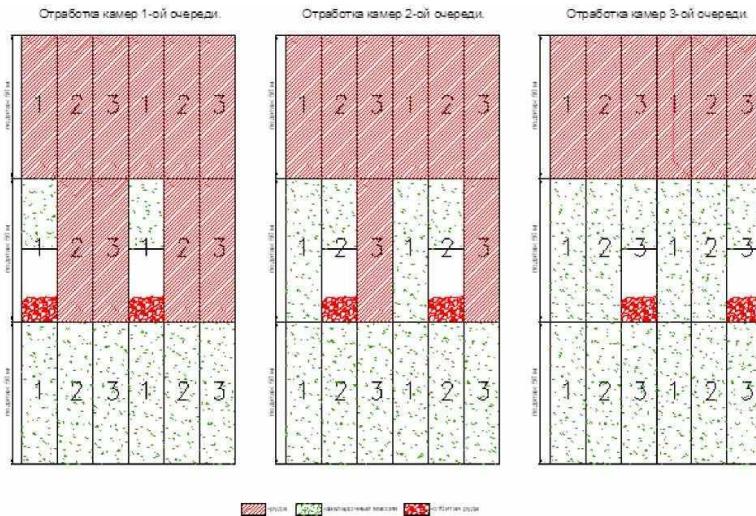
Первоначально в секции отрабатываются камеры первой очереди шириной 14 м. При этом камеры первой очереди в смежных секциях разделяются друг от друга рудным целиком (камеры второй и третьей очереди) шириной 28 м.

После отработки и закладки камер первой очереди производится отработка камер второй очереди в смежных секциях. Камеры 2-й очереди разделены друг от друга комбинированным целиком шириной 28 метров, состоящим из закладочного массива камер первой очереди и рудного массива камер третьей очереди.

После отработки камер второй очереди производится отработка камер третьей очереди. Данные камеры в смежных секциях разделяются закладочным массивом шириной 28 м, состоящим из закладочного массива камер первой и второй очереди (рисунок 2).

Система разработки с камерной выемкой и закладкой с двух-стадийным порядком отработки камер и расположением их вкрест простирации рудного тела включает в себя следующие конструктивные элементы:

- торцевой буро-доставочный орт, используется для бурения восходящих взрывных скважин и доставки горной массы;
- торцевой буровой орт, используется для бурения нисходящих взрывных скважин и закладки выработанного пространства;
- отрезной восстающий;
- отрезной штрек.



**Рисунок 2 -  
Принципиальная схема  
отработки в восходящем  
порядке при камерно-  
целиковой схеме 1-2-3-1**

Общее конструктивное оформление заключается в следующих действиях.

Из полевого штрека по почве камеры производится проходка торцевого буро-доставочного орта. В кровле участка находится торцевой буровой штрек (при отработке вышерасположенной камеры является буро-доставочным). Отрезной восстающий проходится на всю высоту камеры (50 м).

Отрезной восстающий проходится с помощью бурения или секционным взрыванием скважинных зарядов в восходящем порядке. Отрезная щель образуется путем отбойки параллельных скважин на пространство ранее пройденного отрезного восстающего.

Образование отрезной щели в камерах осуществляется сразу на всю высоту подэтажа (50 м), то есть на высоту обеих стадий выемки.

После проходки отрезного восстающего и образования отрезной щели, в первую очередь отбивается верхняя часть камеры (1-я стадия выемки запасов).

Отбойка осуществляется нисходящими веерами скважин, разбуренных из бурового штрека. Отгрузка руды осуществляется из буро-доставочного штрека, расположенного на почве камеры. Отбитая руда верхней части камеры поступает на буро-доставочный штрек через отрезную щель. После выпуска руды из верхней части камеры в отрезной щели на высоту нижней части камеры (вторая стадия выемки руды) магазинируется отбитая руда, которая заполняет отрезную щель на высоту нижней части камеры, после чего осуществляется закладка выработанного пространства в верхней части.

После затвердевания закладочного материала, осуществляется выпуск ранее замагазинированной руды в отрезной щели (для образования компенсационного пространства) и производится отбойка нижней части камеры. В случае зависания рудной массы, замагазинированной в пространстве отрезной щели, из буро-доставочного орта, пройденного по почве камеры, бурятся восходящие скважины в сторону отрезной щели, в данных скважинах размещается заряд ВВ и осуществляется сотрясательное взрывание для возобновления процесса выпуска.

Запасы второй стадии отработки отбиваются восходящими веерами скважин, пробуренных из буро-доставочного орта, пройденного по почве камеры.

После отбойки и отгрузки запасов нижней части камеры (2-я стадия выемки камеры) и установки перемычки из бурового штрека, пройденного по кровле камеры, бурится пара закладочных скважин и производится закладка выработанного пространства.

**Система разработки ромбовидными камерами в нисходящем порядке с закладкой ( $h_k=40$ м).**

Схема подготовки запасов полевая и заключается в проведении полевого штрека. Камеры располагают в крест простирания рудного тела.

Параметры выемочных камер:

- длина - до 45 м;
- ширина - от 6 м в верхней и нижней частях камеры до 16 м в центре камеры;
- высота - 40 м.

Камеры в смежных подэтажах расположены относительно друг друга со смещением на половину высоты камеры (т.н. «шахматный» порядок).

Начальная стадия очистной выемки состоит в оформлении отрезного восстающего и отрезной щели в торце камеры между буровым и доставочным горизонтами. Отгрузка отбитой руды при оформлении отрезной щели производится из доставочного орта, пройденного на уровне почвы камеры.

Нормальная стадия состоит в послойной отбойке нисходящих вееров скважин глубиной 20 м, пробуренных из буро-закладочного орта сначала на пространство отрезной щели, а затем на выработанное пространство, образованное отбойкой вееров, и восходящих вееров скважин, пробуренных из буро-доставочного орта на высоту ромба (20 м), с отставанием от нисходящих вееров в 3 веера. Отгрузка отбитой руды производится из буро-доставочного орта, пройденного по почве камеры.

Отработка части запасов рудного тела, расположенных в Нижнем и Среднем ярусах, будет производиться ромбовидными камерами с расположением камер в «шахматном» порядке. Камеры располагают в крест простирания рудного тела.

Схема подготовки запасов камер в Нижнем и Среднем ярусах полевая и заключается в проведении полевого штreta на горизонте.

Буро-доставочные орты проходятся с торца камеры на уровне их почвы от полевого штreta горизонта с оформлением только до контура камеры. Бурение взрывных скважин производится с отставанием в 3 веера из буро-закладочного орта, расположенного в кровле камеры под несущим слоем закладки ранее отработанного разрезного слоя и буро-доставочного орта камеры. Буро-закладочные орты проходятся из полевого штreta горизонта. Для отработки запасов руды предусмотрен камерно-целиковый порядок отработки по схеме 1-2-1.

При ведении очистных работ в камере, проветривание осуществляется за счет общешахтной депрессии.

Отгрузка и доставка отбитой рудной массы осуществляются с помощью ПДМ до пункта перегрузки. В камере перегрузки рудная масса перегружается на шахтные автосамосвалы, имеющиеся на руднике, и с помощью последних транспортируется до стволов.

По окончании отбойки и отгрузки рудной массы осуществляется зачистка почвы камеры, монтаж перемычки на погрузочном заезде в камеру на доставочном горизонте и приступают к заполнению выработанного пространства камеры твердеющей смесью. Подача закладочной смеси в каждую камеру осуществляется через буро-закладочный орт (рисунок 3).

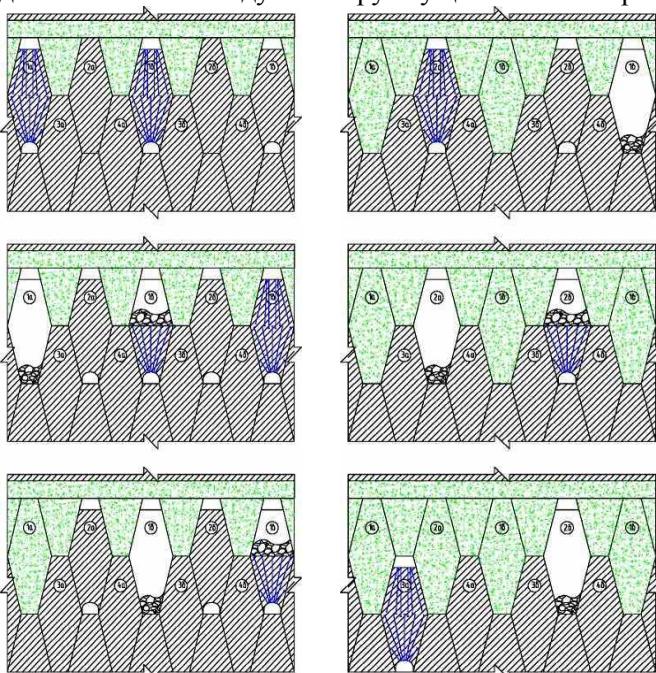


Рисунок 3 -  
Порядок отработки системы  
разработки с выемкой запасов  
ромбовидными камерами

Сравнительная таблица по основным технологическим показателям камерных систем разработки с закладкой в различных вариациях приведена ниже.

Таблица

**Сравнительная таблица вариантов камерной системы разработки**

Наименование показателя	Параметры систем разработки	
	Вариант 1	Вариант 2
Производительность, млн т/год	2,0	
Удельный объем НР м <sup>3</sup> /1000т	21,4	66,6
Удельный объем ПР м <sup>3</sup> /1000т	6,97	14,4
Срок твердения закладочного массива, сут.	1 стадия – 14 сут. 2 стадия – 28 сут.	28 сут.
Средневзвешенная прочность закладочного массива, МПа	1,92	1,85
Высота подэтажа, м	50	20
Высота камер, м	50	40

Эффект управленческого решения по выбору варианта оценивался путем построения дифференциальных денежных потоков, рассчитанных как разность между релевантными затратами «альтернативного» и «базового» варианта. В качестве «базового» принят вариант 1 (камеры прямоугольного сечения). Конечным показателем эффективности является дисконтированное дифференциальное суммарное сальдо потоков от операционной и инвестиционной деятельности.

В принятых технических решениях и заданной динамике макроэкономических показателей сопоставление параметров основных ТЭПов вариантов подтверждает экономическую целесообразность отработки запасов тр. Мир в условиях варианта 2 камерной системой разработки с закладкой выработанного пространства, камерами ромбовидного сечения (Н=40м).

Работоспособность применения камер ромбовидного сечения подтверждена на руднике «Айхал» АГОКа. К преимуществам варианта 2 относительно «базового» варианта можно отнести: снижение потерь (на 0,34 п.п.) и разубоживания (на 4,81 п.п.) руды, более раннее начало добычных работ (2034 г.) и сокращение расхода вяжущего для производства закладочной смеси.

Результаты будут использованы для дальнейшего проектирования в ПД «Рудник «Мир-Глубокий». Вскрытие и отработка запасов в отм. -575м/-1300м».

**3. Изучение компонентного состава газов и нефти доломитовых пород, температуры их самовоспламенения ниже абс. отм. -790,0 м на руднике «Интернациональный» с выдачей рекомендаций безопасного применения ВВ при производстве взрывных работ.**

Исполнители:

Институт «Якутнипроалмаз»:

Корепанов А.Ю. - начальник комплексного отдела горно-геологических проблем разработки месторождений;

Дмитриев Д.Г. – заведующий сектором изучения и прогноза нефтегазопроявлений на горных предприятиях

Золотин В.Г. – заведующий лабораторией газодинамических явлений, к.т.н.

ИПКОН РАН:

Захаров В.Н. – руководитель проекта, директор, академик РАН, профессор, д.т.н.

Шляпин А.В. – заведующий отделом, к.т.н.

Франтов А.Е. – ведущий научный сотрудник, д.т.н.

Добрынин А.А. – ведущий научный сотрудник, к.т.н.

Лапиков И.Н. – старший научный сотрудник, к.т.н.

Белоусов Ф.С. – старший научный сотрудник, к.т.н.

В связи с большой глубиной планируемых работ в сопоставлении с прочностными свойствами пород и отнесением участков рудника «Интернациональный» по современным нормативам к опасным по газодинамическим явлениям необходимы дополнительные наработки специальных решений по локализации выбросоопасных зон и достаточных мер по обеспечению безопасности работы персонала.

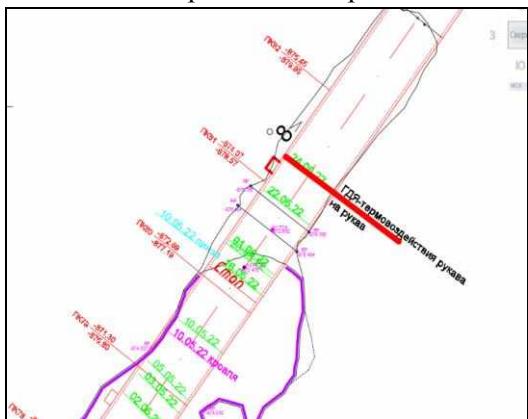
Высокие напряжения порождают опасность возникновения горно-динамических явлений с возможной катастрофической интенсивностью, что недопустимо при обеспечении стабильной работы рудника. Возможные нефте- и газовыделения также нарушают нормальное ведение горных работ.

Цель работы – определить компонентный состав нефти и газа из доломитовых коллекторов ниже абс. отм. -790,0 м на руднике «Интернациональный», температуру их самовоспламенения. Изучение количественных и вещественных показателей газовыделений горючих газов при производстве взрывных работ, образования возможных источников возгорания газовоздушной меси в призабойном пространстве.

### *Задачи работы:*

- определение фракционного и молекулярного состава нефти;
  - экспериментальное определение температуры воспламенения нефтепродуктов и их паров;
  - определение температуры воспламенения газа;
  - определение температуры вспышки нефти в открытом тигле;
  - определить степень фрикционной опасности горных пород в процессе производства взрывных работ;
    - выдать заключение по результатам выполненных работ.
    - разработать рекомендации по применению взрывчатых веществ IV класса (типа ПЖВ-20) при ведении взрывных работ в газо-нефтенасыщенных породах Толбачанской свиты.
    - разработать рекомендации и технические решения по обеспечению безопасных условий при производстве буровзрывных работ, а также недопущения воспламенения горючих газов, углеводородов в отбитой горной массе.

### Условия производства работ:



#### Рисунок 4 – Схема расположения забоя автоуклона блока №11 на 23.06.22



### Рисунок 5 – Превышение концентрации $\text{CH}_4$ по данным аппаратуры АГК в автобуклоне ЭБ№11 ПК-81

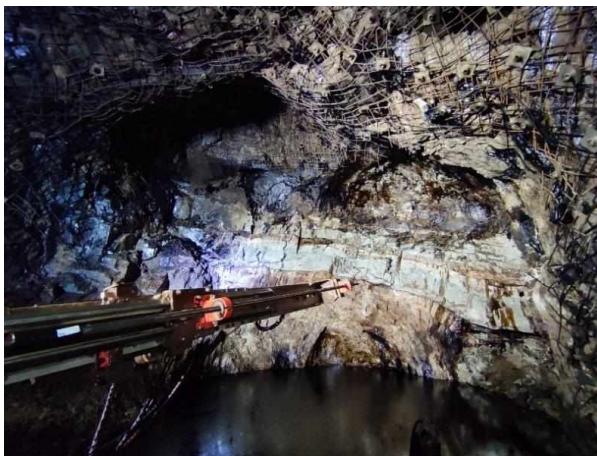


Рисунок 6 – Полость, образовавшаяся вследствие ГДЯ, при ведении взрывных работ и массивные натечные нефтепроявления в автоуклоне ЭБ№11 ПК-81

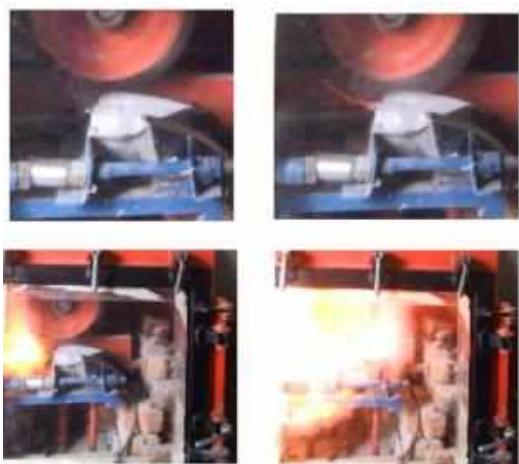


Рисунок 7 – Испытания фрикционного воспламенения метановоздушной смеси

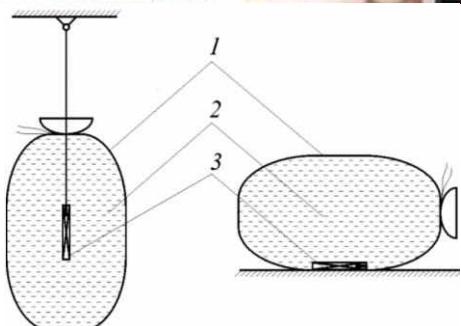


Рисунок 8 – Снаряженные полиэтиленовые сосуды для создания водораспылительной завесы

а) – подвешенные к крепи, б) – уложенные на почве выработки; 1 – полиэтиленовый сосуд; 2 – вода; 3 – распыляющий заряд ВВ

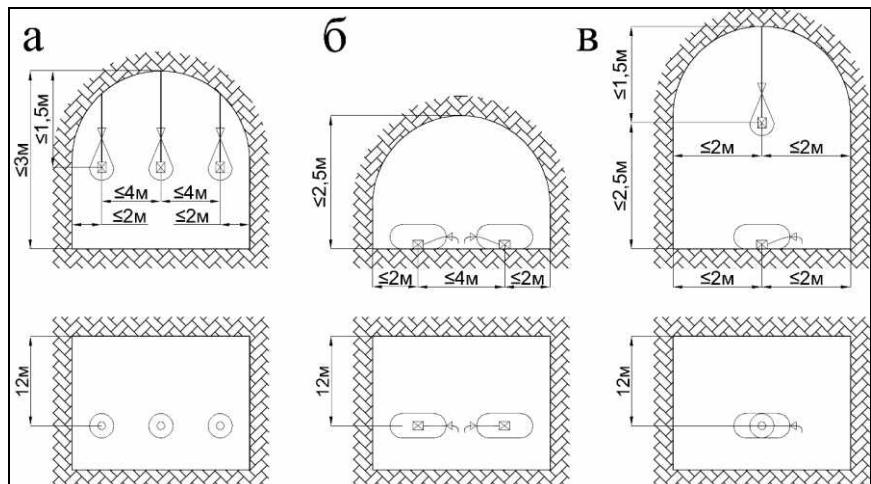


Рисунок 9 – Схемы расположения полиэтиленовых мешков с водой для создания предохранительной среды

Анализ условий ведения взрывных работ на руднике «Интернациональный», факторов, оказавших влияние на вероятность возникновения возгораний газовоздушных смесей и установление возможных источников возгорания, позволил определить вероятные причины произошедших воспламенений в забоях выработок.

Рекомендованы наиболее оптимальные типы ВВ – патронированные эмульсионные ВВ – НПГМ-ПР-III местного приготовления (УГОК) и пороэмит ПП-IV-36;

Разработаны рекомендации по обеспечению безопасных условий при производстве буровзрывных работ с целью недопущения воспламенения горючих газов, углеводородов в атмосфере выработки и в отбитой горной массе.

Результаты работы будут использоваться в практической деятельности рудника «Интернациональный» и направлены на обеспечение безопасности ведения горных работ в условиях выбросоопасности пород.

В 2024 г. сотрудники института опубликовали 40 статей и докладов, 1 монографию, приняли участие в 22 научно-практических конференциях.

## **2.16. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА» (АО)**

В 2024 году полностью завершен цикл НИР и ОКР по направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта», в части перехода к передовым производственным технологиям и новым материалам». В результате решена научная проблема разработки технологических основ производства в жидких и газовых технологических средах нового вида порошков – порошков из отходов металлообработки, которые будут использоваться для аддитивных технологий и порошковой металлургии.

### ***Основные научные результаты:***

Впервые выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза о том, что для интенсификации тонкого измельчения металлов следует использовать два регента, имеющие различные механизмы воздействия на процесс – интенсификатор образования дефектов на начальных стадиях воздействия на измельчаемые частицы и диспергаторы для дезагрегации продуктов разрушения этих частиц. Созданы действующие макеты агрегатов для дезинтеграции металлических порошков.

#### ***1. Научно-просветительская работа***

1.1. Коллективом авторов НПК «Механобр-техника» под ред. проф. Устинова И.Д. составлена и размещена в интернете для свободного пользования электронная монография «Геометаллургия. Путеводитель по специальности», предназначенная для специалистов, работающих в области переработки полезных ископаемых, но не имеющих узко специального базового образования.

1.2. Ведущие сотрудники компании продолжают активную работу в составе редакционного совета журнала «Обогащение руд» (Scopus Q2, ВАК К1).

1.3. Сотрудники компании при поддержке Правительства Санкт-Петербурга приняли участие в международных форумах горно-металлургического профиля в Монгольской Народной Республике, Республике Беларусь и в Республике Узбекистан со стендовыми презентациями и докладами.

#### ***2. Научно-производственная деятельность***

Компания продолжает совершенствовать линейку поставляемого на рынок лабораторного и полупромышленного оборудования для исследований и моделирования процессов переработки минерального сырья (свыше 50 позиций).

## **2.17. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ**

В 2024 году по проблемам горных наук при непосредственном участии работников и обучающихся кафедры горного дела МГРИ получены следующие важнейшие результаты.

### **НАПРАВЛЕНИЕ: ГОРНОЕ ДЕЛО**

#### **Разработка цифрового учебно-методического комплекса подготовки и аттестации системных горных инженеров**

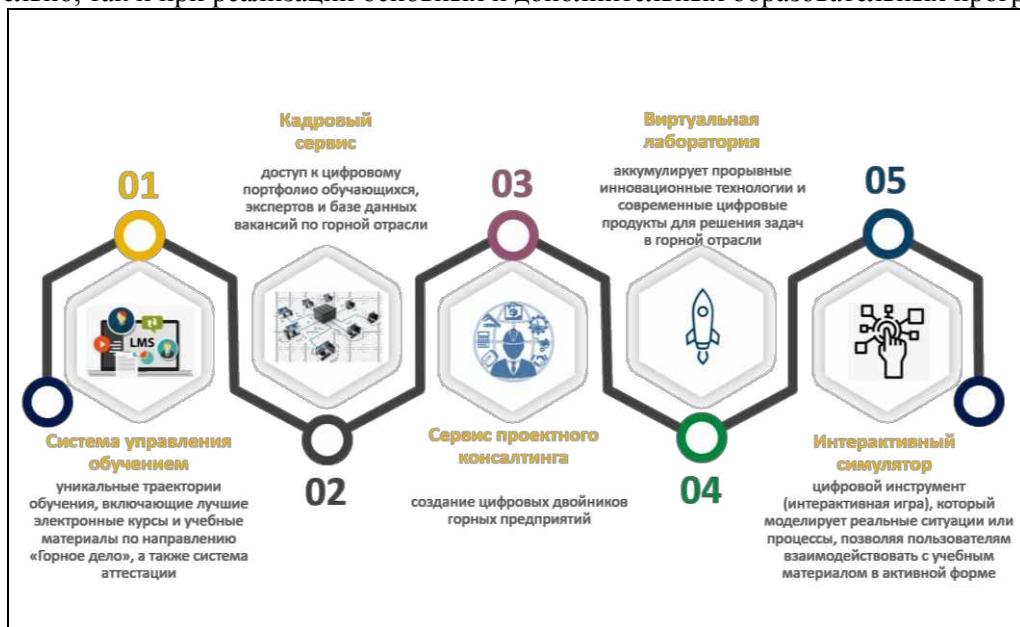
***Авторы: Панов Ю.П., Стадник Д.А.***

Разработан комплекс компонентов цифрового учебно-методического обеспечения подготовки и аттестации системных горных инженеров в соответствии с современными тенденциями преподавания специальных дисциплин согласно требованиям Индустрии 4.0.

**Новизна:** проведен анализ современных тенденций и практического опыта подготовки специалистов с компетенциями мирового уровня, сформирована структура цифрового учебно-методического комплекса, применение которого позволяет вести подготовку и аттестацию горных инженеров на основе проектирования и эксплуатации учебного цифрового двойника горнодобывающего предприятия в междисциплинарном подходе.

**Значимость:** научно обоснованы и экспериментально апробированы прототипы учебных и аттестационных цифровых сервисов, сформирована система дополнительных компетенций современного горного инженера.

**Прогноз применения:** планируется использовать разработанный цифровой учебно-методический комплекс подготовки и аттестации системных горных инженеров как самостоятельно, так и при реализации основных и дополнительных образовательных программ.



**Рисунок 1 - Структура цифрового учебно-методического комплекса подготовки и аттестации системных горных инженеров**

#### Список литературы:

1. Панов Ю.П. Программа развития МГРИ на 2023-2027 гг. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022;64(2):8-17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-8-17>.
2. Панов Ю.П., Грабский А.А., Рожков А.А. Современное состояние и перспективы развития цифровых технологий в угольной промышленности России. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 2023;65(5):8—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21>.
3. Стадник Д.А., Стадник Н.М., Лопушняк Е.В. К вопросу разработки методических основ информационного моделирования горных предприятий. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 3. – С. 187–200. WOS:000884619900016.
4. Стадник Д.А. Обоснование функциональных подсистем единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт. // М.: Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал «Уголь». – 2017. - №10(1099). - С. 52-56. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-10-52-56.

#### Способ приготовления и доставки закладочной смеси в выработанное пространство под землей

**Авторы: Панов Ю.П., Мустаев Р.Н., Брюховецкий О.С.**

Получены новые результаты по эффективности работы камерных загрузочных устройств для гидротранспортирования руды, породы и закладочных материалов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

Результаты работ послужили основой подготовки заявки на изобретение.

## **Комплексный подход к автоматизированной обработке данных геологоразведочных работ при оценке запасов месторождений твердых полезных ископаемых**

**Авторы: Стадник Д.А., Кирков А.Е., Нагайцев Н.А., Гаврилов Р.И.**

Разработаны методические основы автоматизированной обработки геологоразведочной информации и доказана ее ключевая роль при проектировании и планировании деятельности горнодобывающих предприятий.

**Новизна:** предложен комплексный подход, включающий основные принципы, технологии и процессы автоматизированной обработки данных опробования геологоразведочных работ в горно-геологических информационных системах (ГГИС).

**Значимость:** обоснованы основные этапы автоматизированной обработки и представления геологоразведочной информации в ГГИС при моделировании месторождений твердых полезных ископаемых.

**Прогноз применения:** планируется использовать разработанный подход для повышения точности, эффективности и масштабируемости оценки запасов при автоматизированном проектировании горнотехнических систем.

### **Список литературы:**

1. Стадник, Д.А., Стадник Н.М., Григорян К.Л., Кожиев З.В. Актуализация технологических показателей технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых с помощью компьютерных технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 5–1. – С. 170–184. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_51\_0\_170.

2. Клюев Р.В., Мартюшев Н.В., Кукарцев В.В., Кукарцев В.А., Бригida В.С. Анализ геологической информации для обеспечения устойчивого функционирования горнотехнических систем. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 144–157. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_5\_0\_144.

3. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами. // Горный журнал. — 2022. — № 12. — С. 55—61. DOI: 10.17580/gzh.2022.12.10.

4. Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Макеев М.А., Кадочников М.В. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности. // Горная промышленность. - 2022;(3):89–92. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-89-92.

### **Более подробная информация по теме:**

## **Комплексный подход к автоматизированной обработке данных геологоразведочных работ при оценке запасов месторождений твердых полезных ископаемых**

3D-моделирование и симуляция являются неотъемлемыми компонентами автоматизированной обработки геологоразведочных данных, обеспечивая динамическое и наглядное представление месторождений полезных ископаемых, что улучшает интерпретацию геологической информации, позволяет проектировать горные предприятия и планировать направления развития горных работ. Передовые программные средства, такие как платформы геологического и технологического моделирования, позволяют создавать подробные 3D-модели, которые точно отображают пространственное распределение, геометрию и изменчивость содержания полезного компонента в рудных телах. Эти модели строятся с использованием данных бурения, геофизических исследований и других источников, которые интерполируются и экстраполируются с использованием методов геостатистики и машинного обучения. После создания 3D-модели позволяют горным инженерам и геологам визуализировать месторождение во всей его полноте, что способствует более эффективному принятию решений относительно проектирования рудника, методов добычи и распределения ресурсов. Инструменты моделирования улучшают этот процесс, позволяя проводить

сценарный анализ, при котором различные стратегии добычи могут быть опробованы виртуально для оценки их влияния на запасы, затраты и состояние окружающей среды.

Автоматизированная обработка геологоразведочных данных невозможна без использования специализированного программного обеспечения – горно-геологических информационных систем (ГГИС). Современные ГГИС позволяют не только обрабатывать большие объемы данных, но и строить точные цифровые модели месторождений, выполнять сложные расчеты и визуализировать результаты.

Современные ГГИС обладают широким набором функций, которые позволяют:

- создавать цифровые 3D-модели месторождений на основе геологических, геофизических и геохимических данных;
- выполнять геостатистический анализ для оценки пространственного распределения полезных компонентов;
- подсчитывать запасы с использованием различных методов (в блочных моделях данные предварительно интерполируются геостатистическими методами: кригинг, обратных расстояний и др.);
- визуализировать результаты в виде карт, графиков и отчетов;
- интегрировать данные из различных источников, включая GIS-системы и геологические базы данных.

ГГИС активно используются на всех этапах проектирования и эксплуатации горных предприятий. Например, на этапе геологоразведки программы позволяют быстро обрабатывать данные бурения и строить предварительные модели месторождений, на этапе проектирования горных работ программное обеспечение используется для расчета запасов и оптимизации процессов добычи, на этапе эксплуатации месторождения программы помогают отслеживать изменения в запасах и корректировать планы добычи.

Использование специализированного программного обеспечения имеет ряд преимуществ:

- высокая точность расчетов: программы минимизируют влияние человеческого фактора и обеспечивают высокую точность результатов;
- скорость обработки данных: автоматизация позволяет значительно сократить время на выполнение расчетов;
- гибкость и адаптивность: современные ГГИС поддерживают различные методы моделирования и анализа, что позволяет адаптировать его под специфику конкретного предприятия;
- визуализация и анализ: программы предоставляют мощные инструменты для визуализации данных, что облегчает анализ и интерпретацию результатов.

Интеграция автоматизированной оценки запасов с интеллектуальными системами добычи полезных ископаемых представляет собой преобразующую тенденцию в горнодобывающей отрасли, соответствующую более широкому переходу к индустрии 4.0. Интеллектуальные системы добычи полезных ископаемых используют передовые технологии, такие как Интернет вещей, автоматизация и анализ данных в режиме реального времени, для создания взаимосвязанных и интеллектуальных операций по добыче полезных ископаемых. Польза ГГИС играет решающую роль в этой экосистеме, предоставляя базовые данные, необходимые для принятия решений и оптимизации в режиме реального времени. Например, модели запасов могут постоянно обновляться данными с датчиков и дронов с поддержкой Интернета вещей, что позволяет вносить динамические корректиры в планы добычи и развертывания оборудования. Такая интеграция повышает эффективность работы, сокращает время простоя и сводит к минимуму потери ресурсов. Кроме того, сочетание автоматизированной обработки данных использованием автономного оборудования и системами прогнозного технического обслуживания обеспечивает полностью интегрированное интеллектуальное управление горнодобывающим предприятием по методологии «Бережливое производство».

Рассмотрим основные этапы автоматизированной обработки и представления геологоразведочной информации в ГГИС на примере месторождения железистых кварцитов.

## Этап 1. Анализ исходных данных и геологического строения месторождения.

Месторождение железистых кварцитов «Темир» расположено в западной части России. Оно приурочено к району Курской магнитной аномалии (КМА). Данное месторождение является важным источником железорудного сырья для металлургической промышленности России.

Рудовмещающими породами являются метаморфические образования курской серии нижнего протерозоя, представленные гнейсами, сланцами и амфиболитами. Железистые кварциты залегают в ядре синклинальной складки, имеющей субмеридиональное простирание с крутопадающими крыльями. Главными рудными минералами являются магнетит и гематит, второстепенными - мартит и железистые силикаты. Текстуры руд полосчатые, слоистые и массивные. Среднее содержание железа в рудах составляет ~ 35%. Формирование железистых кварцитов связано с вулканогенно-осадочными процессами в шельфовых условиях древнего океана. Возраст оруденения - нижний протерозой (2,5-1,6 млрд лет). Метаморфизм и складчато-разрывные деформации привели к преобразованию первичных осадочных руд и формированию современного облика месторождения.

Этап 2. Визуальный и статистический анализ геологоразведочной информации в ГГИС.

Исходя из данных опробования, для лучшего визуального анализа геологической информации авторами была построена гистограмма распределения полезного компонента  $Fe_{магн}$ , необходимая для моделирования рудного тела. На рисунке 2 представлен в разрезе общий вид скважин с метками по опробованию после импорта геологической базы данных в ГГИС «ГЕОМИКС», на рисунке 3 - гистограмма распределения полезного компонента  $Fe_{магн}$ .

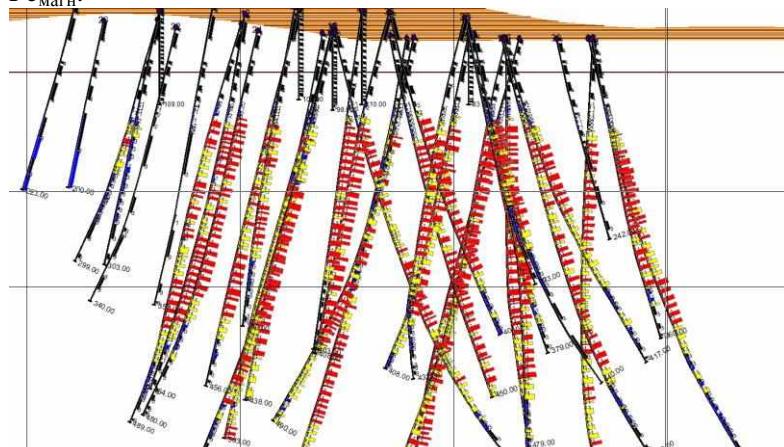


Рисунок 2 - Общий вид скважин с метками по опробованию в разрезе

Гистограмма по  $Fe$  магн

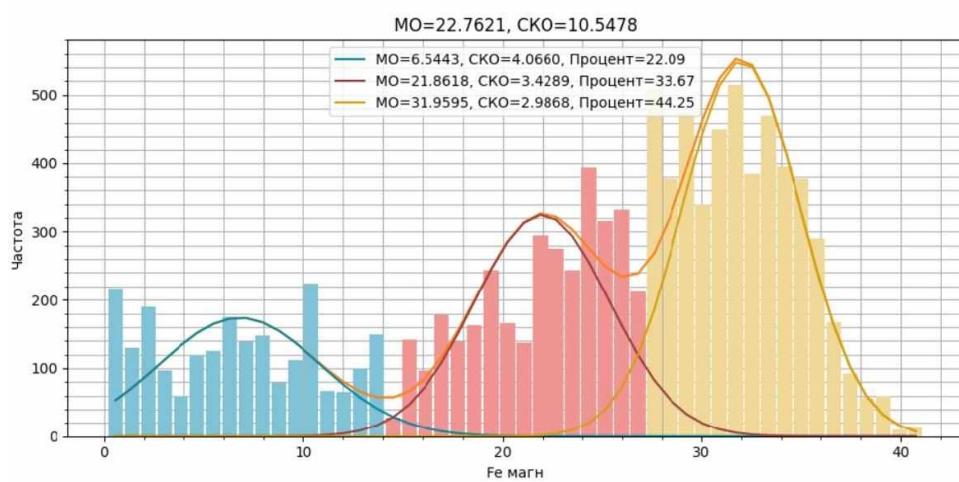


Рисунок 3 - Гистограмма распределения полезного компонента  $Fe_{магн}$

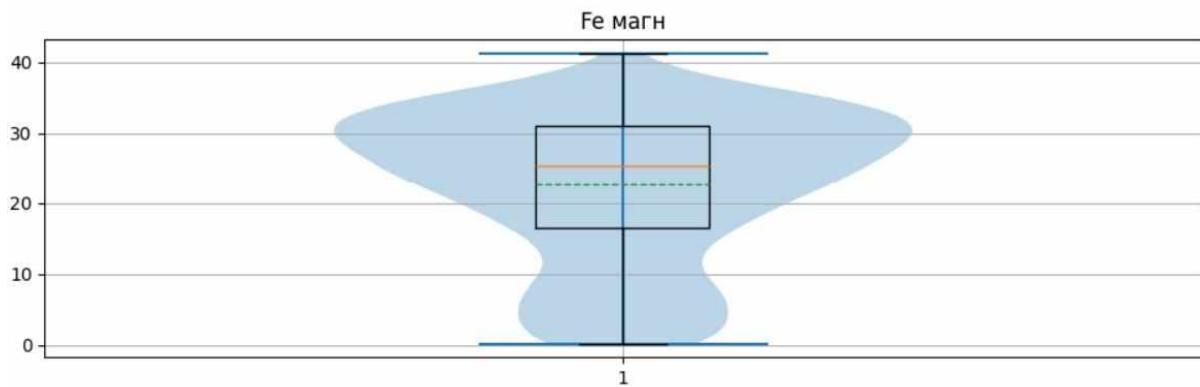
Из гистограммы отчетливо видно многомодальное распределение с явным выделением трех компонентов, каждый из которых имеет примерно нормальное (гауссовское) распределение:

- первая группа (низкое содержание до 14%): МО=6,54, СКО=4,06, процент проб=22,09%;
- вторая группа (среднее содержание от 14% до 27%): МО=21,86, СКО=3,43, процент проб=33,67%;
- третья группа (высокое содержание от 24% и выше): МО=31,96, СКО=2,99, процент проб=44,25%.

Соответственно, разделение руды на три группы отражает природные процессы рудообразования - дифференциацию железосодержащих минералов, метаморфизм и структурные изменения:

- низкосортная руда - образована участками, где содержание железа минимально;
- среднесортная руда - представляет основную массу рудных тел с устойчивым содержанием  $Fe_{магн}$ ;
- высокосортная руда - сосредоточена в ядрах рудных тел, что связано с процессами обогащения железа.

Для подтверждения анализа геологоразведочной информации был построен график «Ящик с усами», представленный на рисунке 4, который подтверждает существование трех групп в анализируемых данных, так как диапазоны значений хорошо разделяются и соответствуют пикам на гистограмме. Основные статистические показатели распределения  $Fe_{магн}$ : среднее значение – 22,76%, медиана – 25,39%, размах – от минимального значения 0,15% до максимального 41,15%, нижний quartиль – 16,50%, верхний quartиль – 31,13%. Средние значения и медиана близки, что указывает на симметрию распределения для основной массы данных. Большой размах содержания железа (от 0,15% до 41,15%) подтверждает существование различных типов руд (низкосортной, среднесортной, высокосортной). Квартильное деление – основная масса данных сосредоточена между 16,50% и 31,13% содержания  $Fe_{магн}$ .



Кол-во проб	1304	Среднее	22.762	% данных в +/- 1 сигма	65.107	Логнорм. среднее	2.8612
Мин значение	0,152	Средневзвешенное	22.762	% данных в +/- 2 сигма	95.859	Логнорм. станд. откл.	0,9973
Макс. значение	41,145	Медиана	25,389	% данных в +/- 3 сигма	100	Взвешенная дисперсия	0
2-е наибольшее	40,385	Дисперсия	111,26	Нижний quartиль	16,499	Взвешенное станд. откл.	0
3-е наибольшее	40,309	Станд. откл.	10,548	Верхний quartиль	31,129	Геометр. среднее	17,483
Размах	40,992	Коэф. вариации	0,46339	Межкварт. размах	14,63	Геометр. станд. откл.	2,711
Нижняя гр. выбросов	0,152	Верхняя гр. выбросов	41,145				

Рисунок 4 - График «Ящик с усами» и таблица статистических характеристик

На рисунке 5 представлена корреляция между содержанием  $Fe_{магн}$  и  $Fe_{общ}$ . Вычисленный коэффициент Пирсона равен 0,5675, уравнение линии тренда представлено в виде  $y=25,33+0,3554 \cdot x$ . Значение коэффициента Пирсона (0,57) указывает на умеренную положительную корреляцию между  $Fe_{магн}$  и  $Fe_{общ}$ , а положительный наклон линии тренда свидетельствует, что с увеличением содержания  $Fe_{магн}$  возрастает общее содержание железа. Однако разброс значений показывает, что помимо  $Fe_{магн}$ ,  $Fe_{общ}$  определяется другими компонентами (например, гематитом или мартитом). Следовательно, зависимость между

$Fe_{магн}$  и  $Fe_{общ}$  подтверждает, что  $Fe_{магн}$  является основным, но не единственным компонентом, влияющим на общий состав железа. Это важно учитывать при оценке запасов.

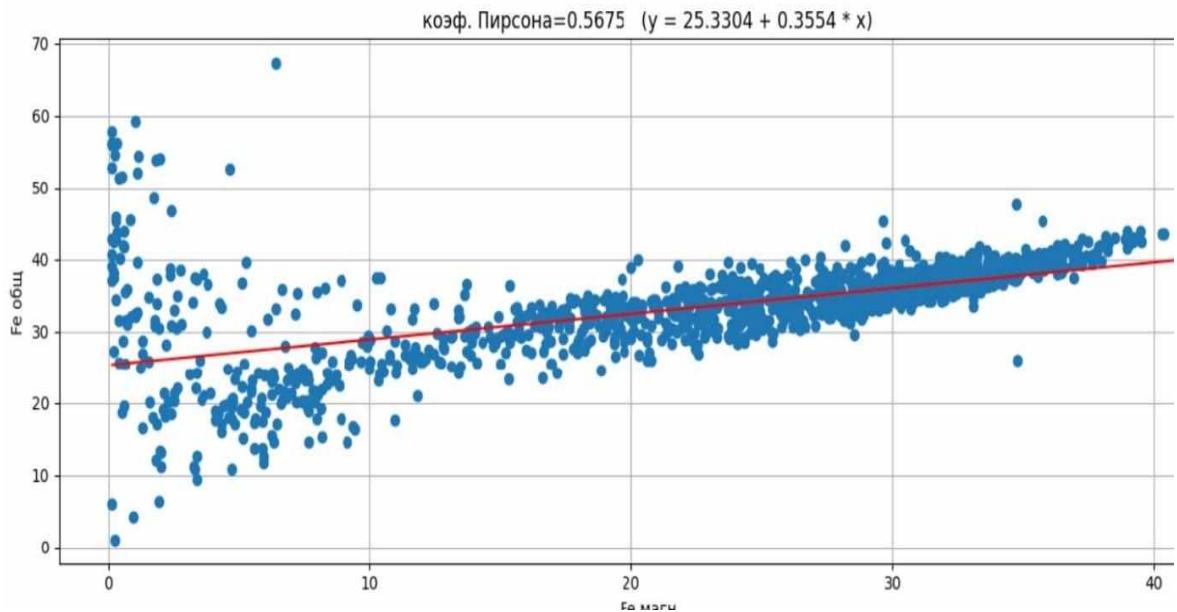


Рисунок 5 - График зависимости  $Fe_{магн}$  и  $Fe_{общ}$

На рисунке 6 представлен график нормального распределения  $Fe_{магн}$ . График показывает нормальное распределение для содержания  $Fe_{магн}$  с МО=23,52 и СКО=10,27. Данные показывают отклонение от нормального распределения, особенно в области низких и высоких значений  $Fe_{магн}$ . Это подтверждает полимодальность распределения. Высокое значение СКО (10.27) указывает на значительную вариативность данных. Распределение  $Fe_{магн}$  в пробах не подчиняется строгому нормальному закону, что является типичным для природных данных. Полимодальность подтверждает выделение трех групп.

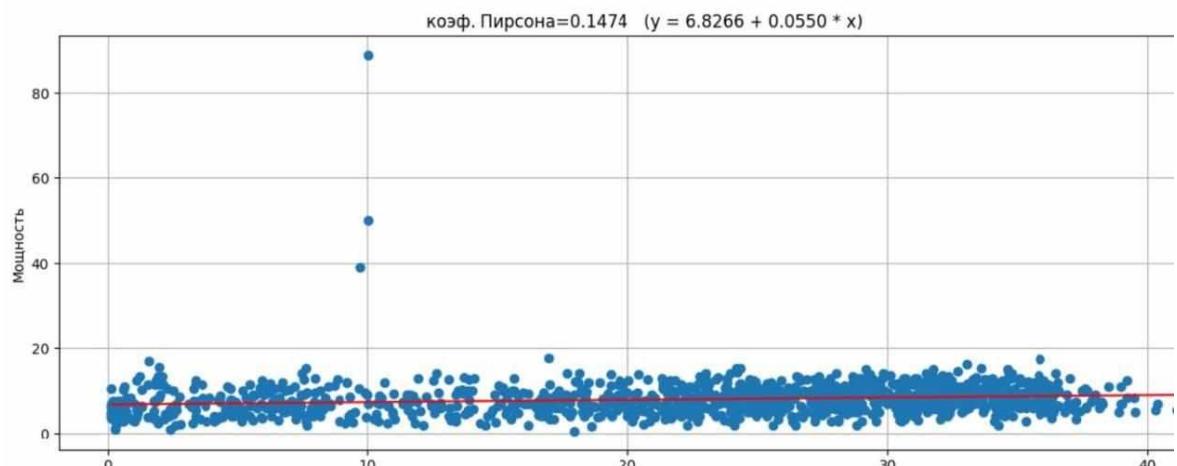
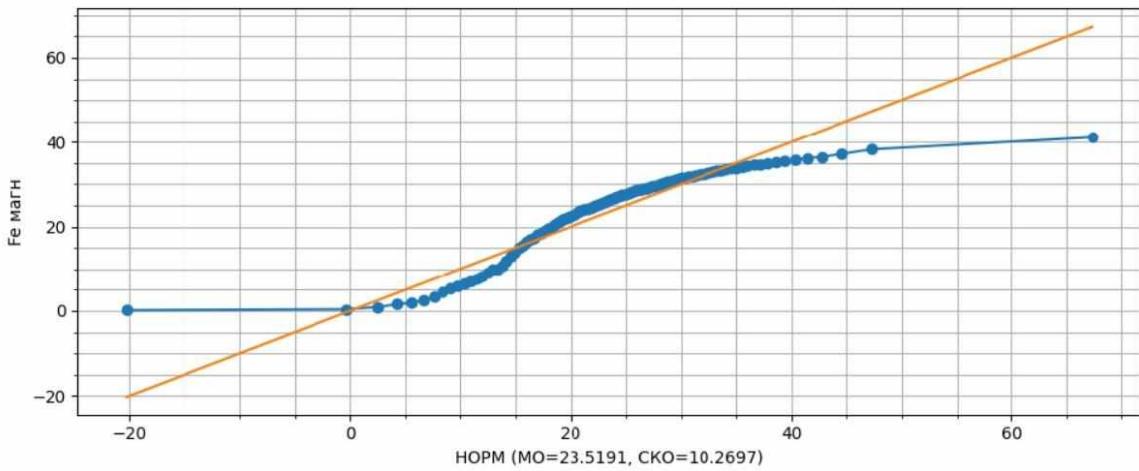


Рисунок 6 - График нормального распределения  $Fe_{магн}$

На рисунке 7 представлен график квантилей. Кумулятивная гистограмма демонстрирует накопленную частоту содержания  $Fe_{магн}$ . Переходы между группами руд отражены изменением наклона кривой. Низкосортная руда представлена 22% проб, наблюдается в нижней части графика с медленным увеличением частоты. Среднесортная руда охватывает 34% проб., переходный участок с более резким наклоном. Высокосортная руда характеризуется быстрым ростом частоты (44% проб), верхняя часть кривой.

Кумулятивная гистограмма подтверждает деление на три группы, так как изменения наклона кривой соответствуют переходам между группами руд.



### Рисунок 7 - График квантилей

### Этап 3. Обоснование кондиций.

Красные зоны на рисунке 8 ( $Fe_{магн} > 27\%$ ) представляют ядра богатой руды. Эти зоны наиболее привлекательны для разработки. Они обладают компактной структурой, но имеют нерегулярные формы (линзы и «языки»), что требует точного моделирования, и располагаются как на поверхности, так и в глубинных частях разреза. Фиолетовые зоны на рисунке 8 (14–27%) отображают среднесортную руду, которая окружает ядра богатой руды, образуя переходные области. Зоны средней руды имеют более значительную протяженность, но их формы также сложны и требуют детальной геометризации. Голубые зоны на рисунке 8 ( $Fe_{магн} < 14\%$ ) представляют собой бедные участки, чётко выражены на границе рудного тела.

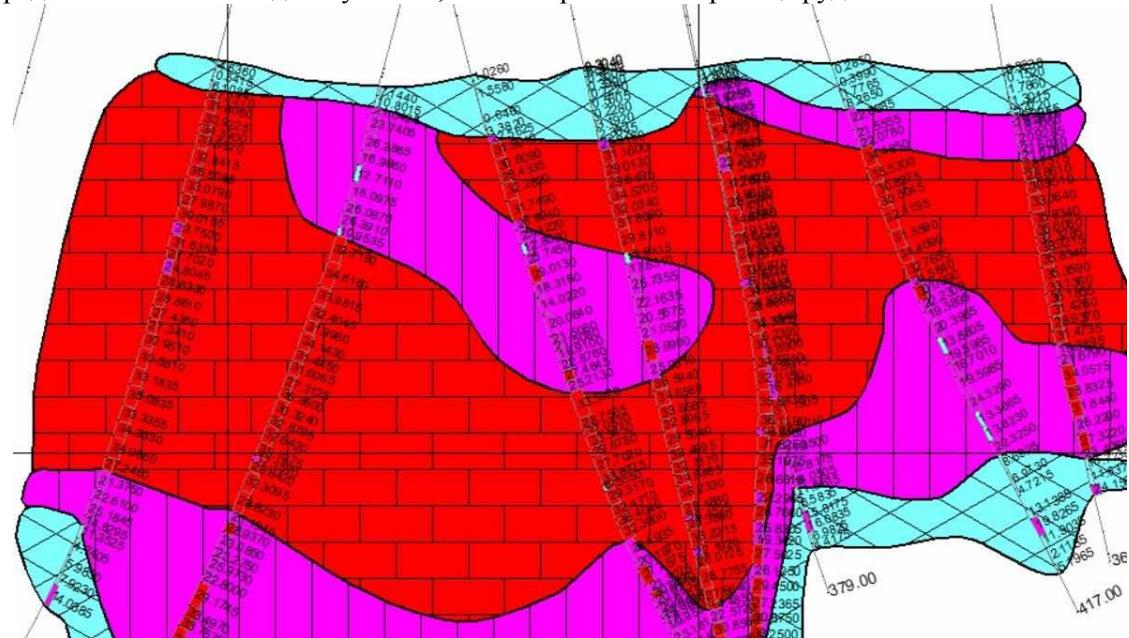


Рисунок 8 - Разрез по профильной линии II

Невозможно переоценить преобразующий потенциал автоматизированной обработки геологоразведочной информации в горнодобывающей промышленности. Используя передовые технологии и методологии, горнодобывающие предприятия могут достичь беспрецедентного уровня точности, эффективности и устойчивости своей деятельности. Поскольку спрос на полезные ископаемые продолжает расти, а экологические нормы становятся все более жесткими, внедрение ГГИС будет иметь решающее значение для поддержания конкурентоспособности и обеспечения ответственного управления ресурсами. Однако реализация этого потенциала требует постоянных инвестиций в технологии, обучение персонала и инфраструктуру, а также приверженности решению этических и экологических проблем.

Будущее горнодобывающей промышленности заключается в плавной интеграции автоматизации, роботизации с интеллектуальными системами управления и устойчивыми практиками, что позволяет создать отрасль, которая будет не только экономически жизнеспособной, но и экологически и социально ответственной.

### **Библиография**

1. Стадник Д.А., Стадник Н.М., Григорян К.Л., Кожиев З.В. Актуализация технологических показателей технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых с помощью компьютерных технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 5–1. – С. 170–184. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_51\_0\_170.
2. Стадник Н.М. Основные методические принципы формирования интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений. // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Горная промышленность». – 2016. – № 3(127). – С. 73–76.
3. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Стадник Д.А. Резерв повышения эффективности разработки маломощных рудных месторождений. // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2020. – № 9. – Т. 331. – С. 63–69. DOI 10.18799/24131830/2020/9/2805.
4. Клюев Р.В., Мартюшев Н.В., Кукарцев В.В., Кукарцев В.А., Бригига В.С. Анализ геологической информации для обеспечения устойчивого функционирования горнотехнических систем. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 144–157. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_5\_0\_144.
5. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами. // Горный журнал. — 2022. — № 12. — С. 55—61. DOI: 10.17580/gzh.2022.12.10.
6. Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Макеев М.А., Кадочников М.В. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности. // Горная промышленность. - 2022;(3):89–92. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-89-92
7. Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Куликова Е.Ю. Анализ аварийности и тенденции развития аэрологической безопасности угольных шахт. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 12. – С. 135–149. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_12\_0\_135.
8. Бондаренко И.С. Нейросетевое моделирование геологического поля месторождения. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 6. – С. 19–38. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_6\_0\_19.
9. Мишулович П.М., Петров С.В. (2019). Методологические аспекты создания геолого-технологических моделей месторождений полезных ископаемых. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2019. - 64 (2). – С. 249–266.
10. Босиков И.И., Выскребенец А.С., Цидаев Б.С., Белуков С.В. Совершенствование методов для повышения эффективности оценки, анализа и разработки медно-никелевых месторождений. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 40–53. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-40-53.

### **2.18. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

#### ***Кафедра механики материалов и геотехнологий***

В декабре 2023 года в результате объединения кафедр **механики материалов** (ММ) и **геотехнологий и строительства подземных сооружений** (ГиСПС) была создана кафедра **механики материалов и геотехнологий** (ММиГ). Заведующим кафедрой стал доктор технических наук, доцент Анциферов Сергей Владимирович.

На кафедре работает 14 штатных преподавателей, из которых: 8 докторов наук, профессоров; 5 кандидатов наук, доцентов; 1 ассистент.

На кафедре ведется подготовка:

- специалистов с присвоением квалификации «Горный инженер» по специальности 21.05.04 «Горное дело», включающей следующие направленности (профили): «Подземная разработка пластовых месторождений», «Открытые горные работы», «Шахтное и подземное строительство», «Горные машины и оборудование»;

- магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» с направленностью (профилем) «Основания и фундаменты, подземные сооружения»;

- с 2024 года бакалавров по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело» с направленностью (профилем) «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки».

На декабрь 2024 года за кафедрой закреплено 15 аспирантов очной и заочной формы обучения. Руководство аспирантурой осуществляют 7 докторов наук. Набор в аспирантуру осуществляется по трем научным специальностям: 1.6.21 «Геоэкология» (группа научных специальностей 1.6 «Науки о Земле и окружающей среде»); 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и 2.8.8 «Геотехнология, горные машины» (группа научных специальностей 2.8 «Недропользование и горные науки»); работает диссертационный совет Д 24.2.417.04.

Основные научные направления работы кафедры:

разработка теории и новых аналитических методов расчета конструкций подземных сооружений различного назначения;

системные исследования геоэкологических функций литосферы;

геотехнологическое, геомеханическое и эколого-экономическое обеспечение разработки месторождений полезных ископаемых и строительства подземных сооружений;

теоретические основы геоинформационного мониторинга техногенного преобразуемых участков литосферы, подземных сооружений и горных выработок;

автоматизированный расчет и проектирование горных машин; системные исследования гидродинамического воздействия на горные породы и искусственные материалы;

математическое моделирование аэрогазодинамических режимов и процессов тепломассопереноса при эксплуатации горных предприятий;

промышленная и экологическая безопасность горного производства.

При выполнении ряда научно-исследовательских и диссертационных работ были проведены комплексные исследования, общие результаты которых сводятся к следующему.

В области *геомеханики и строительной геотехнологии* был разработан новый аналитический метод расчета обделок параллельных тоннелей, сооружаемых в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности. При этом были установлены новые и уточнены известные закономерности формирования напряженного состояния массива пород и обделок, позволяющие обосновывать рациональные конструктивные и технологические решения для обеспечения необходимой несущей способности крепежных конструкций при строительстве тоннелей в сложных горно-геологических условиях.

Основные выводы и результаты:

1) разработана математическая модель взаимодействия обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, сооруженных закрытым способом в технологически неоднородных породах вблизи наклонной земной поверхности, базирующаяся на современных положениях геомеханики о совместной работе элементов единой деформируемой системы;

2) строгое аналитическое решение краевой задачи теории функции комплексного переменного, полученное с использованием комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили, позволяет определять компоненты напряженного состояния элементов геомеханической системы, включающей весомый массив и комплекс параллельных тоннелей, сооружаемых вблизи склона, с учетом наличия вокруг выработок зон технологически неоднородных пород;

3) разработаны аналитический метод расчета обделок параллельных тоннелей кругового поперечного сечения, сооружаемых закрытым способом в технологически неоднородных

породах вблизи наклонной земной поверхности, алгоритм и программное обеспечение, позволяющие выполнять многовариантные расчеты конструкций обделок тоннелей в различных горно-геологических и горнотехнических условиях;

4) установлены закономерности формирования напряженного состояния массива пород и обделок тоннелей, сооружаемых в технологически неоднородных породах вблизи склона, при действии гравитационных сил в массиве пород для различных сочетаний основных влияющих факторов.

В области **конструирования горно-шахтного оборудования и подземной геотехнологии** обоснованы технические решения по разработке конструкции горного инструмента, а также его геометрические параметры, обеспечивающие повышение эффективности вращательного бурения шпуров и анкерного крепления горных выработок на угольных шахтах.

Основные выводы и результаты:

1) установлено, что использование в качестве поперечного сечения штанги треугольника Рело позволяет на нем исключить точки, в которых происходит концентрация напряжений, увеличить продольную и осевую жесткости штанги, а также обеспечивает одинаковый момент инерции на главных центральных осях поперечного сечения;

2) коэффициенты запаса прочности по эквивалентным напряжениям разработанной буровой штанги и ее ближайших аналогов с применением компьютерной программы «T-FLEX CAD» составили для экспериментальной штанги 3,6, а для серийных штанг производства ООО «Горный инструмент» 3,5 и 1,3 соответственно;

3) разработанная буровая штанга обладает меньшей массой на 4% и обеспечивает площадь свободного пространства для удаления буровой мелочи на 12% больше в сравнении с ближайшим аналогом - серийной штангой ШБТ 23-L/23-M16, поперечное сечение которой имеет форму равностороннего треугольника с усеченными углами; при этом соотношение размеров поперечных сечений штанг следующее - расстояние между параллельными сторонами равностороннего треугольника с усеченными углами равно диаметру окружности, описанной вокруг треугольника Рело;

4) проведены испытания буровых штанг с резьбовыми соединениями на предмет определения оптимального резьбового соединения для штанги и конструкционного материала для ее производства; показано, что оптимальным конструкционным материалом для производства буровых штанг является буровой прокат шведского производства, выдерживающий нагрузку в виде крутящего момента до 455 Н·м; выявлено, что применение крепления для штанг с резьбовым соединением R17 является наиболее надежным по сравнению с соединением M14;

5) предлагаемый буровой резец за счет твердосплавных вставок в форме эллипсообразного овала Кассини обеспечивает полный контакт лезвий с забоем шпура, снижая колебание инструмента при бурении им горной породы, а также способствует уменьшению затуплений лезвий, увеличивая таким образом ресурс работы резца;

6) установлено, что при бурении пневматическим переносным анкероустановщиком шпуров в горных породах крепостью 8 по шкале М.М. Протодьяконова резцами двухперой асимметричной конструкции с передним углом 0 градусов применение лезвий в форме эллипсообразного овала Кассини обеспечивает скорость бурения на 18% больше и увеличивает ресурс инструмента в 1,74 раза в сравнении с резцами, имеющими лезвия в форме ломанной с тремя вершинами, две из которых определяют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений;

7) получена зависимость, позволяющая осуществлять планирование скорости ведения буровых работ под анкерное крепление шпуров при использовании гидравлических машин, оснащенных трехперыми резцами с симметричными режущими кромками.

В 2024 году по кафедре получены следующие научно-технические результаты:

подготовлены и защищены 2 кандидатские диссертации;

изданы 4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о Земле» (издание «Известия ТулГУ. Науки о Земле», категория К1, включено в международную базу цитирования Web of Science);

публикационная активность: количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus – 4; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science – 24; количество статей в журналах, принадлежащих к первым двум квартилям международных баз цитирования Web of Science и Scopus – 1; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования РИНЦ – 42;

по результатам обучения в аспирантуре подготовлены 4 аспиранта, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь».

Студентами кафедры сделаны 10 докладов на региональных конференциях, опубликованы 9 научных работ по итогам участия во всероссийских и международных конференциях. Получен диплом победителя Всероссийского конкурса на лучшую научную (дипломную) работу среди студентов высших учебных заведений по проблематике освоения подземного пространства в 2024 г. под эгидой Тоннельной ассоциации России в номинации «Шахтное строительство». Получен диплом третьей степени во Всероссийской студенческой олимпиаде по сопротивлению материалов 2023-2024 учебного года с Международным участием, проводившейся 23-28 сентября 2024 г. в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. 19 студентов участвовали в Открытой международной студенческой Интернет-олимпиаде по дисциплине «Сопротивление материалов», проводимой Национальным фондом поддержки инноваций в сфере образования (г. Йошкар-Ола). Две команды студентов (6 чел.) приняли участие в Осеннем кубке XII Международного инженерного чемпионата «CASE-IN». Одна из команд дошла до полуфинала.

## **2.19. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

### **Геомеханика**

Для исследования закономерностей формирования и развития мезотрещинной структуры в массиве горных пород разработаны деформационный и сейсмо-акустический методы обнаружения предвестников разрушения массива горных пород вокруг глубоких подземных выработок. Деформационный метод обнаружения предвестников разрушения массива горных пород вокруг глубоких подземных выработок заключается в том, что на основании аналитической оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород определяются параметры многоинтервального метода деформационных исследований массива вокруг подземных глубоких выработок, а в качестве долгосрочного и среднесрочного предвестников принимаются условия отсутствия или фиксации зонального характера деформирования соответственно. Сейсмо-акустический метод обнаружения предвестников разрушения массива горных пород вокруг глубоких подземных выработок, заключается в том, что на основании аналитической оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород определяются параметры сейсмо-акустической сети геофонов, а в качестве долгосрочного и среднесрочного предвестников принимаются условия возникновения одиночных или очаговых сигналов соответственно.

Для установления критериев определения стадий формирования и развития мезотрещинных структур в горных породах вокруг глубоко залегающих горных выработок разработан многоканальный метод фиксации этапов формирования мезотрещинной структуры горных пород, заключающийся в том, что по данным акустических и деформационных экспериментов, а также экспериментов с образцами в лабораторных условиях определяются положение и стадия формирования мезотрещинных структур, при этом момент разрушения определяется закономерностями ее развития по многоканальной схеме с использованием долгосрочного и среднесрочного предвестников. Показано, что применение многоканальных методов обнаружения предвестников повышает эффективность прогноза не менее чем в 1,5 раза.

Разработан аналитический метод определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг глубоких подземных выработок, заключающийся в том, что для установленных горно-геологических условий на основании решения краевых задач о горной выработке в сильно напряженном массиве на основе неевклидовой модели определяются момент возникновения и характеристики зональной структуры разрушения, которые затем

используются при задании параметров деформационных и сейсмо-акустических систем определения предвестников разрушения. Установлено качественное соответствие между неевклидовой математической моделью и экспериментальными данными. Показано, что расхождение теоретических и экспериментальных данных в среднем составляет 47,7%.

### **Обогащение и глубокая переработка георесурсов**

В 2023 г. были продолжены исследования бурых углей и торфов Приморья по применению гуминовых препаратов в качестве основных исходных материалов хемосорбционной экстракции, получения органических и органоминеральных удобрений и их применения в земледелии качестве удобрений и ремедиантов почвы.

Продолжены исследования по применению компонентов гуминовых и фульвокислот бурых углей и торфов в качестве базы удобрений для органического земледелия.

Исследованы параметры эффективного гранулирования гуматосодержащего сырья для получения товарной продукции гранулированных удобрений для механизированного внесения в почвы. Экспериментально исследованы параметры и технологические режимы грануляции в присутствии цеолитсодержащих связывающих компонентов.

Проведены лабораторные исследования цеолитов Приморского края в качестве матриц для удобрений и реагентов с контролируемым высвобождением (Controlled release fertilizers/CRFs). Совместно с Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН на базе Аналитического центра института начаты исследования пористых структур цеолитов Чугуевского месторождения. Проведены исследования эффектов насыщения структур цеолитов органическими смесями, содержащими компоненты фульвовых и гуминовых кислот. Установлены параметры насыщения цеолитсодержащих матриц для разработки технологических схем получения CRF продуктов для сельского хозяйства и экологической очистки. Выполнены работы по повышению уровня готовности (TRL) прототипов органических и органоминеральных удобрений из угольного и торфяного сырья.

Таким образом, была исследована структура и экспериментально обоснована возможность подготовки и использования цеолитов Чугуевского месторождения Приморского края в качестве матриц удобрений с контролируемым высвобождением (CRF удобрения).

На основе исследований были созданы промышленные прототипы органических и органоминеральных удобрений на основе глубокой переработки торфов и бурых углей Дальнего Востока.

Прототипы удобрений были представлены во время проведения Российско-Китайского Экспо, г. Харбин, 17-21 мая 2024 года совместно с индустриальным партнером - ООО «АВИС». Прототипы являются научной продукцией для устойчивого земледелия, полученные на основе комплексной глубокой переработки торфов и углей месторождений Дальнего Востока (органические удобрения, гуматы, фульвовые кислоты).

Совместно с Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН продолжены работы по созданию инвестиционных паспортов минерально-сырьевой отрасли Дальневосточного федерального округа, основанных на возможности комплексной глубокой переработки минерального сырья с получением продукции высокого передела, востребованной на внешнем и внутреннем рынках. Разработана структура комплексного документа, включающего сведения об актуализированном перспективном ресурсном потенциале минерально-сырьевой отрасли территории, возможностях применения технологий комплексной глубокой переработки сырья на конкретных объектах недропользования, возможностях и условиях локальных преференциальных режимов, значимых для принятия инвестиционных решений и привлечения отраслевых инвесторов для развития горной промышленности ДФО и диверсификации линейки выпускаемой продукции.

### **Газификация углей**

Продолжены работы по подземной газификации углей. Акцент исследований направлен на развитие водородной энергетики.

Приведены возможности применения технологий глубокой переработки углей и подземной газификации углей для формирования сырьевой базы получения водорода. Сформулированы и внесены предложения о возобновлении совместных российско-китайских

исследований по применению технологии подземной газификации угля, о создании совместного российско-китайского центра подземной газификации углей для развития чистой энергетики совместно с Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН.

Сделан пленарный доклад «Перспективы применения технологии подземной газификации углей для расширения сырьевой базы водородной энергетики» в работе VIII Круглого стола «Российско-Китайское научно-техническое сотрудничество в области разработки и внедрения высоких технологий» (16 мая 2024 г. Харбин, КНР).

### **Комплексное освоение георесурсов**

Сотрудники Департамента мониторинга и освоения георесурсов ДВФУ приняли участие в работе секции «Геология» мероприятия-спутника IV Конгресса молодых учёных в Мурманске под руководством заместителя Министра науки и высшего образования РФ Дениса Секиринского и губернатора Мурманской области Андрея Чибиса (15-17 августа 2024 г.).

В результате работы участников секции «Геология» были предложены конкретные решения и технологии, которые позволяют повысить эффективность работы площадки Ловозерского горно-обогатительного комбината. Участники рассмотрели всю цепочку, позволяющую реализовать импортозамещение в области добычи, переработки и металлургического передела редкоземельных металлов. Ожидается, что предлагаемые новации повысят эффективность предприятия в два раза, с учетом природоохранных мероприятий и развития кадрового потенциала Мурманской области. В качестве системного решения для внедрения сформированных инициатив предложено создание инжинирингового центра на базе КНЦ РАН.

## **2.20. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### **Факультет строительства и архитектуры**

#### ***Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела***

За период 2023-2024 учебного года исследования проводились в следующих направлениях:

1. Подготовка специалистов в области горного дела (доц. к.п.н. Семенова Л.А.; проф. Хаустов В.В.);
2. Проблемы влияния строительства КНК на устойчивость бортов карьера (аспиранты кафедры направления 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» Семенов Д., Сабельников А., Бречалов Д.);
3. Изучение проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения (проф. Хаустов В.В., Семенова Л.А. и др.).
4. Изучение загрязнения подземных вод хозяйствственно-питьевого назначения в Районе КМА (проф. Хаустов В.В.).
5. Проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе. (проф. Хаустов В.В.).

#### **1.Подготовка специалистов в области горного дела**

За период 2023-2024 учебного года ППС кафедры продолжили исследования в области проблем профессиональной подготовки специалистов по горному делу. Работы Семеновой Л.А. посвящены исследованию воспитательного потенциала литературного образования в профессиональной подготовке горных инженеров. Авторы считают возможным использование приемов и методов анализа художественного текста (формирование эмоционального, развитие творческих способностей и воображения и т.п.) в профессиональной подготовке через воспитательный компонент.

#### **2. Проблемы влияния строительства КНК на устойчивость бортов карьера**

Аспирантами кафедры были исследованы проблемы влияния строительства КНК на устойчивость бортов карьера (на примере АО «Михайловский ГОК им. А.В.Варичева»). Описана строительная практика возведения КНК, предполагающая три варианта строительства, при сравнении которых можно говорить как о положительных, так и об отрицательных

сторонах их реализации. Рассмотрены результаты строительства 1 КНК на АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева», выявлено, что наряду с положительными экономическими и экологическими эффектами строительство оказalo негативное влияние на деформирование откосов: на сегодняшний момент наблюдаются зоны сдвижения. Авторы приходят к выводу о необходимости создания системы наблюдения за деформацией бортов карьера с использованием разнообразных методов.

### **3. Изучение проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения**

Проф. В.В. Хаустовым, Л.А. Семеновой и др. проанализированы проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения. Установлено, что в настоящее время среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменяется в пределах 2150...2830 м<sup>3</sup>/ч, из которых большая часть дренажных вод поступает из батского водоносного горизонта (основной обводняющий коллектор – 77% водопритока) наряду с обводнением атмосферными осадками, надкелловейским водоносным комплексом и руднокристаллическими трещинными водами. Установлена относительная стабилизация режима водоносных комплексов и объемов водопритоков в карьер МГОКа за последние десятилетия. Показано негативное воздействие горного предприятия, повлекшее образование депрессий регионального масштаба и существенное истощение запасов подземных вод нижнего водоносного комплекса. Выявлена основная производственная проблематика работы подземного дренажного комплекса, связанная со сложностями сопряженного функционирования с карьером, а также с периодическими нарушениями нормального режима эксплуатации восстающих дренажных скважин вплоть до полного выхода из строя некоторых из них.

### **4. Изучение загрязнения подземных вод хозяйствственно-питьевого назначения в Районе КМА**

Рассмотрены весьма сложные горно-геологические условия Яковлевского месторождения богатых железных руд, требующие организации надежного мониторинга гидрогеологических и геомеханических процессов, сопровождающих горные работы. Установлены наиболее значимые факторы формирования экологической безопасности разработки месторождения – весьма сложные гидрогеологические условия и физико-механические свойства руды при значительной толще перекрывающих осадочных пород.

Для повышения эффективности системы экологической безопасности предложен оригинальный способ контроля оседаний массива, который дает возможность получить высотную отметку удаленноизацементированной измерительной точки и обеспечить непрерывный контроль за деформациями предохранительного целика.

### **5. Проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе**

При исследовании проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе В.В. Хаустов приходит к выводу о том, что отличительной особенностью системы водозащиты карьера Михайловского ГОКа является использование загубленного карьерного водоотлива, что позволило исключить работы по эксплуатации насосных станций, расположенных в рабочей зоне карьера. Это позволило сократить время простоя добывного оборудования на дне карьера и подтопление нижних уступов в ливневый и паводковый периоды.

#### **Список литературы:**

1. Яницкий Е.Б., Игнатенко И.М. Горнодобывающая отрасль Белгородской области: наука и производство. // Руда и Металлы. - 2020. - №7. - С. 44–50.
2. Сергеев С.В., Лябах А.И., Квачев В.Н., Севрюков В.В. Геолого-гидрогеологическая характеристика Яковлевского месторождения. // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. - 2011. - Вып. 15. - №9(104). - С. 147–154.
3. Орлов В.П., Шевырев И.А., Соколов Н.А. Железные руды КМА. // Под ред. В.П. Орлова. М.: Изд-во Геоинформарк, 2001. - 616 с.
4. Сергеев С.В., Лябах А.И., Зайцев Д.А. Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА. //Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. - 2011. - Вып. 14. - №3(98). - С. 200–208.

5. Стрелецкий А.В. Современные проблемы разработки рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях. // О.В. Трушко, А.А. Сидоренко, А.В. Стрелецкий// Маркшейдерия и недропользование. – 2011. - №2. - С. 7–8.

6. Айнбиндер И.И., Овчаренко О.В., Пацкевич П.Г. Обоснование параметров геотехнологии добычи железных руд на Яковлевском месторождении. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - №12. - С. 8–14.

7. Зотеев О.В., Макаров А.Б., Фаустов С.И. Проблемы отработки Яковлевского железорудного месторождения. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. УГГУ. - 2008. - Т. 8. - С. 4–8.

**2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»**

**ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА**

***Геотехнология***

Дано развитие научно-методических основ устойчивости функционирования горнодобывающих предприятий с открытой геотехнологией, базирующующееся на повышении комплексности техногенного преобразования и освоения участка недр, которая зависит от структуры и динамики изменения параметров горнотехнической системы в быстроменяющихся условиях недропользования. Доказано, что эффективность и устойчивость функционирования современного горнодобывающего предприятия достигается формированием оптимального и сбалансированного в соответствии с уровнем доходности и затрат комплекса направлений производственной деятельности, учитывающей выпуск расширенной номенклатуры продукции и оказание горнотехнических услуг при использовании природных и техногенных георесурсов, с возможностью гибко изменять объемы их производства за счет заблаговременного формирования горных возможностей.

Доказано, что параметры горнотехнической системы связаны с применяемыми способами организации и управления производственными ресурсами предприятия. Выделены и исследованы следующие способы организации деятельности с использованием: 1 – собственных ресурсов без расширения видов деятельности (базовый); 2 – ресурсов сторонних организаций; 3 – собственных и ресурсов сторонних организаций; 4 – собственных ресурсов и расширением видов деятельности с оказанием горнотехнических услуг сторонним предприятием.

Исследованиями доказано, что с увеличением линейных параметров и единичной производственной мощности гидравлических экскаваторов возрастает их абсолютная производительность при снижении удельной производительности на 1 м<sup>3</sup> емкости ковша. Таким образом, удельная производительность современных карьерных гидравлических экскаваторов с объемом ковша Ек до 5-6 м<sup>3</sup> превышает в 1,5-2 раза значение этого же показателя у экскаваторов с ковшами вместимостью Ек выше 20-22 м<sup>3</sup>. Соответственно, интенсивность отработки участка активной рабочей зоны карьера гидравлическими экскаваторами с меньшей емкостью ковша на 40-50% выше, чем при использовании экскаваторов с большой емкостью ковша при условии равного суммарного объема емкости ковшей сравниваемых экскаваторов.

Доказано, что на ограниченном участке активной рабочей зоны карьера при снижении высоты уступа и уменьшением угла откоса рабочего борта при максимальной концентрации выемочного оборудования достигается увеличение интенсивности отработки в 1,4-1,5 раза с одновременным повышением селекции вынимаемой из массива горной массы до 20%.

Установлено, что область эффективного использования гидравлических экскаваторов с емкостью ковша 15-22 м<sup>3</sup> в активной части добычной рабочей зоны ограничена углом откоса рабочего борта в пределах 18-24 и высотой уступа до 20-30 м, отрабатываемых подступами. Интенсивность отработки участка при этом в условиях максимальной концентрации оборудования может достигать 15-20 м/месяц на 100 тыс. м<sup>2</sup>. Сопоставимая по значению интенсивность достигается в активной части добычной рабочей зоны с уступами

высотой до 5-10 м и результирующим углом его откоса 8-14° при максимальной концентрации оборудования с емкостью ковша 2,5-6 м<sup>3</sup>. Достижение такой интенсивности при использовании экскаваторов с малой емкостью ковша целесообразна в условиях положительной конъюнктуры рынка полезных ископаемых высокой ценности. При этом обеспечивается возможность снижения потерь и разубоживания, повышения товарной стоимости продукции за счет селективной выемки или увеличения ее ассортимента и в целом повышение доходности предприятия и полнота освоения запасов.

Доказано, что для повышения производительности карьера в условиях разработки пластовых месторождений с пологим залеганием, отрабатываемых автомобильным и экскаваторно-отвальным комплексами оборудования, необходимо повышение интенсивности отработки вскрышных горизонтов путем уменьшения доли объема работ бестранспортной системы, которая ограничивает скорость подвигания вскрышных уступов, в пользу повышения объема работ транспортной системы в доле, прямо пропорциональной повышению объема добычи, с соответствующим изменением конструктивных и геотехнологических параметров горнотехнической системы. Установлено, что при сплошной системе разработки пологопадающих пластов угля средней мощности целесообразно понижение общей высоты вскрышного уступа при бестранспортной системе на 1 м на каждые 200 тыс. т увеличения годовой добычи для условий: производительность по полезному ископаемому более 6 млн т/год, длина фронта работ 3-4 км, удельная годовая производительность комплекса бестранспортной системы 116 тыс. м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> в пересчете на кубометр суммарной емкости ковшей драглайнов.

Впервые предложен интегральный показатель горных возможностей, учитывающий получение дополнительных доходов от изменения вовлекаемых в разработку запасов, производительности карьера, качества добываемого сырья и номенклатуры товарной продукции, включая объем услуг сторонним предприятиям, рассчитываемый на основе приведения доходности предприятия, в том числе получаемой от развития обозначенных направлений и видов деятельности, к сопоставимому по ценности объему добываемого полезного ископаемого. Отношение этого объема к производственной мощности предприятия определяет значение показателя. Эффективность комплексного освоения участка недр обеспечивается при значении показателя  $\geq 1$ .

Полученные результаты исследований использованы при подготовке рекомендаций и проектных решений по корректировке параметров горнотехнической системы с учетом комплексного освоения участка недр на карьерах «Светлинское», «Ургальское», «Черногорское», «Баженовское», «Агаповское». Подтвержденный экономический эффект при освоении месторождений составил: Черногорское и Ургальское – 50,0 млн руб. за один год, Баженовское – 28 млн руб. за период 2021-2023 гг.

### *Обогащение полезных ископаемых*

**На основе проведенного сравнения поточных методов элементного анализа разработана принципиальная конструкция энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора**, отличающегося способностью работать с потоком сыпучего материала широкого диапазона крупности. Подобраны параметры рентгеновской трубы и детектора, наиболее полно отвечающие требованиям к анализу рудного и углеродсодержащего сырья. Оптимизированы конструктивные параметры анализатора под разные виды минерального сырья, позволяющие точнее производить замеры содержания железа, кальция, меди, цинка. Разработан алгоритм пересчета элементного состава анализируемого материала в минеральный, позволяющий прогнозировать процесс смещивания аглошихты и ее технологические свойства. Работы выполнены под руководством кандидата технических наук, доцента Гришина И.А.

**Изучена возможность предобогащения металлического и неметаллического сырья методом рентгеносепарации.** Техническая проблема заключается в повышении извлечения из руд полезных минералов. Технический результат заключается в повышении эффективности распознавания в руде скрытой минерализации (по всему объему исследуемого куска) путем выделения минеральных включений в виде полезных минералов с большой атомной плотностью на фоне минералов вмещающей породы с низкой атомной плотностью. Проведены полупромышленные испытания на атомно-абсорбционном сепараторе с использованием 130

гранитной и гранитно-сланцевой руд Южно-Шамейского вольфрамомolibденового месторождения крупностью от минус 60 мм до плюс 40 мм. Мощность рентгеновского излучения составляла 160 кВ, сила тока 2000 мА, скорость движения ленты сепаратора 2 м/с. Заданные значения обеспечивают проявление разницы в величине ослабления интенсивности рентгеновского излучения кусками гранитно-сланцевой породы и молибдениита из-за разницы их атомных плотностей, что способствует их сепарации. Степень поглощения рентгеновского излучения в каждом куске руды измерялась на двух разных уровнях энергии (низкой и высокой) из-за разной толщины кусков и вкрапленности минералов в сортируемом материале. Определена величина заданного порогового значения ослабления интенсивности рентгеновского излучения, равная  $64 \text{ Вт/м}^2$ . Получен молибденовый концентрат (промежуточный продукт) с массовой долей молибдена, равной 0,4-0,43% при извлечении 72-80%. Проведены полупромышленные испытания с использованием плавикошпатовой руды. Выявлено, что данный способ рентгеносепарации не требует предварительной подготовки руды в виде операций промывки и очистки поверхности кусков от глины, шламовых частиц и пыли, что весьма актуально для данного вида сырья, так как атомно-абсорбционный способ является проникающим и позволяет распознавать в объеме всего куска скрытую минерализацию. Получен плавикошпатовый концентрат (промежуточный продукт) с массовой долей флюорита, равной 31% при извлечении 90-92%. Работы выполнены под руководством кандидата технических наук, доцента Дегодя Е.Ю. и кандидата технических наук, доцента Гришина И.А.

**Экспериментально доказана эффективность различных методов обработки титаномагнетитовых руд из месторождений Южного Урала** в процессе селективного разрушения минералов. В ходе исследований были опробованы три способа обработки: магнитоимпульсная, ультразвуковая и реагентная. Объектами изучения стали среднетитанистые титаномагнетитовые руды из Копанского, Кусинского, Медведевского и Малого Куйбасского месторождений. Было установлено, что после обработки содержание класса крупности 0,071-0 мм в измельченном продукте увеличивается в диапазоне от 10 до 32% в зависимости от выбранного метода. Обработка способствует ускорению процесса измельчения и позволяет сократить его продолжительность в среднем в 1,8-1,4 раза в зависимости от требуемой крупности помола. Мокрая магнитная сепарация класса крупности 0,071-0 мм, полученного после обработки и измельчения, приводит к снижению содержания диоксида титана в магнитном продукте до 5,1-3,04% при одновременном увеличении массовой доли железа в среднем до 64% и повышении извлечения железа до 80,19%. Микроскопическое изучение узких классов крупности измельченных продуктов, проведенное на установке «Минерал С7 SIAMS Photolab™», показало, что количество сростков в классах крупности 0,074-0,044 и 0,044-0 мм в случае обработки уменьшается. Работы выполнены под руководством кандидата технических наук, доцента Шавакулевой О.П. и кандидата технических наук Сединкиной Н.А.

### *Геология и маркшейдерское дело*

Разработанные геомеханические модели Агаповского месторождения флюсовых известняков и Малый Куйбас учитывающие геологическое и структурное строение месторождения, физико-механические и деформационные свойства пород и руд, гидрогеологическую изученность массива, фактическое положение горных работ на карьерах и отвалах. Структурная нарушенность отражена как в виде разломов, так и в виде основных систем трещин. Последние выявлены с применением фотограмметрического способа с применением БПЛА. Модели разработаны в ГГИС ГЕОМИКС. Работы выполнены под руководством кандидата технических наук, доцента Романько Е.А.

### **Изданы:**

#### **Журнал**

Недропользование и транспортные системы. Том 14 № 1 (2023) с.70

Недропользование и транспортные системы. Том 14 № 2 (2023) с.46

Недропользование и транспортные системы. Том 14 № 3 (2023) с.43

Недропользование и транспортные системы. Том 14 № 4 (2023) с.48

## *Горные машины и оборудование*

**Разработана новая гранулометрическая модель щековых дробилок.** Предложенная гранулометрическая модель образования и расположения кусков горной породы в камере щековой дробилки дает возможность аналитическим методов описать рабочий процесс дезинтеграции твердых полезных ископаемых и таким образом обоснованно рассчитать его рациональные параметры и оптимальные показатели. Эффективность работы щековых дробильных машин циклического действия предложено оценивать их производительностью, так как по этому показателю они существенно уступают конусным дробилкам непрерывного действия.

Комплексный подход к анализу причин низкой производительности позволил, на основе гранулометрической модели, разработать высокоэффективный способ дезинтеграции горных пород и предложить конструктивные особенности исполнения щековых дробилок.

Практическая реализация разработанного процесса дезинтеграции позволит в 8-12 раз повысить производительность щековых дробилок нового поколения и существенно поднять их конкурентоспособность по отношению к конусным дробилкам.

**Представлено энергоэффективное решение для ремонта и модернизации электродвигателей горных машин и оборудования.** Энергоэффективность достигается не за счет увеличения массы активных материалов двигателя, как это происходит у европейских производителей, а за счет перераспределения массы меди одной трехфазной обмотки статора на две трехфазные обмотки и применения малогабаритного компенсирующего устройства – трехфазного конденсатора регламентированной емкости. Одна из трехфазных обмоток называется рабочей. Она включается по обычным схемам – звезда или треугольник на трехфазный источник питания. Другая трехфазная обмотка называется компенсационной. Эта обмотка включается на трехфазный конденсатор определенной емкости, соединенный в схему звезда или треугольник. При перемотке снижается потребление электроэнергии в среднем 30%. Дополнительные затраты на капитальный ремонт с повышением энергоэффективности окупаются в среднем за полгода.

**Произведено компьютерное моделирование распределения воздушного потока в центробежном вентиляторе с соосным расположением рабочих колес для повышения эффективности проветривания шахт.** Осуществлялось с помощью программного модуля Solidworks Flow Simulation, который предназначен для решения прикладных задач газовой динамики. В Solidworks Flow Simulation движение и теплообмен текучей среды рассчитывается на основе уравнений Навье–Стокса. Ими моделируются турбулентные, ламинарные и переходные течения. Алгоритм построения аэродинамической модели аппарата включал в себя следующие этапы: 1) разработка 3D-модели вентилятора; 2) определение области расчета; 3) задание локальной области вращения; 4) установка граничных условий; 5) построение исходной расчетной сетки и определение параметров ее адаптации по решению и по граничным условиям; 6) задание поверхностных целей; 7) проведение расчета и оценка точности расчета методом сходимости по сетке; 8) визуализация результатов расчета.

## **2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**1.1. Стратегический проект № 1 «Новые технологии поиска и добычи минерального сырья».**

1. Завершены работы по объекту «Выполнение работ по оценке геологической, геохимической изученности и подготовке геологического обоснования ГДП-200 листа О-40-XXXV (Артинская площадь)»

- Составлены картограммы и каталоги геологической (геологосъемочной и тематической, геолого-поисковых и разведочных работ) и геохимической изученности.

- Подготовлен комплект предварительных карт геологического содержания (карт «несбивок») и карты фактического материала масштаба 1: 200 000 листа О-40-XXXV (Артинская площадь) в цифровом (ГИС-формате) и аналоговом виде (карта фактического материала, геологическая карта дочетвертичных образований (карта «несбивок»), карта четвертичных

образований (карта «несбивок»), регистрационная карта полезных ископаемых с элементами закономерностей их размещения).

- Создан комплект геохимической основы масштаба 1:200 000 листа О-40-XXXV, включающий банк геохимических данных, специализированные карты и объяснительную записку к ним. В комплект входят следующие карты и схемы: геохимической изученности, фактического материала литогеохимического опробования донных и коренных отложений, ландшафтная карта со схемой районирования территории по условиям проведения геохимических работ, геохимической специализации геологических комплексов, моноэлементные геохимические карты распределения концентраций химических элементов по потокам рассеяния (Ag, Ba, Ce, Cr, Cu, La, Li, MnO, Mo, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc, Sr, TiO<sub>2</sub>, Y), полиэлементная геохимическая карта (Ba, Be, Ce, Cr, Cu, La, Mn, Mo, P, Sc, Sr, W, Y, Zr), карта рудогенных геохимических аномалий.

В пределах Средне-Предуральской железо-меднорудной соленосной минерагенической зоны (1 sy,h1,Cu,Fe/P) выделено 11 аномальных геохимических полей (0.0.3, 0.0.4, 0.0.6, 0.0.11, 0.0.13, 0.0.14, 0.0.15, 0.0.18, 0.0.19, 0.0.20). В Белокатайско-Чусовскую железорудно-угленосно-бокситоносную минерагеническую зону (2 Al,УК,Fe/O<sub>3</sub>-C) входят девять АГХП (0.0.1, 0.0.2, 0.0.5, 0.0.7, 0.0.8, 0.0.10, 0.0.12, 0.0.16, 0.0.17), выделенных в результате настоящих работ. Наиболее интересными и первоочередными объектами изучения являются Кирчигазская, Нижнебардымская и Коневская аномалии, в связи с их приуроченностью к коренным породам.

- Выявлены нерешенные вопросы геологического строения территории, состава и площадей развития стратифицированных и нестратифицированных образований, их литолого-стратиграфических, петрографических и петрологических особенностей.

- Выполнена предварительная оценка перспектив площади на обнаружение объектов благородных металлов и других полезных ископаемых.

- Составлено геологическое обоснование проведения ГДП-200 листа О-40-XXXV (Артинская площадь) в виде геолого-методической части проекта, обосновывающей геологические задачи, виды и объемы работ, необходимых для их решения. На основе анализа изученности, обработки и комплексной интерпретации геолого-геофизических данных предшественников и материалов собственных работ в геологическом задании сформулированы основные геологические задачи на ГДП-200/2, указаны последовательность и основные методы их решения, ожидаемые результаты, порядок апробации материалов, сроки проведения работ.

В ходе работ установлен потенциальный источник алмаза, выявленного в 2022 году, продолжается дальнейшее изучение вещественного состава пород комплекса и разрабатываются поисковые критерии и признаки алмазоносности Уральского региона.

Выполнены работы по проекту «Трансмиссионный XRT сепаратор для обогащения высококонтрастных руд и нерудных полезных ископаемых», включающие в себя создание нового сепаратора, а именно его проектирование, изготовление и сборку. Данный вид сепаратора предназначен для разделения полезных ископаемых по рентгеновским характеристикам сортируемого материала. Внедрение новых сепараторов, взамен существующих, позволяет исключить ресурсоемкие процессы измельчения и транспортирования полезных ископаемых, обеспечить вовлечение бедных вкрапленных руд в переработку, импортозаместить оборудование горных предприятий. Разработана конструкторская и эксплуатационная документация, изготовлен и прошел испытания опытный образец. Работа выполнена в рамках кооперации в Уральском межрегиональном НОЦ.

В ходе выполнения работ по проекту «Система оперативного учёта производства концентратов и методики составление товарного баланса полезных ископаемых» созданы технология извлечения ильменита, опытный образец диспергатора флотационных газов, разработана методика составления товарного баланса. Использование данных результатов в учебном процессе позволит вести подготовку востребованных специалистов СПО для горнодобывающей промышленности, а внедрение на предприятиях позволит добиться снижения потерь ценных компонентов, извлекаемых из минерального сырья на 0,5-1%. Также использование на обогатительных фабриках новых элементов машин и методик позволит увеличить процент импортозамещения. Разработана технология предварительного обогащения забалансовых золотосодержащих руд, отработка которых по классической технологии

неэффективна. Технология состоит в извлечении из забалансовой руды с помощью рентгенофлуоресцентной сепарации 57,79% обогащенной руды, направляемой на глубокое обогащение, а 42,21% обедненной руды направлять на кучное выщелачивание. Только на одном предприятии «Муртыкты» предложенная технология позволяет получать дополнительно 443 кг золота в год.

## 1.2. Стратегический проект №2 «Новые инструменты минимизации экологической нагрузки предприятий горно-металлургического и нефтегазового комплексов и их инфраструктуры»

Собраны и протестиированы шесть комбо-систем дистанционного мониторинга атмосферы в отношении следующих газов: метан, кислород, углекислый газ, угарный газ, озон, диоксид азота, диоксид серы. Установлена ИТ-инфраструктура сенсоров с сетевым оборудованием, настроено Open-Source приложение для обработки данных. Четыре комбо-системы на анализ атмосферного воздуха размещены в различных районах МО город Екатеринбург; комбо-системы каждые 10 секунд анализируют воздух, все показания с сенсоров заносятся в базу данных и обрабатываются в виде графиков; пятая система используется с БПЛА. Шестая комбо-система установлена на базе практик в городе Сысерть. Возможна доработка сенсоров на предмет расширения диапазонов улавливаемых концентраций. Система реализована в отношении передачи данных в режиме реального времени как в стационарном исполнении, так и с использованием БПЛА.

На рисунке 1 показаны комбо-система в стационарном варианте и в динамике при помощи БПЛА.

Диапазоны измерений газоанализаторов (покрывают ПДК):

1) Сенсор концентрации углекислого газа CO<sub>2</sub>

Диапазон измерений 0 ... 200 000 ppm

Температурный диапазон от 0 до +50°C

2) Сенсор концентрации кислорода O<sub>2</sub>

Диапазон измерений 0...25%

Температурный диапазон от -30 до +50°C

3) Сенсор концентрации горючих газов CH<sub>4</sub>

Диапазон измерений 0...100%

Температурный диапазон от -30 до +70°C

4) Сенсор концентрации Диоксида Серы SO<sub>2</sub>

Диапазон измерений 0...20 ppm

Температурный диапазон от -30 до +50°C

5) Сенсор концентрации Диоксида Азота NO<sub>2</sub>

Диапазон измерений 0...100 ppm

Температурный диапазон от -30 до +50°C

6) Сенсор концентрации Озона O<sub>3</sub>

Диапазон измерений 0...50 ppm

Температурный диапазон от 0 до +50°C

7) Сенсор концентрации Угарного Газа CO

Диапазон измерений 0...1000 ppm

Температурный диапазон от -20 до +50°C

Диапазоны измерений можно варьировать под требования Заказчика.



Рисунок 1 – Фотография пробоотборника воды и комбо-системы, используемых в динамике при помощи БПЛА

Обеспечение роста производительности и сокращение численности рабочих под землей – актуальные тенденции развития горного дела последних десятилетий и недавние аварии на шахтах Распадская и Листвянская, на шахтах Республики Казахстан (где за год в одной компании погибло более 100 человек) побуждают нас к активной работе в этом направлении.

Уральский государственный горный университет занимается широким спектром исследований в области аэробиологии. В новейшее время Горный университет активно занимается разработкой безлюдной технологии проветривания тупиковых загазованных выработок. Разработанные решения повышают безопасность горного производства, улучшают условия труда работников рудников.

### **1.3. Стратегический проект № 3 «Цифровые производственные технологии»**

Целью проекта «Создание цифрового кернохранилища твердых полезных ископаемых» является развитие горнорудной промышленности и рационального недропользования, сохранение и развитие национального богатства. Проведены консультации с руководством промышленных горнорудных компаний России. Находится в процессе завершения и апробации методика по оцифровке кернового материала. Подобрана аппаратурная база и программное обеспечение для удаленного исследования каменного материала.

В ходе работы над проектом «Разработка схемных решений для обеспечения функционирования узлов горно-шахтной техники и оборудования» проведено исследование существующих методик испытаний клапанов, на основе которых разработаны процессы испытаний необходимого оборудования. На основе этих методик была разработана принципиальная гидравлическая схема и гидравлическая схема соединений. Для изготовления стенда разработана 3D модель испытательного гидравлического стенда.

Разработаны индивидуальные оснастки для клапанов с целью их быстрой установки и съема в испытательном стенде. На основе методик испытаний были разработаны алгоритмические схемы проведения испытаний. Опираясь на эти схемы, написана управляющая программа на программируемом реле и сенсорной панели оператора фирмы OWEN, отвечающая за процесс проведения методик испытаний.

В рамках реализации проекта «Программно-аппаратный комплекс «Система геокриологического мониторинга» выполнены следующие работы:

- была разработана структура программно-аппаратного комплекса, которая включает в себя рекогносцировку местности с целью выявления участков, где отмечается потеря прочности сооружений; закладку на местности грунтовых и деформационных марок в зданиях; определение высот пунктов грунтовых марок методом геометрического нивелирования; бурение и оборудование скважин для термометрических исследований. Всего было пробурено 8 скважин глубиной до 20 м. Скважины были оборудованы информационно-регистрирующим комплексом ИРК «Kriolab», принцип которого основан на измерении и преобразовании прибором цифровых и аналоговых сигналов от датчиков температур, установленных в термометрических косах, в сигналы интерфейса 12С и 1-wire для дальнейшей передачи на персональный компьютер.

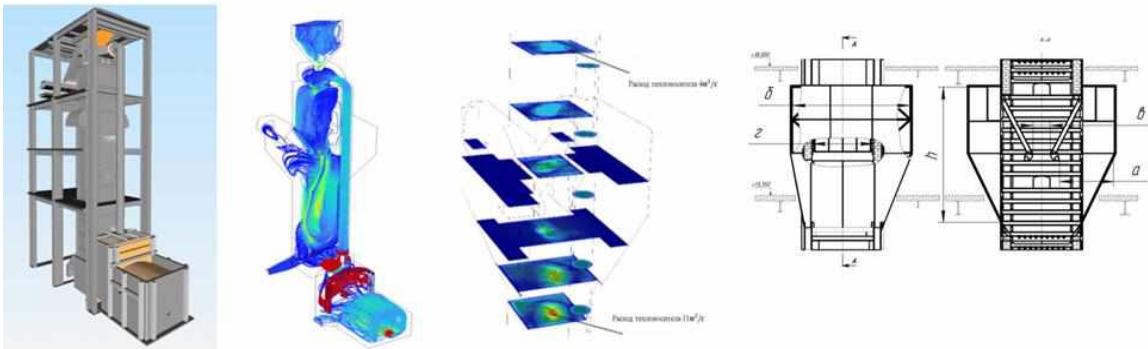
Далее на протяжении года в автоматическом режиме были получены данные по изменениям температур в грунтах и деформационным маркам.

Анализ полученных материалов позволил установить, что осадки деформирующихся зданий за период наблюдений не представляют опасность.

Температурный режим грунтов не нарушен, однако отмечается общая тенденция увеличений глубины слоя сезонного оттаивания, что связано с литогенетическим типом пород, короткоперiodическими колебаниями температур и накопленного за период устойчивых отрицательных температур запаса холода в нижних слоях грунтового массива. В ходе работ по проекту «Разработка и реализация методологии создания энергоэффективных турбомашин и теплотехнических агрегатов для горно-металлургического комплекса на базе природоподобной соразмерности с использованием элементов искусственных нейронных связей университетом реализуется два договора с иностранным предприятием – АО «Костанайские минералы» (Казахстан), которое входит в тройку крупнейших производителей хризотил-асбестовой руды в мире. Для предприятия разработан и внедрен проект модернизации

технологии сушки руды, позволивший снизить объемы выбросов асбестовой пыли в атмосферу в 35 раз и сократить потребление газа более чем на 50% (рисунок 2).

Разработана «Методология проектирования и оцифровки технологических схем аэро-термодинамических процессов на базе природоподобной соразмерности для создания энергоэффективного тепло- массообменного оборудования».



**Рисунок 2 – Вертикальная шахтная сушильная печь**

По заказу АО Урало-Сибирская промышленная компания (УСПК) выполнены расчеты при проектировании буровой установки для бурения скважин глубиной 3200 м при нагрузке на крюке 250 тс «Исследования напряженно-деформированного состояния вышки при рабочих и испытательных нагрузках». В результате расчетов оптимизирована конструкция рамы, что позволило снизить трудозатраты. В результате исследований подтверждена прочность конструкции мачты и кронблочной рамы. Расчет выполнен с использованием Российского программного продукта APM WinMachine. Расчетное ядро продукта APM WinMachine – модуль APM Structure3D – имеет аттестационный паспорт программного средства, выданный РОСТЕХНАДЗОР, ФБУ «НТЦ ЯРБ».

Вышеуказанные исследования были проведены с целью решения задач предприятий по последующему изготовлению буровой установки со сложной складывающейся вышкой, ускоряющей процесс монтажа (принципиально новое технологическое решение). Буровая установка готовится к производству в 2025-м году.

## **2.23. ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»**

Исследования в области горных наук в Институте природопользования НАН Беларуси охватывают вопросы углубленного изучения строения земной коры и литосферы, геодинамики, тектоники, региональной геологии, геоэкологии и геотехнологии. В 2024 году значительное внимание было уделено вопросам модернизации приборной базы для определения теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательной температуре. Эти работы весьма актуальны для выполнения обосновывающих расчетов проходки шахтных стволов с применением искусственного замораживания. Одной из наиболее важных характеристик промерзающих горных пород является температура начала замерзания в них воды. В дисперсных породах этот показатель зависит, прежде всего, от энергии связи воды с органо-минеральной фазой этих пород и степени их засоленности. Он является важным для характеристики состояния влаги в почвах, грунтах и горных породах. На практике [1-4] для экспериментального определения температуры начала замерзания воды в дисперсных породах, а также температуры замерзания растворов используют криоскопический метод, который основан на регистрации температуры в процессе охлаждения и замерзания. При постоянной скорости отвода тепла от промерзающей системы после начала замерзания воды на кривой, отражающей зависимость температуры от времени  $T=T(\tau)$ , появляется характерный изгиб, который объясняется наличием теплоты фазового перехода вода-лед (рисунок 1).

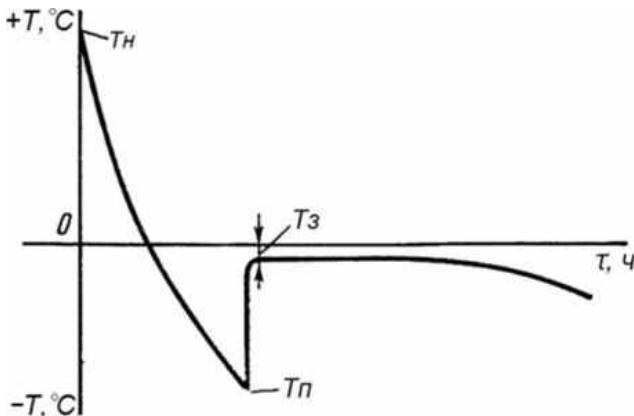


Рисунок 1 – Типичная кривая переохлаждения и замерзания воды в ограниченном объеме грунта:  
 $T_H$  - температура переохлаждения,  
 $T_3$  - температура начала замерзания

Кроме того, поскольку при промерзании любых влажных дисперсных систем вода в них значительно переохлаждается, на этой кривой фиксируется скачок температуры. Этот скачок тем больше, чем больше было переохлаждение. В идеале температура, соответствующая верхнему значению скачка, должна быть температурой начала замерзания влаги. Однако после глубокого переохлаждения, которое может быть ниже температуры начала замерзания на 4-10°C, происходит резкое замерзание, в результате которого количество незамерзшей влаги в образце и концентрация порового раствора повышаются за счет частичного вымораживания влаги. Поэтому зарегистрированная находящимся в исследуемом грунте или растворе датчиком температура будет ниже истинной температуры начала замерзания воды или раствора. Исключить нежелательное переохлаждение и, тем самым, максимально приблизить измеряемое значение температуры к истинному можно путем активизации начала кристаллизации. Для этой цели можно использовать различные приемы, такие как встряхивание, постукивание по корпусу емкости с образцом, внесение затравок, близких к структуре льда, и т.п. Известно, что при образовании первых кристаллов льда начало фазового перехода воды в лед распространяется на весь объем образца. Это явление было использовано для инициализации кристаллизации воды с помощью, так называемых, инициаторов кристаллизации, представляющих собой тонкую трубочку, заполненную исследуемым материалом и выходящую из кюветы с образцом за пределы теплоизоляции образца в объем морозильной камеры [5]. В последующем с использованием инициаторов кристаллизации в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларусь было разработано устройство для исследования температуры начала замерзания воды в грунтах и растворах [6]. В настоящее время с целью повышения точности метода это устройство и методику соответствующих исследований предлагается усовершенствовать.

**Конструкция устройства и установка.** На рисунке 2 представлены конструкция модернизированного устройства и установка для определения температуры начала замерзания воды в грунтах и растворах. Варианты конструкции устройства могут предусматривать от двух до четырех одновременно исследуемых образцов грунтов, горных пород и поровых растворов в закрытых латунных гильзах 1, которые размещаются в отверстиях массивного металлического корпуса 2. Благодаря дистанционным кольцам 3 гильзы и корпус не соприкасаются между собой. Через верхние пробки латунных гильз в материал введены медь-константановые термопары, помещенные в медицинские иглы 4. Снизу гильзы закрыты пробками, через которые пропущены пластмассовые трубы диаметром 5 мм, исполняющие роль инициаторов кристаллизации 6. Трубы заполнены тем же материалом, что и латунные гильзы. Закрытый конец инициаторов кристаллизации на 20-40 мм выходит за пределы теплоизоляции 5, а открытые концы контактируют с материалом в латунных гильзах. Устройство, установленное на подставку из эбонита 7 и закрытое крышкой 8, помещается в морозильную камеру при температуре термостатирования на 8-10°C ниже предполагаемой температуры начала замерзания исследуемых образцов. Указанная температура морозильной камеры необходима для гарантированного замерзания воды в инициаторах кристаллизации. Провода термопарных датчиков температуры, контролирующих температуру образцов, выпущены через отверстие в крышке и нулевые спаи этих датчиков термостатируются в термосе со льдом 9.

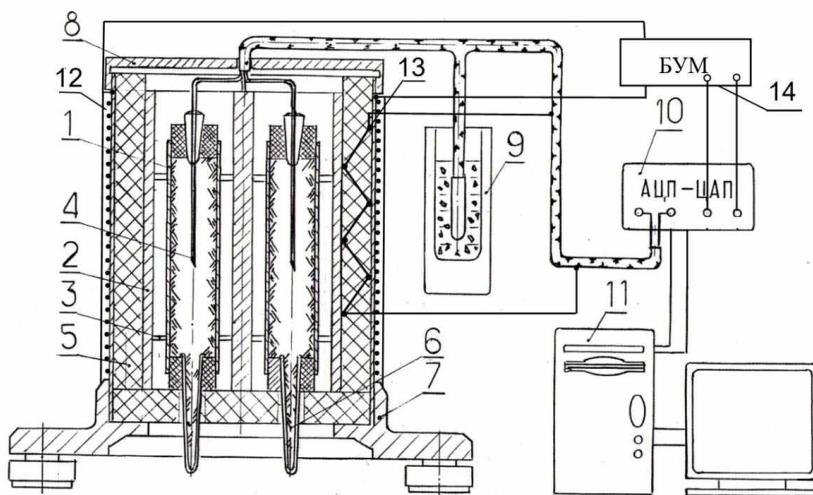


Рисунок 2 – Схема устройства для определения температур начала замерзания растворов и воды в дисперсных материалах: 1 – гильза с образцом; 2 – корпус; 3 – кольцо дистанционное; 4 – датчик температуры; 5 – теплоизоляция; 6 – инициатор кристаллизации; 7 – основание; 8 – крышка; 9 – ноль-термостат; 10 – АЦП-ЦАП; 11 – компьютер

Анализ выполненных исследований по определению температуры начала замерзания воды в грунтах и растворах показал, что погрешности данных определений, оцененные с помощью калориметрического метода и тестовых определений на растворах с известными концентрациями солей, зависят от интенсивности (скорости) охлаждения, а скорость охлаждения зависит от температуры термостатирования, т.е. от температуры в морозильной камере. Для обеспечения независимого от температуры в морозильной камере регулирования интенсивности охлаждения образцов предлагается модернизировать рассматриваемое устройство путем дополнения его охранным нагревателем, помещенным на корпус устройства, и контрольной дифференциальной термопарой, встроенной в слой теплоизоляции устройства. Это дает возможность путем регулирования напряжения питания нагревателя снизить перепад температуры в слое изоляции и замедлить скорость охлаждения в период вероятного начала замерзания исследуемых образцов, что повысит точность определения температуры начала замерзания.

Принцип работы установки основан на регистрации кинетики изменения температуры исследуемых образцов в ходе их охлаждения. Переохлаждение воды при этом сводится к минимуму (не более 0,4-0,8°C) за счет применения в данной установке инициаторов кристаллизации и оптимизации интенсивности охлаждения. Промерзание образца начинается снизу от инициатора кристаллизации по мере достижения поровой влагой температуры начала замерзания. Для регистрации кинетики изменения температуры установка укомплектована компьютерной системой, включающей компьютер типа PC AT 11 с 4-канальным портом 10 и блоком усиления мощности БУМ 14, разработанными УП «УНИТЕХПРОМ БГУ». Созданное в лаборатории программное обеспечение с использованием указанной компьютерной системы позволяет визуализировать и регистрировать динамику изменения температуры в ходе опыта с ошибкой, не превышающей 0,03°C. Температура начала замерзания воды в горных породах и растворах определяется по характерным точкам на термограмме охлаждения образца.

Следует отметить, что погрешность определения температуры замерзания воды в дисперсных средах и растворах в основном зависит от учета вымерзания воды в процессе переохлаждения. В представленном методе эта погрешность минимизирована до величины не более 0,15°C. Более точное определение температуры начала замерзания можно получить с помощью калориметра [7] путем дополнительного учета тепловых эффектов, но с учетом трудоемкости и длительности процесса определения калориметрическим методом представленный метод может использоваться на стадии предварительных исследований для экспрессного определения температуры начала замерзания воды больших партий образцов грунтов, горных пород и поровых растворов с оценкой эффективной концентрации солей.

**Методика проведения опытов.** При определении температуры замерзания поровой влаги латунные гильзы и инициаторы кристаллизации заполняются исследуемым материалом. Затем инициаторы через резиновую пробку вставляются в гильзы. При сборке необходимо обеспечить хороший контакт материала в гильзе с материалом кристаллизатора.

При определении температуры начала замерзания растворов инициаторы кристаллизации заполняются кварцевым песком или в них вставляется свернутый бумажный фильтр, после чего для пропитки погружаются в исследуемый раствор. Затем они вставляются в гильзу, которая заполняется исследуемым раствором.

После погружения в исследуемый грунт или раствор измерительного спая термопары гильзы вставляются в корпус, затем он закрывается плотной крышкой. Собранная установка помещается в морозильную камеру, температура которой на 8-10°C ниже предполагаемой температуры начала замерзания. Датчики температуры через соединительные провода подключаются к регистрирующим приборам.

В собранной установке часть каждого кристаллизатора расположена в свободном объеме подставки, которая сообщается с пространством морозильной камеры. Поэтому вода в инициаторе кристаллизации достаточно быстро переохлаждается и замерзает. В кассете исследуемый материал охлаждается медленнее из-за значительной теплоемкости металлического стакана и наличия теплоизоляции. Понижение температуры образцов и градиент температуры в слое теплоизоляции контролируются с помощью регистрирующей аппаратуры. Следует отметить, что в случае, если конструкция устройства предусмотрена на одновременное исследование двух образцов, то температура образцов и градиент температуры в слое теплоизоляции контролируются и регулируется с помощью компьютерной системы. В конструкциях для трех и четырех одновременных исследований температура образцов контролируется с помощью компьютерной системы, а градиент температуры в слое теплоизоляции контролируется и регулируется с помощью измерителей регуляторов типа Овен.

В начальный период интенсивность изменения температуры должна составлять 10–15°C/ч. С приближением температуры к области предполагаемого начала замерзания включается охранный нагреватель, который обеспечивает снижение интенсивности изменения температуры до 0,2–0,4°C/ч, не изменяя температуры в морозильной камере. Такой подход позволяет быстро снизить температуру образцов до зоны фазового перехода воды в лед, а затем в медленном режиме охлаждения войти в зону фазовых переходов и при минимальном переохлаждении зафиксировать начало фазовых переходов воды в лед в исследуемых образцах. При этом на мониторе компьютера ведется визуальное наблюдение за изменением температуры исследуемых образцов. После прохождения характерных точек на кривых охлаждения и выхода всех исследуемых образцов на понижение температуры после переохлаждения, повышения температуры до горизонтального участка кривой, файл записывается в базу данных компьютера и опыт прекращается. После окончания опыта установка извлекается из морозильной камеры, снимается крышка корпуса и извлекаются латунные гильзы с образцами. Затем, после оттаивания образцов, из гильз вынимаются датчик температуры, инициатор кристаллизации, пробы образцов извлекаются для определения влажности методом термостатной сушки. Латунные гильзы, инициатор кристаллизации моются в проточной воде, протираются и вместе со всей установкой просушиваются.

**Определение осмотического потенциала влаги в грунтах и горных породах по температуре начала замерзания.** В общем случае понижение температуры начала замерзания воды в грунтах и горных породах определяется действием поверхностных сил на границе раздела влаги и органоминеральной составляющей скелета почвогрунтов, действием капиллярных сил, а также наличием водорастворимых соединений в поровой влаге. Составляющая химического потенциала влаги, обусловленная первыми двумя факторами, носит обобщенное название – матричной составляющей. Тензиометры, как правило, фиксируют только матричную составляющую химического потенциала или капиллярный потенциал.

Для определения осмотического потенциала или осмотической составляющей химического потенциала используется криоскопический метод. Этот метод основан на использовании однозначной зависимости осмотического потенциала и температуры замерзания порового раствора в водонасыщенных почвогрунтах от концентраций водорастворимых

соединений. При влагонасыщении почвогрунтов значение матричного или капиллярного потенциала становится близким к нулю и температура замерзания в такой среде будет определяться только наличием в поровом растворе водорастворимых соединений. Поэтому при проведении исследований образец необходимо вначале увлажнить до состояния полного влагонасыщения.

**Понижение температуры замерзания растворов является коллигативным свойством и его зависимость от концентрации определяется формулой:**

$$\Delta T = Km, \quad (1)$$

где  $K$  – криоскопическая постоянная (для воды  $K = 1.86 \text{ К}\cdot\text{кг}\cdot\text{моль}^{-1}$ ),  $m$  – суммарная молярная концентрация всех растворенных в поровой влаге веществ.

**Выражение, связывающее осмотический потенциал с концентрацией и температурой, имеет вид:**

$$\Delta\mu_s = \frac{MRT}{\rho_p}, \quad (2)$$

где  $M$  – суммарная молярная концентрация всех растворенных в поровой влаге веществ;  $R$  – универсальная газовая постоянная ( $R = 8,314 \text{ Дж}\cdot\text{К}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$ );  $T$  – температура, при которой проводятся измерения,  $K$ ;  $\rho_p$  – плотность порового раствора,  $\text{кг}/\text{л}$ .

Молярная и мольная концентрации связаны соотношением

$$M \approx m\rho_p. \quad (3)$$

Соотношение (3) справедливо для растворов, плотность которых близка к плотности воды, т.е. для достаточно разбавленных.

Из выражений (1) – (3) после необходимых подстановок и преобразований следует выражение для расчета осмотического потенциала

$$\Delta\mu_s = \frac{\Delta TRT}{K} \quad (4)$$

Для проведения опыта при тщательном перемешивании в образец добавляется дистиллированная вода до установления нулевого потенциала влаги. Последний контролируется тензиометром или визуально по признакам появления в образце свободной влаги. После этого определяется температура начала замерзания влаги в увлажненном образце по приведенной выше методике.

Используя значение  $\Delta T$  и соотношение влагосодержаний в исходном и увлажненном образцах, рассчитывают  $\Delta\mu_o$  по формуле.

$$\Delta\mu_s = \frac{\Delta T}{K} RT \frac{W}{W_0}, \quad (5)$$

где  $W$  – влагосодержание образца, при котором определяется осмотический потенциал,  $W_0$  – влагосодержание, соответствующее состоянию полного влагонасыщения образца.

Если влагосодержание образца достаточно велико, то возможен другой путь определения осмотической составляющей потенциала влаги. Для этого необходимо на центрифуге отжать необходимый для эксперимента объем поровой влаги, определить температуру начала его замерзания и по формуле (4) рассчитать искомый потенциал.

На основании формул (2) и (3) можно также рассчитать мольную концентрацию водорастворимых соединений в засоленных грунтах и мерзлых породах по ниже приведенной формуле:

$$M = \frac{\Delta T}{K} \cdot \rho_p \cdot \frac{W}{W_o}. \quad (6)$$

**Заключение.** Модернизированная установка и методика для определения температуры начала замерзания воды в грунтах, горных породах и поровых растворах прошли испытания в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем

и используются при выполнении исследований по бюджетной и договорной тематикам, связанным с промерзающими грунтами, горными породами и глиносоловыми шламами. В частности, модернизированная установка в настоящее время используется для определения температуры начала замерзания воды в рыхлых породах, отобранных на территории белорусской антарктической станции. Такие исследования позволяют на предварительном этапе оперативно оценить степень физико-химической связанности влаги с твердой фазой дисперсных пород и наличие в поровом растворе растворенных веществ.

#### **Список использованной литературы**

1. Мотенко, Р.Г. Температура начала замерзания и фазовый состав влаги грунтов различного гранулометрического состава при нефтесоловом загрязнении / Р.Г. Мотенко, Э.С. Гречищева. // Материалы пятой конф. геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М: Унив. книга, 2016. – Т. 3. – С. 69–76.
2. Голубев, В.Н. Закономерности кристаллизации воды при промерзании дисперсных грунтов / В.Н. Голубев [и др.] // Криосфера Земли, 2018. – Т. XXII, № 1. – С. 20–26.
3. Колунин, В.С. Метод «начала кристаллизации» воды для определения температуры начала замерзания грунтов. / В.С. Колунин, З.А. Ишкова // Криосфера Земли, 2019. – Т. XXIII, № 6. – С. 3–7.
4. Чувилин, Е.М. Определение температуры начала замерзания грунтов на основе измерения потенциала поровой воды. / Е.М. Чувилин [и др.] // Криосфера Земли, 2020. – Т. XXIV, № 6. – С. 11–20.
5. Бровка, Г.П. Установка для определения температуры начала замерзания в грунтах и растворах / Г.П. Бровка, И.В. Дедюля // Информационный листок о научном достижении. – № 90-67 БелНИИНТИ Госплана БССР.
6. Бровка, Г.П. Комплекс методов экспериментального исследования процессов тепломассопереноса в промерзающих грунтах и горных породах / Г.П. Бровка [и др.] // Материалы пятой конф. геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М: Унив. книга, 2016. – Т. 3. – С. 11–17.
7. Бровка, А.Г. Приборы и методы исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательных температурах / А.Г. Бровка, И.И. Романенко // Горная механика, 2009. – №1. – С. 71–79.

#### **2.24. КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т.Ф. ГОРБАЧЕВА**

Кафедрой горных машин и комплексов совместно с научно-исследовательской лабораторией цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса проводились научно-исследовательские работы по развитию методологии проектирования зарядной инфраструктуры электротранспорта в Российской Федерации.

Предложен алгоритм геопространственного анализа для определения приоритетных мест размещения зарядных станций электромобилей в городской среде, включающий совокупность данных, представленных послойно, сумма которых, позволяет отразить наиболее эффективные с точки зрения спроса и затрат места размещения зарядных станций электромобилей на основе данных о частоте запросов в сети интернет от владельца электромобиля на поиск места для заряда электромобиля, вида землепользования районов города (жилые, коммерческие, торговые, промышленные) и других параметров. Разработана комплексная имитационная модель на основе мультиагентного подхода и теории массового обслуживания, позволяющая на основе данных о составе и параметрах парка электромобилей города и объектов зарядной инфраструктуры моделировать суточное изменения спроса на заряд электромобилей и профили электропотребления зарядной инфраструктуры. Предложен алгоритм для определения параметров систем накопления электроэнергии в составе зарядных станций электромобилей, позволяющий определить оптимальную величину мощности и энергоемкости системы накопления электроэнергии.

Областью возможного использования результатов работ являются планирование развития городской общественной зарядной инфраструктуры, путем определения наиболее приоритетных мест для размещения зарядных станций, определение ожидаемого суточного

профиля электропотребления зарядной станции, а также разработка технических решений для снижения величины максимальной мощности при технологическом присоединении зарядной станции к электрической сети.

Возможный технический и (или) экономический эффект от внедрения заключается в повышении рентабельности зарядной инфраструктуры электротранспорта за счет увеличения спроса, снижении затрат на технологическое присоединение к электрической сети или обеспечение технической возможности для технологического присоединения к электрической сети зарядной инфраструктуры электротранспорта за счет снижения максимальной присоединяемой мощности, а также обеспечении возможности участия зарядных станций электромобилей в управлении режимами работы распределительных сетей.

В настоящее время комплексная методология проектирования зарядной инфраструктуры электротранспорта в Российской Федерации отсутствует. Отличительной особенностью разрабатываемой методологии проектирования зарядной инфраструктуры электротранспорта является холистический подход, предусматривающих совместный анализ всех основных задач развития зарядной инфраструктуры: выбор места расположения; определение рациональной архитектуры; технологическое присоединения к электрической сети; управление режимами работы зарядной станции в процессе работы.

По результатам проведенных исследований получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681894. Программа для моделирования спроса на заряд электромобилей в программном комплексе AnyLogic. Имеется потенциал к патентованию методов выбора систем накопления электроэнергии и инновационных решений по организации электрозарядных хабов на шине постоянного тока (рисунок 1).

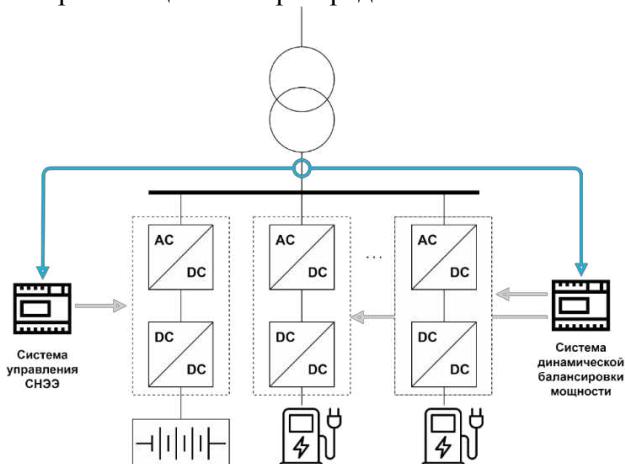


Рисунок 1 - Архитектура зарядного хаба переменного тока

В рамках деятельности Научного центра «Цифровые технологии» активно развивается кооперация по НИОКР с машиностроительными предприятиями Кузбасса. Так, в частности выполнены: энерго-кинематический расчет редуктора, геометрические и силовые расчеты зубчатых зацеплений, расчеты на допустимые радиальные нагрузки подшипников, прочностные расчеты деталей. Разработана электронная модель редуктора и детали редуктора. Проведены расчеты размерных цепей. Разработана конструкторская документация (сборочные чертежи, чертежи деталей и спецификации).

Изготовлен и испытан опытный образец редуктора В3SH, габарита №5, разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец габарита №12 для ленточных конвейеров. Ведется проектирование габарита №10.

Реализуется проект по обратному проектированию деталей дробилки, модель ММД 850, проекты по обратному проектированию деталей системы защиты ковшей экскаваторов.

Разработаны грузовые платформы «Юпитер 90» и «Юпитер 125», а также опытные образцы платформы самосвальной карьерного самосвала. В 2024 году запущено изготовление платформ «Юпитер 220» и «Юпитер 240». Изготовлены опытные образцы гидроцилиндров подъема самосвальной платформы карьерного самосвала «Юпитер 90», «Юпитер 220» и «Юпитер 240». Изготовлены опытные образцы мотор-колес карьерных самосвалов «Юпитер 90», «Юпитер 125», «Юпитер 220», «Юпитер 240».

**Валерий Николаевич Захаров  
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 2024 ГОДУ**

*Техническое редактирование и верстка Н.А. Вдовина*

---

Подписано в печать с оригинал-макета 04.06.2025 г. Формат 60x84 1/8. Бумага «Mega Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 18 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 277.

---

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.

