



# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

КОНФЕРЕНЦИЯ

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ С УЧАСТИЕМ  
ИНОСТРАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

АПАТИТЫ • 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

# **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

**(13-16 июня 2023 г.)**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Апатиты  
Издательство ФИЦ КНЦ РАН  
2023

УДК 622.2:004.9

Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в горном деле», 13-16 июня 2023 г. — Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2023. — 74 с.

В сборник включены тезисы докладов, представленных на пятой Всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в горном деле», проведенной в Горном институте КНЦ РАН. В сборнике представлены материалы, посвященные обсуждению современного состояния и актуальных проблем применения цифровых технологий, компьютерного моделирования объектов и процессов горного производства для решения задач рациональной и безопасной отработки месторождений полезных ископаемых, геомеханического обеспечения горных работ, комплексной переработки минерального сырья, экономических и экологических проблем горного производства.

Материалы сборника могут представлять интерес для широкого круга исследователей и инженеров, аспирантов и студентов высших учебных заведений, занимающихся научными и практическими проблемами разработки месторождений полезных ископаемых.

ISBN 978-5-91137-491-4

Редакционная коллегия: Лукичев С.В. (отв. редактор), Наговицын О.В., Гилярова А.А., Никитин Р.М., Жидкевич Е.Б.

УДК 622.2:004.9

Конференция проведена при поддержке



Конференция проведена при информационной поддержке



**ЗАПИСКИ  
ГОРНОГО ИНСТИТУТА**  
Издание Горного университета



Научное издание  
Технический редактор В. Ю. Жиганов  
Подписано в печать 13.05.2023. Формат бумаги 60×84 1/8.  
Усл. печ. л. 8.6. Заказ № 38. Тираж 300 экз.

ISBN 978-5-91137-491-4  
doi: 10.37614/978.5.91137.491.4

© Горный институт ФИЦ КНЦ РАН, 2023  
© ФИЦ «Кольский научный центр РАН», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>Аленичев В.М.</b> Цифровая технология оценки вероятности техногенных рисков .....	6
<b>Амосов П.В., Бакланов А.А.</b> Влияние глубины карьера и фоновой стратификации на время естественного проветривания карьера .....	7
<b>Билин А.Л.</b> Уточнение проектных границ на Коашвинском месторождении апатитовых руд .....	9
<b>Воронин Р.П., Шибаетова Д.Н., Асанович Д.А.</b> Аппаратно-программное решение для поиска признаков оперативной идентификации хибинского апатита в минеральной смеси .....	10
<b>Гилярова А.А.</b> Методическое обеспечение оценки экономических эффектов цифровых решений в горнорудной промышленности .....	11
<b>Глебов С.В., Константинов Д.В.</b> База данных скважин и литолого-стратиграфическое моделирование при геологическом обеспечении ПАО «УРАЛКАЛИЙ» .....	12
<b>Дмитриев С.В., Семенова И.Э., Шестов А.А.</b> Развитие САЕ системы численного моделирования НДС SIGMA GT .....	13
<b>Есина Е.Н., Филиппов Ю.А.</b> Исследование процесса гидроразрушения угольного массива при реализации комбинированной скважинной геотехнологии .....	14
<b>Ефремов Е.Ю., Рыбников П.А., Рыбникова Л. С.</b> Моделирование гидрогеодинамических условий зоны обрушения на Соколовском месторождении .....	15
<b>Жикин А.А., Санфиоров И.А., Нежданов В.М., Ахматов А.Е.</b> Развитие сейсморазведочных интерпретационных технологий при решении горно-технических задач ...	16
<b>Жукова С.А., Моторин А.Ю., Баранов С.В.</b> Воздействие обводненности среды на продуктивность землетрясений на месторождениях хибинского массива .....	17
<b>Зуенко А.А., Олейник Ю.А.</b> Экспериментальная оценка двух подходов к решению задач планирования открытых горных работ .....	18
<b>Каган М.М.</b> Алгоритм выявления сейсмических событий в многоканальных рудничных системах сейсмического мониторинга .....	19
<b>Каймонов М.В., Максимов М.С., Куляндин Г.А., Панишев С.В., Фёдорова Л.Л.</b> Прогноз теплового и фильтрационного режима ледопородного защитного целика и ограждающей дамбы разреза "Кангаласский" на основе программного комплекса Frost 3D ...	20
<b>Калужный А.С., Розанов И.Ю.</b> Исследование причин потери устойчивости группы уступов на основе радарного мониторинга и поверочных расчётов .....	21
<b>Клишин В.И., Стародубов А.Н.</b> Исследование технологии добычи угля в сложных горно-геологических условиях с использованием математического моделирования .....	21
<b>Козырев А.А., Лукичев С.В., Потапов В.П., Попов С.Е.</b> Оценка трещиноватости отработываемого массива на основе аэрофотосъемки и методов машинного зрения .....	23
<b>Козырев С.А., Назарчук О.В.</b> Исследование процесса загрязнения атмосферы карьерного пространства в условиях температурных инверсий и штилей на основе CFD-моделирования (на примере карьера рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» .....	23
<b>Колесников А.А., Косарев Н.С., Платонов Т.А.</b> Автоматизация сбора данных из открытых источников о состоянии техногенно-нарушенных территорий с использованием геоинформационных технологий и микросервисных архитектур .....	24
<b>Константинов А.В., Грунин А.П., Сидляр А.В., Ломов М.А.</b> Совершенствование программно-аналитических средств системы сейсмоакустического мониторинга удароопасности «PROGNOZ-ADS» .....	26
<b>Кривошеев И.А., Федотова Ю.В.</b> К вопросу контроля изменения физико-механического состояния твердого тела .....	26
<b>Кульминский А.А., Шевляков Е.В., Котенков А.В.</b> Анализ чувствительности проекта отработки месторождения по основным технологическим показателям с помощью современных программных комплексов .....	28
<b>Лаптев В.В., Белгородцев О.В.</b> Моделирование выпуска апатит-нефелиновой руды при поэтажном обрушении .....	29
<b>Ломов М.А., Сидляр А.В., Константинов А.В., Грунин А.П.</b> Применение цифровых технологий для организации сейсмоакустического мониторинга удароопасности на месторождении «Южное» .....	29

<b>Лукичев С.В.</b> Цифровые горные технологии – импортозамещение и технологическая независимость .....	31
<b>Мелихов М.В.</b> Геоинформационное обеспечение складирования горнопромышленных отходов на основе космических и цифровых технологий .....	32
<b>Месяц С.П., Петров А.А.</b> Информационное обеспечение мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению .....	33
<b>Моторин А.Ю., Баранов С.В.</b> Информационная система оценки опасности повторных толчков «aftershock» .....	34
<b>Наговицын Г.О.</b> Краткосрочное планирование открытых горных работ в горно-геологической информационной системе MINEFRAME .....	35
<b>Наговицын О.В.</b> Развитие ГГИС в современных реалиях российской горнодобывающей отрасли .....	36
<b>Нежданов А.В., Богданов Р.А.</b> Особенности подготовки интерпретационных данных малоглубинной сейсморазведки для объемного моделирования в геоинформационных системах .....	37
<b>Никонов И.О., Мельник В.Б., Корчак П.А., Тележкин А.А.</b> Повышение эффективности проектирования и планирования горных работ при использовании горно-геологических информационных систем в условиях КФ АО «АПАТИТ» .....	38
<b>Ногин С.А.</b> Моделирование горных выработок и вмещающего массива средствами среды ГГИС МАЙНФРЭЙМ .....	40
<b>Орлов С.А.</b> Применение нейронных сетей для детектирования горнопромышленных объектов на примере Кербиского золоторудного узла .....	41
<b>Остапенко С.П., Месяц С.П.</b> Оценка потенциала восстановления природных экосистем по спутниковым данным в инфракрасном диапазоне на примере складированных отходов рудообогатения .....	41
<b>Остапенко С.П., Опалев А.С.</b> Методический подход к исследованию магнитного взаимодействия тонкодисперсных частиц в водной суспензии методом компьютерного моделирования .....	42
<b>Павлова К.Т.</b> Разработка алгоритма исследования изменения площади техногенных объектов на примере Комсомольского рудного района .....	43
<b>Паливода А.А., Опалев А.С.</b> Создание DEM-модели стержневой лабораторной мельницы для исследования процесса измельчения железистых кварцитов .....	45
<b>Панжин А.А.</b> Моделирование геомеханических процессов при недропользовании .....	47
<b>Потапчук М.И., Рассказов И.Ю., Сидляр А.В., Ломов М.А.</b> Моделирование геомеханических процессов для обоснования рациональных параметров комбинированной отработки месторождения Пионер .....	48
<b>Рассказов И.Ю., Федотова Ю.В., Аникин П.А., Мигунов Д.С., Константинов А.В.</b> Совершенствование методов и средств геомеханического мониторинга на основе цифровых технологий .....	49
<b>Рассказов М.И., Рассказов И.Ю., Потапчук М.И., Цой Д.И., Терёшкин А.А.</b> Моделирование полей напряжений и оценка удароопасности конструктивных элементов системы разработки Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд .....	51
<b>Реготунов А.С., Гращенко Д.А.</b> Натурные наблюдения за процессом шарошечного бурения взрывных скважин .....	52
<b>Романевич К.В., Мулев С.Н.</b> Применение методов машинного обучения для анализа данных электромагнитного излучения при деформировании горных пород .....	53
<b>Рыбин В.В., Калашник А.И., Константинов К.Н., Запорожец Д.В., Старцев Ю.А., Дьяков А.Ю.</b> Комплексный методический подход к мониторингу устойчивости уступов карьера .....	55
<b>Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Шапочкин Р.А.</b> Применение ГИС для обоснования источников альтернативного водоснабжения пос. Левиха и станции нейтрализации кислых шахтных вод (Свердловская область) .....	55
<b>Секриеру Р.А.</b> Классификация горнопромышленных объектов на спутниковых снимках высокого разрешения .....	57

<b>Семенов Я.Г.</b> Совершенствование технологии добычи руд подземным способом путем разработки автоматизированной системы очистки катков опрокидывателя .....	58
<b>Семенова И.Э., Аветисян И.М.</b> Прогнозная оценка устойчивости борта карьера в тектонически напряженном массиве .....	58
<b>Семенова И.Э., Временков С.В., Розанов И.Ю., Кулькова М.С.</b> Комплексное исследование параметров обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения .....	59
<b>Сидорук М.Р.</b> Выбор оптимального варианта отработки месторождения при планировании в современном программном комплексе .....	60
<b>Соколов И.В., Корнилков С.В., Панжин А.А.</b> Геоинформационные технологии сопровождения процессов горного производства .....	62
<b>Солуянов Н.О.</b> 3К-моделирование устойчивости откосов карьера в программном комплексе Digger Slope .....	63
<b>Соннов М.А.</b> Использование отечественного инженерного программного обеспечения для решения задач устойчивости бортов карьеров и подземных горных выработок .....	64
<b>Терешкин А.А., Рассказов И.Ю., Аникин П.А., Мигунов Д.С., Рассказов М. И.</b> Совершенствование аппаратных и программно-методических средств экспресс-оценки удароопасности .....	64
<b>Ткач С.М., Гаврилов В.Л.</b> Моделирование сложных по структуре и качеству запасов месторождений угля в изменчивой геоэкономической среде .....	66
<b>Харлампенков И.Е., Рудов М.С., Жукова И.А., Жуков Г.В.</b> Разработка элементов анализа данных для мониторинга оценки качества вод .....	68
<b>Хронусов В.В., Барский М.Г.</b> Ведение геологических баз данных и решение задач горного проектирования в практике калийных предприятий ВКМКС .....	69
<b>Хрящев В.В., Назаровский А.Е.</b> Применение алгоритмов глубокого машинного обучения в задачах гранулометрического анализа .....	70
<b>Цыгулёв К.С.</b> Автоматическое определение площади пылевого воздействия по спутниковым данным на примере Ургальского месторождения .....	71
<b>Швабауэр А.Я.</b> Управление ГОКом для соблюдения решений проекта .....	72
<b>Шибаета Д.Н., Асанович Д.А.</b> Повышение эффективности рентгенолюминесцентной сепарации апатитсодержащих руд за счет совершенствования оборудования для ее реализации .....	73

## **ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

Состояние техногенной опасности, свойственное горнопромышленным системам, проявляется в виде воздействий: техногенный инцидент, техногенная авария и техногенная катастрофа. Техногенный инцидент – нарушение горнотехнических элементов или отклонение технологического процесса от стандартного режима, обусловленные факторами технического характера. Техногенная авария представляет собой нештатное событие в виде негативной ситуации или создание условий для вероятностного наступления потенциальной опасности. Техногенная катастрофа характеризуется проявлением и развитием неблагоприятного и неуправляемого процесса, повлекшего за собой человеческие жертвы, нарушение режима функционирования горнотехнической системы и состояния окружающей среды. Представляет практический интерес классификация рисков на горнодобывающих предприятия с учетом применяемых геотехнологий (физико-техническая (открытая, подземная, комбинированная), перерабатывающая, физическая и физико-химическая), сфер проявления (нарушения геомеханические, геодинамические, технологические, антропогенные, экологические, экономические и др.), источников возникновения (случайные, закономерные, систематические (предсказуемые и непредсказуемые)) и степени ущерба.

Ситуация, характеризуемая неопределённостью исхода при обязательном наличии неблагоприятных последствий, обусловлена фактором (причиной), движущая сила которого (-ой) определяет разновидность процесса и его специфические черты.

Объективная оценка состояния и устойчивого развития техногенного объекта возможна при наличии информативной базы геоданных. Использование цифровой технологии при создании геологических, геомеханических, структурных и гидродинамических моделей обеспечит процесс адаптации и калибровки их по результатам дополнительной разведки и разработки месторождения, маркшейдерских и геофизических измерений, геологического и технологического опробования полезного ископаемого и перерабатываемых рудопотоков.

Неопределенность и изменчивость горно-геологических условий и свойств породного массива обуславливает необходимость перехода от детерминированного определения коэффициента запаса устойчивости к вероятностным методам. Необходимость использования количественных характеристик для вероятностной оценки зарождения и развития неблагоприятных техногенных событий диктуется непрерывно возрастающими требованиями к объективности принимаемых решений при недропользовании. Основопологающим фундаментом успешного выполнения этой задачи является использование геомеханической модели, включающей следующие модели: геологическую, структурную, породного массива и гидрогеологическую.

Практика разработки месторождений открытым способом подтверждает, что более прочных породах в качестве основного контролирующего фактора, влияющего на углы наклона уступа и результирующий угол борта карьера, выступает структурное строение горного массива, характеризующее трещиноватостью. В неустойчивых породах углы откосов, результирующие углы на участках между съездами и общий угол борта карьера зависят в основном от прочностных характеристик породного массива. При этом совместный анализ гидродинамической модели и модели породного массива позволяет по режиму движения подземных вод уточнить рабочие характеристики откосов и оценить критические участки борта карьера, на которых требуют особые наблюдения за поровым давлением. Например, при открытой разработке по известным коэффициентам фильтрации  $k_f$  в гидрогеологических комплексах  $k_f$  рекомендуется: общий водоотлив в карьере при  $k_f = 10^{-6}$ - $10^{-7}$  м/сек, локальный дренаж при  $k_f = 10^{-7}$ - $10^{-9}$  м/сек и разгрузка массива в зависимости от упругих свойств горного массива при  $k_f = 10^{-9}$  м/сек.

Для оценки прогнозируемых свойств исследуется корреляционная связность новых данных с имеющимися на предприятии пространственными параметрами и атрибутивными признаками, что позволяет пополнить, уточнить и повысить достоверность геоинформационного обеспечения. Правомерность данного подхода обусловлена тем, что достаточно широко используемые в настоящее время методы геостатистики указывают на «почти линейные» изменения атрибутивных характеристик горных пород и полезного ископаемого в ближайшем окружении, исключая случаи ураганных проб (например, самородков). Резкое изменение геостатистических параметров свидетельствует о наличии в горном массиве границ между пространственными блоками и возможности выделения различных литологических разновидностей пород и текстурно-структурных особенностей полезного ископаемого в виде отдельных однородных образований (домены). На выбор границ доменов, характеризующихся относительно

стабильными атрибутами, влияют литологические границы и форма карьера. Выделение их в отдельные геомеханические, структурные и геологические домены позволят более объективно оценить геомеханические атрибутивные показатели и пространственные параметры в ближайшей окрестности опробования в границах прогнозируемого горного отвода.

Для актуализации геоданных целесообразно применение современных способов трансформации координатно-привязанных значений атрибутивных признаков по дискретным точкам в межскважинном пространстве с использованием вероятностно-статистических методов. Характеристику домена по комплексу атрибутивных признаков целесообразно оценивать с использованием случайной многофакторной функции, учитывающей изменение каждого учитываемого компонента как «почти линейное» в ближайшей окрестности. Сейсмоакустические методы, являясь важнейшим инструментом мониторинга массива горных пород, позволяют неинвазивным способом (дистанционно) по скоростям продольных и поперечных сейсмических волн определять динамические физико-механические свойства горных пород, зоны повышенной трещиноватости, участки потенциального оползнеобразования и т. п. В последнее время методы родонометрии (эманация родона) применяются для выявления степени трещиноватости горного массива и обоснования пространственных параметров доменов (блоков).

Процедура оценки вероятности зарождения и развития негативного явления сводится к анализу многофакторной статистической зависимости. Решению подобных задач способствует использование теории вероятностей, позволяющей проводить различные способы обработки случайных статистических данных. При этом объективная ценность и надежность всех инженерных расчетов, выполненных с применением аппарата теории вероятностей, в первую очередь зависят от качества и количества экспериментальных данных. Вероятностные методы исследования во многих случаях позволяют, исключив слишком сложное и зачастую практически невозможное изучение отдельных явлений и процессов, обусловленных большим и зачастую неизвестным количеством факторов (аргументов), использовать законы, объясняющие случайные явления.

Вероятностно-статистический метод исследований является дополнением к обычным, классическим методам точных наук позволяет объективно анализировать событие с учетом присущих ему элементов случайности. Решение горнотехнических задач, связанных с анализом геотехногенных рисков индустриального характера, базируется на использовании статических случайных данных. Объективность их применения в первую очередь зависит не только от свойств отдельных величин, но их взаимосвязи. При ограниченном объеме статистических данных в качестве основных параметров для установления закона распределения функции используются числовые характеристики распределения учитываемых аргументов, основными из которых являются математическое ожидание и дисперсия.

*Амосов П.В.<sup>1</sup>, Бакланов А.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
e-mail: p.amosov@ksc.ru*

*<sup>2</sup> Всемирная метеорологическая организация, г. Женева, Швейцария*

## **ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ КАРЬЕРА И ФОНОВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА ВРЕМЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ КАРЬЕРА**

На базе метода численного моделирования исследован процесс естественного проветривания карьера в условиях инверсионного состояния атмосферы при массовом взрыве. Для выполнения численных экспериментов в двухмерной постановке использована ранее построенная в неспециализированном программном коде COMSOL компьютерная модель аэрогазодинамики атмосферы карьера. Выбрана геометрия карьера, который проветривается по рециркуляционной схеме: относительная длина карьера в направлении движения ветра менее  $5 \div 6$ , угол откоса подветренного борта карьера более  $15^\circ$ .

Компьютерная модель модернизирована: выполнен переход в терминологию потенциальной температуры и приведенного давления, уравнения сохранения вертикальной компоненты импульса и переноса тепла дополнены учетом двух механизмов (плавучести и фоновой стратификации, соответственно). В результате модернизированная математическая модель становится аналогичной, описанная в работах Марчука Г.И., Пененко В.В., Бакланова А.А. и др.

Фиксированные параметры: начальное местоположение пылегазового облака (по центру карьера вблизи подошвы); начальная загазованность облака (100 ПДК по условной СО); скорость ветра на высоте +10 м к верхнему борту карьера (1 м/с).



Параметры варьирования: параметр фоновой стратификации  $S$  ( $0,000 \div 0,025$  °C/м с шагом  $0,005$  °C/м); глубина карьера  $H$  ( $300 \div 700$  м с шагом  $100$  м).

Последовательность выполнения расчетов содержит три шага:

на 1-м шаге получаем стационарное поле скорости и распределение коэффициентов турбулентной вязкости в приближении несжимаемой жидкости с использованием  $(k - \epsilon)$ -модели турбулентности;

на 2-м шаге, отталкиваясь от результатов предыдущего шага, решаем нестационарную задачу аэротермодинамики с учетом сложившегося к концу первого шага поля скорости и коэффициентов турбулентного переноса тепла с выходом практически на стационарный режим аэротермодинамических параметров (продолжительность расчета 4 часа);

на 3-м шаге с учетом сложившегося к концу второго шага поля скорости и коэффициентов турбулентного переноса загрязнений выполняется нестационарный расчет распространения газовой компоненты до выхода загрязнения в области моделирования на уровень ПДК.

На каждом этапе используются необходимые для расчетов начальные и граничные условия.

Анализировались несколько выходных параметров: время естественного проветривания карьера, т.е. его очищение от примеси, пространственное распределение загрязнения по объему карьера, а также время и уровень загрязнения атмосферы на верхнем борту карьера вниз по потоку.

Результаты расчетов времени естественного проветривания карьера (в секундах) при вариации глубины карьера и параметра фоновой стратификации приведены в таблице.

Расчетное время естественного проветривания карьера при вариации глубины карьера и параметра фоновой стратификации, с

Глубина, м	Параметр стратификации, С/м					
	0,000	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025
300	6540	5480	6000	6480	7000	7460
400	4890	7600	10950	12690	13920	14820
500	4680	17430	21870	24180	25620	26640
600	4890	30690	35520	38100	39690	40800
700	5310	43290	48390	50880	52470	53550

Коэффициенты функции аппроксимации для пяти значений  $S$  (кроме  $S=0$ ) в форме степенной функции  $T=A \cdot H^B$  с высокими коэффициентами достоверности могут быть описаны экспоненциальной (0,9972) и линейной (0,9980) функциями, соответственно. Обобщенная функция времени естественного проветривания карьера в зависимости от глубины карьера (300 – 700 м) и параметра фоновой стратификации (0,005 – 0,025 С/м) имеет вид

$$T = 0,0011 \cdot e^{89,0066 \cdot S} \cdot H^{[-11,4120 \cdot S + 2,6583]}$$

Пример пространственного распределения загрязнения по объему карьера на момент окончания проветривания представлен на рис.1. Поверхность функции времени достижения максимального загрязнения на верхнем борту карьера вниз по потоку в зависимости от глубины карьера и фоновой стратификации изображена на рис. 2.

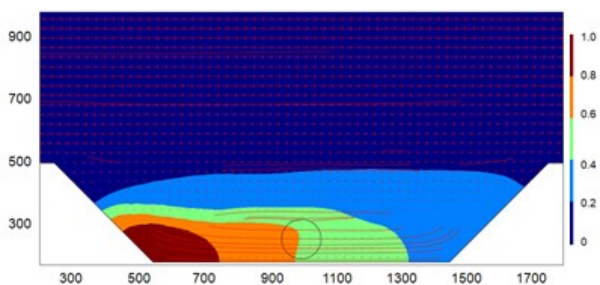


Рисунок 1 – Пример пространственного распределения загрязнения по объему карьера ( $S=0,005$  С/м;  $H=300$  м)

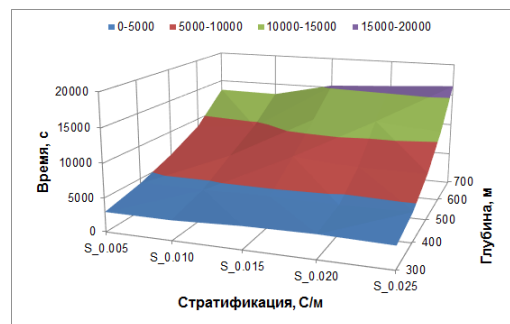


Рисунок 2 – Поверхность функции времени максимального загрязнения атмосферы на верхнем борту карьера

Представленные результаты можно рассматривать как обработку методического подхода по исследованию и анализу результатов численных экспериментов в задаче проветривания карьеров. В подходе используется принцип вариации, как обозначенных параметров, так и других не менее важных природных и технологических факторов (потоки радиации, влажность атмосферы, скорость ветрового потока, местоположение массового взрыва, начальная загазованность и др.).

**Билин А.Л.**

*Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

*e-mail: a.bilin@ksc.ru*

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИМИЗАТОРА ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ**

Несмотря на долгий период развития и практического использования теории проектирования карьеров, вопрос определения границ открытых горных работ остается открытым, при этом большое количество различных уточняющих подходов и приемов требует уточнения.

Границы карьеров по значимости и сложности определения являются одним из главных параметров открытых горных работ. Оптимальные границы определяют три рода факторов:

- физико-механические (прочностные) свойства пород, трещиноватость и расположение крупных разломов влияют на предельный угол наклона бортов карьеров;
- ценность полезного ископаемого и себестоимость разработки определяют эффективность обработки конкретных рудных или породных блоков;
- геометрия топоповерхности и особенности залегания полезного ископаемого влияют на пространственные особенности карьерных пространств.

Все три фактора используются в математическом методе, разработанном Лерчсом и Гроссманом в 1965 году. Они предложили использовать математическую теорию графов для пространственной оптимизации выемки рудных блоков и связанных с ними породных блоков регулярной блочной модели. Алгоритм Лерчса-Гроссмана (Л.-Г.) обеспечивает однозначно оптимальное решение для получения предельного контура карьера, что позволило ему занять лидирующее положение в этой области и стать индустриально признанным способом оптимизации несмотря на то, что он затрачивает на расчет довольно много времени.

Начиная с рубежа 20-го и 21-го веков многими проектными организациями используются промышленные «оптимизаторы границ», опирающиеся на алгоритм Л.-Г.

В Горном институте КНЦ РАН используется, с небольшими доработками и модернизациями, отечественный аналог данного алгоритма – алгоритм профессора Московского горного института (ныне – Горного института НИТУ «МИСИС») Коробова С.Д. Алгоритм Коробова, в отличие от алгоритма Л.-Г., рассчитывает не интегральную целевую функцию для карьера, а дифференциальную, определяя оптимальные контура при послойном увеличении глубины карьера. За счет этого, при том же самом конечном результате по границам карьера, достигается в 4-5 раз лучшее быстродействие.

Следует отметить, что данные алгоритмы могут быть проверены и традиционными методами. К конечному контуру, построенному ими, нельзя прибавить пространственные прирезки с коэффициентами вскрыши меньшими, чем граничная, и нельзя отрезать прирезки с коэффициентами вскрыши большими, чем граничная с учетом изменчивости качества руд, т.е. при переменном граничном коэффициенте вскрыши.

Однако применение компьютерных методов не отменяет задачу анализа полученных при проектировании проектных границ на предмет их уточнения и улучшения, так как проектировщики часто используют компьютерные технологии недостаточно квалифицированно. Связано это с наличием нескольких «проблем», часто не учитываемых при применении данных методов:

- дискретности моделей;
- исходных экономических данных;
- влияния лежащего бока залежи;
- вписывания технологических коммуникаций и уступов в «математический» контур.

Если не обращать внимания на данные проблемы, не знать о них и относиться к задаче преобразования «математических» контуров в «технологические» формально, то границы карьера

могут довольно сильно отклониться от математического оптимума и набрать в контур карьера «излишние» 10-20, а иногда и 30 % вскрыши.

Одной из особенностей проектирования карьеров является то обстоятельство, что два исходных ключевых параметра – граничный коэффициент вскрыши и бортовое содержание полезных компонентов, – оказывающих серьезное влияние на параметры разработки и технико-экономические показатели проектов, сами зависят от этих искомым в ходе проектирования показателей. Кроме «технических» показателей, формулы расчета замыкающих показателей содержат цены, внешние относительно добывающего предприятия, и себестоимости, зависящие от принятых в проекте параметров системы разработки.

Границы карьера определяются на первой стадии проектирования и к анализу их соответствия уточненным в ходе проектирования экономическим показателям чаще всего уже не возвращаются. А между тем на первой стадии большинство технико-экономических показателей, задействованных в обосновании граничного коэффициента вскрыши и бортового содержания не расчетны, а прогнозы или приняты на основе имеющихся аналогов, т.е. примерны.

Следствием игнорирования указанной обратной связи и отсутствия проверочных расчетов является то, что проект не застрахован от повторения тех же самых просчетов и на последующих стадиях проектирования, особенно в условиях фактического дублирования большинства решений, как и в случае с использованием данных проектов-аналогов.

Данная проблематика рассмотрена на примере анализа ключевых проектных решений при определении параметров разработки Удоканского месторождения меди (Технико-экономическое обоснование кондиций, 2015) и уточнении параметров нового пространственного этапа отработки Коашвинского месторождения апатит-нефелиновых руд (Технико-экономическое обоснование кондиций, 2020).

Выполненные анализы проектной документации позволяют выявить резервы горно-технической оптимизации и направления корректировки основных проектных решений, способных существенно повысить эффективность открытых горных работ за счет:

- уточнения проектных границ;
- использования карьерного пространства для внутреннего отвалообразования;
- применения подземных конвейерных транспортных комплексов для транспортирования руды и вскрыши с глубоких горизонтов карьеров.

***Воронин Р.П., Шibaева Д.Н., Асанович Д.А.***

*Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
филиал МАГУ в г. Апатиты, г. Апатиты, Россия*

## **АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКА ПРИЗНАКОВ ОПЕРАТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ХИБИНСКОГО АПАТИТА В МИНЕРАЛЬНОЙ СМЕСИ**

Анализ минералого-технологических свойств основных породообразующих минералов и продуктов их изменения, наиболее широко встречающихся в Хибинском массиве, свидетельствует о наличии предпосылок использования оптических свойств (цвет минерала, способность люминесцировать) для оперативной идентификации руд, пород, и слагающих их минералов. Понимание наименований минеральных включений, их взаимного расположения на поверхности исследуемого образца, соотношения занимаемых объемов позволит определить его принадлежность к рудным разновидностям апатитсодержащей руды (структурированным по вещественному составу и текстурным особенностям: апатитовая руда пятнистой текстуры; полосчатая, пятнисто-полосчатая апатит-нефелиновая порода; линзовидно-полосчатая апатит-нефелиновая порода; апатитовая брекчия; крупноблоковая порода; мелкоблоковая порода; уртит с апатитом; апатит-нефелиновые породы на контакте со среднезернистыми эгириновыми нефелиновыми сиенитами) или к породам (фойяиты, ричорриты, уртиты, ийолиты, мельтейгиты, якупирангиты, ювиты, малиньиты), используя для этого диаграмму минерального состава щелочных пород (по Н.А. Елисееву с дополнениями Е.А. Каменева и Ф.В. Минакова), и на этой основе прогнозировать содержание апатита.

Разрабатываемое аппаратно-программное решение, направленное на поиск признаков оперативной идентификации Хибинского апатита в минеральной смеси, базируется на применении технологии машинного зрения.

Основой аппаратной части являются источники первичного излучения, работающие как в области видимого спектрального диапазона, так и ультрафиолетового, устройства регистрации (монокроматор, видеокамера). Источники ультрафиолетового диапазона выбираются на основе изучения спектральных характеристик люминесценции основных породообразующих минералов и продуктов их изменения, наиболее широко встречающихся в Хибинском массиве (апатит, нефелин, содалит, натролит, канкринит, натисит, кальсилит, темноцветные минералы: титанит (сфен), эвдиалит, эгирин, лампрофиллит, астрофиллит, полевые шпаты: микроклин, ортоклаз, санидин, плагиоклазы).

Программная реализация разрабатываемого решения направлена на анализ изображений (в данной работе распределение минеральных включений рассмотрено на примере анализа поверхности половинок кернового материала геолого-разведочных скважин) – определение границ и формирование карты минеральных включений посредством метода глобальной бинаризации. Для повышения точности оконтуривания применена бинаризация с двойным ограничением - верхним и нижним пороговыми фильтрами. Размер минерального включения или области свечения определяется количеством пикселей, входящих в него. Адекватное измерение их площади посредством видеокамеры, минимизация погрешности изображения (дисторсии), заключающаяся в нарушении подобия изображения самому предмету вследствие изменения масштаба изображения по мере удаления от центра оптической матрицы, обеспечивается посредством экспериментально определенных поправочных коэффициентов, рассчитанных для выделенных областей «карты изображения». Результаты тестирования программы на симуляторе люминесценции свидетельствуют о высокой точности измерения площади свечения минералов на исследуемой поверхности кернового материала в любой области регистрируемого изображения. Отклонения размеров свечения светодиодов, расположенных в различных областях «карты изображения» с реперным значением: площадью свечения светодиода, расположенного на пересечении главных диагоналей изображения (в фокусе камеры), не превышают 0,5%.

Формирование базы данных оптических характеристик минералов, расположенных на поверхности исследуемых образцов (HSV- цветовых характеристик), полученных при их регистрации в видимом и ультрафиолетовом спектральных диапазонах, сравнительный анализ цвета минералов и цвета свечения (люминесценции) обеспечат выявление критериев оперативной идентификации Хибинского апатита в минеральной смеси.

**Гилярова А.А.**

*Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

*e-mail: a.gilyarova@ksc.ru*

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ В ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Горнорудное производство на современном этапе испытывает важные проблемы, обусловленные понижением глубины горных работ, снижением качества добываемой руды, усложнением горно-геологических условий. Одновременно современный этап характеризуется интенсивным применением цифровых технологий. Практика показывает, что применение цифровых технологий в горнорудной промышленности позволяет получить как прямые, так и косвенные экономические эффекты. Прямые эффекты включают в себя получение дополнительной прибыли, снижение издержек и повышение производительности труда. Косвенные могут носить научно-технический и социальный характер, а также обеспечивать повышение безопасности горных работ.

На сегодняшний день вопрос стоит в том, как количественно оценить эти экономические эффекты. Данное исследование посвящено вопросам методического обеспечения оценки экономических эффектов цифровых решений в горнорудной промышленности. Выполнен анализ методических подходов в России, Беларуси, Казахстане, ЕС и других зарубежных странах. В работах западных ученых применяются метод чистой приведенной стоимости (NPV) и метод внутренней нормы доходности (IRR), а также методы дисконтированных денежных потоков. В России в целом, в той или иной мере, применяются эти методы. В Беларуси, в частности, предлагаются дифференцированные методики для частной и государственной собственности.

Анализ опубликованных работ показывает, что на сегодняшний день нет единого методического подхода к оценке экономических эффектов цифровых решений в промышленности. Поэтому направлением

дальнейших исследований должно являться развитие методического обеспечения оценки экономических эффектов цифровых решений в горнорудной промышленности и практическая апробация методических подходов на примере горнодобывающих предприятий с высокой степенью цифровизации (применения цифровых технологий). Рассмотрен методический подход на примере одного из перспективных месторождений рудного минерального сырья Кольского региона, которое потенциально может быть вовлечено в экономический оборот в ближайшей перспективе.

**Глебов С.В., Константинов Д.В.**

ПАО «Уралкалий», г. Березники, Пермский край, Россия

e-mail: [Sergey.Glebov@uralkali.com](mailto:Sergey.Glebov@uralkali.com), [Dmitriy.Konstantinov@uralkali.com](mailto:Dmitriy.Konstantinov@uralkali.com)

## **БАЗА ДАННЫХ СКВАЖИН И ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПАО «УРАЛКАЛИЙ»**

С 2017 года в Компании находится в промышленной эксплуатации корпоративная база данных геологических скважин на базе MS SQL Server. В базе данных содержится геологическая, геомеханическая и гидрогеологическая информация начиная с открытия Верхнекамского месторождения и по настоящее время. С базой данных в реальном времени работают геологические службы ПАО «Уралкалий», заинтересованные смежные специалисты Компании, а также лаборатории проектного института АО «ВНИИ Галургии» и Горного института УрО РАН. Всего - около 200 пользователей.

Реализована интеграция базы данных скважин с лабораторной информационной системой ЛИМС (Oracle) и корпоративной геопространственной базой данных (PostgreSQL).

В составе базы данных скважин созданы динамические геоинформационные слои и табличные представления, характеризующие текущее состояние геологоразведочных работ. Динамические геоинформационные слои входят в состав проектов геоинформационных систем (QGIS, ArcGIS, MapInfo), использующихся широким кругом пользователей. К динамическим табличным представлениям подключены геологические модели LeapfrogGEO.

Для литолого-стратиграфического моделирования в Компании используется программа LeapfrogGEO, позволяющая проводить динамическое обновление моделей по изменяющимся при проведении геологоразведочных и горных работ исходным данным. В 2019 году созданы и, начиная с 2020 года, ежеквартально обновляются литолого-стратиграфические модели шахтных полей рудников Компании и участков проведения геологоразведочных работ. Исходными данными геологических моделей являются таблицы скважин и данные полученные при геологической документации горных выработок - 3D-линии стратиграфических контактов и 2D-линии литологических границ. В отдельных случаях в модель включаются 3D-линии отражающих горизонтов, полученные по профилям малоуглубинной сейсморазведки.

Результаты моделирования – изогипсы кровли, изопахиты водозащитной толщи, изобаты залегания промышленных пластов, значимые стратиграфические поверхности и точки блочных моделей, представляющие геометрические, литологические и качественные характеристики стратиграфических слоёв и пластов, регулярно обновляются в корпоративной геопространственной базе данных.

Результаты моделирования и сведения, содержащиеся в базе данных скважин, используются при составлении проектов, планов развития горных работ, оперативном контроле мощности водозащитной толщи в подземных горных выработках, что в итоге положительным образом влияет на безопасность эксплуатации калийных рудников, рациональную отработку Верхнекамского месторождения.

*Дмитриев С.В., Семенова И.Э., Шестов А.А.*  
*Горный институт КНЦ РАН г. Апатиты, Россия*  
*e-mail: s.dmitriev@ksc.ru*

## **РАЗВИТИЕ САЕ СИСТЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НДС SIGMA GT**

Sigma GT - это разработанное и используемое отделом геомеханики Горного института КНЦ РАН программное обеспечение. Данная САЕ система предназначена для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов в массиве скальных горных пород при разработке месторождений. Реализовано квазистатическое моделирование трансформации напряженно-деформированного состояния массива при последовательной отработке запасов для различных вариантов ведения горных работ на нескольких масштабных уровнях. Программа используется как для научных исследований, так и непосредственно на горных предприятиях (КФ АО «Апатит» ФОСАГРО, АО «СЗФК» АКРОН, АО «Кольская ГМК» НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ; ПАО «ППГХО» РОСАТОМ). Данный программный комплекс позволяет производить расчеты, как в масштабе рудного поля, так и на уровне отдельных месторождений, его блоков и элементов горной технологии.

Развитие Sigma GT ведется в нескольких направлениях:

- развитие концепции взаимосвязи моделей разного масштабного уровня;
- модификация расчетных модулей для оптимизации процессов формирования и хранения матрицы жесткости и решения систем линейных уравнений;
- развитие пользовательского интерфейса;
- разработка новых функций уточненного моделирования отдельных блоков исходной модели;
- учет разнонаправленных разломных структур, даек и т.п., а также контактных характеристик на границе разнородных сред при моделировании;
- создание модулей для анализа данных моделирования НДС путем выделения областей с критическими параметрами (потенциально удароопасные зоны, области формирования трещин отрыва и др.);
  - дополнение библиотеки типовых моделей горной технологии;
  - развитие функций трехмерной визуализации исходных и расчетных данных в рамках приложения Sigma GT.

Необходимость модификации модулей расчетных процессов связана с трендом уплотнение конечно-элементных сеток, что влечет за собой необходимость в увеличении вычислительных ресурсов персональных компьютеров горных инженеров. Современные настольные компьютеры, обладающие значительным объемом оперативной памяти, способны рассчитывать крупномасштабные модели, однако дальнейшее уточнение требует оптимизации расчетных модулей и переосмысления использования регулярных сеток.

Использование параллельных вычислений позволило сократить время решения одной итерации за счет многопоточности. Для этих целей была использована библиотека параллельного решения линейных и нелинейных систем уравнений PETSc. Данная модернизация расчетного модуля в значительной степени сократила расчётное время одного варианта. Выигрыш в скорости расчёта сказался на увеличении объема необходимой для него оперативной памяти, поскольку дополнительные издержки возникают для обеспечения многопоточных вычислений. При использовании метода конечных элементов актуальна также проблема хранения и использования разреженных матриц. Для оптимизации хранения подобных матриц, была реализована технология хранения разреженных матриц, состоящая из двух частей: основной матрицы, в которой содержатся числовые значения ненулевых элементов матриц, и дополнительной матрицы, где хранятся индексы отличных от нуля элементов матрицы жесткости.

Снизить объем используемой при расчётах оперативной памяти возможно с переходом на иерархически вложенные сетки. Данный подход позволяет внедрить многосеточный метод (Multigrid) — метод решения системы линейных алгебраических уравнений, основанный на использовании последовательно уменьшающихся сеток конечных элементов и соответствующих операторов перехода от одной сетки к другой. Основная идея многосеточного метода заключается в ускорении сходимости базового итерационного метода. Еще одним возможным путём решения данной актуальной проблемы является использование облачного расчёта для вариантов модели. В данном случае, вычисления производятся на вычислительном кластере, или мощном вычислительном узле (например, в Горном институте КНЦ РАН). Данный подход позволит сотрудникам лаборатории прогноза удароопасности рудных месторождений контролировать процесс моделирования и давать необходимые рекомендации специалистам горного предприятия.

Есина Е.Н.<sup>1</sup>, Филиппов Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУДН, e-mail: esina555@list.ru

<sup>2</sup>ИПКОН РАН, e-mail: filippov.yury@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОРАЗРУШЕНИЯ УГОЛЬНОГО МАССИВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОЙ СКВАЖИННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время при перспективном планировании комплексного освоения запасов месторождений полезных ископаемых существенно возрастает роль внедрения комбинированных геотехнологий, представляющих собой сочетание различных технологических процессов добычи в едином завершённом цикле.

Несмотря на все разнообразие существующих технологий освоения ресурсов недр, приоритетными направлениями освоения угольных месторождений являются скважинные геотехнологии, исключающие непосредственное присутствие людей в местах залегания полезного ископаемого. На завершающей стадии освоения угольных месторождения важное значение приобретает комбинирование различных физико-технических геотехнологий, предусматривающих перевод твердого полезного ископаемого в пределах продуктивной толщи массива горных пород в подвижное состояние.

Перспективным является применение комбинированной скважинной геотехнологии, предусматривающей сочетание скважинной гидродобычи и подземной газификации угля, основанной на модульном принципе вовлечения участков угольного пласта в отработку. Ключевым моментом реализации комбинированной геотехнологии и определения ее параметров является исследование процесса гидроразрушения угольного массива, развития зон разрушения и формирования полостей для обеспечения перемещения водоугольной суспензии и образования каналов для последующей газификации. В представленной работе приводятся результаты моделирования разрушения гидромонитором углепородного массива применительно к условиям Подмосковского угольного бассейна.

При моделировании использован метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ANSYS, в постановке исследования динамических переходных процессов. Разработана трехмерная конечно-элементная численная модель (размеры 2,25м × 2,25м × 0,5м), сетка которой разбита на 20 047 500 элементов, размер одной ячейки составляет 5 мм. Разрушающая струя гидромонитора задана в виде давления на поверхность модели 10÷50МПа, при этом перемещение задней стенки модели ограничено. Для нагружения модели использован собственный вес горных пород, слагающих инженерно-геологическую модель, а также сила тяжести вышележащей толщи горных пород, которая задавалась в виде распределённой нагрузки на верхние границы модели.

Оценка изменения напряженно-динамического состояния массива выполнена на основе анализа распространения волны напряжения в зависимости от времени приложения нагрузок в модуле Mechanical с помощью системы Explicit Dynamics. Использованный в динамическом анализе временной шаг ограничен для поддержания стабильности и согласованности, приращение времени пропорционально наименьшему размеру элемента в модели и обратно пропорционально скорости звука в задаваемых материалах модели.

Выполнен уточненный расчет напряженно-деформированного состояния массива горных пород в локальных зонах и расчет механики разрушения, результаты которого представлены на рисунках 1 и 2.

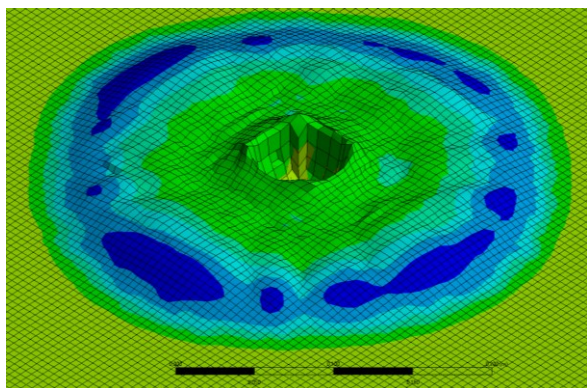


Рисунок 1 – Поле распределения скоростей смещения

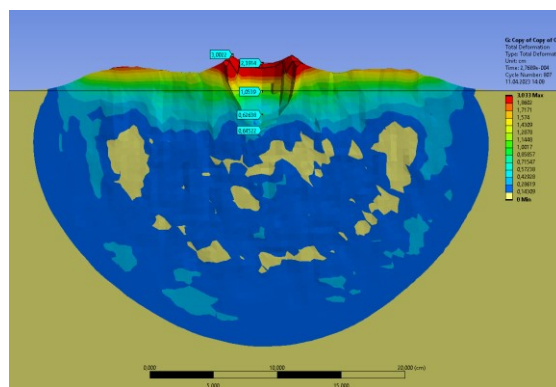


Рисунок 2 – Развитие зоны смещения в результате приложения динамического воздействия

Важным моментом при оценке параметров зоны разрушения является учет импульсности воздействия, ввиду изменения режима гидроразрушения в процессе заполнения камеры водоугольной суспензией. Данная методология компьютерного моделирования гидроразрушения углеродного массива предусматривает калибровку модели по результатам лабораторных и опытно-промышленных испытаний гидромониторного разрушения.

На данном этапе в процессе компьютерного моделирования получены качественные показатели разрушения углеродного массива, которые подтверждают принципиальную возможность гидромониторного разрушения при реализации комбинированной скважинной геотехнологии.

Отмечено, что распространение зоны разрушения вглубь массива носит нелинейный волновой характер. Установлены закономерности распространения зоны разрушения от применяемого режима и давления напорной струи.

Таким образом, полученные результаты развития зоны разрушения согласуются с экспериментальными данными и позволяют определить область эффективного применения гидроразрушения при скважинной геотехнологии освоения угольных месторождений. Это является основой для управления геотехнологическими и геомеханическими процессами при размыве высоконапорной струей воды и откачке гидросмеси по скважинам на поверхность.

***Ефремов Е.Ю., Рыбников П.А., Рыбникова Л.С.***

*ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

*e-mail: Efremov-eu@mail.ru; ribnikoff@yandex.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗОНЫ ОБРУШЕНИЯ НА СОКОЛОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Исследования направлены на изучение гидродинамических условий техногенных водоносных комплексов, образующихся в зоне обрушения подземных рудников при отработке железорудных месторождений системами с обрушением кровли.

В качестве полигона исследований используется Соколовское месторождение, расположенное в Кустанайской области Республики Казахстан. Добыча ведется комбинированным способом: большая, южная часть разрабатывается карьером Соколовский с 1957 г, северный участок ш. “Соколовская” – системой с обрушением кровли с 1975 г. Ведение работ с обрушением кровли под обводненной толщей осадочных пород создает условия для прорывов вод и обводненных пород на горизонты выпуска. На месторождении зафиксировано множество аварий, связанных с проникновением глинистых пород в горные выработки. Восстановление рудника после крупнейшей аварии, произошедшей в 2005 г. заняло шесть месяцев.

Цель исследований – гидрогеодинамическое обоснование дренажных мероприятий по осушению окружающего вмещающего массива ш. “Соколовская” для обеспечения безопасности работ от прорывов обводненных глинистых отложений. Изучение геофильтрационных условий осуществлялось с помощью моделирования в программной среде MODFLOW. Исходными материалами служили данные геологического опробования, результаты оценки запасов подземных вод, наблюдения за водопритоками и уровнем зеркала подземных вод.

Обоснован целевой уровень водопонижения в основном водоносном комплексе. Целевой уровень определен с учетом морфологии подошвы водовмещающих отложений. Оценена необходимая продолжительность осушения, а также конфигурация и производительность дренажной системы, которые обеспечивают снижение зеркала подземных вод до необходимых отметок.

Разработана методика обоснования дренажных мероприятий для снижения опасности прорывов из зоны обрушения. Отличительными особенностями методики являются учет и оценка влияния фильтрационных и емкостных параметров дезинтегрированного массива в результате решения обратных задач и учет особенностей морфологии подошвы водоносных комплексов для эффективного снижения напоров в дезинтегрированном массиве.



**Жикин А.А., Санфиоров И.А., Нежданов В.М., Ахматов А.Е.**  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия  
e-mail: alexzhikin@gmail.com

## **РАЗВИТИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИНТЕПРЕТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Ведение горных работ на месторождениях водорастворимых полезных ископаемых в условиях разнообразия сложных горно-геологических и горнотехнических обстановок необходим постоянный контроль за состоянием породного массива.

С этой целью реализуется комплекс геофизических методов, где ведущее место занимают сейсморазведочные исследования. По результатам интерпретации сейсморазведочных данных формируется актуальная цифровая модель массива горных пород, отражающая особенности его строения и свойств. На основе данной модели выполняется и оценка техногенного воздействия.

Обеспечение безопасности ведения горных работ на Верхнекамском месторождении калийных и магниевых солей (ВКМКС) предусматривает разноуровневые сейсморазведочные наблюдения на всех этапах освоения месторождения вплоть до контроля аварийных ситуаций. Существуют системы комплексного мониторинга, позволяющие контролировать динамику изменения упругих параметров горного массива в процессе реализации мер по минимизации последствий развития техногенных катастроф.

Цифровая обработка сейсмических сигналов выполняется на современных программно-аппаратных комплексах с использованием оригинальных модулей, разработанных коллективом сотрудников Горного института УрО РАН, что позволяет учитывать особенности распространения упругих волн в интервале малых глубин (до 500 м).

Технологии интерпретационных решений по результатам цифровой обработки опираются на стандартные подходы нефтегазовой отрасли и совершенствуются, исходя из специфичности решения горнотехнических задач.

Сформирован ряд специфических волновых «образов» и прогнозных значений параметров волновых полей и их комплексных оценок, характерных для разного рода неоднородностей водозащитной и продуктивной толщ. Совместно или раздельно проявляющиеся отклонения от фоновых параметров сейсмического сигнала позволяют отнести выделяемые осложнения к конкретному типу аномального строения массива.

Практика сейсмических наблюдений на ВКМКС в режиме опережающих и мониторинговых исследований определила необходимость включения в интерпретационный набор дополнительных оценок составляющих волнового поля. В рамках развития этапа качественной интерпретации данные оценки в основном направлены на анализ нерегулярной части волнового поля и включают: интенсивность рассеянных волн, спектральную декомпозицию, RGB-смешивание.

Кроме традиционного сейсмического профилирования, выполняются также площадные (квази-3Д – широкий профиль) и пространственные (3Д) наблюдения, что расширяет информационное обеспечение интерпретационного этапа за счёт возможности анализа пространственных распределений сейсмических атрибутов волнового поля.

Изучение как кинематических, так и динамических характеристик отраженных волн, регистрируемых в интервале малых глубин, определяет направления развития количественной интерпретации. Разработана методика пересчёта параметров волнового поля в структурно-формационные параметры породного массива. Так при контроле эффективности мероприятий по укреплению породного массива и интегральной оценке развития негативных процессов при развитии аварийной ситуации обоснован прямой пересчёт изменчивости значений интервальных скоростей в объёмы возможной трещиноватости породного массива на основе формулы средней скорости.

На основе AVO-анализа выполняется прогноз характера заполнения прогнозируемого объёма локализуемых трещиноватых зон на основе разработанных интерпретационных моделей для различных закономерностей изменения амплитуд отражённых волн в зависимости от удаления источник-приёмник.

Широкий круг возникающих прикладных задач в процессе разработки водорастворимых месторождений позволяет развивать и совершенствовать имеющиеся подходы в области технологий обработки и интерпретации данных малоглубинной сейсморазведки, находить новые, оригинальные пути решения и применять их на практике.

Жукова С.А.<sup>1,3</sup>, Моторин А.Ю.<sup>2,3</sup>, Баранов С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
e-mail: s.zhukova@ksc.ru

<sup>2</sup>КФ АО «Апатит», г. Кировск, Россия

<sup>3</sup>Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБВОДНЕННОСТИ СРЕДЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИБИНСКОГО МАССИВА

По данным многолетнего мониторинга сейсмичности и наблюдений за водопритоками, проводимыми на месторождениях Хибинского массива, выявлено статистически значимое возрастание значения продуктивности в период высокой обводненности с мая по октябрь по сравнению с периодом низкой обводненности среды с января по апрель и с ноября по декабрь. Продуктивность характеризует способность сейсмических событий инициировать повторные точки (или афтершоки). В результате сейсмического события (основной толчок или триггер) в некоторой окрестности его гипоцентра возникает перераспределение напряжений, в результате чего происходят повторные толчки.

Число повторных толчков называется продуктивностью. Исследования [5] показали, что продуктивность подчиняется экспоненциальному распределению с плотностью

$$f(x) = \frac{1}{\Lambda_{\Delta M}} e^{-x/\Lambda_{\Delta M}}, \quad (1)$$

где  $\Lambda_{\Delta M}$  – среднее число событий с магнитудой  $M \geq M_m - \Delta M$ , инициированных триггерами с магнитудой  $M_m$ . Распределение (1) – закон продуктивности – выполняется не зависимо от глубины и магнитуды основного толчка. В работе [Баранов и др., 2021] этот закон был подтвержден для природно-техногенной сейсмичности Хибинского массива.

Исходные данные – каталог сейсмических событий, зарегистрированных сетью сейсмического мониторинга КФ АО «Апатит» [Korchak et al., 2014] за период с 2002 по 2022 гг. Данные о водопритоках на месторождениях Хибинского массива были предоставлены гидрогеологической службой КФ АО «Апатит». Анализ данных показал, что период высокой обводненности наблюдается с мая по октябрь, остальные месяцы соответствуют периоду низкой обводненности. Причины изменения обводненности – резкое снеготаяние и обильные осадки.

Сейсмические события-триггеры и инициированные ими толчки выделялись методом ближайшего соседа [Zaliapin, Ben-Zion, 2016], который основан на использовании функции близости [Baiesi, Paczuski, 2004] в области пространства – времени – магнитуды (энергии), зависящей от параметров сейсмического режима (наклон графика повторяемости и фрактальная размерность гипоцентров). Подробное применение этого метода к сейсмичности Хибин и необходимые оценки параметров приведены в работе [Баранов и др., 2021].

Посчитано среднее число афтершоков с магнитудой  $M \geq M_m - 1.5$ , инициированных триггерами с магнитудой  $M_m \geq 1.5$ , в периоды высокой и низкой обводненности массива. Расчеты показали, что продуктивность в период низкой обводненности массива  $\Lambda_{1.5} = 2.25 \pm 0.19$  (стандартная ошибка), а в период высокой обводненности  $\Lambda_{1.5} = 2.94 \pm 0.22$ . Согласно критерию Стьюдента для проверки равенства средних, такие различия статистически значимы на уровне 5%.

Увеличение продуктивности сейсмических событий в период высокой обводненности среды на месторождениях Хибинского массива связано с предельно напряженным состоянием участков массива горных пород вследствие изменения их физико-механических свойств из-за роста порового флюидного давления в обводненных тектонически нарушенных зонах массива. По той же причине в период высокой обводненности геологических нарушений, заполненных рыхлыми, раздробленными породами, в Хибинах наблюдается активизация сейсмичности, которая проявляется в большей степени в весенний период [Козырев и др., 2021].

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ, проект № 22-27-20125.

### Список использованных источников

1. Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н. Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. № 3. 2020. С. 40-51. DOI: 10.31857/S0002333720030011

2. Козырев А.А., Жукова С.А., Батугин А.С. О влиянии обводненности массива на его сейсмическую активность при разработке апатитовых месторождений Хибин. // Горный журнал. 2021/ № 1. С. 31-6. DOI: 10.17580/gzh.2021.01.06
3. Корчак П.А., Жукова С.А., Меньшиков П.Ю. Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО «Апатит» // Горный журнал. 2014. № 10. С. 42-46.
4. Baiesi M., Paczuski M. Scale-free networks of earthquakes and aftershocks // Phys. Rev. E. 2004. V. 69 (6). P. 066106-1 – 066106-8. DOI: 10.1103/PhysRevE.69.066106.
5. Shebalin P.N., Narteau C., Baranov S.V. Earthquake Productivity Law // Geophysical Journal International. 2020. V. 222. P. 1264–1269. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa252>.
6. Zaliapin I., Ben-Zion, Y. A global classification and characterization of earthquake clusters // Geophys. J. Int. 2016. V. 207. P. 608–634.

**Зуенко А.А., Олейник Ю.А.**

*Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова,*

*ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

*e-mail: [zuenko@iimm.ru](mailto:zuenko@iimm.ru)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДВУХ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

Планирование открытых горных работ является актуальной производственной задачей, направленной на оптимизацию затрат и прибыли при добыче полезных ископаемых открытым способом, в рамках которой должны быть учтены такие параметры, как: производительность добывающего и обрабатывающего оборудования, технические требования по конфигурации разрабатываемого карьера (нормативы по углам наклона бортов, размеров площадок и т. д.) и сроки выполнения работ. Актуальность задачи обусловлена распространенностью такого вида добычи полезных ископаемых, а также масштабностью подобных работ, когда даже незначительная оптимизация процесса планирования может принести существенную выгоду.

Проведен краткий аналитический обзор методов решения задачи планирования открытых горных работ. Основное внимание в работе уделено двум группам методов, применяемых при решении данной задачи: методы смешано-целочисленного линейного программирования (*Mixed Integer Linear Programming*) и методы программирования в ограничениях (*Constraint Programming*). Выводы об эффективности исследуемых подходов были сделаны на основе серии вычислительных экспериментов, выполненных авторами с применением оригинальных способов формализации рассматриваемой задачи.

В методах *Mixed Integer Linear Programming* используется явное представление зависимостей в форме линейных уравнений и неравенств, что предъявляет повышенные требования к объемам оперативной памяти компьютера и не позволяет решать практически значимые задачи планирования открытых горных работ с требуемым уровнем дискретизации модели, то есть для моделей с несколькими сотнями тысяч блоков. Так, например, для простейшего шаблона выемки из 5 блоков для горизонта планирования равного 5-ти годам, ограничения на порядок добычи порождают в среднем 20 линейных уравнений на каждый блок, что при размерности задачи в 5000 блоков, дает уже 100000 уравнений только для описания части условий задачи. С увеличением размерности задачи, количества этапов ведения работ и сложности шаблона выемки блоков, только хранение порожденных линейных уравнений в памяти уже представляет существенную трудность, не говоря уже о реализации вычислений. Кроме того, не все ограничения, возникающие в практических задачах, могут быть тривиальным образом преобразованы в линейные уравнения и неравенства.

Авторами проводились расчеты для одной из популярных постановок задачи планирования открытых горных работ в виде совокупности линейных уравнений, на тестовой машине с объемом оперативной памяти в 32 Гб с использованием свободно распространяемого ПО. Машинных ресурсов не хватало уже для расчета задачи размерностью 2000 блоков. В литературе удалось найти пример решения задачи в близкой постановке методами целочисленного линейного программирования с помощью коммерческого решателя (IBM-Cplex), где на схожей по параметрам тестовой машине для размерности уже порядка 20000 блоков не было получено ни одного решения за 48 часов расчетов.

В ходе проведенных исследований сделан вывод о преимуществах методов программирования в ограничениях по сравнению с методами линейного программирования при решении задач, имеющих практический интерес и характеризующихся высокой размерностью пространства поиска. В отличие от подхода на основе *Mixed Integer Linear Programming*, где процесс решения задачи заключается в решении множества линейных уравнений, в подходе на основе парадигмы *Constraint Programming*, важную часть процесса решения представляет собой сокращение пространства поиска специализированными алгоритмами – распространителями. Данные алгоритмы жестко привязаны к конкретным ограничениям, и на основе анализа доменов (областей определения) участвующих в соответствующих ограничениях переменных, удаляют из этих доменов значения, которые точно не могут быть частью решения. Разные ограничения имеют разные по эффективности распространители, кроме того, одни и те же зависимости часто можно описать разным набором ограничений. Таким образом, от выбора конкретных ограничений для описания задачи существенным образом зависит эффективность ее решения. Методы удовлетворения ограничений подразумевают имплицитное представление зависимостей с помощью механизма глобальных ограничений, что позволяет существенно сократить расход оперативной памяти, необходимой для представления рассматриваемой задачи планирования. Как и в методах линейного программирования, ограничения на объемы добычи кодируются достаточно просто, например, их достаточно легко привести к типовому глобальному ограничению *bin-packing*. Основную же трудность представляет организация эффективной обработки ограничений на порядок извлечения блоков. Авторами был проведен ряд исследований по поиску эффективного с точки зрения дальнейшей обработки способа представления данного типа ограничений, результатом которых оказалась разработка собственного глобального ограничения *Block Sequencing*, которое реализует оригинальный метод логического вывода, обеспечивающий эффективную редукцию пространства поиска в рамках парадигмы программирования в ограничениях. Метод интегрирует процедуры логического вывода для ограничений на заданную производительность работ, а также ограничений на шаблоны извлечения блоков трехмерной блочной модели месторождения. Метод исключает недопустимые значения из областей определения переменных, анализируя шаблон последовательности выемки блоков и дополнительное требование на допустимое количество уровней извлекаемых блоков за один период разработки карьера. Применение глобального ограничения *Block Sequencing* позволяет повысить эффективность процедур поиска как первого допустимого, так и оптимальных решений.

На тестовой машине с 32 ГБ оперативной памяти удалось получить решение для задачи размерностью 82000 блоков, что заняло около получаса, а за 5 часов было построено решение для задачи в 525000 блоков.

*Работа выполнена в рамках текущей темы НИР «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации» (регистрационный номер 122022800547-3).*

**Каган М.М.**

Горный институт КНЦ РАН, г. Анапиты, Россия  
e-mail: m.kagan@ksc.ru

## **АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ РУДНИЧНЫХ СИСТЕМАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Алгоритм применяется в рудничных системах сейсмического мониторинга в стадии отбора информации, поступающей от системы сейсмодатчиков, регистрирующих сейсмические возмущения по месту установки. Алгоритм использует информацию о разности времен прихода сейсмоволн на различные сейсмодатчики, координаты сейсмодатчиков и используемую скоростную модель среды. На основе иерархического кластерного анализа выделяются группы сигналов, непротиворечивых с точки зрения допустимой разницы времен прихода между всеми сигналами в кластере. Таким образом удается отбраковать ложные сигналы и выделить группы сигналов, формирующих сейсмические события.

Алгоритм успешно опробован на действующей системе сейсмического мониторинга.

## **ПРОГНОЗ ТЕПЛОВОГО И ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ЛЕДОПОРОДНОГО ЗАЩИТНОГО ЦЕЛИКА И ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ РАЗРЕЗА "КАНГАЛАССКИЙ" НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FROST 3D**

Горные выработки угольного разреза обводняются за счет атмосферных осадков в летнее время и таяния снега весной. По химическому составу воды деятельного слоя гидрокарбонатные с минерализацией до 1 г/л. Для защиты участка добычных работ от притока с возвышенностей рельефа поверхностных вод строятся дамбы и водоотводные каналы. На одной из таких дамб проведены георадиолокационные исследования геокриологических особенностей и строения. Она сформирована из вскрышных пород, геологические основания – те же породы, но в естественном залегании. Для исследования геокриологических особенностей горных пород вскрыши и грунтов водозащитной дамбы на экспериментальном участке проведены измерения методом георадиолокации, определяющим, не разрушая целостность массива, геометрию его строения, а в некоторых случаях – свойства слагающих пород.



Рисунок - 1 Участок проведения геофизических исследований. Водозащитная дамба, июнь 2018 г.

Георадиолокация выполнена георадарами серии “ОКО-2” группы компаний “ЛогиС-Геотех” (г.Москва). Анализ геологического строения и ранее проведенные работы показали, что георадар в спектре частот 100–500 МГц (антенные блоки АБ-150, АБ-250, АБ-400) позволяет получить георадиолокационный разрез с разрешающей способностью 0.15–0.35 м и выделить границы в пределах деятельного слоя 2.5–3.0 м. На участке водозащитной дамбы георадиолокация дополнена бурением и электротомографией с аппаратурой “Омега-48” (“ЛогиС-Геотех”).

Проведено компьютерное моделирование теплового режима горных пород разреза "Кангаласский" на участке расположения водозащитной дамбы с целью оценки фильтрационной устойчивости ледопородного целика, образованного в основании дамбы вдоль борта карьера. Моделирование проведено в программном комплексе Frost 3D. Проведены расчёты при различных вариантах строительства водозащитной дамбы и при условии размещения водного объекта над вскрытым методами георадиолокации погребённого русла древнего ручья, который является коллектором надмерзлотных вод при проведении вскрышных работ в карьере.

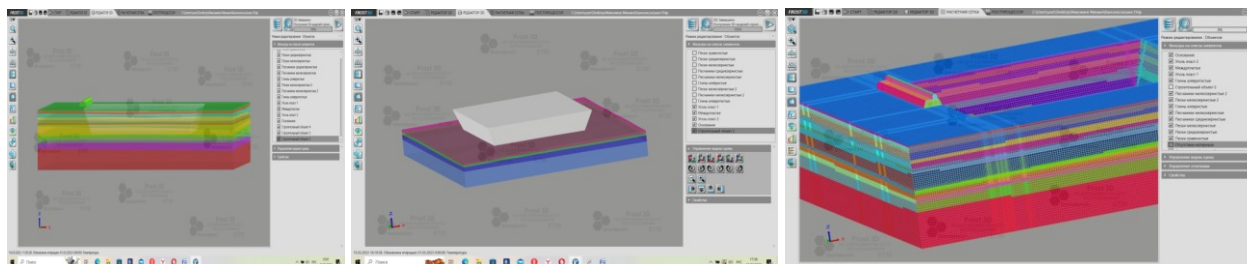


Рисунок - 2 Построение расчетной сетки трехмерной модели в программном комплексе Frost 3D.

**Калюжный А.С., Розанов И.Ю.**

*Горный институт КНЦ РАН, Анатиты, Россия*

*e-mail: a.kalyuzhny@ksc.ru, i.rozanov@ksc.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУППЫ УСТУПОВ НА ОСНОВЕ РАДАРНОГО МОНИТОРИНГА И ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЁТОВ**

Обеспечение устойчивости элементов открытой геотехнологии является одним из основных условий безопасной отработки месторождений открытым способом. Выбор устойчивых параметров борта карьера осуществляется на основе предварительных расчётов с использованием принятых методик и учётом всей полноты влияющих на результат факторов. В то же время в процессе формирования карьерной выемки необходимо вести постоянный контроль геомеханического состояния прибортового массива пород с целью своевременного выявления опасных деформаций и принятия соответствующих мер для их профилактики или минимизации их последствий.

В работе рассмотрен случай потери устойчивости группы уступов на одном из крупных рудных карьеров, расположенного на северо-западе РФ. Рассматриваемый участок борта карьера находился под контролем системы радарного мониторинга IBIS. Анализ кинематических параметров обрушения, а также визуальное обследование участка борта позволило определить тип события как оползень-обрушение, что характерно для верхних (приповерхностных) горизонтов карьера, сложенных моренными отложениями, корой выветривания и, в различной степени, дезинтегрированными горными породами.

Обычно причинами подобных разрушений являются несоответствие параметров конструкции уступов и физико-механических свойств горных пород. Для более точного определения причин обрушения была выполнена оценка устойчивости данного участка методом предельного равновесия в варианте Моргенштерна-Прайса. При составлении расчетной схемы учитывались физико-механические свойства горных пород слагающих прибортовой участок, положение и свойства разлома, нагрузка от расположенного в непосредственной близости от верхней бровки карьера промышленного здания.

Выявлено, что нарушение устойчивости произошло из-за несоответствия параметров заоткоски участка прочностным характеристика массива пород. При этом промышленное здание не оказало существенного влияния на состояние устойчивости исследуемого участка. Показано, что для более надёжного определения параметров борта карьера на конечном контуре для данного участка карьерной выемки необходимо провести дополнительные исследования прочностных свойств прибортового массива и продолжать комплексный мониторинг устойчивости приконтурного массива пород.

**Клишин В.И., Стародубов А.Н.**

*Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово, Россия*

*e-mail: a.n.starodubov@gmail.com*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ УГЛЯ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Вопросы безопасности и экологичности ведения подземных горных работ, а также тема рационального использования ресурсов, включающая минимизацию неотработанных участков угольных пластов, не перестают быть актуальными задачами при модернизации механизированных очистных комплексов. Усовершенствование технологий подземной добычи обусловлено особенностями геологических условий, а также продиктовано экономической составляющей – наиболее дорогостоящие и экспортируемые марки каменного угля находятся в глубокозалегающих пластах и добываются в основном подземным способом. На данный момент наиболее безопасной и эффективной является технология длинностолбовой отработки с использованием механизированных крепей.

В данной работе рассматривается новый подход к конструкции механизированной горной крепи, разрабатываемый в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН. Модернизация конструкции заключается в использовании специальных выпускных окон и регулируемых питателей в секциях крепи, которые позволят контролировать подкровельный выпуск угля. Это даст возможность управлять интенсивностью выпуска угля на лавный скребковый конвейер и избежать его перегрузки, обеспечивая максимальное допустимое заполнение.

Для исследования технологии создана модель в среде моделирования Rocky DEM, с помощью которой предоставляется возможность проводить различные эксперименты, изменяя конструктивные и режимные параметры работы крепей. Выбранное программное обеспечение позволяет моделировать различные физические процессы, такие как разрушение горного массива, перемещение отбитого угля по конвейеру за счет метода дискретных элементов (DEM), являющегося математической базой для расчета соударений частиц. Согласно данному методу, частицы в гранулированной среде взаимодействуют друг с другом благодаря силам контактного взаимодействия, находясь в определенном пространственном положении и обладая начальной скоростью и определенными физическими свойствами своих материалов. За счет многофакторности задания начальных параметров модели, удастся достичь цифрового подобия реального механизма взаимодействия кусков различных форм и размеров.

На рисунке 1 показан скриншот трехмерной модели крепи из семи секций, с помощью которой можно изменять конструктивные и режимные параметры комплекса, что позволяет достичь максимальной производительности при равномерном и полном заполнении конвейера.

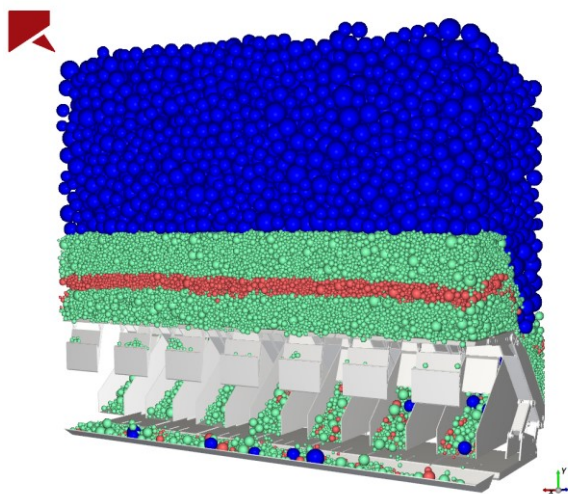


Рисунок 1 – Трехмерное представление численной модели механизированного комплекса с управляемым выпуском

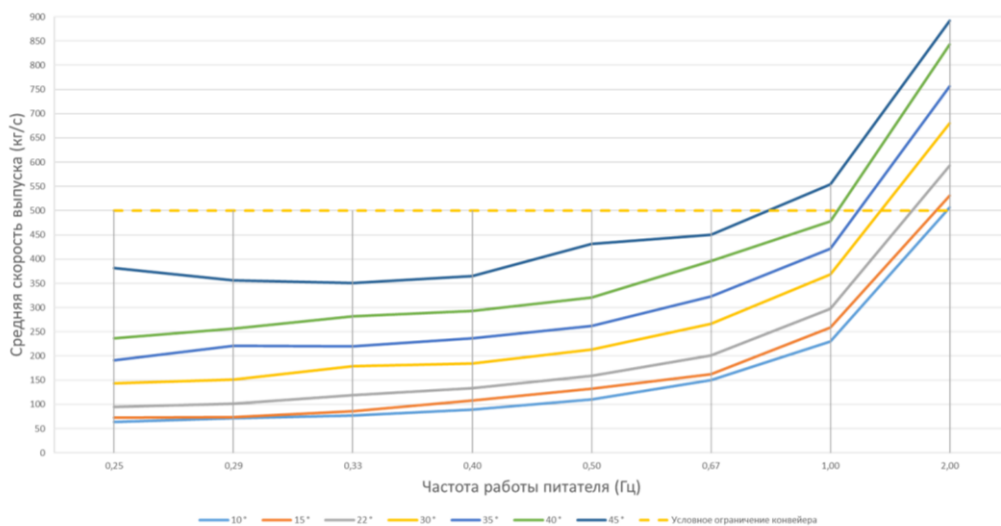


Рисунок 2 – График средних скоростей выпуска угля при разных сочетаниях угла заслона и скорости работы питателя

С использованием моделирования проведены эксперименты по исследованию влияния на скорость выпуска угля наклона заслона и скорости возвратно-поступательного движения питателя крепи. Интервал изменения скорости перемещения питателя варьировался от 0,25 до 2 Гц., угол положения заслона – от 10 до 45 градусов. В результате получен массив значений скорости выпуска угля одной крепью, представленный в графическом виде на рисунке 2.

Эти данные будут служить основой при проектировании гидравлической системы управления элементами крепи. Для обеспечения полноты выпуска и оптимальной загрузки скребкового конвейера разрабатываемая автоматизированная система будет автоматически выбирать для каждой секции требуемые значения угла наклона заслона и скорости питателя.

**Козырев А.А.<sup>1</sup>, Лукичев С.В.<sup>1</sup>, Потанов В.П.<sup>2</sup>, Попов С.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Горный институт КНЦ РАН, г. Анапты, Россия

e-mail: a.kozyrev@ksc.ru

<sup>2</sup>ФИЦ ИВТ, г. Кемерово, Россия

e-mail: vadimptpv@gmail.com

## **ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ ОТРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

В работе описан подход к оценке одной из текстурных характеристик обрабатываемого массива, использующий данные, полученные с БПЛА, которые затем обрабатываются с помощью конвейера программ, позволяющих на основе методов машинного зрения и некоторых разработанных на их основе эвристических алгоритмов осуществить трассировку трещин для последующей их обработки специализированным программным комплексом.

На первом этапе работы конвейера полученные снимки фильтруются с помощью специальных программных средств, позволяющих выбрать наиболее оптимальный вариант. Затем, отфильтрованные снимки подаются в эвристический программный комплекс, осуществляющий их трассировку (получение списка координат линий, или сегментов состоящих из примыкающих отрезков). В качестве дополнительной обработки визуализируется график, показывающий площадное распределение трещин. Полученные промежуточные файлы трассировки подаются на вход программного комплекса, позволяющего получать множественные характеристики поля трещин, характеризующих геомеханические параметры, такие как распределение трещин по блокам, роза- диаграммы углов, поля дилатансий и другой характеристики.

Разработанный программный комплекс отработан на аэрофотосъемке как угольных, так и железнорудных месторождений показал удовлетворительные результаты.

Дальнейшее развитие данного направления предполагает разработку объектно-ориентированных сетей и программ оценки устойчивости.

**Козырев С.А., Назарчук О.В.**

Горный институт КНЦ РАН, Анапты, Россия

e-mail: s.kozyrev@ksc.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ И ШТИЛЕЙ НА ОСНОВЕ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА РУДНИКА «ЖЕЛЕЗНЫЙ» АО «КОВДОРСКИЙ ГОК»**

Особенности климатических и горно-геологических условий Кольского полуострова способствуют ослаблению естественного воздухообмена в карьерном пространстве и соответственно усложняют создание нормальных санитарно-гигиенических условий труда. Создание отвалов вблизи карьеров, низкие температуры воздуха и длительное отсутствие солнечной радиации приводят к длительным периодам температурной инверсии и штилям, что значительно ослабляют воздушные потоки на дне карьера. В связи с углублением карьеров эти процессы проявляются еще в большей степени. Инверсионное распределение температуры воздуха в атмосфере карьера наблюдается 50%



времени года, а штилевые ситуации 20-30%. Штилевые ситуации составляют от 6 до 18 дней в месяц. Средняя продолжительность штилей составляет 8-12 часов. В отдельных месяцах штилевая погода может продолжаться до 5 суток. Поэтому знание особенностей загрязнения карьера при работе дизельной техники в таких условиях является актуальной задачей.

Моделирование процесса загрязнения атмосферы карьерного пространства от точечных стационарных источников загрязнений в условиях температурной инверсии и штиля для условий карьера рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» производилось в программном комплексе ANSYS FLUENT и разработана аэрогазодинамическая 3 D модель карьера, позволяющая проследить динамику образования зон концентрации вредных газов в пределах карьерного поля с превышением ПДК до времени полной загазованности карьера и время выноса вредных примесей после завершения штилевого состояния. Модель учитывает сложный рельеф территории, прилегающей к карьере.

Решение данной задачи рассматривалось в приближении "несжимаемого идеального газа", что позволяет более достоверно описать структуру воздушных потоков в глубоких карьерах в отличии от модели "несжимаемой жидкости".

Проанализированы результаты численного моделирования в виде пространственного распределения газовой компоненты CO. Установлено, что в условиях инверсии температуры и штиля распределение концентрации по высоте карьера носит зонный и послойный характер с максимальным значением, в три раза превышающим предельно допустимую концентрацию (ПДК) CO вблизи работающей техники. Полная загазованность карьерного пространства, до уровня ПДК для выбранного расположения и количества оборудования, происходит за 16 часов работы оборудования с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Произведена валидация модели путем сравнения полученных результатов с методикой В.С.Никитина - Н.З.Битколова и получены сопоставимые результаты, что позволяет обоснованно прогнозировать состояние атмосферы карьера и корректировать организацию горных работ в карьере с учетом газовой обстановки.

**Колесников А.А.<sup>1,2</sup>, Косарев Н.С.<sup>1,2</sup>, Платонов Т.А.<sup>1,2</sup>**

*1 Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

*2 Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Россия*

*e-mail: alexeykw@mail.ru*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ДАННЫХ ИЗ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ О СОСТОЯНИИ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУР**

**Введение.** Устойчивое функционирование социально-экономического комплекса страны нельзя рассматривать без учёта возрастающих требований к рациональному, технологически эффективному и экологически безопасному природо- и недропользованию [1]. Существенную экологическую опасность при ведении открытых горных работ могут представлять глубокие карьерные выемки и отвалы пустых и вскрышных пород, связанных с нарушением земной поверхности и приводящие к длительному негативному воздействию на окружающую среду (ОС) [2]. К сожалению, примеры успешного возврата в оборот таких, а также иных техногенно-нарушенных земель во всём мире служат исключением из правил. В основном же такие территории, нередко с большими задержками и неполной рекультивацией, лишь частично возвращаются для нового использования, а часть безвозвратно уходит из нормальной хозяйственной деятельности [3].

Мощным инструментом для оценки и разработки мероприятий, ориентированных на рациональное взаимодействие природных комплексов и техногенно-изменённых территорий, являются информационно-аналитические базы данных, геоинформационные системы и карты инженерно-геологического и эколого-экономического районирования. При этом использование ГИС-технологий, методов пространственного анализа, моделирования, кластеризации и трёхмерного картографирования с привлечением геопространственных данных, новых доступных технологий, включая методы искусственного интеллекта, позволит автоматизировать процессы создания карт зонирования территории района по уровню их геоэкологической стабильности и уязвимости, обеспечив решение теоретических и практических задач устойчивого развития территорий [4].

В настоящее время в Российской Федерации накоплен огромный объем геопространственных данных, которые могут послужить основой для создания карт зонирования территории района по уровню их геоэкологической стабильности и уязвимости. В открытом доступе имеются мультиспектральные снимки, модели рельефа, данные с различных датчиков состояния атмосферы всей территории России на разные даты, что позволяет проводить исследования всех интересующих объектов на базовом уровне с последующим переходом к получению и интерпретации высокоточных данных.

**Целью данного исследования** была разработка универсальной структуры базы данных (БД) и знаний для хранения и анализа состояния техногенно-нарушенных территорий, а также программного обеспечения и модулей геоинформационных систем для автоматизации ее наполнения из открытых источников. Основными особенностями разработанной структуры БД являются ее ориентация на хранение разнородных (векторные, растровые, облака точек, статистические показатели), мультимасштабных и динамических пространственных данных с возможностями проведения как пространственного, так и временного анализа.

В качестве основных исходных данных использовались снимки Landsat 8, 9, Sentinel 1, 2, MODIS, экологические и метеорологические показатели из открытых источников. Поскольку требовался сбор разновременных данных из этих источников на большое число участков, то необходимо автоматизировать этот процесс, причем таким образом, чтобы не быть привязанным к конкретной геоинформационной системе (по причине последующего анализа, который будет опираться на инструменты из разного программного обеспечения). Для итоговой реализации был выбран вариант микросервисной архитектуры на основе Docker-образов, которая обеспечивает возможность независимой и параллельной обработки данных из разных источников (в том числе и дальнейшего уточнения метрической и семантической информации по данным БПЛА, геодезической съемки и лазерного сканирования) и их размещение в едином хранилище.

Технически хранение данных реализуется на основе совместного использования S3-хранилища на основе MinIO (преимущественно для хранения исходных и прошедших коррекцию, предобработку и индексирование растровых данных, а также облаков точек) и СУБД PostgreSQL с расширениями PostGIS (хранение и анализ векторных данных) и TimescaleDB (обработка временных рядов), также для версионирования пространственных данных используется ПО Kart.

Предлагаемая архитектура хранения и обработки данных горизонтально масштабируемым вариантом, является пригодной для хранения разнородных пространственных и статистических данных с возможностью их пространственно-временного анализа.

**Выводы.** Разработанные в рамках исследования алгоритмы, методы и программное обеспечение сбора данных из открытых источников о состоянии техногенно-нарушенных территорий позволят значительно повысить степень автоматизации данного процесса, а использование решений на основе программного обеспечения с открытым исходным кодом обеспечит возможность интеграции отдельных компонентов в уже используемые системы.

*Работа выполнена в рамках проекта № 121051900145-1 «Развитие научных основ, разработка и реализация новых безопасных и ресурсосберегающих физико-технической и физико-химической геотехнологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых, склонных и опасных по газодинамическим явлениям и горным ударам».*

#### **Список использованных источников:**

1. Шапарь А.Г., Копач П.И., Шварцман В.М. Некоторые экологические аспекты воздействия объектов горного производства на прилегающие территории // ГИАБ.–№11. – 2000. – С.200–207.
2. Гаврилов В.Л., Немова Н.А., Резник А.В., Косарев Н.С., Смык М.И., Медведева К.Е. О нарушении земель при освоении МСБ восточной части Новосибирской области // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2022. – Том 9, №2. – С.69-77
3. Соколов Э. М., Качурин Н. М., Мелехова Н. И. Рекультивация отвалов отработанных шахт подмосковного бассейна. Изв. Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2010. – Вып. 1. – С. 102-105.
4. Басова И.А., Прохоров Д.О., Пьянков С.В., Трубина Л.К. Мониторинг земель, занятых техногенными минеральными образованиями. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2022. Т. 27. № 4. С. 138-149.

**Константинов А.В., Грунин А.П., Сидляр А.В., Ломов М.А.**  
Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия  
e-mail: alex-sdt@yandex.ru

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УДАРООПАСНОСТИ «PROGNOZ-ADS»**

Система сейсмоакустического мониторинга успешно зарекомендовала себя на ряде удароопасных объектов России. Она позволяет производить оперативную оценку геодинамического состояния породного массива используя широкий набор аппаратных, программных и аналитических средств. В свою очередь разработчиками системы осуществляется непрерывный процесс модернизации используемых инструментов и разработка новых более совершенных средств.

Основными направлениями развития программно-аналитических средств в предшествующий и настоящий периоды являются фильтрация техногенных шумов и разработка критериев оценки степени удароопасности породного массива, при этом стоит отметить, что для создания прогнозных критериев является необходимым условием эффективное выделение сигналов акустической эмиссии.

Значительная часть усилий сосредоточена на сокращении ручной обработки регистрируемых сигналов. Данная задача решается двумя подходами, путём внедрения различных алгоритмов фильтрации, работающих в автоматическом и полуавтоматическом режимах и при помощи улучшения возможностей взаимодействия оператора системы мониторинга с регистрируемыми данными.

Ведётся активная разработка программы фильтрации сейсмоакустических сигналов и событий, призванная сократить объёмы ручной обработки сигналов, что в свою очередь позволит получить достаточный объём исходных данных для разработки прогнозных критериев.

Программа позволяет производить фильтрацию в нескольких режимах:

- 1) Ручной при помощи ручного выделения сигналов в графической области;
- 2) Автоматический с применением алгоритмов DBSCAN и Linein с установленными для конкретного объекта мониторинга параметрами и позволяющий отфильтровать большую часть техногенных помех;
- 3) Полуавтоматический режим с возможностью тонкой настройки работы алгоритмов DBSCAN и Linein на отдельных временных периодах.

В перспективе разработанный инструмент позволит выделить дополнительные характерные признаки техногенных помех и сигналов акустической эмиссии, что в свою очередь послужит исходными данными для создания классификационных и прогнозных моделей машинного обучения на базе классических алгоритмов и искусственных нейронных сетей.

Разработанные программные инструменты предоставляют возможность более эффективно анализировать регистрируемые системой «Prognoz-ADS» данные, просматривая их не в табличном, а в графическом виде. Внедрённые алгоритмы кластеризации предоставляют возможность оперативной оценки геодинамического состояния, а их дальнейшее развитие приведёт, в представлении авторов, к полной автоматической обработке сейсмоакустических данных.

*Расчеты и анализ были выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.*

**Кривошеев И.А., Федотова Ю.В.**  
Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН  
e-mail: fjulia@mail.ru, igork@as.khb.ru

## **К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

При проведении различных натуральных испытаний, например, разрушение твердых тел под нагрузкой, исследователь получает результаты измерений и часто сталкивается с невозможностью повторения эксперимента. И нередко в этом случае имеет малую выборку экспериментальных

данных, которую не удастся обработать обычными статистическими методами, тем более доказать ее принадлежность тому или иному закону распределения.

Для ведения прогноза разрушения напряженно-деформированного состояния в массиве горных пород необходимо иметь в своем распоряжении прогностические характеристики, как можно более ранних стадий формирования разрушения контролируемого участка. В этом случае может быть использован способ, основанный на неравенстве, связанном с определением оценки эксцесса сравниваемых выборок. В тезисном варианте это выглядит следующим образом:

$$Q < F_{\alpha}[d, d(l-1)], \quad (1)$$

где

$$Q = \frac{l(\bar{z})^2}{\hat{D}}; \quad \hat{D}_z = \frac{\sum_{m=1}^l (z_i^m - \bar{z}_i)}{l-1}, \quad \bar{z}_i = \frac{\sum_{m=1}^l z_i^m}{l};$$

Находим разницу значений контролируемого параметра в этих группах, т.е.

$$y_{i1j}^k = x_{i1j}^k - x_{i(n+1)j}^k$$

.....

$$y_{imj}^k = x_{imj}^k - x_{i(m+n)j}^k$$

.....

$$y_{inj}^k = x_{i(n)j}^k - x_{i(2n)j}^k$$

Далее определяют оценку эксцесса на выбранной частоте  $k$ -ой серии

$$\hat{E}_{ij}^k = (l+2)T^*$$

Далее определяют разность

$$z_i^1 = \hat{E}_{ij}^1 - \hat{E}_{ip}^1;$$

.....

$$z_i^k = \hat{E}_{ij}^k - \hat{E}_{ip}^k;$$

.....

$$z_n^v = \hat{E}_{ij}^v - \hat{E}_{ip}^v$$

И полученные значения подставляют в неравенство (1).

Если неравенство (1) выполняется, то за истекший период, т.е. от момента окончания  $k$ -ой серии опыта  $j$  до первой серии опыта  $p$ , никаких существенных изменений физического состояния горного массива не произошло.

Если же указанное неравенство не выполняется, то за истекший период произошли физические изменения состояния МГП, которые могут быть зафиксированы неравенством (1) на уровне выбранного предела  $\alpha$ .

Положительный эффект заключается в использовании дифференцированного подхода к контролю изменения напряженно-деформированного состояния МГП, заключающийся в том, что отслеживаются изменения отдельных выбранных параметров спектральных составляющих в спектрах принятых сигналов при прозвучивании контролируемых участков горного массива, определяются оценки эксцессов выбранных параметров различных серий и по полученным оценкам производят сопоставление и определение значимости отличия.

**Кульминский А.А., Шевляков Е.В., Котенков А.В.**

Отдел горной науки АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

e-mail: kulminskiy\_AA@umbr.ru, shevlyakov\_ev@umbr.ru, kotenkov\_av@umbr.ru

## **АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТА ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ОСНОВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Планирование подземных горных работ является неотъемлемой и довольно трудоемкой частью проектирования. В настоящее время, в вопросах долгосрочного и краткосрочного планирования всё более активное участие принимают современные программные комплексы. С их помощью удается в относительно небольшие сроки построить календарный график строительства и отработки месторождения с нужной степенью детализации, визуализировать его в 3D пространстве в виде каркасов, а также получить необходимые справочные данные.

В 2022 году специалистами отдела горной науки института АО «Уралмеханобр» выполнен проект вскрытия и отработки месторождения в программном продукте Deswik. В ходе выполнения данной работы производились следующие операции:

- в программном модуле Deswik.CAD отстроены оси капитальных, подготовительных и нарезных подземных горных выработок;
- с помощью блочной модели, согласно ранее разработанной технологии отработки месторождения (камерная система разработки с твердеющей закладкой), спроектированы выемочные единицы необходимые для ведения горных работ;
- в пространство модели интегрировано порядка 30 различных сечений подземных горных выработок (в том числе камерных выработок, например, КПМ, склад ВМ и т.д.);
- в пространстве модели интегрирован полный комплекс технологических операций необходимых для проведения стволов (строительство сопряжений с горизонтами, армировка, переоснащение копров и т.д.);
- выполнен календарный план строительства и отработки месторождения с соблюдением требуемых сроков и условий по производительности;
- с помощью модуля Deswik.SHED составлены необходимые отчёты, в том числе: по объёмам проходческих работ; по добываемой эксплуатационной руде; по попутной добыче; по объёму требуемой закладочной смеси; по количеству забоев в одновременной работе в конкретный временной интервал.

В результате получена динамическая 3D модель строительства и отработки месторождения на весь период его эксплуатации. Динамичность модели заключается в возможности изменения значений основных технологических фактор и дальнейшего наблюдения за последствиями данных изменений на общей производственной картине.

Основными задачами, решаемыми в ходе планирования, являлись скорейшее начало очистных работ и последующий выход на проектную производительность, а также выявления оптимального значения этой производительности при условии обеспечения безопасности ведения горных работ. Динамичность модели позволяет рассматривать несколько сценариев решения данных задач в зависимости от задаваемых параметров. В вопросе скорости строительства такими параметрами являются количество проходческих забоев в одновременной работе, а также темпы проведения горно-капитальных выработок. Изменения данных параметров в пространстве модели позволяет оперативно оценить их влияние на срок строительства месторождения, а также на дату начала ведения очистных работ.

Что касается самих очистных работ, то в качестве основных технологических факторов, наиболее влияющих на отработку месторождения выбраны следующие показатели:

- допустимое количество камер в одновременной работе;
- темпы проходки нарезных горных выработок;
- производительность закладочного комплекса;
- срок набора требуемой прочности закладочной смеси.

Различная комбинации значений данных параметров даёт различные варианты отработки месторождения.

Таким образом, важнейшим условием планирования горных работ с помощью современных программных комплексов является динамичность создаваемых моделей. Именно возможность изменения различных технологических параметров и дальнейшие наблюдения за последствиями данных изменений на всем периоде эксплуатации месторождения, позволяют наиболее полно использовать возможности современного программного обеспечения в вопросах планирования горных работ.

**Лаптев В.В., Белгородцев О.В.**

*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

*e-mail: v.laptev@ksc.ru; o.belogrodcev@ksc.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПУСКА АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОЙ РУДЫ ПРИ ПОДЭТАЖНОМ ОБРУШЕНИИ**

Выпуск обрушенной руды при подземном способе отработки запасов в условиях зажима из очистного пространства является сложным физическим процессом. Параметры фигуры выпуска зависят в основном от физико-механических свойств выпускаемой рудной массы, геометрических параметров выпускного активного отверстия и параметров буровзрывных работ. Исследование и описание развития зоны рудного потока, величины эксплуатационных потерь и разубоживания отбитой руды для разных вариантов конструктивных параметров системы разработки с подэтажным обрушением представлено с помощью численного моделирования и визуализации процесса торцевого выпуска руды в программном пакете Rocky.

Процесс моделирования выпуска осуществляется в дискретной среде и может быть приостановлен в любой момент с сохранением остатков и качества невыпущенной руды.

Потери невыпущенной руды в пределах панели или секции сохраняются и используются при выпуске нижележащих и смежных панелей или секций блока.

Производится учёт боковых потерь в хребтах между буродоставочными выработками и фронтальных в гребнях на почве буродоставочных выработок, а так же в выработанном пространстве из-за смешивания с разубоживающими породами до некондиционного содержания полезного компонента при выпуске руды из блоков.

В процессе исследований формируются результирующие планы выпуска руды из панелей и секций блока, которые отражают в дозах выпуска массу выпускаемой рудной массы, её качество, массу разубоживающих пород. Все это позволяет устанавливать нормативы потерь и разубоживания руды для каждой выемочной единицы подземного рудника – панели, секции, блока или горизонта, с учётом основных конструктивных параметров системы разработки, а так же горно-геологических, горнотехнических и экономических условий подземной отработки запасов.

Результаты моделирования позволяют решать задачи планирования выпуска руды и формировать геолого-маркшейдерскую документацию рудника, в том числе стать основой для создания или корректировки инструкции по учёту состояния и движения запасов, определению, планированию и нормированию количественных и качественных потерь руды на подземных рудниках.

**Ломов М.А., Сидляр А.В., Константинов А.В., Грунин А.П.**

*Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

*e-mail: 9241515400@mail.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УДАРООПАСНОСТИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ЮЖНОЕ»**

Важным этапом создания в Дальнегорском рудном районе геодинамического полигона для комплексного геомеханического мониторинга удароопасности является установка АСКГД «Prognoz-ADS» на месторождении Южное, на котором первые горные удары с тяжелыми последствиями имели место на глубинах 150-170 м, и по этому показателю оно выделяется не только на Дальнем

Востоке, но и в мире. Всего на месторождении в 1986-2023 гг. зафиксировано 2182 проявления горного давления.

В период с декабря 2022 года по февраль 2023 года системой «Prognoz-ADS» было зарегистрировано 1080 сейсмоакустических событий, а также 12 толчков. Распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий и толчков, зарегистрированных системой «Prognoz-ADS», представлено на рисунках 1-2.

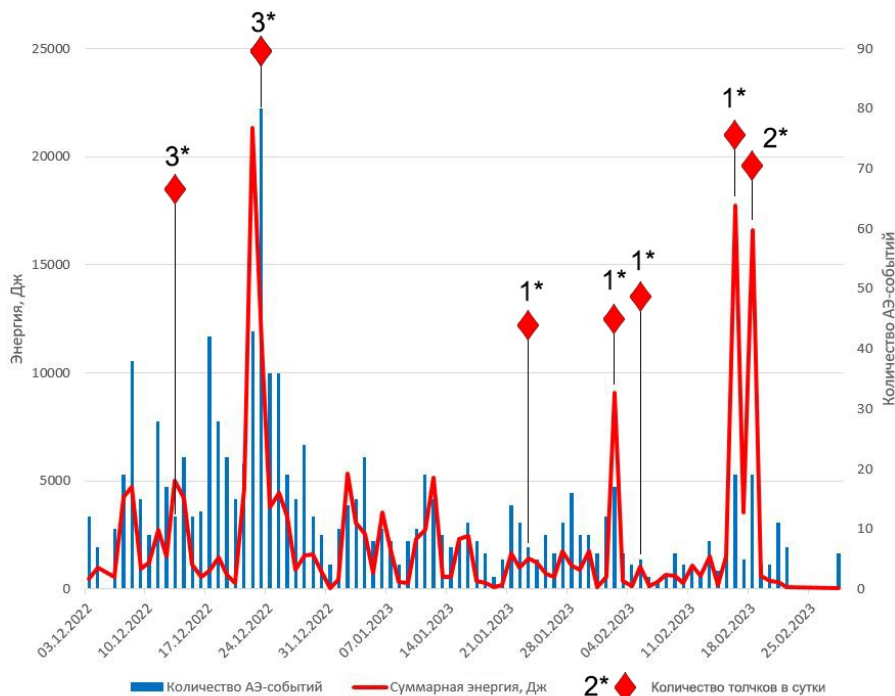


Рисунок 1 – График распределения количества, суммарной энергии АЭ-событий и толчков, зарегистрированных в декабре 2022 – феврале 2023 гг. на месторождении Южное

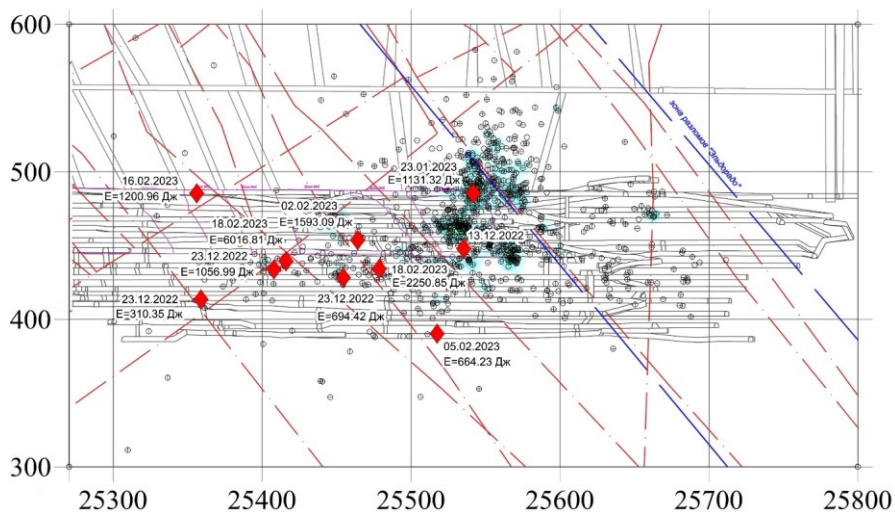


Рисунок 2 – Акустическая активность в массиве месторождения Южное в период декабрь 2022 – февраль 2023 гг. в проекции на плоскость XZ

В ходе анализа данных мониторинга было выявлено, что в среднем за сутки перед толчками возрастало количество АЭ-событий на 30-50% от значений за предшествующие дни. Наибольшая концентрация АЭ-событий расположена в районе блока № 1 в промежутке с г. 440 по г. 480, а также в

районе пересечения горных выработок с лежащим боком зоны разломов Эльдорадо и с другими геологическими разломами в районе блоков № 2 и № 3.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости значительного расширения сети геофонов системы «Prognoz-ADS» на месторождении Южное в восточном направлении для усиления геомеханического мониторинга, получения важной и более точной информации о напряженно-деформированном состоянии и закономерностях взаимодействия тектонических блоков в структурно-неоднородном массиве.

*Расчеты и анализ были выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.*

**Лукичев С.В.**

*Горный институт КНЦ РАН, Анапиты, Россия*

*e-mail: s.lukichev@ksc.ru*

## **ЦИФРОВЫЕ ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НЕЗАВИСИМОСТЬ**

Широкомасштабное использование цифровых технологий в горнодобывающей промышленности началось с появления на предприятиях, в проектных и научных организациях персональных компьютеров и развивалось от решения отдельных не связанных между собой геологических, маркшейдерских, технологических и геомеханических задач до формирования информационных систем, комплексно решающих большинство задач, встречающихся в практике работы горных предприятий. Достаточно часто это сопровождалось объединением программ и команд разработчиков в более крупные программные комплексы, что способствовало быстрому росту функционала таких систем и снижению издержек, связанных с внедрением программ на производстве. Таким образом, на рынке программных продуктов горной направленности сформировалась группа IT-компаний, сумевшая создать глобальную сеть продвижения своих решений и практически не оставившая шансов на возникновение и успешное развитие информационных систем более молодых конкурентов.

Всё выше сказанное в полной мере относится и к российскому рынку цифровых решений в области горного дела, где импортные программные продукты практически безраздельно доминировали. В немалой степени этому способствовали как проблемы 90-х годов, когда сильно сократилось число отечественных команд-разработчиков, так и укоренившееся убеждение многих специалистов в превосходстве импортных программных продуктов над отечественными. Редким исключением являлись те отечественные разработки, которым удавалось закрепиться в области узкоспециализированных решений, но и они вынуждены были встраиваться в системообразующие решения зарубежных IT-компаний. Сложившаяся ситуация отрицательно повлияла на развитие в стране научного направления, связанного с разработкой цифровых технологий и информационных систем горного профиля. По сути, значительная часть исследований была сконцентрирована не на разработке эффективных алгоритмов и цифровых инструментов, а на адаптации импортных программных решений к условиям конкретных предприятий.

С подобной ситуацией можно было мириться в условиях открытого глобального рынка, согласившись на второстепенные роли в области создания горного программного обеспечения. Но в условиях тотальных санкций, когда с российского рынка стали уходить программные продукты, на базе которых многие предприятия формировали системы инженерного обеспечения и управления горными работами, это стало причиной значительных финансовых потерь и торможения процесса перевода предприятий на цифровые технологии управления. Следует отметить, что повышение эффективности работы горнодобывающих предприятий в усложняющихся горно-геологических условиях в значительной степени зависит именно от уровня внедрения на производстве цифровых технологий. Таким образом, импортозамещение становится целью не только обеспечения технологической независимости отрасли и повышения её конкурентоспособности, но также и создания научных школ, формирующих идеологию развития российского горного программного обеспечения.



Решать задачу импортозамещения, проходя шаг за шагом путь известных мировых брендов, значит постоянно находится в позиции догоняющего. На сегодня такие импортные программные продукты как Datamine, Micromine, Geovia, Marteck, обладая развитым функционалом и большими командами программистов, продолжают активно развиваться. Выдержать конкуренцию с ними возможно лишь, объединив усилия отечественных разработчиков. Сделать это можно путём создания отечественной цифровой платформы, предоставляющей сторонним разработчикам через библиотеку API-функций возможность интеграции своих инструментов в единую цифровую среду, реализующую базовый набор системных и рабочих инструментов. Такой подход решает для сторонних разработчиков сразу две задачи: первая – исключает необходимость тратить время и ресурсы на разработку и поддержание системного функционала; вторая – упрощает интеграцию цифровых инструментов в информационную систему, так как это происходит уже на этапе разработки.

Понимая важность решения задачи создания конкурентоспособных отечественных программных продуктов горной направленности, разработчики ГГИС MINEFRAME приступили к созданию на её базе цифровой платформы, которая кроме решения задачи интеграции инструментов в едином моделирующем цифровом пространстве будет также обеспечивать возможность функционирования инструментов под управлением различных операционных систем.

Важной целью цифровой трансформации горного производства является создание цифрового двойника горнодобывающего предприятия, где в едином цифровом пространстве присутствуют модели геологической среды, инфраструктуры, объектов горной и обогащательной технологий, а также технологических процессов, построенных на основе цифровых двойников оборудования. Не так давно в Горном институте стартовали работы по созданию цифровых двойников обогащательных аппаратов, в основе которых использование нейронных сетей и SCADA-систем.

Успех в решении задачи импортозамещения и обеспечения технологической независимости горнодобывающей отрасли в области цифровых технологий будет зависеть не только от понимания того, что и как надо делать, но во многом от уровня финансирования этих работ и содействия со стороны горнодобывающих предприятий.

**Мелихов М.В.**

*Горный институт КНИЦ РАН, Апатиты, Россия*

*e-mail: m.melikhov@ksc.ru*

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СКЛАДИРОВАНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Космические и цифровые технологии находят применение в решении задач геоинформационного сопровождения горных работ. Мировой опыт подтверждает необходимость и эффективность мультимасштабных оптико-электронных и радарных космосъемок районов размещения и хранения отходов горного производства.

Современные группировки космических аппаратов обеспечивают непрерывный дистанционный сбор определенной информации о состоянии горно-технических и природно-охраняемых объектов и территорий в режиме реального времени. Основной принцип дистанционного зондирования (ДЗЗ) заключается в фиксировании специальными сенсорами сигнала отраженной солнечной и излученной от земной поверхности тепловой энергии с последующей ретрансляцией новых данных на приемные станции. Удаленный доступ к геоданным предоставляется на разных уровнях хранения информации: локальном, районном, региональном, национальном и международном. Цифровые платформы представляют собой автоматизированные программно-вычислительные ГИС и универсальные интегрированные веб-сервисы дешифрования и геопространственного анализа данных с возможностью оперативной трансформации стандартизированной продукции в едином виртуальном пространстве через стационарные или мобильные технические устройства. Программное обеспечение производится на базе передовых IT-технологий: BIG DATA, CLOUD и AI. Готовые цифровые информационные продукты предоставляются в виде визуализированных, тематических и пространственно-аналитических данных: картографии и топографии, моделей, интерферометрии, оптических или индексных геофизических изображений, качественно-количественных и графических показателей. Высокая

надежность и достоверность информации с космических аппаратов достигается за счет синхронизации средств измерений и инструментальных съемок, специализированных программных алгоритмов и методов коррекции данных, а также поверочных тестов отдельных характеристик (пространственно-частотных, спектрорадиометрических, координатно-измерительных и др.). Организацию промышленного и экологического космомониторинга в условиях одного или группы горных предприятий следует планировать в составе комплексной системы наблюдений.

На примере Баренцева Евро-Арктического региона России показаны методические основы и подходы к использованию в горной промышленности космических и цифровых технологий посредством автоматизированного индексного и площадного пространственно-временного анализа динамических изменений окружающей среды при создании картографических информационных продуктов и БД, а также надзоре и контроле строительства наземной инфраструктуры в целях выявления незаконной добычи и складирования руды в процессе эксплуатации и консервации техногенных месторождений.

**Месяц С.П., Петров А.А.**

*Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

*e-mail: s.mesyats@ksc.ru*

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, НАРУШЕННЫХ В ХОДЕ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ, ПРИ ЭКОИНВЕСТИЦИОННОМ ПОДХОДЕ К ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЮ**

Экологические проблемы освоения месторождений минерального сырья в значительной степени связаны с необходимостью складирования отходов добычи и переработки, занимающих большие площади и являющихся источником загрязнения природной среды. Актуальность проблемы сохранения устойчивого состояния биосферы перманентно возрастает при снижении ее продуктивности на фоне роста производства и потребления георесурсов, что выводит на первое место необходимость восстановления природных экосистем в свете современного знания их роли в обеспечении устойчивого развития цивилизации.

В Горном институте КНЦ РАН обоснована методология и разработана технология восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в соответствии с принципом их самоорганизации, созданием биологически активной среды. Образование биологически активной среды в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя - суть экоинвестиционного подхода, заключающегося в увеличении энергетического потенциала системообразующей функции биоты для увеличения скорости восстановления природных экосистем.

Целью работы является информационное обеспечение мониторинга природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению.

Тестовым объектом определены складированные отходы рудообогащения Хибинской группы месторождений апатитсодержащих руд, характеризующиеся наибольшим проявлением факторов, лимитирующих самозарастание (мелкодисперсность и бесструктурность субстрата, полное отсутствие органического вещества, низкая влагоемкость, сильные проявления ветровой и водной эрозии), где более 40 лет проводится исследование динамики восстановления природных систем, при реализации, разработанной в Горном институте, технологии.

Информационное обеспечение мониторинга восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, содержит все данные об этапах биологической организации горной породы: о состоянии нарушенных земель и ресурсного потенциала их самовосстановления, наземного изучения динамики накопления органического вещества, генетических параметрах и функциональных показателей образующихся почв, геоботанических описаниях формирующегося фитоценоза на лесной стадии сукцессии сеяного без нанесения плодородного слоя злакового фитоценоза, морфофизиологических характеристиках растений-доминантов окружающей природной среды в формирующемся фитоценозе. Спутниковые данные характеризуют вещественный состав горной породы, вегетационный индекс и индекс стресса влажности формирующегося фитоценоза.

Данные комплексного мониторинга дают возможность прогнозировать динамику восстановления природных экосистем в соответствии с принципом их самоорганизации созданием биологически активной среды.

Комплексный мониторинг состояния природных экосистем рассматривается как средство информационного обеспечения управленческих решений по их восстановлению.

В ходе решения задач комплексного мониторинга восстановления природных экосистем возникают ситуации, при которых нарушена целостность, структурированность данных. Это происходит как в результате того, что существующие средства измерений не обеспечивают получение данных в динамике исследуемых процессов, так и при отсутствии необходимых датчиков первичной информации. В таких ситуациях информационные технологии позволяют на основе компьютерной обработки данных получить корректную информацию для принятия управленческих решений.

Информационное обеспечение комплексного мониторинга природных экосистем основано на web-технологиях, реализующих технические, коммуникационные, программные методы решения задач удаленного многопользовательского доступа к данным и результатам их обработки через сеть Интернет. Это позволяет, придерживаясь концепции клиент-серверной архитектуры, в формате web-приложения реализовать универсальный интерфейс между данными мониторинга и их потребителями.

При разработке web-приложения выбран технологический стек MERN, включающий четыре компонента: MongoDB, Express, ReactJS и NodeJS и представляющий собой полнофункциональное решение на основе языка программирования JavaScript. Эти компоненты обеспечивают комплексную среду для создания web-приложения в рамках информационного обеспечения мониторинга природных экосистем при экоинвестиционном подходе к их восстановлению.

**Моторин А.Ю.<sup>1,2</sup>, Баранов С.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кировский филиал АО «Апатит», г. Кировск, Россия

<sup>2</sup>Кольский филиал, ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия

e-mail: ayumotorin@gmail.com, bars.vl@gmail.com

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ПОВТОРНЫХ ТОЛЧКОВ «AFTERSHOCK»**

Накопленные данные многолетнего сейсмического мониторинга, проводимого с середины 1990-х годов Кировским филиалом (КФ) АО «Апатит» на месторождениях Хибинского массива [Корчак и др., 2014], позволяют выявить закономерности в поведении постсейсмической активности в области пространства – времени – магнитуды или энергии (см., например, [Баранов и др., 2020; Baranov et al., 2021; Motorin, Baranov, 2022]). Исследования особенностей постсейсмической активности на месторождениях Хибинского массива показали, что число повторных толчков (продуктивность) подчиняется экспоненциальному распределению – закон продуктивности землетрясений [Баранов и др., 2022], а расстояния от землетрясений-триггеров до инициированных ими толчков в среднем подчиняется степенному распределению [Baranov et al., 2021]. При этом параметры этих распределения не зависят от магнитуды события триггера.

Комбинация закона продуктивности и степенного распределения позволила разработать вероятностные модели для оценки пространственной области, где ожидаются повторные толчки, инициированные сейсмическими событиями-триггерами с магнитудой  $M \geq 1.5$  ( $E \geq 5 \times 10^6$  Дж). Разработанные модели были реализованы в информационной системе «Aftershock», которая на данном этапе позволяет автоматически оценить пространственную область будущих афтершоков. В настоящее время в систему «Aftershock» интегрируются модули оценки длительности опасного периода и магнитуды сильнейшего афтершока.

Система «Aftershock», используя информацию из базы данных автоматизированной системы контроля сейсмичности массива КФ АО «Апатит», выделяет афтершоки для выбранного пользователем сейсмического события, методом «ближайшего соседа» [Zaliapin et al., 2016]. Оценка пространственной области выполняется по данным об основном толчке, а в случае, если данных достаточно, то оценка уточняется по информации о первых афтершоках. Оценки по основному толчку представляют собой цилиндр с центром в гипоцентре основного толчка; радиус и высота

цилиндра определяются с учетом степени важности прогноза. Оценка пространственной области по первым афтершокам представляет из себя «стадион» (геометрическое место точек, расположенных на расстоянии не больше заданного от отрезка прямой), размер которого определяется с учетом степени важности прогноза. Для управления сейсмическими рисками в системе «Aftershock» реализованы три различные стратегии прогноза пространственной области будущих афтершоков, позволяющие либо минимизировать затраты на поддержание тревоги, либо не допустить пропусков повторных толчков, либо выбрать нейтральную стратегию прогноза.

Разработанные алгоритмы и их программная реализация имеют прямое практическое применение в службе прогноза и предупреждения горных ударов КФ АО «Апатит» в области обеспечения безопасности при ведении горных работ в условиях высоких тектонических напряжений и, как следствие, природно-техногенной сейсмичности, представляющей опасность для горных выработок (см., например, [Козырев и др., 2016]).

#### **Список использованных источников:**

1. Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н. Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. № 3. 2020. С. 40-51. DOI: 10.31857/S0002333720030011
2. Баранов С. В., Моторин А. Ю., Шебалин П. Н. О Пространственном распределении постсейсмической активности в Хибинском массиве 2021. С. 12.
3. Козырев А. А. [и др.]. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения) / А. А. Козырев, И. Э. Семенова, В. В. Рыбин, В. И. Панин, Ю. В. Федотова, [и др.], Апатиты: ООО «Апатит-Медиа», 2016. 112 с.
4. Корчак П. А., Жукова С. А., Меньшиков П. Ю. Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО" Апатит" // Горный журнал. 2014. № 10. С. 42–46.
5. Baranov S. V., Motorin A. Yu., Shebalin P. N. Spatial Distribution of Triggered Earthquakes in the Conditions of Mining-Induced Seismicity // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2021. № 4 (57). С. 520–528.
6. Motorin A., Baranov S. Distribution of Strongest Aftershock Magnitudes in Mining-Induced Seismicity // Front. Earth Sci., <https://doi.org/10.3389/feart.2022.902812>
7. Zaliapin I., Ben-Zion, Y. A global classification and characterization of earthquake clusters // Geophys. J. Int. 2016. V. 207. P. 608–634.

**Наговицын Г.О.**

*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия,  
e-mail: g.nagovitzyn@ksc.ru*

#### **КРАТКОСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ MINEFRAME**

Одной из проблем организации производства является составление краткосрочных и долгосрочных планов добычи полезных ископаемых по количеству, качеству, сортам и др.

Краткосрочное планирование открытых горных работ осуществляется в большинстве случаев на стадии эксплуатации запасов месторождения и обеспечивает посредством соответствующего выбора порядка развития горных работ и резерва добычного оборудования стабильность всех производственных процессов в пределах рассматриваемого периода.

Повысить эффективность и качество планирования открытых горных работ в современных условиях позволяют цифровые технологии, позволяющие моделировать объекты открытой геотехнологии, обрабатывать огромные массивы данных и в сравнительно короткий промежуток времени получать расчет различных вариантов производства горных работ.

Представлено описание работы разработанных в горно-геологической информационной системе MINEFRAME алгоритмов и программных средств модуля автоматизированного краткосрочного планирования открытых горных работ.

Модуль позволяет производить сравнительный анализ выбора структуры комплексной механизации, а также оптимизировать работу карьерного транспорта за счет имитационного моделирования технологических процессов открытых горных работ. На основе модуля краткосрочного планирования возможно прогнозирование плановых объемных и качественных показателей разработки запасов месторождения.

**Наговицын О.В.**

*Горный институт КНЦ РАН, Анатиты, Россия*

*e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru*

## **РАЗВИТИЕ ГГИС В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ РОССИЙСКОЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ**

Цифровые технологии стали серьезным драйвером повышения производительности, уменьшения себестоимости и устойчивого развития в крупномасштабной добыче полезных ископаемых. Возможности, которые эти технологии открывают для отрасли приводят к минимизации влияния природных факторов, таких как неопределенность в определении элементов залегания ПИ приводящая к ошибкам в оценке запасов и выбора параметров технологии горных работ; повышению стабильности функционирования технологических процессов; вовлечению в разработку ПИ с худшим качеством; интеграции логистических операций и цепочек добыча-переработка-производство; повышению безопасности ведения горных работ; привлечению талантливой молодежи, формированию представлений о горнодобывающем производстве как высокотехнологичном, привлекательном месте работы; решению экологических проблем, стоящих перед горным производством. С течением времени стало понятно, что процесс цифровой трансформации, происходящий в условиях постоянных изменений геополитических условий и глобальной экономической неопределенности, сложен, как с технологической, так и с культурной точек зрения.

В ландшафте цифровых решений, применяемых на горных предприятиях, выделяется особый класс ПО – это горно-геологические информационные системы (ГГИС). Они предназначены для решения задач геологоразведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых; по структуре — это набор программных модулей и баз данных, обеспечивающих трехмерное моделирование объектов горной технологии, решение геологических задач и оценку запасов, маркшейдерское обеспечение, проектирование и планирование горных работ; обрабатываемые ими данные — точки, линии, полигоны, триангуляционные сети, объемные тела, блочные модели, регулярные и нерегулярные сети. ГГИС реализует геоинформационный подход, основанный на обработке данных, которые имеют координатную привязку - трехмерные цифровые модели, являющиеся носителями информации о размерах, пространственном положении, физико-механических, технологических и технико-экономических свойствах объектов горной технологии.

В настоящее время на российском рынке в этой нише преобладают зарубежные решения, что снижает технологический суверенитет страны и препятствует активному участию российских специалистов в развитии этого стратегически важного класса программного обеспечения. Поэтому развитие функциональных возможностей такого ПО, как российская ГГИС MINEFRAME является насущным решением задачи импортозамещения.

Анализ текущего состояния функционала основных ГГИС и смежных с ними информационных систем, запросы технологических лидеров горнодобывающей отрасли и видение перспектив развития цифровых технологий позволили выделить широкий набор проблем, требующих решения. Это и общие аспекты — такие как системная интеграция с цифровой инфраструктурой горного предприятия; управление горно-геологическими данными и аналитика; кибербезопасность; цифровизация обучения горных инженеров. Это и направления совершенствования и разработки прикладного функционала — геостатистика и неявное геологическое, в том числе стратиграфическое моделирование; оптимизаторы планирования горных работ для различных способов и систем разработки на основе динамических имитационных моделей; оптимизация процессов проектирования открытых и подземных выработок, буровзрывных и закладочных работ, крепления, в целом отвалов и карьеров, рудников и шахт. Использование данных оперативного мониторинга, полученных с помощью средств высокоточного позиционирования необходимо для уточнения геологических моделей, фактического положения горных выработок, динамической корректировки параметров технологических процессов добычи ПИ.

Надежное функционирование горнодобывающего предприятия в значительной степени зависит от всестороннего понимания текущего состояния его сложной природно-технической системы. ГГИС позволяют иметь надежные знания о месторождении на каждой из стадий разведки, проектирования и эксплуатации путем использования трехмерных геологических и геомеханических моделей, определения закономерностей распределения содержания полезных и вредных компонентов ПИ для всестороннего анализа сценариев последовательности разработки месторождения, выбора наиболее эффективных технологий и оборудования, оценки уровня риска проектных решений и их экономической эффективности.

*Нежданов А.В.<sup>1</sup>, Богданов Р.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия*

*e-mail: nezdan@inbox.ru*

*<sup>2</sup>ПАО «Уралкалий», г. Березники, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫХ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ОБЪЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Прогнозирование и идентификация локальных неоднородностей соляной толщи в пределах Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКС) традиционно проводится комплексом исследований, включающих сейсморазведку высокого разрешения с отработкой по технологии ОГТ. Результаты обработки и интерпретации малоглубинных сейсморазведочных данных позволяют решать широкий круг вопросов, направленных на обеспечение безопасности разработки калийной залежи.

Отображение выявленных неоднородностей породного массива в двухмерном пространстве ограничивает интерпретационные возможности сейсморазведочных исследований. Применение 3D технологий на базе геоинформационных систем обеспечивает более корректное определение их пространственного положения.

К базовым компонентам пространственных построений относятся: создание информационной базы; расчет свойств объекта; проекционное построение, 3D интерполяция; анализ и корректировка; компоновка проекта. В зависимости от поставленной задачи, этапы могут менять последовательность или проходить циклично.

В первичный набор исходных данных входят: координаты устьев скважин, альтитуды, отметки пластов, литологические особенности объекта, топографические данные и инфраструктура, маркшейдерская информация по шахтным выработкам. Геологический набор исходных данных позволяет смоделировать структурно-стратиграфический каркас. Процесс проходит поэтапно в программных продуктах GS Surfer, Voxler и в системе ESRI ArcGis и ArcScene.

Вторичный набор включает в себя сейсмические исходные данные, к ним относятся координаты пунктов приема, временные разрезы, кинематические и динамические параметры временного разреза, данные интерпретации – абсолютные отметки отражающих границ, интервальная скорость. Опираясь на полученную информацию, в первую очередь реализуется построение локальной априорной сейсмогеологической модели.

Более сложный процесс – это подготовка, расчет и построение объемных моделей аномалий. Это обусловлено тем фактом, что любой набор сейсмической информации в группе профилей, кинематические или динамические параметры волнового поля, даже полученные в пределах одного изучаемого объекта, отличаются. Помимо свойств изучаемого объекта, на упругие характеристики оказывают влияние многочисленные факторы: погодные условия, техническое состояние аппаратуры, зашумленность и т.п.; обработка полевой информации и интерпретация, зависящие от квалификации специалистов, др.

Основные задачи пространственной интерпретации – формирование объемной модели вероятной пустотности, модели зон разуплотнения массива горных пород по значениям эффективной скорости и амплитуд. При подготовке данных моделирования используются разноплановые процедуры обработки, но одной из основных является «переклассификация» - логическое и математическое преобразование значений атрибутов пространственных объектов, принадлежащих одному району изучения.

К числу других процедур относятся: объединение таблиц и расчеты атрибутов, неформализованные построения схем распределения физических параметров как в плоскости, так и в объеме. Объемные модели формируются по сетке профилей, на каждый единичный сейсмический профиль приходится по четыре

таблицы, включающие более миллиона записей только по одному параметру. Классические программные продукты не имеют возможности работать с таким количеством информации, вследствие чего расчеты волновых атрибутов проходят в системе ArcGis. За счет удобства, скорости работы и многообразия настроек, интерполяция «плоских» схем распределения параметра производится в программе MS Surfer. Процесс объемного моделирования сосредоточен на программах MS Voxler и ESRI ArcScene.

Учитывая тот факт, что все специализированные продукты обработки и интерпретации сейсморазведочной информации традиционно разработаны для «нефтяной» отрасли (что не всегда позволяет применять программное обеспечение в рамках решаемых малоглубинными исследованиями задач), а также активно действующую программу импортозамещения в РФ, принято решение о создании собственных модулей расчета атрибутов, интерполяции и визуализации объемных моделей.

Для ускорения процесса разработки используется язык Python. Выбор данного языка программирования обусловлен тем фактом, что на данный момент в мире имеется огромное количество готовых библиотек для расчетов, начиная от табличных данных, обработкой сейсмической информации, визуализацией и др.

На данном этапе разработка модулей расчета атрибутов находится на начальном уровне и представлена в консольном виде. Программа производит расчет и подготовку массива кинематических и динамических параметров, необходимых для формирования 3D моделей. При этом, даже с таким малым функционалом, время, необходимое для расчетов, значительно сократилось, что позволяет частично отказаться от преобразований, проводимых с использованием ArcGis.

**Никонов И.О., Мельник В.Б., Корчак П.А., Тележкин А.А.**

*КФ АО «Апатит», г. Кировск, Россия*

*e-mail: IONikonov@phosagro.ru, VMelnik@phosagro.ru,*

*PKorchak@phosagro.ru, ATelezhkin@phosagro.ru*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КФ АО «АПАТИТ»**

Для поддержания оптимальных объемно-качественных показателей добычи полезных ископаемых и оптимизации использования ресурсов предприятия необходим инструмент, позволяющий на стадии планирования горных работ учесть все технические и производственные ограничения производства. На сегодняшний день, при составлении долгосрочных и среднесрочных планов, такими инструментами являются модули и приложения, входящие в пакет горно-геологических информационных систем.

Кировский филиал АО «Апатит» в своей производственной деятельности на данный момент использует решения фирмы Datamine, представленные продуктами Studio для задач проектирования и планирования горных работ, и MineScare для решения геолого-маркшейдерских задач. Функционал данного программного обеспечения перекрывает весь спектр задач информационного сопровождения горных работ с учетом специфики производства.

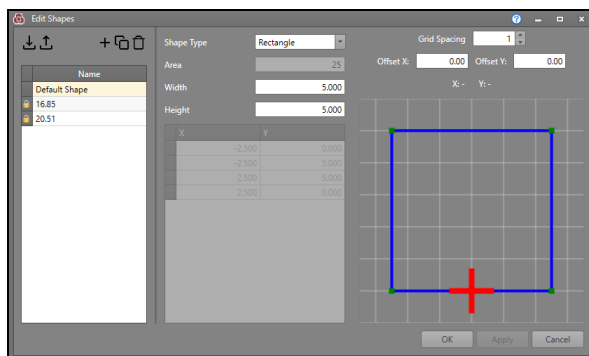
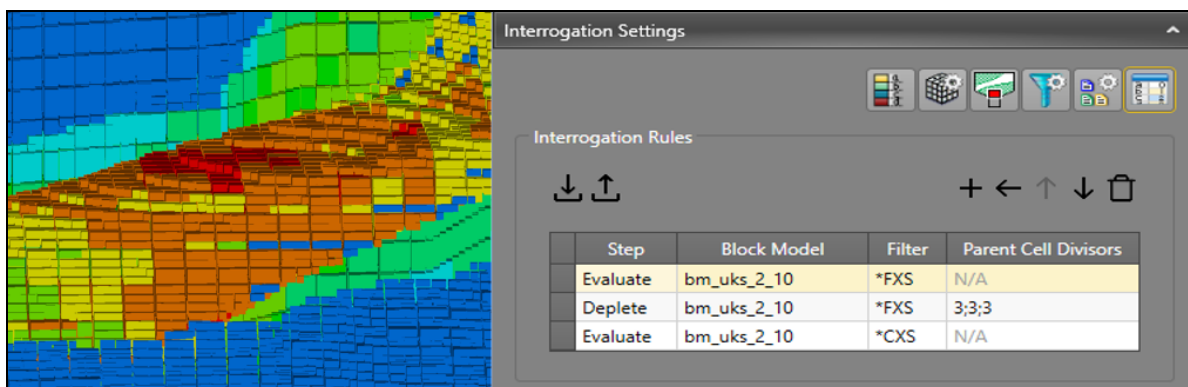
Целью пилотного внедрения систем автоматизированного планирования горных работ на КФ АО «АПАТИТ» являлась оценка достаточности функционала ПО Studio UG и Enhanced Production Schedule (EPS) для решения задач горного планирования, и возможность интеграции новых информационных систем в бизнес-процессы Компании. Площадкой для пилотного внедрения выбран участок Кировского рудника.

В качестве первого этапа работ выполнен внутренний аудит бизнес-процессов, связанных с проектированием и планированием горных работ, составлены схемы бизнес-процессов «AS IS» и «TO BE».

Следующим этапом работ выполнена консолидация информации для планирования горных работ. В качестве исходных данных использовались актуальные планы (планшеты) состояния горных работ, блочная модель, обсуждены направления по проходке и ведению очистной выемки. Подготовка исходных данных для импорта в Studio UG осуществлялась посредством действующего на предприятии ГГИС MineScare. Сюда вошли осевые линии проектных и фактических выработок, граница блока добычного участка, наименование выработок, контура очистных секций, фактическая отбойка. Основная проблема подготовки данных для планирования – отсутствие атрибутивной

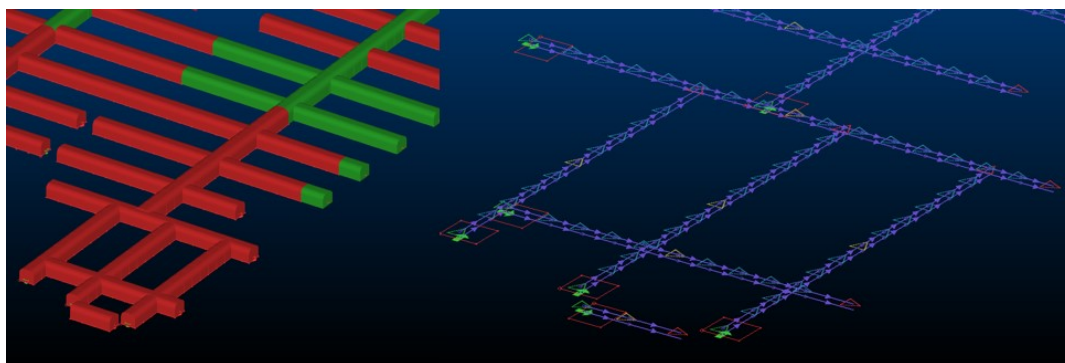
информации и возможности их задания в действующем ГИС MineScape и системах автоматизированного проектирования (CAD), в следствии чего, атрибуты для осевых линий и каркасов задавались в Studio UG.

После подготовки исходных данных и их импорта в Studio произведена настройка проекта. Задавались именные соглашения, принятые на Предприятие. Произведена загрузка, настройка и проверка блочной модели. На ее основе произведен расчет объемов проходческих работ и очистной выемки в виде математических уравнений. Для проектных горных выработок были заданы необходимые атрибуты и направление проходки. Создан банк типовых сечений выработок с занесением проектных скоростей проходки. Установлено направление очистной выемки, количество вееров при отбойке. После данных мероприятий выполнено автоматическое построение каркасов, их визуальная и программная проверка.



После формирования модели в систему занесены вспомогательные работы, такие как крепление горных выработок, бурение скважин с проектной нормой данных работ. После чего выполнены финальные настройки зависимостей, последовательности между проходкой и очистной выемкой.

Результатом проделанных операций является модель отработки участка с привязкой во времени и пространстве.





В дальнейшем, план горных работ экспортируются в Datamine EPS, где корректируются нормы проходки/бурения, создается парк оборудования с присвоением его на процессы, детально настраивается временная шкала плана. Отредактированный календарь горных работ отображается в виде диаграммы Ганта или других видах отчетных документов.

Полученные результаты тестирования ГГИС Datamine Studio UG и Enhanced Production Schedule (EPS) показали возможность применения продукта для создания краткосрочных, среднесрочных календарей уже сейчас, без каких-либо доработок; модели планирования отвечают всем требованиям ведения горных работ на подземных рудниках КФ АО «Апатит». Пилотный проект также показал, что важным аспектом является подготовка исходных данных для планирования, актуальное и полное ведение документации по горным работам, своевременное задание атрибутики линиям и контурам отбойки.

**Ногин С.А.**

*ИГД УрО РАН, e-mail: nsa@igduran.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА СРЕДСТВАМИ СРЕДЫ ГГИС МАЙНФРЭЙМ**

В рамках работы в программной среде Mineframe (ГГИС МАЙНФРЭЙМ) было проведено моделирование системы выбранных выработок с элементами вмещающего массива горных пород, в совокупности двух стволов и одной скважины. Построенная средствами данного программного обеспечения (ПО) модель представляет собой технологическую базу среды Mineframe.

Исходными данными модели послужили горно-геологические и гидрогеологические данные, характеристики конструкции ствола, а также данные о его повреждениях.

Геологическая информация извлекалась из данных инженерно-геологической колонки, собранных при проходке вентиляционного ствола и оформленных в виде разреза. Также использовались данные журнала проходки скипового ствола, источником информации по скважине послужил инженерно-геологический разрез.

Кроме того, при создании модели использовались обработанные данные профилей георадиолокационного зондирования закрепного пространства.

Сама модель разбита на субмодели: геологическую (включающую в себя каркасные и блочные модели участков массива горных пород), субмодель стволов (каркасные модели выработок, включая скважину) и субмодель повреждений крепи (каркасные пространственные модели обнаруженных в ходе обследования дефектов). Упорядочение достигается с помощью дерева технологической структуры менеджера объектов Mineframe.

В геологическую субмодель вентиляционного ствола включены данные по 21 наличествовавшему в исходных данных инженерно-геологическому элементу на глубинах 0-1200 м, условные обозначения горным породам присвоены вплоть до отметки 340 м глубины для обеспечения покрытия ими обследованного на наличие дефектов крепи участка. На участке скипового ствола согласно имеющимся данным выделено 14 геологических разностей, в районе скважины – 15. Построены блочные модели целевых для тампонажа участков массива (6 разнородных зон), на основе каркасных моделей, построенных по обработанным данным профилей георадиолокационного зондирования.

В субмодель стволов входят твердотельные модели стволов и скважины. Крезь стволов также представлена твердотельной моделью (цилиндрическая поверхность большего диаметра).

В субмодель повреждений крепи входят дефекты нескольких типов: участки трещиноватости бетона, зоны заколообразования, выходы струй воды, течи технологических швов, повреждения креплений расстрелов. К ней условно отнесены интервалы проведения тампонажных работ и водообильные зоны, а также участки георадиолокационных профилей в зонах водопроявлений, полученные в ходе повторного геофизического обследования (в качестве источников данных выступили акты на тампонажные работы и исполнительные схемы тампонажа).

Вычислены объемы подвергнутых тампонированию блоков массива, что позволяет улучшить оценку эффективности тампонажных работ.

**Орлов С.А.**

*ХФИЦ ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

*e-mail: programmist00@gmail.com*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ КЕРБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА**

Анализ влияния антропогенной деятельности на окружающую природную среду является актуальной задачей научно-технического характера. Данные дистанционного зондирования широко используются в лесохозяйственном и сельскохозяйственном направлении, все чаще инженерные изыскания проводятся с использованием не картографического материала, а именно спутниковых снимков, так как это повышает точность производимых работ, а также позволяет получать актуальную информацию в режиме реального времени. Для оперативного решения технических задач актуален вопрос автоматизации процесса выделения объектов горного производства.

Целью работы является детектирование горнопромышленных объектов и выделение их границ с применением нейронной сети. В качестве горнопромышленных объектов исследуются карьеры, появляющиеся в результате ведения горных работ.

Данная работа является актуальной, поскольку имеется необходимость выделения карьеров для мониторинга изменения в течении интересующего нас периода времени. Под изменениями понимается изменение площади карьеров и естественное зарастание карьеров.

В работе описывается проверка гипотезы о том, что с помощью свёрточной нейронной сети возможно детектирование карьеров с четко определенной границей. Для проверки гипотезы используется существующая модель свёрточной нейронной сети U-Net. Сегментация в этом случае является бинарной и модель U-Net показывает хорошие результаты в решении задач поиска объектов по спутниковым снимкам.

Для обучения нейронной сети составляется датасет, состоящий из примеров карьеров, полученных со спутниковых снимков территории села Бриакан. Затем, для сегментации с помощью нейронной сети создаётся маска искомого объекта при помощи бинаризации по вегетационному индексу Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index (SARVI) и затем корректируется вручную. Это индекс был выбран, потому что обладает устойчивостью к влиянию почвы (различные почвы имеют разные спектры отражения) и атмосферы (воздушная прослойка поглощает некоторое количество света, проходящее через нее, а также рассеивает его, благодаря взвешенным аэрозолям). Данные для формирования обучающей выборки берутся со спутников Landsat 8-9 и Sentinel-2, так как они находятся в открытом доступе. Предполагается, что для работы нейронной сети достаточно пяти каналов спутникового снимка: красный, зелёный, синий, инфракрасный, рассчитанный вегетационный индекс. В качестве вегетационного индекса используется SARVI.

В том случае, если результат при использовании свёрточной нейронной сети окажется удовлетворительным, планируется разработка модели нейронной сети для решения поставленной задачи. В дальнейшем, найденные маски используются для расчёта площади объекта, что позволит проследить динамику изменения и зарастания территории горнопромышленной разработки. Также, в зависимости от границ карьеров исследуется их влияние на экологию окружающей среды.

**Остапенко С.П., Месяц С.П.**

*Горный институт КНЦ РАН, г. Анапиты, Россия*

*e-mail: s.mesyats@ksc.ru, s.ostapenko@ksc.ru*

## **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ НА ПРИМЕРЕ СКЛАДИРОВАННЫХ ОТХОДОВ РУДООБОГАЩЕНИЯ**

Спутниковый мониторинг Земли в электромагнитном спектре широко используется в современных исследованиях наземных экосистем, что обуславливает актуальность разработки методических подходов к обработке, комплексированию и интерпретации данных мониторинга. Широкий охват территории и мультиспектральный состав спутниковых снимков могут быть

использованы при установлении пространственных закономерностей распределения биотических и абиотических факторов, определяющих потенциал восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в рамках задачи экологизации горного производства.

Восстановление природных экосистем исследовалось на примере растительного покрова, сформированного на откосе ограждающей дамбы складированных отходов обогащения апатит-нефелиновых руд месторождений Хибинской группы по разработанной в Горном институте технологии восстановления нарушенных земель созданием биологически активной среды без нанесения почвенного слоя. Влияние топографии на тепловлагообеспеченность сформированного растительного покрова изучалось на градиентных по высоте откоса дамбы трансектах разной экспозиции по данным спутниковых наблюдений в течение вегетационного сезона (начало июня – конец августа). Дешифрирование растительного покрова обеспечивалось согласованием разрешения спутниковых снимков с характерными размерами элементов откоса дамбы с помощью разработанной ранее процедуры паншарпенинга.

Для обобщения взаимной связи параметров, характеризующих состояние растительного покрова и абиотических факторов его формирования, использовалась нейросетевая модель. Обучение искусственной нейронной сети выполнялось на массиве данных, полученных в результате обработки видимых, инфракрасных и тепловых спектральных каналов спутниковых снимков хвостохранилища в течение вегетационного сезона.

Показано, что вегетационный индекс сформированного растительного покрова симбатно изменяется с температурой поверхности ограждающей дамбы хвостохранилища и антибатно с индексом стресса влажности растений, являющихся доминирующими факторами восстановления растительного покрова на исследованном гидротехническом объекте. Установлено, что уровень стресса влажности растительного покрова обуславливается высотной отметкой откоса ограждающей дамбы, увеличиваясь с высотой, а также с температурой поверхности.

На основе изученных закономерностей изменения вегетационного индекса растительного покрова в зависимости от топографических факторов (экспозиции откоса и высоты расположения) выполнено зонирование ограждающей дамбы хвостохранилища по потенциалу восстановления с целью поддержки принятия решений при планировании мероприятий по восстановлению природных экосистем.

**Остапенко С.П., Опалев А.С.**

*Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
e-mail: s.ostapenko@ksc.ru, a.opalev@ksc.ru*

## **МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ МАГНИТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Образование тонкодисперсных минеральных частиц микронного и субмикронного размера является неизбежным следствием измельчения минерального сырья при его переработке. Содержание тонкодисперсной фракции возрастает с повышением глубины обогащения бедных и тонковкрапленных руд, что обуславливает актуальность разработки методических подходов к изучению свойств суспензий тонкодисперсных минеральных частиц с целью их выделения и снижения загрязнения природной среды отходами производства. Теоретический и практический интерес представляет исследование магнитного взаимодействия тонкодисперсных частиц, ввиду многотоннажного производства железного концентрата и значительного объема отходов обогащения железных руд.

Известно, что свойства суспензии тонкодисперсных магнитных частиц, определяются балансом противоположно направленных процессов, а именно: агрегации под влиянием магнитного взаимодействия и разрушения агрегатов при тепловом (броуновском) движении частиц. Однако, прогнозирование магнитного отклика суспензии является до сих пор нерешенной задачей, из-за сложности описания магнитного поля множества частиц, что обусловлено слабым затуханием сил взаимодействия с расстоянием. В этой связи представляется перспективным изучение магнитных свойств суспензии тонкодисперсных магнитных частиц с помощью имитационного компьютерного моделирования молекулярной динамики, предусматривающего численное решение уравнений

движения всех взаимодействующих частиц с временным шагом меньшим, чем интервал между их соударениями. Необходимым этапом моделирования является калибровка расчетной модели экспериментальными данными, поскольку особенностью программных реализаций метода молекулярной динамики является нормирование таких параметров как расстояние, масса, энергия при задании модельной системы, что связано с необходимостью обеспечения устойчивости и максимальной производительности вычислительного процесса.

Для разрабатываемой имитационной модели динамики тонкодисперсных магнитных частиц в водной среде калибровка проводилась с использованием коэффициента трансляционной диффузии частиц магнетита, определявшегося методом динамического рассеяния света на установке «Фотокор». Для контроля достоверности обработки данных динамического рассеяния света проводились сравнительные измерения коэффициента диффузии пирротина и кварца. Нормированная энергия теплового движения модельных частиц калибровалась по зависимости коэффициента диффузии от температуры, калибровка нормированных размера частиц и расстояния между ними осуществлялось по зависимости коэффициента диффузии от концентрации. Калибровка энергии магнитного диполь-дипольного взаимодействия на данном этапе разработки модели проводилось косвенно расчетным методом, с учетом остаточной намагниченности модельной частицы, по её объему.

Целевые параметры имитационной модели динамики тонкодисперсных магнитных частиц в водной среде, а именно: магнитная восприимчивость и намагниченность модельной суспензии, а также коэффициент диффузии, используемый для калибровки модели, рассчитывались по массиву модельных частиц с использованием существующих статистических методов. Процедура увязки расчетных и экспериментальных данных осуществлялась варьированием нормировочных параметров тепловой энергии и размера частиц для минимизации максимального расхождения коэффициентов диффузии. Предложенный подход обеспечивает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных, что свидетельствует о возможности применения разработанной модели для изучения магнитного взаимодействия тонкодисперсных частиц в водной суспензии.

Расчетом показано многократное увеличение начальной магнитной восприимчивости суспензии на нижней границе исследованного диапазона изменений диаметра тонкодисперсных частиц, обусловленное преобладанием процессов дезагрегации в результате теплового движения, что может представить практический интерес и требует дальнейшего исследования, в том числе учетом в компьютерной модели электростатического взаимодействия частиц. Другим направлением использования разработанной модели является изучение воздействия магнитного поля на магнитные свойства суспензии тонкодисперсных частиц.

***Павлова К. Т.***

*ХФИЦ ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

*e-mail: kamilla969696@gmail.com*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ КОМСОМОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА**

В данной работе рассматривается построение алгоритма для исследования изменения площадных характеристик техногенных объектов по данным ДЗЗ на примере хвостохранилища, расположенного в Солнечном районе Хабаровского края (за период 2018-2023 гг.). Описываются информационные технологии исследования и этапы подготовки данных для мониторинга состояния объекта.

Актуальность данной работы заключается в автоматизации процесса мониторинга экологического состояния техногенных объектов.

В качестве геоинформационной системы выбран программный продукт QGIS. Геоинформационный мониторинг показан как ведущий метод исследования процессов на горнопромышленных территориях.

Для апробации алгоритма выбрано хвостохранилище бывшего Солнечного ГОКа, расположенное в Комсомольском оловорудном районе, на котором осваивалось более 10 месторождений комплексных оловянно-полиметаллических руд. В системе ГОКа функционировали 4

рудника («Солнечный», «Перевальный», «Придорожный» и «Молодежный»), 2 обогатительные фабрики и 3 хвостохранилища.

Специфика добычи и обогащения оловянной руды на этом предприятии заключалась в извлечении и переработке огромного объема горной массы, часть которой использовалась, а оставшаяся накапливалась в виде техногенных отходов, размещенных в хвостохранилищах.

Накопленные более чем за 30 лет отходы горного производства остались бесконтрольными. Исходя из вышесказанного, очевидна необходимость дистанционного мониторинга состояния компонентов биоты в зоне воздействия указанного горнопромышленного объекта.

Для автоматизации мониторинга территории разработан следующий алгоритм:

1 этап: исследование спутниковых данных с помощью BEGA-Science;

2 этап: выбор снимков объектов исследования на портале «Copernicus» или «EarthExplorer»;

3 этап: загрузка выбранного снимка в географическую информационную систему (QGIS) для дальнейшей обработки: определение границ и расчет площади.

Работу алгоритма автоматизации мониторинга техногенного объекта можно проиллюстрировать следующим образом:

1 этап: создать виртуальный растр. Провести настройку гистограммы изображения (рис. 1).

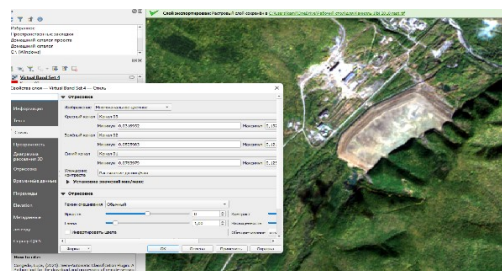


Рисунок 1 - настройка гистограммы изображения

2 этап: обрезать необходимую для исследования область, вычислить NDVI, площадь объекта, жидкости, границ.

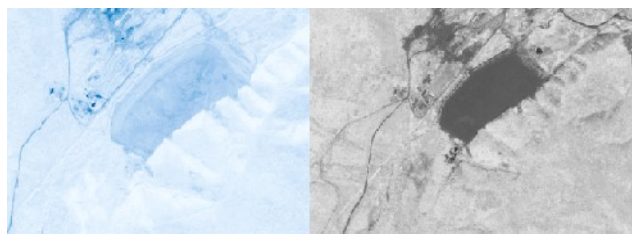


Рисунок 2 – NDVI

3 этап: перевести полученное изображение в бинарную систему, произвести с помощью Python подсчет количества пикселей объекта и перевести их в реальный размер согласно масштабу снимка со спутника.

```
[ ] import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

[ ] from PIL import ImageOps

[ ] from PIL import Image
im = Image.open('b1_2018_rast.png', )

threshold = 254
image_file = im.convert('L')
image_file = image_file.point(lambda p: 255 if p > threshold else 0)
image_file = image_file.convert('1')

image_file.show()

im5 = np.asarray(image_file)
im5.shape
count = np.sum(im5 == 1)
count
0805
```

Рисунок 3 - подсчет количества пикселей объекта Python

В таблице представлены тестовые расчеты по техногенному объекту района п.г.п Солнечный за 6 летний период.

Таблица 1

	S(м <sup>2</sup> ) техногенного объекта с растительностью	S(м <sup>2</sup> ) техногенного объекта без растительности	S(м <sup>2</sup> ) жидкости на территории объекта	S(м <sup>2</sup> ) растительности на территории объекта
2018	680500	680500	0	0
2020	1246700	954300	0	292400
2022	1277400	1170800	84800	106600

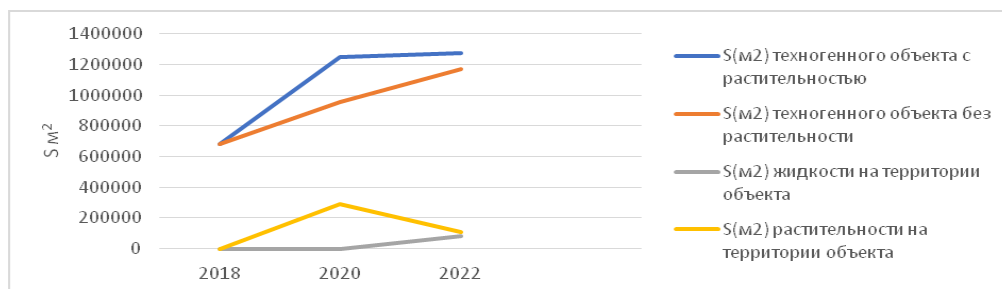


Рисунок 4 – график изменения площади техногенного объекта за 6 летний период

Вывод. Разработан алгоритм, позволяющий автоматизировать мониторинг техногенного объекта в разрезе изменения его площади за заданный период времени.

**Паливода А.А., Опалев А.С.,**  
 Горный институт КНЦ РАН, г. Анапты, Россия  
 e-mail: a.palivoda@ksc.ru; a.opalev@ksc.ru

## СОЗДАНИЕ DEM-МОДЕЛИ СТЕРЖНЕВОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Дезинтеграция твердых материалов является одной из распространенных технологических операций обогащения полезных ископаемых. Ежегодно миллиарды тонн полезных ископаемых подвергаются измельчению. Под измельчением понимают процесс последовательного разрушения кусков минерального сырья под действием внешних сил для доведения их размера до требуемой крупности, которая определяется вкрапленностью полезного минерала и степенью раскрытия минералов. Данный технологический процесс является самым дорогостоящим и энергоемким при добыче и обогащении минерального сырья. Хотя измельчительное оборудование (мельницы) потребляют много энергии, лишь небольшая доля этой энергии преобразуется в фактическое дробление частиц. Соотношение величин энергии, необходимой для измельчения, и энергии движения мелющих тел определяют энергоемкость данного процесса. Поэтому необходимо понимать, какая мощность потребляется в процессе измельчения, чтобы повысить эффективность измельчения и снизить удельный расход энергии. Одним из способов достижения этой цели является создание трехмерных DEM-моделей оборудования и дальнейшее их исследование с использованием численного метода. Компьютерное моделирование рудоподготовительных операций позволяет исследовать закономерности процессов измельчения материалов при различных параметрах работы мельницы. Такие задачи решаются путем использования специализированного программного обеспечения Rocky DEM.

Целью работы является создание трехмерной DEM-модели лабораторной стержневой мельницы объемом 32 л для исследования процесса измельчения железистых кварцитов. Для сокращения вычислительных затрат расчета, необходимых при моделировании процесса разрушения на визуализацию каждого отдельного разбитого фрагмента, автор использует инструмент под названием Energy Spectra. «Энергетические спектры» в программном обеспечении Rocky DEM позволяют определить энергетическую статистику столкновений частиц для прогнозирования скорости разрушения и истирания в графическом формате.

Для моделирования динамики процесса измельчения была создана трехмерная DEM-модель лабораторной стержневой мельницы размером 300x450 мм объемом 32 л (рис. 1). Мелющими телами являются стержни диаметром 40 мм в количестве 20 штук (коэффициент загрузки мелющими телами составляет 35%). Рудный материал представлен многогранниками с 15 вершинами. Масса навески составила 1,5 кг (количество – 3426 частиц). Гранулометрические характеристики материала, принятого при моделировании, показаны на рисунке 2. Коэффициенты взаимодействия материалов приняты по справочным данным. Скорость вращения барабана 56 оборотов в минуту.

В результате DEM моделирования процесса измельчения были получены следующие данные. На рисунке 3 представлены энергетические спектры для каждого размера частиц. На рисунке 4 изображен перекрестный график, который показывает ударную мощность и совокупную мощность воздействия столкновений между частицами породы и мельницей.

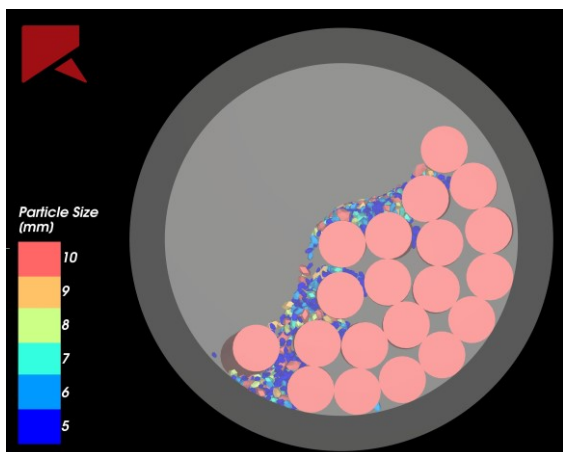


Рисунок 1 - Визуализация трехмерной DEM-модели лабораторной стержневой мельницы в программе Rocky DEM.

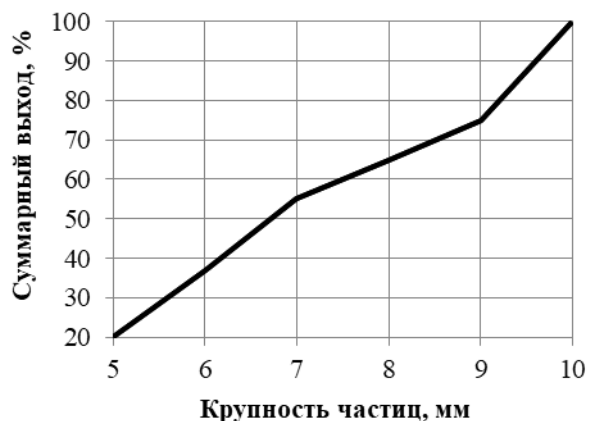


Рисунок 2 - Гранулометрические характеристики рудного сырья, принятые при моделировании.

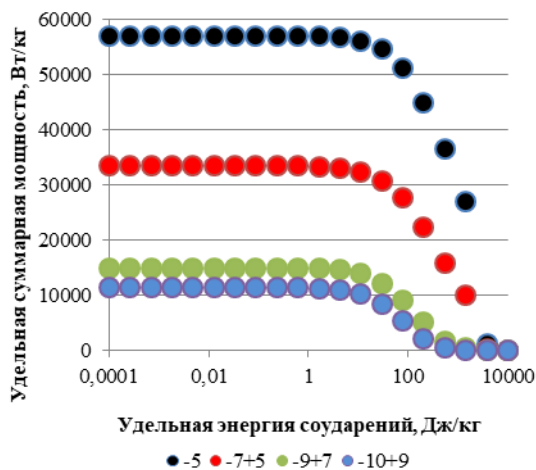


Рисунок 3 - Энергетические спектры для каждого размера частиц, полученные при моделировании.

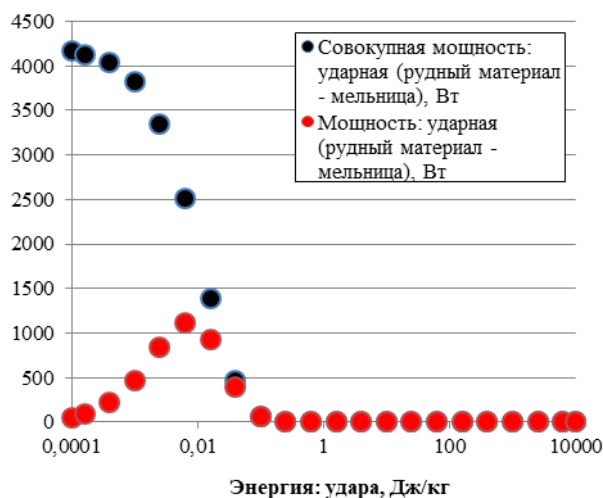


Рисунок 4 - График, показывающий ударную мощность и совокупную мощность воздействия столкновений.

С помощью инструментов программного обеспечения Rocky DEM можно проанализировать, как распределяется энергия в модели мельницы. Энергия, подаваемая на мельницу, передается частицам. Часть этой энергии рассеивается, а другая часть преобразуется в механическую энергию. Для расчета энергетического баланса используется следующая формула:

$$P_m = P_d + \frac{\Delta E_{mech}}{\Delta t},$$

где  $P_m$  – мощность, потребляемая мельницей,  $P_d$  – рассеиваемая мощность,  $\Delta E_{mech}$  – изменение механической энергии частиц,  $\Delta t$  – интервал времени, в течение которого подается мощность.

Получены следующие результаты расчетов при моделировании стержневой лабораторной мельницы в программном комплексе Rocky DEM:  $P_m = 1386,09$  Вт;  $P_d = 1216,50$  Вт,  $\frac{\Delta E_{mech}}{\Delta t} = 169,59$  Вт. Таким образом, если учесть потери мощности в двигатели и других элементах конструкции мельницы (11-13%), то полная мощность, потребляемая мельницей, составит 1566,28 Вт.

В дальнейшем данная DEM-модель позволит определять эффективность процесса измельчения и разработать методику для изучения распределения частиц руды по крупности в зависимости от времени измельчения.

**Панжин А.А.**

*ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

*e-mail: panzhin@igduran.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ**

Широкий спектр процессов и явлений, происходящих в недрах и в самих объектах недропользования и формирующих возникновение аварийных ситуаций, предопределяет междисциплинарный подход к решению проблемы снижения ущерба от техно-природных аварий и катастроф на объектах недропользования, обусловленных современными геодинамическими движениями, за счет принятия превентивных мер по их предупреждению на основе прогнозного районирования техногенно нарушенных территорий по риску возникновения аварийных и катастрофических ситуаций.

Современные геодинамические движения воздействуют на объекты постоянно без проявления интенсивного сейсмического эффекта и присущи как сейсмоопасным, так и асейсмическим регионам. Специфика их воздействия зависит от параметров возникающих деформаций, вида и конструктивных особенностей объекта. Поэтому, по предварительным ранжирование техногенно нарушенных территории по риску аварий и катастроф от современных геодинамических движений выполняется для отдельных видов объектов, схожих конструктивно и имеющих близкие критерии опасности.

Исследования и моделирование геомеханических процессов при недропользовании проводятся в два этапа с использованием принципа «от общего к частному». На первом этапе исследования опираются на международные сети станций IGS, EUREF и, в большей мере, на Фундаментальную астрономо геодезическую сеть (ФАГС). Для уплотнения сети геодезических построений используются корпоративные станции, как правило находящиеся в ведении крупных университетов, геодезических компаний, подразделений Ростехинвентаризации и др. В настоящее время на территории России и в приграничных с ней областях Казахстана, Украины и Беларуси работают несколько сотен таких постоянно действующих GNSS станций, которые накапливают данные, что позволяет выполнить их высокоточную геодезическую привязку к общемировой сети IGS в режиме цикловых мониторинговых измерений.

Поскольку расстояния между соседними пунктами международных и федеральных сетей могут превышать 1000 - 2000 километров, по их данным проводится укрупненная оценка напряженно-деформированного состояния охватываемого ими района. Конкретизация параметров современных геодинамических движений и формируемого ими напряженно-деформированного состояния на площадках размещения объектов недропользования производится путем сгущения сети мониторинговых станций. Это достигается включением в геодезические измерения и построения пунктов нижних классов, в том числе корпоративных сетей, вплоть до использования пунктов геодезического обоснования предприятий, населенных пунктов и др. В некоторых случаях возникает необходимость создания специального геодинамического полигона.

Трендовые движения пунктов геодинамического полигона и реперов наблюдательной станции определяются на основе анализа изменений пространственных приращений координат (векторов), происходящих в промежутках между повторными циклами измерений, а циклические короткопериодные определяются проведением непрерывных измерений. Полученные в результате инструментальных измерений деформации интервалов с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразуются в векторное и тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций.



Для визуализации результатов инструментальных измерений смещений и деформаций создается векторное поле горизонтальных перемещений и тензоров горизонтальных деформаций регулярной сети геомеханической модели, построенной методом конечных элементов (МКЭ). Узловыми элементами модели МКЭ являются пункты геодинимического полигона и репера наблюдательной станции, для которых определены пространственные перемещения между выполненными повторными циклами измерений.

Полученные в результате измерений геодинимические движения, с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразуются также в векторное и тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций. Это позволяет выделить и идентифицировать зоны с максимальными значениями главных деформаций как растяжения, так и сжатия, а также зон с повышенными значениями сдвиговых деформаций, приводящих к разрушениям объектов инфраструктуры.

Другими важными характеристиками векторного поля геодинимических движений являются:

- дивергенция, которая позволяет дифференцировать области массива по параметру источников и стоков векторного потока: сходящийся векторный поток формирует области преимущественного объемного сжатия, расходящийся – области депрессии;

- ротор поля, который определяет величину и направление вращательных движений геоблоков.

По этим параметрам, на основании геомеханического моделирования выделяются активные геологические структуры, консолидированные геоблоки, области сжатия и депрессии - для прогнозирования мест возможных сейсмических событий и обоснования профилактических мер по обеспечению безопасности населения, промышленных объектов и др.

**Потапчук М.И.<sup>1</sup>, Рассказов И.Ю.<sup>2</sup>, Сидляр А.В.<sup>1</sup>, Ломов М.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

e-mail: potapchuk-igd@mail.ru; alex-igd@mail.ru; 9241515400@mail.ru

<sup>2</sup> ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

e-mail: rasskazov@igd.khv.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИОНЕР**

Перспективность отработки большинства месторождений Дальневосточного региона связана с необходимостью перехода с открытого на подземный способ разработки рудных тел. Сложность данного перехода связана с возможным формированием зон повышенного горного давления на отдельных участках горного массива, в конструктивных элементах применяемых систем разработки, а также в подкарьерных целиках. Моделирование геомеханических процессов в условиях комбинированной отработки месторождения численными методами с использованием современных программных комплексов позволяет заблаговременно выявить наиболее напряженные участки и обосновать наиболее безопасную технологию отработки.

В качестве объекта исследования, на котором возникла необходимость геомеханического обоснования предложенных технологических решений, был выбран центральный интервал рудной зоны Андреевской, пространственно расположенный за контуром Карьера № 5 в пределах геологических профилей 117А-138А и представленный крутопадающими рудными телами малой и средней мощностью, которая в среднем составляет 2,24 м. Для отработки подземных запасов данного рудного участка была выбрана *камерная система разработки с сухой закладкой* принимая во внимание наличие положительного опыта применения ее в условиях АО «Покровский рудник». Основные элементы выемочного блока: длина по простиранию – до 100 м; высота этажа – 20 м.

При обосновании граничных условий были использованы результаты комплексных исследований, включающие анализ геодинимической позиции месторождений, оценку напряженного состояния, уточнение физико-механических свойств пород, слагающих массив, позволяющие наиболее корректно смоделировать возникающие в процессе отработки геомеханические процессы в массиве.

Выполненное объемное моделирование позволило установить, что при последовательной отработке рудных запасов подэтажей с применением предложенной технологии, области

повышенных напряжений формируются преимущественно в кровле подэтажного штрека над заложением пространством отработанного подэтажа, а также в краевой части массива подэтажа, граничащего с очистным пространством. Последовательная отработка приводит к росту сжимающих напряжений в краевых частях массива подэтажей. Закладка выработанного пространства очистных блоков пустыми породами положительно влияет на геомеханическую ситуацию в массиве и снижает уровень напряжений на 15%. Значения максимальных сжимающих напряжений в краевых частях массива на всех трех подэтажах на заключительном этапе не превышают 55 МПа.

Наличие в горном массиве в подэтаже +110 м – 150 м сближенных рудных тел С2-1-7-1 и С2-1-7А-1 предопределили целесообразность рассмотрения специальных технологических решений для их отработки: вариант, когда расстояние между двумя сближенными рудными телами меньше 3,2 м, и породный пропласток вовлекался в отработку при ведении очистных работ и при расстоянии между рудными телами более 3,2 м и сохранении породного пропластка. Оценка изменения напряженно-деформированного состояния массива в условиях применения предлагаемых технологий отработки, показала, что уровень максимальных сжимающих напряжений  $\sigma_1$  и интенсивность касательных не превышает предельных значений по теории сжимающих напряжений с учетом нарушенности массива и предела прочности пород на сдвиг.

Также в процессе исследований была установлена безопасная мощность охранного предохранительного целика, формируемого при отработке запасов рудного тела 1-7-1, исключающего развитие деформационных процессов поверхности, которая составляет 23 м.

**Рассказов И.Ю.<sup>1</sup>, Федотова Ю.В.<sup>2</sup>, Аникин П.А.<sup>2</sup>, Мигунов Д.С.<sup>2</sup>, Константинов А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), г. Хабаровск, Россия,  
e-mail: rasskazov@igd.khv.ru

<sup>2</sup>Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия,  
e-mail: fjulia@mail.ru,

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Для оценки геомеханического состояния разрабатываемого месторождения существует значительное количество методов и различных средств мониторинга с помощью измерений наблюдаемых параметров дискретно (чаще всего они используются как локальный мониторинг) или в режиме реального времени (региональный мониторинг). На горнодобывающих предприятиях, разрабатывающих удароопасные месторождения, как правило используются и те, и другие. Чаще всего используемые для эффективной оценки и контроля удароопасности технические средства постоянно модернизируются для улучшения их характеристик при проведении измерений и повышения степени автоматизации процесса анализа результатов измерений с учетом имеющихся возможностей применения новейших информационных технологий и элементной базы. Реже – разрабатываются новые средства мониторинга.

ИГД ДВО РАН уделяет много времени на совершенствование разработанных ранее и созданию новых средств регионального и локального контроля геомеханического состояния разрабатываемого месторождения и оценки удароопасности за счет проработки технических решений как для их отдельных элементов, так и в целом.

Важнейшими элементами автоматизированной системы контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS», созданной сотрудниками ИГД ДВО РАН и установленной на ряде удароопасных месторождений России, которая играет ведущую роль в разработанной нами системе комплексного геомеханического мониторинга, являются цифровые приемные преобразователи (ЦПП) RADCi40. Для обеспечения их более эффективной работы разработана новая версия платы питания и синхронизации. В ходе выполненной модернизации переработана и актуализирована спецификация компонент, что позволило перейти на перспективные и доступные аналоги, сократить общее число компонентной базы с 84 до 70 и решить проблему учета полярности подключения питающих проводов в коммутационной коробке RADCi40 во время монтажных работ.

Не менее важными, чем ЦПП элементами АСКГД «Prognoz-ADS» являются ее вибропреобразователи (геофоны). По результатам ранее выполненных нами исследований в условиях

ряда удароопасных месторождений было установлено, что для эффективного прогноза удароопасности, особенно в сложноструктурных массивах горных пород действующих рудников, важнейшей информацией являются первые импульсы акустической эмиссии от разрушения пород и их кластеризация на начальной стадии формирования зон концентрации напряжений (потенциальных очагов динамических явлений). Такие сигналы акустической эмиссии являются слабыми по амплитуде, регистрируются в диапазоне частот от 6 до 10 кГц и выше.

В начале 2022 г проводилась разработка новой модели геофона – 1V421TA. Идея разработки заключалась в оптимизации (в условиях санкционного режима) списка компонент для серийного производства корпусов, исследовании и улучшении стабильности графиков амплитудно-частотных характеристик. Первый опытный образец 1V421TA акселерометра был закончен в апреле 2022г, а уже в мае он был установлен на руднике «Николаевский» (АО «ГМК Дальполиметалл») для прохождения опытно-промышленных испытаний в реальных условиях действующего горнодобывающего предприятия. В III квартале 2022 г. проводились натурные испытания новой модели датчика в условиях удароопасного массива горных пород в составе АСКГД «Prognoz-ADS». По завершении промышленных испытаний партия из 16 вибропреобразователей модели 1V421TA была установлена на участке «Южный» подземного рудника «2-й Советский» АО ГМК «Дальполиметалл»

В течение последних лет в ИГД ДВО РАН был разработан новый макет прибора «Prognoz-L2» на основе перспективной компонентной базы. Важной ролью в разработке прибора и наиболее трудозатратой является реализация новых алгоритмов в программной оболочке под управлением открытой операционной системы Linux (UNIX). В программном обеспечении новой версии прибора в конце 2022г. разработан и реализован значительный объем функционала. Наиболее важными из них функциями являются: измерение уровня шумов, динамические пороги шумов при измерении АЭ, измерение АЭ, визуализации результатов измерения, просмотр сигналограмм и параметров сигналов, статистика сигналов АЭ, настройки фильтров, учетные записи пользователей, возможность воспроизводить записи и просматривать результаты из истории измерений, передача звука по Bluetooth, выгрузка данных на сторонние устройства через WiFi и т.д. В целом, по результатам реализации новых технических решений, включая модернизацию электронных частей и блоков измерительной части прибора «Prognoz-L2» нового поколения, получено измерительное средство с улучшенными техническими характеристиками, позволяющее эффективно оценивать геомеханическое состояние и удароопасность массива горных пород по параметрам регистрируемой акустической активности. прибор «Prognoz L2» прошел промышленные испытания в условиях подземного рудника, для него получен патент на новое средство измерения, а также сертификат соответствия рудничному исполнению (РН1 – рудничное нормальное).

В рамках совершенствования в версии программы «GeoAcoustics-ADS» 1.2.20 интегрирована система учётных записей пользователей. В соответствии с реализованной концепцией за каждым пользователем закрепляется определённая роль, предполагающая различный уровень доступа к функциональным возможностям программы. В процессе модернизации графического интерфейса пользователя была переработана структура вкладок с целью создания более логичного взаимодействия пользователя с программой. Стоит отметить, что рассматриваемые пункты меню реализованы в соответствии с разработанными ролями учётных записей и скрыты у пользователей с недостаточным уровнем доступа. Также выполнялись работы по повышению точности локации сейсмоакустических событий. Для решения поставленных целей была разработана программа «OnsetTimeCorrection». Программа позволяет анализировать зарегистрированные в базе данных системы мониторинга «Prognoz-ADS» сигналы и оценивать эффективность определения начала импульса по новому критерию Акаике (AIC) в сравнении с применяемым ранее алгоритмом MARSE. В программе «GeoAcoustics-ADS» версии 1.2.30 было переработано построение карт, позволяющих представить распределение расчётного параметра в пределах пространственной зоны. Были изменены формы построения карт для событий, ошибки распределения локации и чувствительности наблюдательной сети геофонов.

*Рассказов М.И.<sup>2</sup>, Рассказов И.Ю.<sup>1</sup>, Потанчук М.И.<sup>2</sup>, Цой Д.И.<sup>2</sup>, Терёшкин А.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), г. Хабаровск, Россия*

*<sup>2</sup>Институт горного дела – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН (ИГД ДВО РАН), г. Хабаровск, Россия*

*e-mail: rasskazov@igd.khv.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ОЦЕНКА УДАРООПАСНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЮЖНО-ХИНГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД**

Объектом исследований является Южно-Хинганское месторождение марганцевых руд, расположенное на территории Октябрьского района Еврейской автономной области. Основные запасы Южно-Хинганского месторождения сосредоточены на участке «Поперечный», который представляет собой линейный рудоносный блок шириной от 40 до 80 м (в среднем – 50 м) и длиной 240 м, содержащий крутопадающий рудовмещающий горизонт, разбитый поперечными и продольными разломами на блоки более высокого ранга. Рудные тела представлены крутопадающими маломощными пластообразными залежами, которые прослеживаются по простиранию на сотни метров.

Анализ физико-механических свойств пород и руд Южно-Хинганского месторождения показали, что практически все они (за исключением слоистых и сланцеватых доломитов) являются достаточно прочными (предел прочности на одноосное сжатие изменяется от 82,3 до 174 МПа) и высокоупругими (модуль Юнга лежит в диапазоне 72,5-98,6 ГПа).

Для оценки напряжений в конструктивных элементах предлагаемых систем разработки (подэтажными штреками и с магазинированием руды) было выполнено объемное моделирование постадийной отработки очистного блока.

Анализ результатов численного моделирования НДС на различных стадиях отработки очистного блока показал, что при отработке месторождения системой подэтажными штреками наиболее высокий уровень напряжений отмечен в междукамерных целиках, преимущественно в краевых частях со стороны подэтажного штрека. По мере отработки очистного блока происходит прямо пропорциональный рост величины максимальных сжимающих и касательных напряжений, величина которых достигает максимума (до 85 МПа и 40 МПа соответственно) при полной отработке блока.

С использованием системы с магазинированием руды концентрация напряжений наблюдается в междукамерных целиках, а также в краевых частях рудного блока, еще на промежуточной стадии отработки очистного блока (при высоте магазина 20 м). Увеличение высоты магазина приводит к росту первых главных  $\sigma_1$  и касательных напряжений в целиках на 20-25%, значения которых достигают 70 МПа и 45 МПа соответственно. Кроме этого, наиболее нагруженными являются междукамерные целики со стороны отработанного очистного блока.

В целом, результаты моделирования свидетельствуют, что, начиная с глубины 300 м (ниже отметки -20 м) отдельные участки массива (целики, безрудные участки, зоны тектонических нарушений) характеризуются повышенным уровнем напряжений, который приближается к пределу прочности горных пород. Это обстоятельство указывает на возможность проявления горного давления в динамической форме при отработке нижней части Южно-Хинганского месторождения. Полученные результаты исследований послужили основанием для его отнесения к категории склонных к горным ударам, и дали возможность обосновать и заложить в проект комплекс профилактических мер по предотвращению опасных геодинамических явлений, охране и поддержанию горных выработок на удароопасных участках.

*Резотунов А.С., Гращенко Д.А.*

*Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

*e-mail: pochta8400@inbox.ru*

## **НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН**

В Институте горного дела УрО РАН разработана методика, обеспечивающая наблюдение за уровнем параметров шарошечного бурения взрывных скважин. Для этого применяется специальная аппаратура, представляющая собой систему датчиков, объединённых с контроллером.

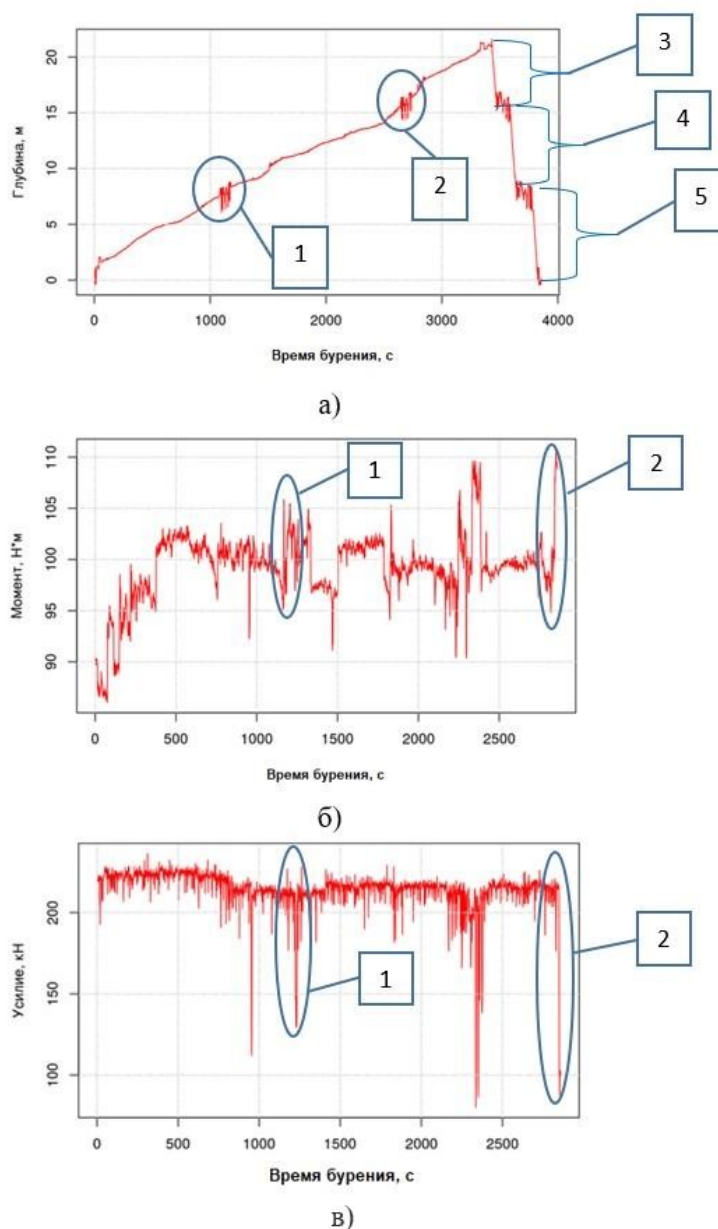


Рисунок 1 – Графики изменения глубины (а), крутящего момента (б) и осевого усилия (в) в процессе бурения скважины

Методика натуральных наблюдений за параметрами шарошечного бурения взрывных скважин заключается в следующем. В начале определяются рациональные параметры технологии бурения и бурового инструмента. Далее шарошечный буровой станок производит бурение скважин согласно проекту

на буровзрывные работы. В процессе бурения скважин шарошечное долото проходит различные по прочности и строению горные породы. Одновременно система датчиков измеряет электрические параметры двигателей бурового станка и регистрирует время, глубину бурения каждой скважины. Установленная информация о параметрах процесса бурения технологических скважин используется для расчета необходимых показателей по каждой скважине. Результаты расчета в дальнейшем являются основой для построения моделей расположения горных пород и руд с различной прочностью в границах локального блока массива. Испытание аппаратуры осуществлялось в условиях карьеров ПАО «Ураласбест» при бурении взрывных скважин буровым станком шарошечного типа СБШ-250МНА-32 в породах различной категории буримости согласно проекта на буровзрывные работы. В результате наблюдения установлено, что на участках массива горных пород, сложенных породами одного типа, значения удельной энергоемкости бурения взрывных скважин менялись в широких пределах - 6-20 раз. Основными факторами, определяющими широкий диапазон изменения удельной энергоемкости разрушения горных пород были высокая изменчивость структуры и прочностных свойств горных пород по глубине уступа, степень очистки забоя скважины, степень износа долота, режимные параметры, другие малоизученные факторы.

Анализ результатов инструментальных наблюдений за процессом бурения скважин позволил разделить процесс бурения на операции чистого бурения, вспомогательные и подготовительно-заключительные (рис 1, а). Улучшенная версия программы обработки данных также предусматривает на основе исходных натуральных данных о параметрах работы бурового станка определение для любой скважины значений режимных параметров (рис. 1, б-в). Программа позволяет провести статистический анализ полученных данных и установить первую, третью квантили, медиану, среднее значение, максимальное и минимальное значения параметров в течение бурения скважины. Программа позволяет также построить диаграмму изменения показателей трудности бурения по В.В. Ржевскому, контактной прочности и энергоемкости разрушения во времени и по глубине скважины. Анализ диаграмм позволяет наглядно установить участки мягких и более твердых пород горных пород по буримости.

#### Выводы

1. Разработана методика получения данных о параметрах работы шарошечного бурового станка и определения на их основе прочностных свойств горных пород при бурении локальных массивов, подлежащих БВР.

2. Инструментальное наблюдение за процессом шарошечного бурения скважин обеспечивает контроль, накопление, систематизацию данных о фактических режимах бурения скважин в различных по прочностным свойствам горных породах. Информация о фактических прочностных свойствах горных пород может быть полезна для актуализации соответствующих библиотек ГИС для построения моделей выемочных блоков с высокой адекватностью физическому объекту моделирования.

**Романевич К.В., Мулев С.Н.**

*Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр "ВНИМИ", г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: info@vnimi.ru*

#### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Метод регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) или метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), основан на взаимосвязи параметров электромагнитного излучения и изменении напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов горных пород различного состава. Опыт использования бесконтактных эмиссионных методов горной геофизики свидетельствует о возможностях оперативной инструментальной диагностики конструкций подземных сооружений и вмещающих массивов горных пород, в том числе в режиме мониторинга подземных сооружений, угольных и рудных шахт.

В мире известно множество приборов регистрации ЕЭМИ – их общий принцип действия заключается в измерении параметров электромагнитного поля в выбранном частотном диапазоне, которое генерируется в результате деформационных процессов в обследуемом породном массиве, в

том числе и на начальных скрытых стадиях. Наиболее современной модификацией аппаратуры ЕЭМИ на данный момент является прибор Angel-M производства АО «ВНИМИ» г. Санкт-Петербург.

Наряду с аппаратурной частью, ВНИМИ разработаны базовые методические подходы регистрации ЕЭМИ, которые дополняются и модифицируются под конкретные геотехнические задачи. Эти методики включают в себя необходимость анализа и интерпретации больших объемов данных – при использовании существующей оцифровки сигнала генерируется более  $10^6$  точек полезных данных за один стандартный отсчет в 10 секунд, а при долгосрочных обследовательских и мониторинговых работах объем получаемой информации нарастает соответственно.

Важно также учитывать особенности проведения измерений и корректно интерпретировать полученные данные для достижения нужной точности и достоверности результатов. При обработке сигналов ЕЭМИ необходимо особое внимание уделять неочевидным предвестникам возможных опасных динамических процессов и явлений на ранних стадиях их подготовки в массиве, критерии которых нужно определять, как при моделировании, так и в ходе лабораторных и натуральных экспериментов, также необходимо учитывать промышленные и природные помехи.

В данных условиях актуальным представляется применение методов машинного обучения для анализа измерений электромагнитного поля при деформировании и разрушении горных пород. Для этого необходимо решение следующих задач.

1. Создание базы данных измерений ЕЭМИ при деформировании и разрушении горных пород для последующего анализа и использования в машинном обучении.

2. Исследование зависимости электромагнитного поля от процесса деформации и разрушения горных пород с использованием компьютерного моделирования.

3. Разработка алгоритмов для автоматического определения опасных процессов в массиве горных пород на основе измерений электромагнитного поля.

На начальном этапе все сигналы в формализованном виде (например, в виде спектрограмм) вручную собираются и классифицируются в зависимости от их статуса взаимосвязи ЕЭМИ – НДС. Такие сопоставления выполняются как для сигналов, зарегистрированных в лабораторных условиях при разрушении образцов так и в натуральных условиях (см. рис.1).

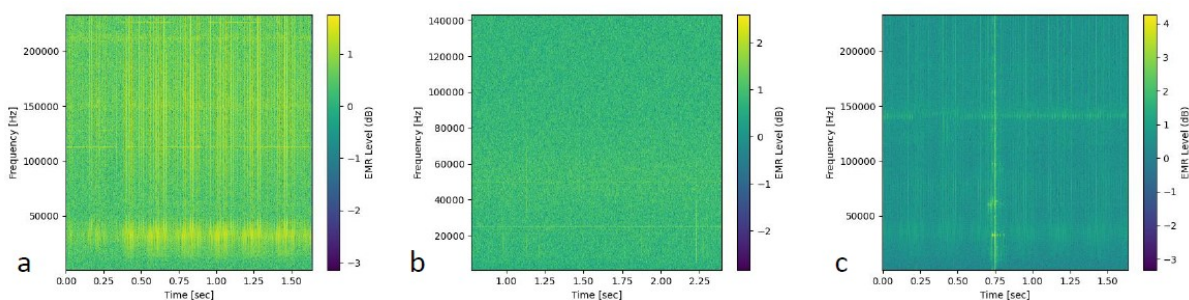


Рисунок 1 – Некоторые примеры получаемых спектрограмм ЕЭМИ при регистрации аппаратурой Angel-M: а – промышленные помехи, б – слабые сигналы деформирования пород, с – сигнал ЕЭМИ, генерируемый при разрушении горной породы

В ходе исследования взаимосвязей ЕЭМИ и НДС используются подходы, аналогичные тем, которые применяются в исследованиях, посвященных применению машинного обучения в таких областях как:

- обработка звука и речи: определение речевых звуков, распознавание речи, диагностика звуковых нарушений, мониторинг звукового окружения и т.д.

- обработка изображений: классификация изображений, диагностика дефектов на поверхности, анализ текстур и т.д.

- медицинские приложения: диагностика заболеваний на основе медицинских изображений и сигналов, мониторинг пациентов и т.д.

- работа с сенсорами: мониторинг окружающей среды, анализ данных с датчиков на производственных объектах и т.д.

А также в области анализа и классификации музыки на основе ее спектрограммы. Этот подход называется content-based music information retrieval (CB-MIR) – в нем используется анализ

звуковых характеристик музыкальных композиций, таких как мелодия, темп, ритм и другие, для извлечения полезной информации о музыке.

Электромагнитные сигналы, полученные при деформировании и разрушении горных пород, имеют более сложную и неоднозначную структуру, чем звуковые сигналы. Также для классификации опасных геодинамических процессов необходимо учитывать неоднородность строения и другие особенности исследуемых объектов.

**Рыбин В.В., Калашник А.И., Константинов К.Н., Запорожец Д.В., Старцев Ю.А., Дьяков А.Ю.**  
Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
e-mail: v.rybin@ksc.ru

## **КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ КАРЬЕРА**

Решение круга вопросов, связанных с обеспечением безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, основывается на постоянном контроле устойчивости борта карьера в целом, проблемных участков борта и отдельных уступов. При этом важное значение в общей системе мониторинга устойчивости элементов открытой системы разработки имеет контроль геомеханического состояния приконтурного массива с использованием локальных геофизических методов, который позволяет более подробно исследовать состояние уступов и групп уступов в ответственных зонах карьера и на этой основе разрабатывать мероприятия по обеспечению безопасности производства.

Одними из основных взаимообусловленных факторов, влияющих на устойчивость карьерных уступов являются, с одной стороны, размеры нарушенной зоны, зависящей как от природной, так и от техногенной трещиноватости массива пород, с другой стороны, уровень грунтовых вод, изменяющийся во времени в зависимости от сезона.

В связи с важностью совместного учёта перечисленных факторов, предложен комплексный методический подход исследования водонасыщенности и структурной нарушенности массива пород в борту глубокого карьера, заключающаяся в выполнении периодических, сезонно синхронизированных, геофизических исследований методами сейсмического профилирования и георадарного зондирования и позволяющий определять зоны повышенного водонасыщения и нарушенности прибортового массива. Методический подход позволяет оценивать влияние основных изменяющихся во времени влияющих факторов (водонасыщение, природная и техногенная нарушенность, аномалии физических свойств массива пород) на устойчивость карьерных уступов и предоставляет научно-техническую основу для разработки инженерных мероприятий по повышению безопасности открытых горных работ на больших глубинах.

**Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Шапочкин Р.А.**  
ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
e-mail: shapochkin.roman@gmail.com

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОС. ЛЕВИХА И СТАНЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

**Введение.** Поселок Левиха и Левихинское медно-колчеданное месторождение расположены в Кировградском районе Свердловской области. Месторождение открыто в 1920–30-ые гг., в 1927 г. начата эксплуатация открытым способом карьерами глубиной 60–70 м. Одновременно велись работы по закладке шахт для разработки месторождения подземным способом. С 2003 г. началась ликвидация рудника, к 2007 г. подземные выработки были затоплены, на северном фланге горного отвода сформировался техногенный водоем, куда разгружаются кислые шахтные воды.

После закрытия рудника восстановлена станция нейтрализации, где кислые шахтные воды перемешиваются с известковым молоком. После этого нейтрализованная вода попадает в пруд-осветлитель, в котором металлы и другие вредные компоненты выпадают в осадок. Вода из пруда по р. Левиха попадает в р. Тагил.



Несмотря на меры, принимаемые ГКУСО «УралМонацит» (локализация поверхностного стока, перекачка шахтных вод, обезвреживание стоков на станциях нейтрализации), р. Левиха и р. Тагил испытывают значительную техногенную нагрузку, связанную с попаданием в поверхностную гидросферу вод с повышенной минерализацией и высокими содержаниями сульфатов, ионов цинка, меди железа и т. д. При этом немаловажным обстоятельством является несоблюдение регламента работы станции нейтрализации из-за недостатка технологической воды с нейтральным рН.

Для ее работы необходимо 410 м<sup>3</sup>/сут технической воды с нейтральным рН. Из-за аварий на водопроводе работа станции нейтрализации осложняется (в некоторые годы водоканалом подавалось не более 50 % от требуемого количества воды), необходимое количество воды приходится брать из ближайшего поверхностного источника, в котором значение рН колеблется от 3,4 до 5,2 в зависимости от сезона. В связи с этим существует необходимость поиска альтернативных источников водоснабжения за счет подземных вод.

**Цель работы** – обоснование возможности изыскания источников питьевого, хозяйственно-бытового и технологического водоснабжения пос. Левиха и станции нейтрализации кислых шахтных вод за счет подземных вод.

**Методы исследований.** Для создания модели применялся продукт с открытым программным кодом QuantumGIS. Для выделения перспективных участков применен инструмент автоматического выделения водосборов, после чего полученные материалы были обработаны вручную и добавлена подложка с расположением тектонических нарушений. Далее, основываясь на данных опытно-фильтрационных работ и полученных локальных водосборов были выделены перспективные участки и точки нагрузки.

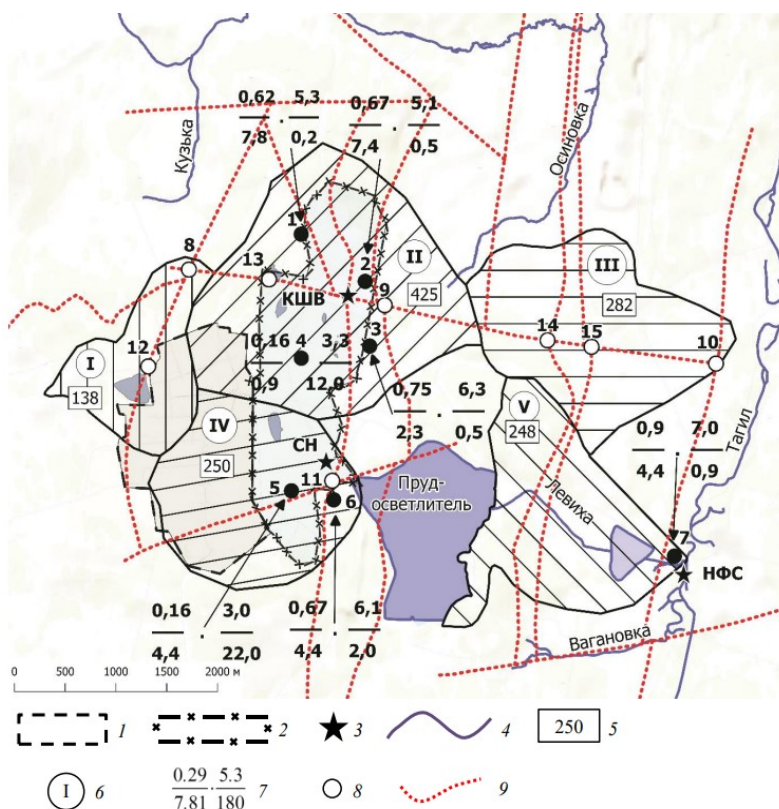


Рисунок 1. Расположение перспективных участков и точек нагрузки: 1 – пос. Левиха; 2 – граница горного отвода; 3 – объекты; 4 – реки; 5 – ресурсы перспективного участка, м<sup>3</sup>/сут; 6 – номер перспективного участка (ПУ); 7 – поисковая скважина (вверху номер; слева в числителе дебит, л/с, в знаменателе понижение, м; справа в числителе рН, в знаменателе минерализация, мг/л); 8 – проектируемая скважина и ее номер; 9 – линии тектонических нарушений

**Результаты и обсуждение.** Выделены перспективные участки, которые представляют собой частные площади водосбора потенциальных водозаборов с наиболее благоприятными для локализации подземного стока условиями. Критерием выделения перспективных участков и точек нагрузки являлось сочетание следующих факторов: благоприятные геолого-тектонические условия (наличие тектонических нарушений);

результаты опытно-фильтрационных работ (относительно высокие удельные дебиты скважин); геоморфологическое положение (приуроченность к пониженным участкам рельефа, расположение поблизости поверхностных источников пополнения подземных вод); данные гидрохимического опробования (удовлетворительный химический состав подземных вод); санитарно-гигиеническая обстановка (отсутствие потенциальных источников загрязнения на площади локального водосбора).

**Выводы.** Общие ресурсы пяти выделенных перспективных участков составляют 1340 м<sup>3</sup>/сут, в том числе для питьевых целей могут быть использованы 282 м<sup>3</sup>/сут. Наиболее рациональной представляется постановка поисково-разведочных работ и освоение перспективных участков № II (в пределах которого благоприятные геолого-тектонические условия подтверждены результатами опытно-фильтрационных работ) и № III (расположен в благоприятных санитарно-гигиенических условиях). Эти участки могут быть предложены для покрытия половины потребности поселка в воде питьевого и хозяйственно-бытового назначения (рис.1).

**Секриеру Р.А.**

*ХФИЦ ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

*e-mail: roma.sekrieru@gmail.com*

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

На сегодняшний день спутниковые снимки используются во многих проектах, таких как анализ влияния антропогенной деятельности на окружающую среду, мониторинг и оценка дикой природы, картографирование различных стихийных бедствий и т.д. В большинстве проектов обнаружение и классификация объектов вручную становится трудоёмким, особенно учитывая постоянный рост объема данных. В связи с этим актуален вопрос автоматизации процесса и исследователи активно предлагают и используют различные методы, которые включают в себя в том числе классические методы машинного обучения и современные методы глубокого обучения. Одной из областей, где актуален данный вопрос является горнопромышленная выработка.

Целью работы является классификация горнопромышленных объектов на снимках высокого разрешения. В качестве горнопромышленных объектов исследуются отвалы, появляющиеся в результате дражных работ по добыче россыпного золота.

Данная работа является актуальной, поскольку имеется необходимость выделения дражных отвалов для расчёта их площади и объема с целью определения запасов полезного компонента, содержащегося в них.

Для классификации данного объекта рассматриваются несколько методов: random forest (RF), support vector machine (SVM), artificial neural network (ANN), convolutional neural network (CNN).

Результаты классификации, полученные с помощью моделей машинного обучения, таких как RF, SVM и ANN планируется сравнить с результатом, полученным при использовании сверточной нейронной сети, т.к. дражные отвалы имеют ярко выраженные признаки на спутниковых снимках, а сверточные нейронные сети как раз учат признаки искомого объекта. В качестве сверточной нейронной сети реализованы модели U-Net и U-Net Attention.

Для использования этих моделей формируется датасет, состоящий из разных спутниковых снимков, на которых присутствуют дражные отвалы. Для сегментации с помощью сверточной нейронной сети создаются маски искомого объекта. Данная задача является сложной, т.к. маска должна быть как можно более точной, соответственно нужен специалист, который способен распознать границы этого объекта. Данные взяты со спутников Landsat 8-9 и Sentinel-2, т.к. к снимкам имеется бесплатный доступ. Также, они имеют разное пространственное разрешение и интересна разница в точности классификации при возрастающем разрешении снимка. Предполагается, что более простые модели (RF, SVM, ANN) лучше распознают объект на снимке более низкого качества и хуже на снимке высокого качества, т.к. появляется больше деталей. Сверточная нейронная сеть же наоборот лучше распознает объект на снимках Sentinel-2, т.к. сам объект имеет лучшее разрешение, соответственно и признаки более выражены.

На данном этапе рассматриваются только двумерные снимки, т.е. при достаточно большом и репрезентативном датасете возможно с определённой точностью рассчитать площадь объекта на разных снимках и выделить его контуры. В дальнейшем, определив границы дражных разработок планируется рассчитывать объем полученной области, чтобы определить содержание запасов полезного компонента.

**Семенов Я.Г.**  
НИТУ МИСИС, г. Москва, Россия  
e-mail: y@48.org

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ РУД ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ КАТКОВ ОПРОКИДЫВАТЕЛЯ**

При добыче руд подземным способом часто применяется камерно-столбовая система разработки с доставкой руды вагонетками к пункту перегрузки. Одним из проблемных мест пункта перегрузки является организация опрокида. На многих шахтах используются опрокидыватели для вагонеток с рудой или породой. Одной из важных задач для современных предприятий является продление сроков их эксплуатации, что особенно актуально для шахт добывающих руды с твердостью по Моосу от 6 и более (бокситы, титановые, вольфрамовые руды), поскольку в таких условиях литые катки рудного опрокидывателя приходят в негодность в среднем раз в 6 месяцев, породного – раз в 24-30 месяцев. Причиной различия в сроках эксплуатации является разница в твердости вмещающих пород и руды.

**Целью** настоящего проекта является разработка автоматизированной системы очистки катков опрокидывателя, позволяющей:

- увеличить срок эксплуатации катков опрокидывателя;
- обеспечить точный контроль работы опрокидывателя;
- сократить времени разгрузки руды из вагонеток;
- сократить расход воздуха из магистрального воздуховода;
- повысить безопасность труда оператора опрокидывателя;
- исключить присутствие человека в опасных (запыленных) местах.

**Предлагаемое решение заключается в:**

- физическом моделировании воздушного потока, очищающего каток опрокидывателя;
- обосновании и расчете путем численного моделирования насадка для очистителя;
- создании прототипа насадка с использованием аддитивных технологий;
- создании конструкции системы автоматической очистки катков опрокидывателя;
- создании информационно-аналитической подсистемы, авторизующей пользователя и регистрирующей рабочие характеристики;
- анализе экономической эффективности системы.

**Ожидаемый результат:** снижение расходов на проведение технологических операций (воздуха из магистральной пневмосети на 95%, экономической нагрузки на 66%); полное исключение операции ручной очистки опрокидывателя. Прогнозируемый экономический эффект от установки автоматической системы очистки катков опрокидывателя многократно превышает расходы на ее производство.

**Семенова И.Э., Аветисян И.М.**  
Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
e-mail: i.semenova@ksc.ru; i.avetisyan@ksc.ru

## **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА КАРЬЕРА В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННОМ МАССИВЕ**

При проектировании нового контура карьера с увеличенной глубиной необходимо выполнять геомеханическое обоснование параметров карьерной выемки и ее конструктивных элементов. Одним из методов, который позволяет проводить расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород, определять закономерности перераспределения напряжений в массиве горных пород при изменении геометрии очистной выемки, выявить потенциально опасные участки с учетом основных геомеханических, геологических и горнотехнических факторов является геомеханическое трехмерное численное моделирование с использованием метода конечных элементов. Расчеты НДС выполнены с использованием программного комплекса SigmaGT, разработанного в Горном институте КНЦ РАН.

При генерации численной модели массива в окрестности одного из карьеров Хибинской апатитовой дуги руководствовались многолетними накопленными знаниями об НДС массива. С

использованием разработанной ранее модели Хибинского массива получены исходные данные НДС в окрестности всей апатитовой дуги, в том числе по участку, на котором расположен карьер. Граничные условия задавались в виде узловых перемещений при «вырезании» из мелкомасштабной модели участка, на котором проводили детальное моделирование НДС в окрестности карьера. Модель сформирована с возможностью учета нескольких породных разностей с усредненными характеристиками: вмещающие породы, рудные тела, морена, выветрелые породы. С использованием разработанной модели проведена серия расчетов НДС массива в окрестности карьера. Просчитан ряд вариантов с последовательным учетом различных типов пород и различных конфигураций борта карьера.

В целом, диапазон действующих напряжений близок к параметрам близлежащих месторождений. Максимальная компонента главных напряжений – сжимающая с общим фоном от 10 до 50 МПа (увеличивается с глубиной) и генеральным направлением, близким к простиранию рудной залежи. Более высокие значения во вмещающем массиве характерны для восточной и южной части месторождения, что связано с особенностями рельефа и радиальными разломами Хибинского массива. Соотношение промежуточной компоненты к максимальной в среднем составляет  $0.5 \div 0.7$ . Минимальная компонента соответствует собственному весу пород.

Поле напряжений в окрестности фактической карьерной выемки имеет следующие особенности. Зоны концентрации напряжений  $\sigma_{\max}$  слабо выражены, приурочены в основном к дну карьера, где на локальных участках достигают 50 МПа. В борту карьерной выемки значения  $\sigma_{\max}$  от 10 МПа в нагорных частях у дневной поверхности и постепенно увеличиваются до 40 МПа. Включение в модель моренных отложений и выветрелых пород приводит к заметному снижению сжимающих напряжений в приповерхностных зонах. По минимальной компоненте  $\sigma_{\min}$  имеют место зоны растягивающих напряжений со значениями, не превышающими по абсолютной величине 3 МПа, то есть не превышающие  $0.5 \sigma_p$  – половины предела прочности пород на растяжение. При этом следует отметить, что такие участки в уступах борта формируются по всему его протяжению, в условиях снижения прочности пород, в том числе обводненности, могут приводить к формированию трещин отрыва и способствовать локальным обрушениям.

При имитации проектного положения карьерной выемки существенно повышается уровень сжимающих напряжений  $\sigma_{\max}$ . Под дном карьера величины  $\sigma_{\max}$  достигают 70 МПа, что может приводить к разрушению пород в динамической форме. В моренных отложениях и выветрелых породах уровень сжатия остается практически неизменным по сравнению с состоянием при фактической геометрии карьера. Зоны растягивающих напряжений по минимальной компоненте несколько уменьшаются по площади, особенно на глубоких участках борта. Если рассматривать более детально борт со стороны висячего бока, то можно сделать вывод о некотором повышении устойчивости при моделировании проектных вариантов карьерной выемки, что объясняется высоким уровнем сжатия при углублении карьера и более округлой формой борта.

При анализе площадок  $\sigma_{\min}$  выявлено, что их направление близко к углу наклона борта. Данный факт может негативно сказаться на устойчивости отдельных уступов в случае наличия разломных структур и ослабленных зон, совпадающих по направлению с такими площадками.

Таким образом, результаты расчетов НДС массива пород в окрестности карьера показали, что в целом проектный борт карьера будет устойчив. При этом возможно формирование трещин отрыва и локальных разрушений на участках борта при условии снижения прочности пород, в том числе на обводненных участках.

**Семенова И.Э.<sup>1</sup>, Временков С.В.<sup>2</sup>, Розанов И.Ю.<sup>1</sup>, Кулькова М.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия  
e-mail: i.semenova@ksc.ru, i.rozanov@ksc.ru, m.kulkova@ksc.ru

<sup>2</sup> АО «Кольская ГМК», г. Заполярный, Россия  
e-mail: vremenkovsv@kolagmk.ru

## **КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРУШЕНИЯ ПОДРАБОТАННОЙ ТОЛЩИ ПОРОД ЖДАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

При ведении подземных горных работ системами с обрушением руды и вмещающих пород безусловно актуальны вопросы оценки, прогноза и управления процессами деформации покрывающих пород. Одним из месторождений, где на протяжении многих лет при разработке

большой части подземных запасов используется данный тип системы, является Ждановское месторождение медно-никелевых руд. Месторождение расположено в Мурманской области и входит в ресурсную базу ПАО «ГМК Норникель». Запасы месторождения до глубины порядка 400м отработаны карьером, а в настоящее время отработка ведется подземным способом системой с поэтажным обрушением и торцевым выпуском руды.

В 2022 году начаты работы по комплексному исследованию процессов обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения, включающему натурные и численные методы. В качестве натурального метода выбран метод наземного лазерного сканирования, который позволяет создать цифровую модель объекта исследования, представив его набором от сотен тысяч до нескольких миллионов точек, имеющих пространственные координаты. Такая модель является основой для определения шага обрушения подработанных пород, углов сдвига, возможных плоскостей разрыва и объемов потенциального обрушения.

Полученная модель рельефа вносится в программное обеспечение для построения или уточнения численной геомеханической модели месторождения на каждом этапе проведения натурных исследований. В данной работе применялся программный комплекс Sigma GT, в котором объемное напряженно-деформированное состояние массива моделируется с применением метода конечных элементов.

На основе данных лазерного сканирования и интерпретации результатов численного геомеханического моделирования определен вероятный угол формирования обрушения подработанной толщи пород для условий Ждановского месторождения медно-никелевых руд. Планируется продолжение исследований по результатам ежегодной съемки зоны обрушения.

**Сидорук М.Р.**

*Отдел горной науки АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия*

*e-mail: Sidoruk\_MR@umbr.ru*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ В СОВРЕМЕННОМ ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ**

Современные программные комплексы предоставляют возможность создания динамических и детализированных 3D-моделей горнопромышленных предприятий, на основании которых исследуются множество различных сценариев развития подземных горных работ. Это позволяет выбрать оптимальный вариант отработки месторождения с самыми высокими экономическими показателями.

В рамках проектирования для существующего рудника в программном комплексе Deswik была выполнена динамическая 3D-модель развития подземных горных работ проектируемого участка, отработка которого ведется совместно с действующими проектами. 3D-модель создавалась с помощью четырех основных модулей: Deswik.SO (Stope Optimizer), Deswik.CAD, Deswik.IS (Interactive Scheduler), Deswik.SCHED (Scheduler).

Модуль Deswik.SO предоставляет проектные каркасы, пригодные для стратегического планирования в том числе сложных по строению месторождений. Для установки бортового содержания можно использовать поля блочной модели, либо рассчитать по параметрам: содержание, извлечение, цена, себестоимость переработки и другим. Изменением допустимого содержания породы в блоке можно управлять потерями полезного ископаемого. С помощью модуля Deswik.SO создаются каркасы очистных пространств, которые затем используются для быстрого анализа, оценки результатов различных сценариев и дальнейшего планирования.

Модуль Deswik.CAD, современная графическая среда с высочайшей производительностью, предназначенная для 3D проектирования и редактирования подземным горных выработок, а также для обработки больших наборов данных. Создание и нарезка каркасов и выполнение логических операций с ними. С помощью данного модуля осуществляется построение подземных выработок различного назначения, что позволяет оперативно вести подсчет объема проходки по руде и породе.

С помощью интерактивного планировщика Deswik.IS объекты интегрируются из трехмерной среды Deswik.CAD в табличную среду с планированием и диаграммами Ганта в планировщик Deswik.SCHED. Наглядная визуализация календарного плана с динамическим двусторонним обновлением информации.

В модуле Deswik.SCHED (планировщик) создаются планы на основе как продолжительности, так и производительности отдельных задач (проходка выработок, бурение, очистная выемка, отгрузка, закладка выработанного пространства), что позволяет работать с огромными массивами данных, необходимыми для современных процессов планирования. Программа интегрирует производственные, вспомогательные и управленческие задачи. Платформа позволяет планировать загрузку ресурсов (количество задействованного технологического оборудования), задавая приоритеты и ограничения, отражающие реальные условия горных работ.

Вслед за завершением 3D-модели на руднике после осмотра состояния скиповых стволов было принято решение о необходимости их ремонта, что потребует снижения производительности рудника в период реконструкции.

Снижение производительности рудника в свою очередь может привести к ухудшению экономических показателей, вплоть до отрицательного значения NPV.

Для поиска решения данной проблемы были созданы четыре сценария по оптимизации горных работ, перераспределению объемов породы от строительства подземных горных выработок и выдачи её на поверхность при снижении производительности подъемных установок в период реконструкции скиповых стволов:

- Сценарий №1 – замедление темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции ствола СС-1 с минимальным объемом выдачи пород от проходки капитальных выработок.

- Сценарий №2 – сохранение темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции ствола СС-1 с максимальным объемом выдачи пород от проходки капитальных выработок, с минимальной добычей руды по действующим проектам.

- Сценарий №3 – замедление темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции стволов СС-1 и СС-2 с опережающей стройкой первоочередных капитальных выработок, необходимых для начала добычных работ.

- Сценарий №4 – замедление темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции стволов СС-1 и СС-2 с опережающей стройкой первоочередных капитальных выработок, необходимых для начала добычных работ. Сокращение срока реконструкции ствола СС-2.

Расчет экономической эффективности по 4 сценариям был произведен на срок 18 лет. В расчетах эксплуатационных затрат учитывался только передел добычи руды. Расчет товарной продукции по календарным графикам добычи произведен до металлов. В потоках денежных средств стоимость товарной продукции приведена к стоимости руды за вычетом затрат на обогащение и металлургический передел. Стоимость товарной продукции рассчитывалась на уровне металлов с учетом цен и курса доллара, представленных в финансово-экономической модели рудника. Капитальные затраты на строительство и реконструкцию подземного рудника рассчитаны в ценах 2022 года и на основании принятых технических решений. Капитальные затраты определены на основании сводных сметных расчетов. Капитальные затраты на реконструкцию и строительство подземного рудника по сценариям отличаются на объемы ГКР. Эксплуатационные затраты на добычу руды подземным способом определены по годам расчетного периода, с учетом календарей добычи по сценариям и действующих калькуляций на добычу руды, ГПР и закладочного комплекса по сценариям развития рудника. Расчет эксплуатационных затрат на отработку запасов месторождения по вариантам развития произведен на основе раздельного учета затрат на горно-подготовительные и добычные работы.

Сравнение вариантов сценариев развития рудника производилось на основании NPV.

Затем был разработан сценарий №5, в котором были исправлены ошибки планирования и учтены все технологические решения сценариев, оказывающие положительный эффект на результаты моделирования рудника. Экономическая оценка сценария №5 показала, что отработка запасов по этому варианту имеет умеренную экономическую эффективность.

Итог работы: Применение современного программного комплекса для создания детализированной 3D-модели и динамического календарного плана предоставляет возможность интерактивно вносить изменения и анализировать полученные варианты развития подземных горных работ для результативной оценки экономической эффективности.

**Соколов И.В., Корнилков С.В., Панжин А.А.**

*ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

*e-mail: sokolov@igduran.ru; kornilkov@igduran.ru ; panzhin@igduran.ru*

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

При обосновании структуры комплексного геоинформационного мониторинга и разработке методов информационно-аналитического обеспечения сопровождения процессов горного производства основной целью исследований ставится создание подходов к системной оценке данных мониторинга развития опасных процессов, основанных на решении следующих частных задач: модернизации структуры и состава математического и программного обеспечения геоинформационной системы; разработке методов интерпретации данных горного, геомеханического, экологического и гидрогеохимического мониторинга и прогноза состояния среды на основе численного моделирования; обосновании критериев оценки состояния горнопромышленных территорий как природно-технологических систем на разных этапах их жизненного цикла; формировании системы индикаторов оценки изменения горно-технологических условий разработки на основании мониторинга динамики горных работ.

Разработаны основные положения методики численного моделирования геосистем как основы оценки негативного влияния горных работ. Определен состав основных геоинформационных моделей мониторинга при ликвидации техногенно-минеральных образований. Сформирована структура математического обеспечения мониторинга горно-геологических объектов, учитывающая развитие его этапов и системно связывающая поставленные цели и задачи, состав геоданных, тип используемых моделей, а также программные средств их компьютерной реализации. Даны определения и установлена взаимосвязь признаков геосистем горного предприятия и критериев качества их геоинформационного отображения. Показано, что интерпретация данных мониторинга по принципам учета их причинно-следственных связей методом функционально-факторной регрессии приводит в соответствие его информативное состояние поставленным задачам понимания, объяснения и прогнозирования свойств горно-геологических объектов, а также происходящих технологических и геодинамических процессов.

Установлено, что необходимым условием функционирования геоинформационных систем как информационного базиса для мониторинга горных работ и рудоподготовительных комплексов во времени отработки является использование современных инноваций (применение БПЛА, GPS-ГЛОНАСС навигация и диспетчеризация грузопотоков, организация автоматизированных комплексов контроля рудопотоков, складов и рудных перегрузочных пунктов и др.).

Показано, что обработку данных мониторинга рекомендуется осуществлять в нескольких типовых вариантах: прямая задача расчета зон техногенного воздействия; обратная задача нахождения областей, адаптированных под заданные ограничения; генерирование сценария возникновения природно-техногенных катастроф и аварий с развитием опасных ситуаций во времени, а также предупреждения и ликвидации их последствий; задача-обобщение, формирующая прогноз и тенденции развития того или иного процесса или явления.

Обоснован критерий оценки изменений природно-технологической системы при недропользовании, представляющий собой комплексный безразмерный аддитивный показатель, учитывающий сумму трансформированных факторов при переходе от исходного к фактическому (прогнозируемому) положению с учетом весовой доли каждого из них. Разработанный алгоритм оценки изменения целесообразно использовать при создании программного обеспечения цифровых двойников, представляющих собой имитационные модели основных горно-технологических процессов (бурение скважин, разрушение скального горного массива, экскавация, управление качеством добываемого сырья).

Проблема обоснования необходимого состава и структуры математического обеспечения мониторинга представляется особенно важной в условия современного развития новых цифровых информационно-компьютерных технологий. В этом же направлении исследовались критерии качества геоинформационного отображения признаков геосистем горного предприятия, что привело к формированию новых принципов регрессионной интерпретации данных мониторинга.

В связи с этим поставлены и решены задачи определения структуры математического обеспечения мониторинга, включая системную связь его целей и задач, видов геоданных и описывающих их моделей, этапов математического обеспечения, взаимосвязь признаков геосистем

горного предприятия и критериев качества их геоинформационного отображения, а также принципов регрессионной интерпретации данных мониторинга.

Технологическое обоснование закономерностей зарождения опасных производственных ситуаций позволило выделить условия и закономерности возникновения ОПС, которые включают: факторы, влияющие на безопасность работ: природные, технологические, организационные; условия, обуславливающие появление ОПС: повторяемость работ или объектов, отсутствие резерва, экономические соображения. Выявлены основные предпосылки, ранние признаки и проявления (индикаторы) наиболее распространенных опасных производственных ситуаций, базирующиеся на данных технологического и геоинформационного мониторинга процессов, обеспечивающих снижение производственного риска.

Базовой при решении задач системной оценки совокупного техногенного влияния объектов горнодобывающих предприятий предлагается полагать методику геоинформационного анализа территории ведения горных работ, основанную на выделении областей (зон) по типам «техногенного поражения», обеспечивающую ситуационную оценку георесурсов и геосистем.

**Солуянов Н.О.**

ООО «Норникель Технические Сервисы», г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: nikita.soluiyanov@gmail.com

### **3К-МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ КАРЬЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DIGGER SLOPE**

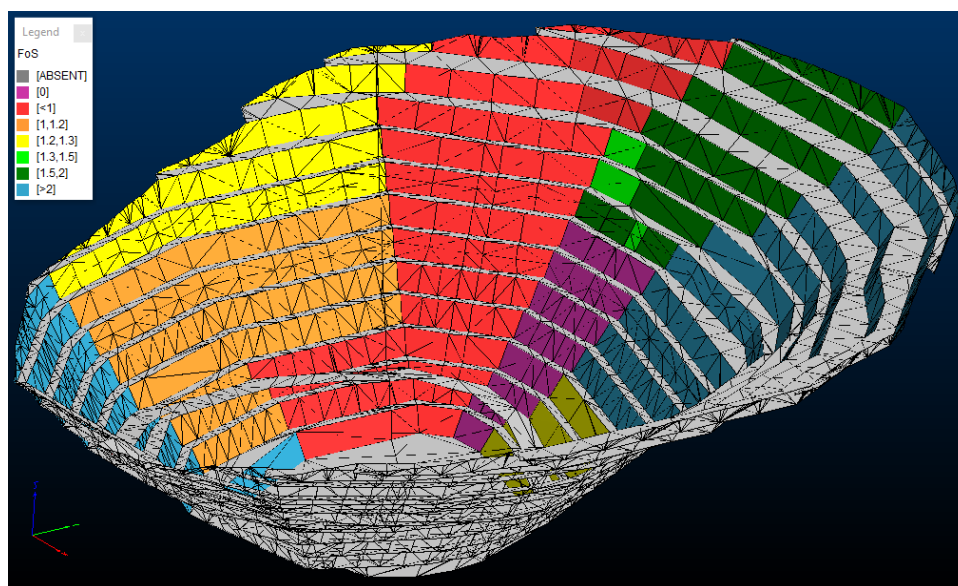
Программный комплекс Digger Slope предназначен для анализа устойчивости и оптимизации бортов карьера позволяющий оценить фактические риски и минимизировать технологические затраты при обработке месторождения.

Осуществляет импортозамещение и модернизацию целого ряда программ:

- RocPlane, SWedge, RocToppo (Rocscience);
- SBlock (Gabriel S Esterhuizen);
- CAT (ITASCA).

Все расчёты в программе выполняются в строгом соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» 2020 г.

Программа сертифицирована в РОССТАНДАРТе.



Реализованный в программе математический аппарат комплексного кинематического анализа устойчивости откосов позволяет выполнить построение Кинематической Карты Карьера (3К), включающей в себя результаты расчёта:



- Рекомендованная конфигурация откоса:
  - угол откоса,
  - ширина бермы;
- Оценка устойчивости откоса:
  - коэффициент запаса устойчивости,
  - вероятность обрушения,
  - уровень риска;
- Прогнозный объём обрушений.

Также в программном комплексе реализовано проведение обратных расчётов, которые позволяют извлечь практически ценную геомеханическую информацию из фактов происшедших вывалов – данные о сцеплении и угле внутреннего трения по поверхностям ослабления породного массива.

Кинематическая Карта Карьера (ЗК) представима в виде 3D-каркаса карьера или таблицы по секторам ориентации откосов, содержащих результаты расчёта устойчивости откосов карьера.

Данный инновационный подход позволяет проанализировать общую картину устойчивости откосов карьера в имеющихся горно-геологических и гидрогеологических условиях месторождения с возможностью учёта сейсмических нагрузок и выполнить оптимизацию бортов карьера.

**Соннов М.А.**

*ООО ФИДЕСИС, г. Москва, Россия*

*e-mail: maksimsonnov@gmail.com*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ И ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

В основу отечественного программного обеспечения САЕ Fidesys были положены результаты серьёзных фундаментальных исследований и потенциала научных школ МГУ имени М.В. Ломоносова, на которых базируется команда ФИДЕСИС. Российское программное обеспечение САЕ Fidesys уже более 10 лет успешно используется для решения инженерных задач геомеханики, геотехники и сейсмики а также расчёта прочностных свойств конструкций и материалов на предприятиях горнодобывающей промышленности.

В настоящей работе мы рассмотрим решение задач устойчивости подземных горных выработок и устойчивости бортов карьеров в линейной и нелинейной постановке по модели Друкера-Прагера. Также рассмотрим использование метода спектральных элементов для решения задач геомеханики и геотехники.

**Терешкин А.А.<sup>1</sup>, Рассказов И.Ю.<sup>2</sup>, Аникин П.А.<sup>1</sup>, Мизунов Д.С.<sup>1</sup>, Рассказов М. И.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Институт горного дела – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН (ИГД ДВО РАН)*

*e-mail: andrey.tereshkin@bk.ru*

*<sup>2</sup> Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН)*

*e-mail: adm@igd.khv.ru*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ УДАРООПАСНОСТИ**

Акусто-эмиссионный (АЭ) метод мониторинга горных выработок является перспективным геофизическим методом, которому в последние годы уделяется большое внимание.

Данный метод обладает рядом преимуществ среди которых:

- оперативность оценки геодинамической обстановки;
- возможность разработки и дополнения комплексного критерия на базе основных параметров импульсов АЭ;
- локализация очагов повышенного горного давления;
- возможность достоверной оценки в условиях наличия технологических помех и т.д.

Локальный инструментальный АЭ метод является частью комплексного геодинамического мониторинга и может выступать как дополнением к имеющимся стационарным системам контроля, так и самостоятельным методом.

Накопленный более 10 лет опыт разработки и эксплуатации технических и методических инструментальных средств локального контроля позволил реализовать макет новой версии прибора «Prognoz-L2». За время эксплуатации предыдущей версии прибора возникли новые решения, направленные на расширение технических возможностей для повышения его потенциала.

Для надежной оценки состояния выработок, а так же практичности эксплуатации оператором различной степени квалификации, в новой версии прибора реализовано: измерение текущего уровня шумов; динамические пороги обнаружения сигнала при измерении АЭ; визуализация результатов и процесса измерения; просмотр сигналограмм и параметров сигналов в режиме реального времени; статистические параметры принятых сигналов АЭ; настройки фильтров в ручном и автоматическом режиме; оперативное изменение и дополнение критериев оценки удароопасности; учетные записи пользователей; возможность воспроизводить записи и просматривать результаты из истории измерений; передача звука по Bluetooth; выгрузка данных на сторонние устройства через Wi-Fi и т.д. Всего разработано более 80 новых рабочих видовых экранов и всплывающих оконных сообщений. Модернизированная версия прибора «Prognoz-L2» основана на современной и перспективной компонентной базе. Структурно прибор состоит из платы управления собственной разработки, блока беспроводной (Qi) зарядки и организации питания с встроенным активным барьером искробезопасной цепи, платы микрокомпьютера Raspberry Pi Zero W, IPS экрана и Li-ро аккумулятора батареи.

Прибор используется совместно с пьезокерамическими вибропреобразователями серии AP2099-1000 которые разработаны специально для приборов серии «Prognoz-L2» и отличаются высокой чувствительностью, низким уровнем собственных шумов, надежностью, равномерностью АЧХ в диапазоне 1-16 кГц.

Корпус прибора разработан и изготовлен из VG280 (полиуретан) с повышенной стойкостью к механическим и температурным воздействиям. Для механической защиты конструктив корпуса содержит элементы в составе эластичного материала VytaFlex60. Корпус имеет степень защиты IP 65. В приборе применяется плёночная клавиатура, которая позволяет использовать прибор в рудничных условиях, в том числе в выработках с повышенной запыленностью и влажностью. Клавиатура устойчива к механическим воздействиям, герметична, устойчива к нефтепродуктам. Клавиши клавиатуры выполнены по мембранной технологии.

Для индикации данных и процесса измерения используется цветной IPS дисплей разрешением 800×480 пикселей и диагональю 4 дюйма. В процессе измерения, а так же по окончании замера на дисплей прибора выводится оперативная информация и результаты в текстовом и графическом виде. Наиболее важной и приоритетной задачей являлась реализация новых алгоритмов в программной оболочке под управлением открытой операционной системы Linux (UNIX).

На программном уровне разработаны алгоритмы надежного выделения импульсов естественной акустической эмиссии в условиях техногенного шума, которые реализованы фильтрами четырех типов конфигурации:

- фильтр верхних частот (ФВЧ), позволяет отсеивать импульсы сгенерированные в результате работы тяжелой техники, транспортного, бурового, а так же погрузочного оборудования.

- фильтр низких частот (ФНЧ), позволяет отсеивать импульсы как техногенного, так и природного характера, такие как капеж воды (в том числе импульсы сформированные при порывах линий коммуникаций находящиеся под давлением, так же работу вентиляционного и прочего оборудования генерирующего высокочастотные импульсы.

- полосовой фильтр (ПФ) позволяет параллельно применять ФНЧ и ФВЧ с заданными значениями.

- полосно-заграждающий (режекторный), позволяет производить фильтрацию шумовых импульсов с определенным значением параметра частоты, действующих в диапазоне регистрации естественной акустической эмиссии. К ним относятся импульсы механического происхождения при работе конвейерного, насосного, компрессорного и т.д. оборудования.

Специфика использования прибора предполагает нахождение оператора в удароопасном месте продолжительное время (в участке проявления горного давления). Для безопасности в приборе реализовано дистанционное прослушивание аудиопотока оператором по беспроводному интерфейсу Bluetooth, а так же управление и обмен данных прибора с внешними устройствами (гарнитура,

ноутбук, планшет, ПК) по интерфейсу Wi-Fi. Это позволяет получать результат и управлять прибором в процессе измерения на расстоянии до 20 м. Информация о результатах измерений, а также история работы прибора сохраняется на встроенной карте памяти формата microSD объёмом до 128 Гбайт. Память прибора без выгрузки может вместить до 3000 измерений длительностью по 5 мин.

«Prognoz L2» прошел промышленные испытания в условиях подземного рудника, на него получен патент нового средства измерения, а также сертификат соответствия рудничному исполнению (РН1 – рудничное нормальное).

Модернизация прибора локального контроля позволяет реализовать более совершенные алгоритмы измерения параметров акустических событий, повысить достоверность их интерпретации и анализа, учитывать сложные технологические условия мониторинга, а так же оперативно реализовывать дополнительные критерии оценки удароопасности.

**Ткач С.М.<sup>1</sup>, Гаврилов В.Л.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского ФИЦ ЯНЦ СО РАН, г. Якутск, Россия*  
e-mail: tkach@igds.ysn.ru

<sup>2</sup> *Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия*  
e-mail: gvlugorsk@mail.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПО СТРУКТУРЕ И КАЧЕСТВУ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЯ В ИЗМЕНЧИВОЙ ГЕОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

На основных сегментах внешнего и внутреннего рынков существует высокая конкуренция между различными энергоносителями, видами и сортами твердого топлива. Тенденция расширения экспорта угля в страны азиатско-тихоокеанского региона и Индию при снижающемся внутреннем спросе определяет целесообразность перемещения центра тяжести отрасли в восточные регионы страны с более сложными природными и горно-геологическими условиями освоения месторождений. В сумме это способствует постоянному повышению внимания к обеспечению того уровня качества извлекаемого из недр и поставляемого потребителям угля, который бы соответствовал современным технологическим и экологическим требованиям.

Основой существования горнодобывающих предприятий является их минерально-сырьевая база. Она часто характеризуется высокой природной изменчивостью геологических, горнотехнических и квалитетических свойств горного массива и полезных ископаемых. В полной мере это относится к осваиваемым или планируемым к разработке угольным залежам, характеризующимся свитовым залеганием пластов, основные запасы которых представлены ценными марками сырья.

Рассмотрим ряд полученных с участием авторов результатов, базирующихся на сформированных, используемых и развиваемых модельных представлениях о месторождениях коксующегося и энергетического угля Южно-Якутского бассейна для решения ряда актуальных научных и практических задач.

Масштабное освоение запасов в регионе началось в 80-е годы прошлого столетия с отработки пласта «Мощный» Нерюнгринского брахисинклинального месторождения, представленного тремя пачками угля, имеющего различные потребительские свойства по вертикали и горизонтали. С применением базы данных, сформированной на основе первичных и обобщенных материалов многоэтапной геологической разведки, методов матстатистики и геостатистики, разработанного и объединенного в вычислительную систему пакета программ были: построены карты гипсометрия почвы и кровли пласта; изучен характер распределения показателей качества в отдельных блоках в контурах первых лет отработки месторождения; проведено их картирование в не окисленной, переходной и окисленной зонах; рассчитаны объёмы угля с разным качественным составом. Сопоставление полученных результатов с данными эксплуатационной разведки, опережающего и забойного опробования, входного контроля на обогатительной фабрике показало удовлетворительную сходимость. Это позволило использовать их при разработке методики позабойного нормирования потерь и разубоживания добываемого угля при валовой выемке, обосновании целесообразности применения комплексного подхода к управлению качеством угля в цепочках «разрез – обогатительная фабрика – потребитель».

Работы по моделированию, свернутые при переходе страны от одной экономической модели к другой, были возобновлены в начале 2000-х годов. Акцент был сделан на изучение крупного Эльгинского месторождения с запасами более 2 млрд. т, основная часть которых представлена коксующимися углями ценных и дефицитных марок и пригодна для открытой разработки. Особенности залежи явились: более высокая по сравнению с предыдущим объектом изменчивость мощностей свиты рабочих пластов и основных технологических показателей качества полезного ископаемого; значительное число породных прослоев; трудная и очень трудная обогатимость; сложные границы многолетнемерзлых пород, линий расщепления отдельных пачек пластов, зон окисленных и неокисленных углей.

Информационно-аналитической основой при проведении исследований также стали сформированные и зарегистрированные в Роспатенте базы данных по интервальному геологическому опробованию и вскрышным породам рассматриваемого месторождения. Значительный объем данных и необходимость максимального учёта подобных особенностей при решении задач, связанных с повышением эффективности освоения объекта, предопределили широкое использование различных инструментов и методов компьютерного моделирования, включая применение информационных систем «Майнфрейм», «Микромайн», ArcGIS. Результатом дополнительного изучения запасов явились новые сведения о характере и закономерностях изменения геометрических параметров пластов, распределения в пространстве ряда потребительских свойств угля. В частности, на основе дифференциации минеральных примесей в эльгинском угле, учитывающей: природное и технологическое разубоживание; особенности углеобразования; структуру и формы нахождения неорганического вещества в угле; расширенное понимание механизма изменения его качества при переходе от запасов к формируемым при добыче и обогащении угля потокам, – разработана методика оценки зольности угля по пяти её составляющим с построением специальных карт. Определены участки с забалансовыми мощностями в балансовых пластах и балансовые по мощности участки в забалансовых. Выполнена кластеризация запасов по спекаемости с выделением зон с окисленными углями.

Указанные и не отмеченные новые знания о количественных и качественных характеристиках запасов месторождения послужили основой для разработки способов и рекомендаций, повышающих уровень использования добываемого и поставляемого на конкурентные рынки топлива. В их числе: добыча из пластов малой мощности или некондиционных по зольности углепородных прослоев; предварительная подготовка труднообогатимых углей к переработке с использованием природно-климатических особенностей районов ведения горных работ; отработка пластов и участков с устойчивыми различиями по структуре и зольности с делением на подступы с высотой, совпадающей с условными границами этих зон; формирование самостоятельных угольных потоков разной зольности и обогатимости; учёт вместе с потенциалом снижения зольности за счет отдельного извлечения породных прослоев потенциала, связанного со структурой, распределением в 3D пространстве и суммарными мощностями всех породных прослоев в пластах; использование оцененных общих технологических и организационных возможностей цепочек поставок угля и их логистических звеньев для целей управления его качественными и количественными потерями.

Представленные методические подходы планируется использовать для условий других месторождений угля Южной Якутии, включая Сыллахское, находящееся на начальном этапе освоения. Ведется работа по дифференциации осваиваемых месторождений по уровню их геотехнологической, квалитетической, экологической, инвестиционной и социально-экономической значимости и совершенствованию методик построения адаптивных к внешним изменениям геотехнологических и геоэкономических моделей запасов с учетом влияния природной и техногенной анизотропии свойств угля и пород сложноструктурных месторождений региона.

***Работа выполнена в рамках проектов № 0297-2021-0020, ЕГИСУ НИОКТР №122011800086-1 и №121051900145-1.***

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД**

Речной бассейн в условиях региона с развитой промышленностью выступает как источник воды для технических и питьевых нужд, так и как приемник отходов производств. Для контроля воздействия от последних разработан и законодательно утвержден ряд мероприятий, который проявляется в виде регулярного отбора проб из водного объекта, их анализа и формирования отчетов об использовании и уровне загрязнения (отчетность, установленная законодательством РФ). Такой подход к мониторингу качества вод имеет ряд недостатков, связанных с низкой оперативностью и фрагментарностью на уровне целого водного объекта. Альтернативным решением является размещение множества измерительных устройств (датчиков) по течению реки и в местах разрешенных сбросов сточных вод. При этом каждое из них должен обеспечивать сбор и передачу данных. Таким образом, можно обеспечить регламентированный сбор актуальной информации оперативного реагирования на превышение уровня загрязнений. Ретроспективный анализ данных позволит восстановить картину чрезвычайного происшествия, выявить его источники. С технической точки зрения все получаемые таким способом данные представляют собой множество временных рядов с привязкой к определенному пространственному объекту. При этом становится задача разработки средства отображения информации, которое обеспечит просмотр множества измерений, их фильтрацию по объектам, временному диапазону, показателю и т.д., позволит визуально сопоставлять текущие значения с допустимыми.

Исходя из озвученных выше требований система разбивается на ряд слабосвязанных компонентов. За сбор данных отвечает сервер сбора данных, который преобразует их для последующего хранения в системе и связывается с другими компонентами. Подсистема хранения реализована на базе СУБД PostgreSQL с пространственным расширением PostGIS. Вторым выступает сервер отображения данных реализующий протокол OGC Sensor Observation Service (SOS) для просмотра табличных данных, экспорта и просмотра данных на картах с возможностью выбора временных интервалов. Последним элементом является веб-интерфейс для управления метаданными и навигации по хранилищу.

Разработанное программное обеспечение имеет несколько страниц для отображения необходимой пользователю информации, с понятным и логичным для пользователя расположением элементов. Первая страница приложения представляет результаты мониторинга в виде графиков изменения показателей во времени, которые будут получены с датчиков, установленных по речным бассейнам. Пользователь может выбрать необходимый ему временной интервал, а также сузить или расширить его, и просмотреть необходимые ему данные. Также, при необходимости, можно выбрать конкретную точку на графике в определенный момент времени и увидеть точное значение данного параметра.

Актуальные значения показателей могут также отображаться в виде карточек с названием и числом. Приложение подсвечивает превышение допустимой нормы по каждому из показателей красным цветом, отображает нормальное значение зеленым цветом. Стрелка вверх или вниз рядом с числом указывает на рост или снижение в сравнении с предыдущим замером. Пользователь может взаимодействовать с накапливаемыми данными и через электронную карту. Для этого ему достаточно выбрать нужную точку и получить окно с графиками аналогичное первой странице.

Разработанное программное обеспечение было протестировано на ранее накопленных рядах измерений концентрации различных фракций пылевых частиц в воздухе. В дальнейшем может быть проведено опробование на накопленных гидрохимических данных.

## **ВЕДЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВКМКС**

### ***Краткая характеристика программного комплекса.***

Информационно-аналитическая система разработана в среде VB.Net на платформе MS SQL Server и представляет собой нормализованные базы данных, систему межсерверного обмена (ЛИМС, ГГИС, внутренний доступ) и систему клиентских мест, работающих как распределенное приложение масштаба предприятия.

Система интегрирована с другими приложениями Office (Excel, Word, Visio и т.д.), облегчен обмен данными с внешними источниками.

### ***Решение задач геологической службы рудников.***

Программа «Геоконструктор» создана для обеспечения решения следующих задач:

1. Ведение базы данных геологического опробования (отметки, мощности, химсостав, минеральный тип, физмех свойства, описание керна и т.п.).
2. Генерация текстовой и графической геологической документации от этикеток, ведомостей проб, журналов до колонок, разрезов, изолиний. Все виды документации соответствуют корпоративным требованиям и, зачастую, сами являются корпоративным стандартом.
3. Создание компоновок, фрагменты которых подготовлены в различных системах (план, профиль, разрез, сечение, зарисовка, фотография, таблица, диаграмма, пояснительная записка) для обобщения и обоснования принятия решений в различных горных ситуациях.
4. Расчёт средних колонок – основы подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки. Передача данных в общий план развития горных работ.
5. Передача актуальными данных проектным, научным и другим специализированным подрядным организациям.

Rassol - система хранения, классификации и анализа данных повторных и разовых наблюдений за рассолами и рассолопроявлениями в стенках шахтных стволов и в подземных выработках.

Модуль гидромониторинга Hydro предназначен для ввода, хранения и базовой визуализации данных отбора проб при повторных гидрогеологических наблюдениях - гидронаблюдательные скважины, пьезометры, колодцы, накопители и гидропосты. Реализована интеграция с системой автоматического сбора данных и расчетными гидрогеологическими системами типа GMS.

### ***Решение задач горного проектирования.***

Программный модуль Геомеханика. Система предназначена для хранения данных параметров горных работ, геомеханических свойств породного массива, границ горных участков, календарного плана отработки шахтного поля. Исходные данные геологического строения породного массива могут быть загружены или обновлены из геологической базы данных.

На основе исходных данных и выбранных областей интереса проводятся следующие типы геомеханических расчетов:

- Степень нагружения междуходовых целиков в очистных выработках.
- Панельные и блоковые целики.
- Размеры околоскважинных целиков.
- Нарастание оседаний над зонами горных работ (плоское дно мульды сдвижений).
- Минимально допустимая мощность ВЗТ и допустимые оседания.
- Прогнозы в зонах контактов границ постоянно и временно остановленных горных работ.
- Целики под объекты промплощадки.
- Нарастание оседаний и деформаций по заданному профилю.
- Допустимые деформации зданий и сооружений.

Специфика задач в том, что как исходные данные, так и результаты могут быть многократно использованы в различных типах расчетов. Пересчет отдельных элементов общего дерева расчетов производится автоматически, если обратного явно не указано.

Программный модуль ПЗРК (потери, запасы, разубоживание, качество, календарное планирование). Программный комплекс предназначен для проведения комплекса проектных расчетов, связанных с качеством, потерями, разубоживанием и извлечением запасов по шахтным

полям калийных рудников. Реализовано решение смежных задач (параметры вентиляционной системы, расчет численности маркшейдеров). По выполненным расчетам генерируются отчетные формы, включающие таблицы, графические схемы (планы, продольные профили и сечения) и компоновки.

Реализована модель горных работ на основе площадных представлений, наиболее удобных для проектирования. По площадям нижнего уровня (геомеханическим зонам) на основе параметров горных работ рассчитываются качество, потери, разубоживание, извлекаемые запасы и набор сопутствующих параметров. Эти параметры определяются для сборной выемочной единицы (камера, сбойки, участки штреков) и распространяются на всю зону. В соответствии с иерархией шахтного поля производится суммирование и группировка результатов первичных расчетов для уровней блоков, панелей, геологических участков, шахтного поля.

Реализовано календарное планирование горных и закладочных работ. Программный модуль предназначен для проведения комплекса проектных расчетов, связанных с календарным графиком ведения очистных, подготовительных и закладочных работ по шахтным полям калийных рудников. Проводятся расчеты загрузки по каждому комбайновому и закладочному комплексу. По выполненным расчетам генерируются отчетные формы, включающие таблицы, графические календарные схемы и компоновки.

**Хрящев В.В., Назаровский А.Е.**

*ЯрГУ им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия*

*e-mail: v.khryashchev@uniyar.ac.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Распределение частиц по размерам является важным параметром для аналитических задач в промышленности. Это, например, задачи гранулометрии порошков, горных руд, кусков угля и т.п. Традиционно такой анализ производится просеиванием через набор сит с различным размером решетки. Подобный прямой метод анализа является весьма трудоемким, требует значительных затрат времени и человеческого труда, а также плохо автоматизируется.

Предлагается система для анализа гранулометрического состава с применением методов компьютерного зрения и алгоритмов глубокого машинного обучения. Она использует для анализа фотографии или кадры видеопоследовательностей с целевым распределением частиц по размеру. Система имеет следующий ряд особенностей.

Во-первых, в связи со сложностью получения различных распределений, а также трудоемкостью разметки реальных кадров видеопоследовательностей, применяется компьютерная модель для генерации изображений с частицами сферической формы и заданным распределением по размеру. Она реализована в среде MATLAB и позволяет:

- Задавать распределение частиц по размеру в форме функции распределения вероятности. В том числе поддерживаются равномерное и нормальное распределение, распределение Вейбулла, гамма-распределение.
- Устанавливать виртуальную камеру и источники освещения сцены съёмки.
- Генерировать модельное изображение с частицами разного размера, подчиняющимися заданному распределению.
- Автоматически синтезировать данные для обучения нейронной сети в виде ограничивающих рамок.

Ограничением модели является использование только сферической формы частиц.

Во-вторых, разработана подсистема для моделирования процесса анализа распределения частиц с применением методов глубокого обучения и детектора объектов на базе нейронной сети Yolo v7. Данный нейросетевой детектор является современным алгоритмом для обнаружения объектов на изображении и выдает координаты ограничивающих объекты рамок, а также вероятности детектирования для каждого объекта.

Для тестирования системы выполнен синтез модельных изображений и затем было произведено обучение нейросетевого детектора. Объём тренировочной выборки - 200 изображений. Объём тестовой выборки - 20 изображений.

Средняя точность детектирования по метрике mAP – Mean Average Precision на тестовой выборке составила 92%. Среднее время детектирования составляет 0.2 с (5 кадров/сек). Абсолютная ошибка в оценке размеров частиц на тестовой выборке составила не более 10%, что показывает перспективность данного подхода.

Предлагаемый метод можно применять в промышленных задачах для непрерывного контроля параметров распределения в реальном времени, что позволит сократить затраты на функционирование и обслуживание системы гранулометрического анализа в горной области.

**Цыгулёв К.С.**

*ХФИЦ ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

*e-mail: kirill.tsygulev@mail.ru*

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПЫЛЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ НА ПРИМЕРЕ УРГАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В настоящее время постоянно растут масштабы горного производства, что оказывает негативное влияние на экологическое состояние окружающей среды. В связи с этим, возникает необходимость мониторинга как масштабов горного производства, так и его влияния на прилегающие территории. Одной из проблем является пылевое загрязнение, возникающее в связи с проведением буровзрывных работ на открытых пространствах. Одним из вариантов мониторинга пылевого загрязнения является отбор проб непосредственно на территории горных работ с их последующим анализом. Другим вариантом является отслеживание загрязнения по спутниковым снимкам, позволяя получать актуальную информацию в зависимости от временного разрешения спутника. Для оперативного мониторинга загрязнения актуален вопрос автоматизации этого процесса.

Целью работы является разработка метода автоматического определения площади пылевого воздействия. В качестве исследуемой территории было выбрано Ургальское месторождение.

Данная работа является актуальной, поскольку определение уровня пылевого загрязнения является важной экологической задачей, решение которой может найти применение в оценке экологического состояния территории вблизи горнодобывающих работ. Её автоматизация позволит снизить временные затраты работы специалистов, занимающихся этой оценкой.

Для определения площади пылевого воздействия рассматриваются два метода: первый – основанный на спектральных характеристиках снега, второй – на оптической глубине аэрозолей.

В первом методе используются спектральные характеристики снега в зависимости от уровня его загрязнения, который отличается повышенным поглощением солнечного света в определённых диапазонах электромагнитного спектра у грязного снега и чем выше уровень загрязнения, тем хуже его отражательные свойства.

Второй метод основан на изучении и анализе изменения оптической глубины аэрозолей в определённый временной период. Оптическая глубина аэрозолей представляет собой набор данных, который измеряет количество света, потерянного из-за наличия аэрозолей на пути через атмосферу.

Исходными данными для определения площади пылевого воздействия являются снимки со спутников Sentinel-2, т.к. они обладают высоким пространственным разрешением. Кроме этого, эти снимки содержат данные об оптической глубине аэрозолей. Для определения снежного покрова на снимках используется нормализованный относительный индекс снега (NDSI).

Разрабатывается программный комплекс, позволяющий автоматизировать процесс определения площади пылевого воздействия. В этом комплексе реализуются оба метода, результаты выполнения которых объединяются для получения более достоверного значения площади пылевого воздействия, что позволит лучше оценить влияние буровзрывных работ на экологию прилегающих территорий.



**Швабауэр А.Я.**

ООО «ЭнтерЧейн», г. Москва, Россия

e-mail: Alexander.Shvabauer@enterchain.ru

## **УПРАВЛЕНИЕ ГОКОМ ДЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТА**

Компания Омегальянс предлагает для горных предприятий методологию и инструменты планирования производства, а также системы класса MES, включая диспетчерское управление и визуализацию технологических процессов. Рассматривается необходимость создания цифровой среды для синхронизации решений технического проекта разработки месторождения и актуальной обстановки на предприятии.

Задача этапа «Проект» жизненного цикла месторождения состоит в поиске способа вскрытия и разработки месторождения, определении инженерных решений и разработки стратегии развития на весь срок извлечения запасов. В ходе реализации проекта стремительно увеличивается количество факторов, влияющих на производство работ. При этом некоторые из них невозможно выявить на стадии «Проект» (горно-геологические особенности, эксплуатационные характеристики оборудования, и т.д.). В результате наблюдается расхождение фактических показателей по сравнению с показателями проекта, что приводит к ухудшению финансовых показателей, необходимости согласования отклонений с Ростехнадзором, в некоторых случаях – к перепроектированию.

Для реализации решений проекта создаются планы развития предприятия с различными горизонтами планирования, начиная от стратегии развития и заканчивая краткосрочными планами в сменно-суточной детализации. При этом система управления производством не связана напрямую с выполнением решений проекта. Для успешного доведения проектных идей до реализации нужна цифровая среда связанных решений, позволяющих с достаточной точностью осуществлять планирование производства.

Точность планирования (погрешность оценки) зависит от выбранного уровня планирования, который жестко связан с интервалом планирования, а на каждом следующем уровне планирования учитывается всё больше и больше факторов.

Для уверенной реализации проекта сразу после получения проекта необходимо осуществлять ежемесячное среднесрочное планирование. Дальнейшая работа по снижению погрешности планов также необходима. По мере сокращения горизонта планирования объем и качество данных для обработки увеличивается, соответственно растёт и количество ИТ-систем, используемых предприятием. Для примера, планирование горных работ на разных горизонтах требует разных инструментов. Для контроля же выполнения работ требуется ещё больше систем.

Относительно ERP нужно отметить, что если в области финансов, персонала, продаж можно использовать универсальные (межотраслевые) продукты, то в части планирования операций требуются специализированные отраслевые решения: горно-геологическая информационная система, планирование горных работ и транспорта, планирование обогатительной фабрики.

Задачи MES в целом не отличаются от межотраслевых, кроме специфики горных работ (место ведения работ не является постоянным, задействование логистической задачи).

Рассмотрены примеры архитектур этих систем для горного предприятия.

Основой планирования горных работ является горно-геологическая информационная система. При этом для планирования на разных горизонтах требуются разные инструменты. Это связано с тем, что объем исходных данных, сами алгоритмы планирования различаются для каждого горизонта. При этом крайне важно выстроить двунаправленную связь между различными уровнями планирования и передать результаты нижнего уровня в MES для горных работ.

Если в целом рассматривать управление работой горнообогатительного комбината, то необходимо рассматривать два вида производства: горные работы (их планирование и управление работами в АСУ ГТК (автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом) и обогатительная фабрика (планирование и управление в MES-системе). И эти системы также должны быть связаны между собой.

Управление производством в MES-системах реализовано через объектно-ориентированный подход с созданием цифровой модели физического производства, получением актуальных сведений о работе оборудования из слоя АСУТП (автоматическая система управления технологическим процессом), применением к получаемым данным и возникающим событиям бизнес-правил и передачей управляющих команд обратно в слой АСУТП.

Необходимо планировать горные работы с 1,5-кратным запасом длительности и осуществлять перепланирование от достигнутого факта – это позволяет получать ожидаемое выполнение месяца/года/десятилетия и производить оценку влияния оперативных решений на долгосрочном горизонте.

Единая цифровая модель горно-обогатительного предприятия – это правильно организованная работа нескольких систем, у каждой из которых свои архитектурные принципы, свои особенности организации информационного пространства и требования к алгоритмам. Синхронизируя в единой цифровой среде планы и их фактическое исполнение между собой, горнодобывающее предприятие может адекватно оценивать свои возможности по выходу на проектную мощность и в случае необходимости быть готовым к перепроектированию.

**Шибалева Д.Н., Асанович Д.А.**

*Горный институт КНЦ РАН, г. Анапты, Россия*

*e-mail: d.shibaeva@ksc.ru, asanovichdnja1@mail.ru*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ АПАТИТСОДЕРЖАЩИХ РУД ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ**

Рентгенолюминесцентная сепарация, метод разделения, основанный на анализе светового потока люминесценции, зарегистрированного с поверхности исследуемых кусков рудной массы. Лабораторными исследованиями подтверждена возможность и эффективность прогнозирования распределения полезного компонента во всем объеме куска по данным результатов измерения его поверхности. Значение коэффициента корреляции, описывающего связь между интенсивностью светового потока рентгенолюминесценции, зарегистрированной с поверхности исследуемого образца, и результатами анализа его химического состава - содержанием пятиоксида фосфора ( $P_2O_5$ ) не менее 0,85: для класса крупности -200+100мм – 0,85, -100+50мм - 0,86, -50+20мм – 0,88.

При переходе от лабораторных (стендовых) измерений к динамическим исследованиям, реализуемым на сепараторе необходимо учесть и минимизировать влияние природных различий кусков рудной массы (вариативность форм, размеров и плотности), уменьшить разброс расстояний от источника первичного излучения до поверхности кусков, от поверхности кусков до детектора. В работе представлен анализ результатов компьютерного моделирования различных вариантов конструкции и геометрических особенностей системы транспортирования и ее отдельных элементов, а также системы разделения рудной массы в пространстве рентгенолюминесцентного сепаратора.

Показано, что для варианта сепаратора, реализующего процесс облучения и регистрации на траектории свободного падения целесообразно использовать конструкцию транспортирующего вибропитателя, профилированная часть которого состоит из двух частей (рисунок, вариант 22): вибрирующей (90% от его общей длины), наклоненной на угол  $14^{\circ}$ , и не вибрирующей (успокоителя) под углом  $24^{\circ}$ . Такая конструкция вибропитателя обеспечила снижение разброса траекторий: в начальной точке движения по траектории свободного падения – после схода с успокоителя, составляет 46,2 мм, увеличиваясь через каждые 10 см минимум на 7%.

Минимизировать колебания расстояний от источника первичного облучения до образца, и от образца до детектора возможно при реализации процесса облучения и регистрации на поверхности, где они определяются только диапазоном крупности анализируемого материала. В работе рассмотрен вариант системы транспортирования, включающего три элемента: разгрузочный вибропитатель, транспортирующий и барабанный раскладчик. Дополнительный элемент - барабанный раскладчик (n-канальное устройство, каждый канал которого включает m-ячеек), объединяющий в единую систему устройство транспортирования рудной массы в зону облучения и регистрации и исполнительный механизм, выделяющий из технологического потока горной массы куски, содержащие полезные компоненты. Предложенное решение обеспечивает не только покусковый режим измерения, но и разделения, в отличие от производителей радиометрических сепараторов (Tomra, Steinert, OptoSort), использующих в качестве устройства перемещения кусков рудной массы через зону облучения и регистрации конвейерную ленту и разделения - линейку электропневмоклапанов. В данной конструкции для обеспечения возможности измерения каждого куска рудной массы необходимо сформировать не только монослой на поверхности конвейерной ленты, но расстояния между кусками с целью обеспечения возможности идентификации их границ. Кроме того, отсутствие необходимого

расстояния (определяется быстродействием электропневмоклапанов, расстоянием между ними, областью распространения воздушного потока) отрицательно повлияет на качество разделения.

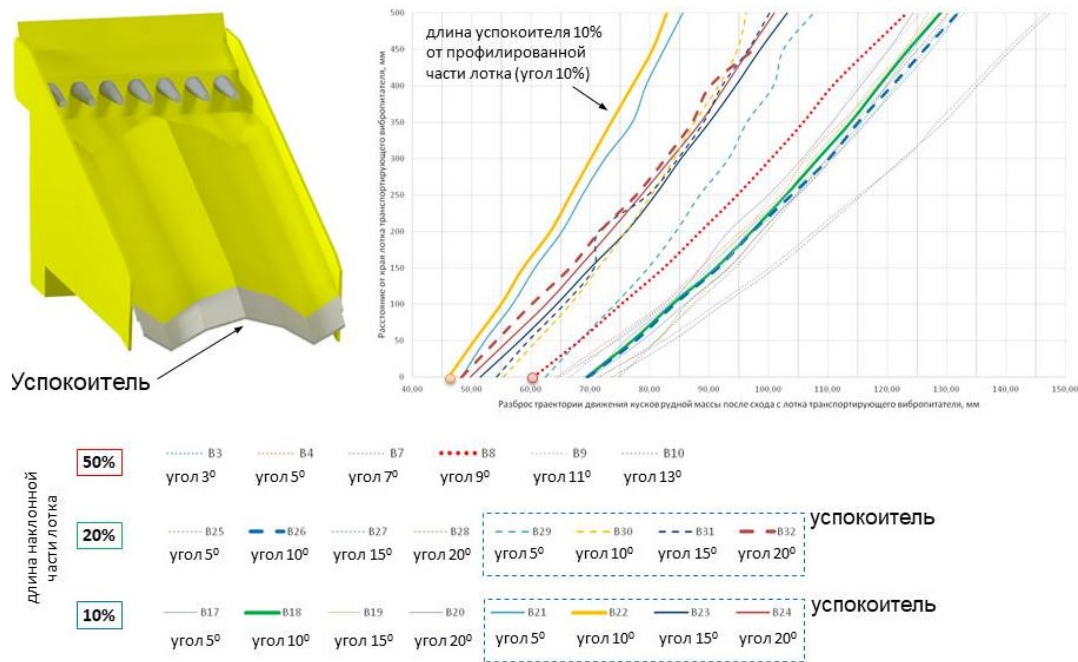


Рисунок – Результаты моделирования конструкций транспортирующего вибропитателя

В результате моделирования процесса перемещения рудной массы в пространстве сепаратора определены

- режимы работы каждого устройства, входящего в систему транспортирования (частота вибрации разгрузочного вибропитателя 29Гц, частота вибрации транспортирующего вибропитателя 53Гц, количество оборотов барабанного раскладчика барабанный раскладчик 12), формирующие последовательное движение кусков рудной массы по профилированной части поверхности лотка транспортирующего вибропитателя;

- выбрана оптимальная высота и толщина торцевой перегородки ячейки барабанного раскладчика для класса крупности -50+20мм равные 45мм и 3мм соответственно, обеспечивающие максимальное заполнение ячеек: максимальное количество ячеек барабанного раскладчика с 1 куском (60%), минимальное количество пустых ячеек (27,3%).

