



**ПРОГНОЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ  
УДАРООПАСНОСТИ  
ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ**

**ТЕЗИСЫ  
ДОКЛАДОВ**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ С УЧАСТИЕМ  
ИНОСТРАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

**2022**  
АПАТИТЫ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

**ПРОГНОЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ  
УДАРООПАСНОСТИ  
ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ**

**(27-30 сентября 2022 г.)**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**



Издательство Кольского научного центра  
2022

УДК 622.2:622.8  
Т29

Т29 Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов «Прогноз и предупреждение удароопасности при ведении горных работ», 27-30 сентября 2022 г. — Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2022. — 57 с.

ISBN 978-5-91137-468-6

В сборник включены тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Прогноз и предупреждение удароопасности при ведении горных работ» (Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, 27-30 сентября 2022 г.). Представлены материалы, посвященные обсуждению современных достижений в области обеспечения геодинамической безопасности, комплексного мониторинга геомеханических процессов, разработки эффективных технологических решений при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях.

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

Редакционная коллегия: Козырев А.А. (отв. редактор), Семенова И.Э., Журавлева О.Г., Жукова С.А., Жидкевич Е.Б.

УДК 622.2:622.8

#### Спонсоры:



#### Информационные партнеры:



Научное издание  
Технический редактор В. Ю. Жиганов  
Подписано в печать 17.06.2026. Формат бумаги 60×84 1/8.  
Усл. печ. л. 6.63. Заказ № 41. Тираж 300 экз.

ISBN 978-5-91137-468-6  
DOI:10.37614/978.5.91137.468.6

© Горный институт КНЦ РАН, 2022  
© ФИЦ «Кольский научный центр РАН», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

**Абрашитов А.Ю., Онуприенко В.С., Корчак П.А.**

Трехуровневая система сейсмического мониторинга массива горных пород месторождений, разрабатываемых КФ АО «Апатит» ..... 6

**Андреев А.А., Корчак П.А., Вильнер М.А.**

Комплексное исследование напряженно-деформированного состояния целиков между буродоставочными выработками ..... 8

**Багаутдинов И.И., Котиков Д.А., Стрешнев А.А.**

Применение методов неразрушающего контроля для уточнения характеристик массива в геомеханической блочной модели ..... 9

**Басалаева П.В., Куранов А.Д., Стрешнев А.А.**

Оценка влияния литологического строения массива горных пород на устойчивость подземных горных выработок при разработке Хибинских апатит-нефелиновых месторождений ..... 11

**Батугин А.С., Шерматова С.С.**

К оценке максимальной магнитуды техногенного землетрясения в горнопромышленном районе ..... 12

**Беседина А.Н., Брайченко Г.Т.**

Оценка параметров слабых сейсмических событий, зарегистрированных на Коробковском железорудном месторождении ..... 13

**Беседина А.Н., Кочарян Г.Г.**

Новый подход к снижению риска крупных техногенных землетрясений, основанный на результатах микросейсмического мониторинга ..... 14

**Блохин Д.И.**

Инфракрасная диагностика опасных геомеханических процессов в горных выработках, обусловленных природными и техногенными факторами ..... 16

**Бондарь И.В., Жиров Д.В., Маринин А.В., Сим Л.А.**

Кинематика малых дизъюнктивов и тектонические напряжения южной части Хибинского массива ..... 17

**Габов Д.А., Корчак П.А.**

Связь крупных сейсмических событий с пологопадающими эгириновыми жилами в лежащем боку Хибинских апатит-нефелиновых месторождений ..... 19

**Дьяков А.Ю., Калашник А.И.**

Влияние физических свойств скального массива пород на локализацию его нарушений электромагнитным зондированием ..... 21

<b>Еременко В.А.</b> Новый подход к определению опасности и склонности месторождений к горным ударам, основанный на количественной оценке состояния массива горных пород .....	23
<b>Жариков С.Н., Кутуев В.А.</b> Изучение особенностей распространения волновых процессов в горном массиве для обеспечения устойчивости откосов при ведении взрывных работ на карьерах .....	25
<b>Злобина Т.В.</b> Многофакторная модель прогноза сейсмической активности на калийных рудниках ....	27
<b>Катеров А.М.</b> Анализ работы комбинированной крепи вертикального ствола, расположенного на больших глубинах в соляном массиве .....	29
<b>Козырев А.А., Кузнецов Н.Н., Макаров А.Б.</b> О критериях удароопасности горных пород .....	31
<b>Козырев А.А., Кузнецов Н.Н., Пак А.К.</b> Определение склонности скальных горных пород к разрушениям в динамической форме при одноосном и трехосном сжатии .....	32
<b>Козырев А.А., Панин В.И.</b> Энергонасыщенность геологической среды – объективный индикатор удароопасности горнотехнической системы .....	32
<b>Козырев С.А., Соколов А.В., Усачев Е.А.</b> Сейсмический мониторинг и прогноз последствий крупномасштабных техногенных воздействий на породный массив в карьерных условиях .....	33
<b>Кубрин С.С., Закоршменный И.М., Блохин Д.И.</b> Результаты экспериментальных исследований простоев технологического оборудования, вызванных обрушением кровли при отработке угольных пластов длинными лавами .....	34
<b>Мансуров В.А., Герман В.И.</b> Использование инструментов геомеханического мониторинга в практике отработки Жезказганского медного месторождения .....	35
<b>Махмудов Х.Ф., Щербаков И.П., Юлдашев З.Ш., Хайдарова М.А.</b> Мониторинг основных энергетических параметров и энерготехнологического процесса в силовых трансформаторах .....	38
<b>Мороз Н.Е., Вюников А.А., Сидоров Д.В., Василенко Т.А.</b> Численное моделирование газодинамических явлений на глубоких горизонтах подземного рудника «Интернациональный» .....	39
<b>Рассказов М.И., Сидляр А.В., Крюков В.Г., Терешкин А.А., Цой Д.И.</b> Геомеханические исследования и оценка структурных особенностей массива горных пород Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд .....	40



<b>Розанов И.Ю., Рыбин В.В., Константинов К.Н.</b> Реализация многоуровневого комплексного мониторинга устойчивости бортов карьеров .....	41
<b>Рукавишников Г.Д., Мулёв С.Н., Гаврилов А.Г.</b> Перспективы применения системы сейсмического мониторинга на Таштогальском железорудном месторождении .....	42
<b>Рыбин В.В., Константинов К.Н., Калюжный А.С.</b> Возможность динамических проявлений горного давления в карьерах .....	43
<b>Семенова И.Э., Аветисян И.М.</b> Прогноз удароопасности перспективных участков отработки Хибинской апатитовой дуги .....	44
<b>Семенова И.Э., Журавлева О.Г., Жукова С.А.</b> О механизмах разрушения массива горных пород и закономерностях формирования опасных зон в окрестности элементов горной технологии .....	46
<b>Скулкин А.А., Леонтьев А.В., Рубцова Е.В.</b> Инструментальный контроль напряженно-деформированного состояния массива в условиях рудника Удачный (Якутия) .....	47
<b>Тарасов Б.Г.</b> Рост хрупкости горных пород с глубиной и супер-хрупкое состояние на сейсмических глубинах земной коры .....	49
<b>Умаров А.Р.</b> Численное моделирование процесса формирования вторичного поля напряжений для условий применения «каркасной» горной конструкции .....	50
<b>Федоров А.В., Асминг В.Э., Федоров И.С., Корчак П.А., Стрешнев А.А., Моторин А.Ю., Воронин А.И.</b> Автоматизированная система сейсмического мониторинга промышленной площадки Восточного рудника КФ АО "Апатит", аппаратные и программные решения .....	51
<b>Федотова Ю.В.</b> Результаты контроля деформаций блоков массива, разделенных разломом, при разработке жильного месторождения .....	52
<b>Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Бондарев А.В.</b> Исследование геодинамических рисков масштабного освоения Кузбасса .....	54
<b>Янбеков А.М.</b> Обоснование новых возможностей использования энергии гравитационного поля земли при подземной разработке рудных месторождений конвергентными горными технологиями .....	56

## ТРЕХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЙ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ КФ АО «АПАТИТ»

*Абрашитов А.Ю., Онуприенко В.С., Корчак П.А.  
Кировский филиал АО «Апатит», Кировск, Россия*

Сегодня КФ АО «Апатит» разрабатывает шесть месторождений апатит-нефелиновых руд Хибинского массива. Обеспечение повышенного спроса на апатитовый концентрат обеспечивается за счет интенсификации подземных и открытых горных работ, что влечет за собой изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород, рост числа негативных проявлений горного давления от заколообразования и шелушения до горных и горно-тектонических ударов.

Для контроля геомеханического состояния массива горных пород применяется трехуровневая система (рисунок 1) сейсмоакустического и сейсмического мониторинга:

1. Сейсмический мониторинг зоны производственной деятельности КФ АО «Апатит».
2. Сейсмический мониторинг на подземных рудниках и карьерах.
3. Сейсмоакустический мониторинг участков массива горных пород на подземных рудниках.



Рисунок 1. Космоснимок с расположением станций сейсмического мониторинга

Основной целью такой системы является обеспечение непрерывного регионального и локального сейсмического мониторинга с оперативным выявлением сейсмоактивных зон и оповещением структурных подразделений предприятия.

На первом масштабном уровне для контроля зоны производственной деятельности КФ АО «Апатит» предприятием совместно с Кольским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая службы Российской академии наук» создана объединенная система контроля сейсмичности массива (ОСКСМ), введенная в промышленную эксплуатацию в 2010 г. Задачей данной системы является получение информации о сейсмических событиях в пределах района производственной деятельности КФ АО «Апатит», включая как рудники, так и хвостохранилища [1].

На втором масштабном уровне для мониторинга массива горных пород при разработке месторождений подземным способом и прогноза региональной удароопасности эксплуатируются автоматизированные системы контроля состояния массива (АСКСМ), позволяющие регистрировать сейсмические события с энергией  $E > 10^2$  Дж и точностью в несколько метров [2]. На Кировском руднике развернута АСКСМ, состоящая из 40 сейсмических пунктов, на Расвумчоррском руднике — из 22.

В 2019 г. в связи с интенсификацией работ на карьерах и ведением подземных горных работ на смежном месторождении вблизи открытой выемки Ньоркпахкского месторождения, руководством КФ АО «Апатит» было принято решение о развертывании автоматизированной системы сейсмического мониторинга на Восточном руднике (АССМ ВР), ведущем разработку Коашвинского и Ньоркпахкского месторождений.

АССМ ВР состоит из 12 сейсмических станций, объединенных в общую сеть с ядром сбора и автоматической обработки данных на базе высокопроизводительного серверного компьютера со специальным программным обеспечением.

Третий уровень мониторинга представлен разработкой Института горного дела ДВО РАН - автоматизированной сейсмоакустической системой контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS». АСКГД предназначена для непрерывной регистрации в массиве горных пород импульсов сейсмоакустической эмиссии (являющихся следствием упругого разрушения горных пород) в частотном диапазоне 0,2...12 кГц, определения их параметров (энергии, координат, спектральных и иных характеристик акустических событий) и представления результатов мониторинга в виде каталогов, карт [3].

Представленный программно-аппаратный комплекс позволяет выделять и контролировать параметры сейсмически и акустически активных и потенциально удароопасных зон, а также оперативно и эффективно контролировать и управлять геомеханическими процессами, происходящими в массиве горных пород при отработке месторождений апатит-нефелиновых руд.

### **Список литературы:**

1. Аккуратов М.В., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Корчак П.А. Объединение сейсмических сетей ОАО «Апатит» и Кольского филиала геофизической службы РАН // Международная научно-техническая конференция «Наука и образование - 2011» [Электронный ресурс] / Мурманск: МГТУ, 2011. электрон. Текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». НТЦ «Информрегистр» №0321100504. Библиограф.: С.203-204.
2. Козырев А.А., Жукова С.А., Журавлева О.Г., Онуприенко В.С. Развитие инструментального и методического обеспечения контроля наведенной сейсмичности на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях // Горный журнал. 2020. № 9. С.19-26. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.02
3. Рассказов И.Ю., Федотова Ю.В., Аникин П.А., Сидляр А.В., Корчак П.А. Совершенствование автоматизированной системы геомеханического мониторинга и раннего предупреждения опасных геодинамических явлений // Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в горном деле», Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2021. С. 55-57. DOI: 10.37614/978.5.91137.450.1



## **КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕЛИКОВ МЕЖДУ БУРОДОСТАВОЧНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ**

*Андреев А.А.<sup>1</sup>, Корчак П.А.<sup>2</sup>, Вильнер М.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
aa-andlex@yandex.ru*

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

Конструктивной особенностью системы разработки с поэтажным обрушением является наличие впереди фронта отработки системы целиков прямоугольной формы, вытянутой в направлении простирания рудного тела. В связи с предусмотренной системой разработки сильной изрезанностью массива подготовительными и очистными выработками, целики являются концентраторами напряжений. Несмотря на то, что срок службы целиков равняется сроку отработки подэтажа, необходимо обеспечить их устойчивое состояние и избежать возникновения динамических проявлений горного давления. При достаточно малых размерах целиков зачастую наблюдается разрушение их краевых частей как в квазистатической, так и в динамической форме. Целью исследования являлось выявление основных влияющих факторов и степени их влияния—для последующего использования полученных данных при планировании и проектировании.

В работе выделены и рассмотрены три группы факторов, влияющих на устойчивость и сохранность целиков. Помимо геометрических параметров целиков, конфигурации и движения фронта очистных работ на верхнем подэтаже на напряженно-деформированное состояние целика значительное влияние оказывает начальное поле напряжений в массиве, существующее до появления целиков. Обоснована также необходимость учета структурной нарушенности массива, выраженной через снижение прочностных и деформационных свойств массива через критерий Бенявского.

С учетом количества факторов и степени их изменчивости совместное их воздействие приводит к бесконечному множеству сочетаний, которые не позволяют сделать выводы об их влиянии на примере рассмотрения конкретных горнотехнических ситуаций. Поэтому в работе для каждого фактора принято базовое значение, характеризующее устойчивое состояние целика в конкретных условиях.

Комбинация таких базовых условий рассматривается как исходный вариант. Далее на основании численного моделирования выполнен анализ степени влияния каждого фактора на напряженно-деформированное состояние целика. По результатам сравнения установлена зависимость (чувствительность) между каждым фактором и напряженно-деформированным состоянием целика. Таким образом, произведено ранжирование факторов по степени их влияния на напряженное состояние целика, а также установлены количественные зависимости степени их влияния.

Результаты исследований могут являться базой для широкого круга прикладных задач, например, определения оптимальных размеров целиков, мест их расположения, прогноза состояния целиков при изменении горнотехнических условий, мероприятий по обеспечению безопасности и других.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВА В ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ БЛОЧНОЙ МОДЕЛИ**

*Багаутдинов И.И.<sup>1</sup>, Котиков Д.А.<sup>1</sup>, Стрешнев А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Горный университет, Санкт-Петербург, Россия,

*Bagautdinov I@pers.spmi.ru, hromokot@list.ru*

<sup>2</sup> КФ АО «Anatum», Кировск, Россия, *astreshnev@phosagro.ru*

Использование цифровых технологий в горной отрасли становится стандартом де-факто и позволяет оперативно принимать решения при отработке месторождений и рационально планировать горные работы. В основе цифрового двойника рудника чаще всего лежит блочная цифровая модель, выполненная в одной из горно-геологических информационных систем. От полноты и точности внесенных данных зависит объективность принимаемых решений и эффективность работы горного предприятия. В основе любой модели лежат данные о геологическом строении месторождения и физико-механические свойства массива. Большой объем буровых работ инженерно-геологических исследований обеспечивает большее соответствие модели ее реальному прототипу, но ведет к большим расходам на бурение и лабораторные испытания.

Применение неразрушающих методов испытаний в совокупности с геологическим картированием может повысить точность описания модели. Это приведет к большему соответствию цифрового двойника рудника его реальному прототипу при незначительном увеличении затрат.

Эффективность подобного подхода исследовалась в данной работе. Проводился анализ исследования прочностных характеристик горных пород апатит-нефелиновых месторождений с помощью двух методов неразрушающего контроля (определение величины упругого отскока и определение скорости звука при помощи технологии ультразвуковой передачи импульса). Полученные значения исследуемых параметров сравнивались между собой, а также с лабораторными и ретроспективными данными исследований физико-механических свойств горных пород. Исследования проводились как в натуральных условиях, так и в лабораторных условиях Горного университета.

Используемая методика была скорректирована и адаптирована для применения в подземных условиях рудного и породного массива и показала свою эффективность. Были исследованы образцы и обобщены измерения, проведенные на Кукисвумчоррском и Юкспорском месторождениях.

Экспериментальные участки (место обнажения горных пород) для выполнения измерений методами неразрушающего контроля были выбраны с учетом следующих факторов:

- места должны находиться рядом с местом бурения для отбора керна;
- места должны представлять собой обнажения пород достаточного размера для проведения испытаний;
- места по своей геологической и структурной идентичности должны совпадать с образцами пород, отобранными для разрушающих испытаний.

При наличии нескольких типов пород проводились измерения каждого типа согласно отобраным образцам для разрушающих испытаний.

Всего было выполнено более 400 измерений неразрушающими методами. В лабораторных условиях данные были верифицированы на 28-ми отобранных керновых образцах, испытанных разрушающим методом. Полученные результаты были использованы для корректировки существующей блочной модели месторождений.

В работе были использованы следующие методы испытаний:

- измерение упругого отскока при помощи молотка Шмидта в натуральных условиях;
- измерение скорости звука при помощи технологии ультразвуковой передачи импульса по методике ISRM;
- измерение предела прочности горных пород при одноосном сжатии в соответствии с ГОСТ 21153.2-84;
- определение предела прочности при одноосном растяжении (бразильский метод).

На основе результатов лабораторных и полевых измерений методами неразрушающего контроля построена аппроксимирующая кривая прочности породы на одноосное сжатие в зависимости от скорости прохождения ультразвуковых волн для руд богатой зоны (Рисунок 1).

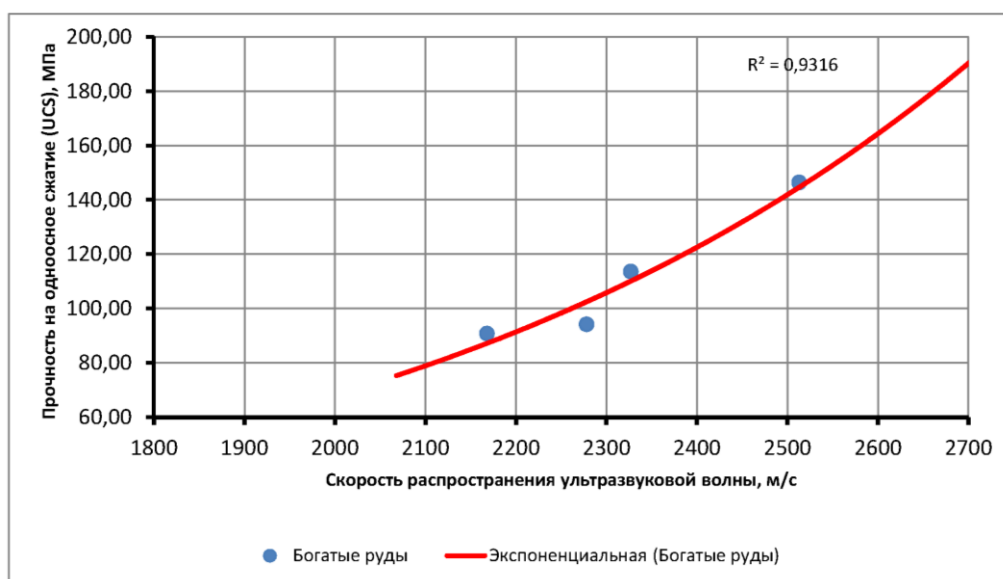


Рисунок 1. Пример аппроксимирующей кривой для оценки прочности (UCS) богатых руд ультразвуковым методом

В результате проведенных исследований было достигнуто следующее:

- разработана и опробована методика экспресс-метода определения значения прочности пород на локальном участке горного массива;
- уточнена и увеличена детализации данных по физико-механическим свойствам горных пород на рудниках АО «Апатит»;
- установлены новые корреляционные зависимости значений между различными свойствами исследуемых пород.

Таким образом, экспресс-анализ неразрушающими методами после верификации по лабораторным методам измерений показывает достаточно достоверные результаты.

Данный метод может увеличить точность информационной модели, ускорить работы по исследованию вскрытого массива горных пород на месторождении, а в последующем – привести к уменьшению объема инженерно-геологических исследований горного массива на эксплуатируемых месторождениях.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ХИБИНСКИХ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Басалаева П.В.<sup>1</sup>, Куранов А.Д.<sup>1</sup>, Стрешнев А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Горный университет, Санкт-Петербург, Россия, *Kuranov\_AD@pers.spmi.ru*

<sup>2</sup> КФ АО «Апатит», Кировск, Россия, *astreshnev@phosagro.ru*

Для современного агропромышленного комплекса характерно увеличение спроса на производство удобрений, что провоцирует рост объемов добычи сырья. Неизбежно эти обстоятельства сопровождаются развитием горнодобывающих предприятий и, как следствие, возникает острая необходимость оперативного решения проблем обеспечения геомеханической и геодинамической безопасности. Все это характерно для одного из мировых лидеров добычи и переработки апатит-нефелинового сырья – компании «Апатит».

Основным фактором, влияющим на устойчивость горных выработок рудников КФ АО «Апатит», является удароопасность пород. Данная опасность обусловлена высокими показателями хрупкости пород, высокими значениями действующих напряжений, природной сейсмичностью. Разработка мероприятий по заблаговременному выявлению зон повышенного горного давления, а также зон разгрузки позволяют предотвратить возникновения проявлений горного давления, в том числе и в динамической форме. В данных условиях тектоническое, а зачастую и литологическое строение массива в значительной степени может усложнить геомеханические условия ведения работ. Уже сейчас опыт ведения работ в условиях рудников КФ АО «Апатит» показывает, что в определенных ситуациях литологическая неоднородность может быть определяющей для устойчивости выработок [1]. Это связано с разнообразием сортов руд с отличающимися свойствами, а самое главное – с разнообразием пород, слагающих дайки и заполняющих тектонические нарушения. При этом разница деформационных и прочностных свойств данных неоднородностей может отличаться на порядки от массива горных пород, что, в свою очередь, вызывает появления в массиве концентраций напряжений, которые могут реализовываться в разрушения, в том числе в динамической форме, при приближении к ним горных работ [2].

Несмотря на установленное влияние сложного литологического строения на устойчивость подземных горных выработок, количественной оценки этого влияния в настоящий момент не установлено. Согласно статистическим данным КФ АО «Апатит» доля проявлений горного давления, в том числе в динамической форме, увеличивается. В связи с этим, оценка влияния особенностей литологического строения массива горных пород Хибинских апатит-нефелиновых месторождений на устойчивость горных выработок является весьма актуальной задачей.

В ходе исследования проведен анализ условий, при которых сложное литологическое строение является фактором, влияющим на возникновение проявлений горного давления и проведен комплекс численных экспериментов на конечно-элементных моделях.

## Список литературы:

1. Козырев А.А., Панин В.И., Семенова И.Э. Управление геодинамическими рисками на Хибинских апатитовых рудниках // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 3. С. 9–18.
2. Козырев А.А., Жукова С.А., Журавлева О.Г., Онуприенко В.С. Развитие инструментального и методического обеспечения контроля наведенной сейсмичности на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях // Горный журнал. 2020. № 9. С. 19-26. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.02

## **К ОЦЕНКЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МАГНИТУДЫ ТЕХНОГЕННОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ**

***Батугин А.С., Шерматова С.С.***

*НИТУ «МИСус», Москва, Россия, as-bat@mail.ru, s\_shermatova@inbox.ru*

Техногенная сейсмичность при освоении недр и земной поверхности стала реальностью во многих регионах мира. В России насчитывается несколько горнопромышленных районов с шахтной сейсмичностью и ее воздействием на техносферу и окружающую среду [1]. Одной из характерных черт проявления техногенной сейсмичности является расположение гипоцентров сейсмических событий значительно глубже зоны техногенного воздействия. Наиболее сильные сейсмические события в горнопромышленных районах имеют глубину гипоцентра в несколько километров, а ряд землетрясений, которые относят к техногенным в других районах, имеет глубины гипоцентров до 15-20 км и магнитуды до 7,8. Большая глубина гипоцентров и сила таких землетрясений является одним из аргументов против их техногенной природы, однако вопрос этот остается открытым. В такой ситуации актуальным является вопрос об оценке максимально возможной магнитуды техногенного землетрясения в конкретном районе.

Оценки максимальной магнитуды тектонического землетрясения опираются на эмпирические зависимости, связывающие размер очаговой зоны и магнитуду сейсмического события. Вопрос о максимально возможной магнитуде техногенного землетрясения разработан в меньшей степени. В горной промышленности такие оценки опираются на данные сейсмологического мониторинга шахтных полей, по которым выявляют зоны сейсмической активизации и по их параметрам дают прогноз крупных событий. Недостатком известных методов является то, что магнитуду техногенного сейсмического события (горного удара) оценивают уже в процессе геодинамической активизации массива, количественные критерии подбирают эмпирическим путем, что исключает заблаговременный прогноз сильных событий и использование полученных зависимостей на других месторождениях.

В данной работе оценку максимально возможной магнитуды техногенного землетрясения предлагается давать на основе концепции предельно напряженного состояния верхней части земной коры, выдвинутой проф. Петуховым И.М. Поскольку в рамках этой концепции слой предельно напряженного состояния земной коры располагается от земной поверхности до некоторой глубины, то ведение горных работ или другой вид инженерной деятельности является непосредственным воздействием на нее, что при выполнении условий неустойчивости может вызвать землетрясение с большой глубиной гипоцентра, зависящей от мощности слоя предельно напряженного состояния [2]. Чем больше мощность слоя предельно напряженного состояния в земной коре, тем больше запасено в ней потенциальной энергии и тем сильнее может быть землетрясение, максимальные размеры очага которого будут определяться мощностью этого слоя. Таким образом, предполагается, что значения мощности слоя предельно напряженного состояния земной коры  $H$  определяют максимальную магнитуду возможного техногенного землетрясения. Поскольку глубина  $H$  изменяется от 0 до всей мощности земной коры в зависимости от географического положения региона, то и в соответствии с этим максимальная магнитуда возможных техногенных землетрясений может быть разной в различных регионах, что показано на ряде примеров.

***Работа выполняется по Соглашению № 22-27-00728 с Российским научным фондом.***



## Список литературы:

1. Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. Том 1. Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск. 2018. 549 с.
2. Батугин А.С. Общие закономерности проявления сильных горных ударов и индуцированных землетрясений на участках земной коры с предельно напряженным состоянием // Горный журнал. 2021. № 1. С. 22-27. Doi 10.17580/gzh.2021.01.04

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СЛАБЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА КОРОБКОВСКОМ ЖЕЛЕЗОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

*Беседина А.Н.<sup>1</sup>, Брайченко Г.Т.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия, besedina.a@gmail.com*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

В последние годы все большее внимание ученых-сейсмологов и общественности привлекают землетрясения значительной магнитуды, которые происходят на малых глубинах в тектонически спокойных регионах. Риск возникновения индуцированных сейсмических событий значительной магнитуды возрастает при использовании новых технологий извлечения твердых и жидких полезных ископаемых. При этом из-за малой глубины очага такие события приводят к повреждениям зданий и сооружений, расположенных на поверхности, и подземной инфраструктуры добывающих предприятий, которая во многих случаях оказывается полностью разрушенной. Исследование масштабных соотношений слабой сейсмичности и попытка определить характерную для данного участка горного массива эффективность микросейсмических событий является актуальной задачей с точки зрения оценки удароопасности конкретного массива горных пород.

В работе проведен анализ сейсмических событий, индуцированных взрывами, проводимыми при разработке прочных кварцитов Коробковского железорудного месторождения в тектонически стабильном районе Восточно-Европейской платформы. Месторождение характеризуется относительно небольшой глубиной выработки (порядка 300 м от свободной поверхности), а также существенным превышением величины горизонтальных напряжений над вертикальными. Мониторинг сейсмических событий проводился с помощью малоапертурной группы, оборудованной акселерометрами. Применение поляризационного анализа [1] позволило провести локацию событий, которые оказались сгруппированы в окрестности взрывной камеры внутри области с уровнем динамических деформаций от взрывов более  $10^{-6}$ . Оценка параметров сейсмических событий (скалярный сейсмический момент, излученная сейсмическая энергия, угловая частота, приведенная сейсмическая энергия) проводилась для Р-и S-волн. Отношение угловых частот, определенных по продольным и поперечным волнам, имеет медианное значение  $f_p / f_s \approx 1$ , что отличается от характерного значения 1.5, полученного для модели Дж. Брюна и модели кругового разлома Р. Мадариага. Заниженные значения отношения угловых частот могут иметь место при малых углах выхода луча или же для событий с низкой скоростью

распространения разрыва [2]. Согласно [3] отношение излученной сейсмической энергии поперечных и продольных волн зависит от механизма очага. Для сейсмических событий с преобладающей сдвиговой составляющей  $E_s/E_p$  принимает значения от 10 до 30 [4]. Большинство событий из нашего каталога демонстрируют значительно меньшие отношения энергий с медианным значением  $\sim 4$ , что позволяет предполагать наличие событий с преобладающим отрывным механизмом в очаге. Величина приведенной сейсмической энергии составляет  $10^{-7} - 2 \cdot 10^{-6}$  Дж/(Н·м) для событий с моментной магнитудой от -2.6 до -2. Кластеризация событий с помощью параметров, описывающих волновую форму сигнала, позволила выделить две группы слабых сейсмических событий, которые характеризуются различными законами масштабирования – поведением приведенной сейсмической энергии (отношение сейсмической энергии и скалярного сейсмического момента) при увеличении магнитуды события. Полученные натурные данные о масштабе геодинамических событий могут учитываться при принятии решения об удароопасности или склонности к горным ударам горного массива шахты.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 122032900172-5.*

#### **Список литературы:**

1. Li H., Qu K., Rong W., Tuo X., Lu J., Wang R., Wang X., Courtois J. PolarGUI: A MATLAB-Based Tool for Polarization Analysis of the Three-Component Seismic Data Using Different Algorithms // *Seismol. Res. Lett.* 2021. V. 92. P. 3821-3831, doi: 10.1785/0220200439.
2. Kwiatek G., Plenkers K., Dresen G. and JAGUARS Research Group Source Parameters of Picoseismicity Recorded at Mponeng Deep Gold Mine, South Africa: Implications for Scaling Relations // *BSSA.* 2011. V. 101. N. 6. P. 2592–2608, doi: 10.1785/0120110094.
3. Gibowicz S., Harjes H.-P., Schäfer M. Source parameters of seismic events at Heinrich Robert mine, Ruhr Basin, Federal Republic of Germany: Evidence for non-double-couple events // *BSSA.* 1990. V. 80. P. 88–109.
4. Gibowicz S., Kijko A. An Introduction to Mining Seismology, in *International Geophysics*, V. 55, San Diego: Academic Press. 1994.

### **НОВЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ РИСКА КРУПНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*Беседина А.Н., Кочарян Г.Г.*

*Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия,  
gevorgkidg@mail.ru*

Многие крупные землетрясения, инициированные горными работами, связаны с подвижками по тектоническим разломам. Создание новых принципов диагностики потенциально опасных участков ведения горных работ предполагает развитие более детальных представлений о закономерностях формирования различных режимов скольжения по границам, разделяющим блоки горной породы на разном масштабном уровне, и создание новых подходов к интерпретации микросейсмической информации.

В основе научной концепции развиваемого подхода лежат новые представления о закономерностях и условиях реализации различных режимов скольжения по разломам – от крипа до динамического срыва. Асейсмические сдвиги и, так называемые, «низкочастотные землетрясения» происходят в коре по всей глубине, а свидетельства событий медленного скольжения проявляются в геологической структуре разломов, поднятых с разных глубин. Реализация разных режимов скольжения определяется фрикционными свойствами геоматериала, из которого сложена зона локализации скольжения, Р-Т условиями, геометрией зоны скольжения. Т.е. такими свойствами, которые, как правило, недоступны для прямого наблюдения.

Выполненные нами исследования показали, что эти свойства проявляются как в очаговых параметрах отдельных индуцированных микросейсмических событий [1], так и в характеристиках сейсмоакустического шума, источники которого локализованы в зоне разлома. Регистрируя волновые формы событий, наведенных горными работами, можно статистически оценивать величину приведенной сейсмической энергии (отношение величины излученной источником энергии к скалярному сейсмическому моменту). Основываясь на этом параметре можно судить о вероятности реализации накопленной в массиве упругой энергии в виде динамических событий.

Анализ записей шума с применением новых методов обработки позволяет использовать, для прогноза развития деформационных процессов в разломных зонах, и информацию, полученную от «анонимных» источников в зоне разлома. Детальное исследование акустических колебаний, сопровождающих разные режимы скольжения лабораторного разлома, выявило наличие различающихся по форме и амплитуде семейств акустических импульсов. Статистические свойства некоторых из них весьма чувствительны к изменению напряженно-деформированного состояния. Обнаруженные закономерности позволяют предположить, что завершающую стадию подготовки динамического события можно выявить при анализе формы, спектра и статистических характеристик регистрируемых сейсмоакустических сигналов [2].

Поскольку непрерывная регистрация сейсмического шума в условиях работающего предприятия малоперспективна, то получение информативных записей возможно лишь в течение коротких технологических перерывов. Здесь может помочь применение методов интеллектуальной обработки данных, что является одним из трендов последнего времени в мировой сейсмологии и механике очага землетрясения. Опыт лабораторных экспериментов показывает способность обученной нейронной сети эффективно описывать деформационные процессы в зоне разлома и предсказывать возможные катастрофические события.

#### **Список литературы:**

1. Besedina, A.N., Kishkina, S.B. & Kocharyan, G.G. (2021) Source Parameters of Microseismic Swarm Events Induced by the Explosion at the Korobkovskoe Iron Ore Deposit. *Izv., Phys. Solid Earth* 57, 348–365. doi 10.1134/S1069351321030034
2. Ostapchuk A.A., Morozova K.G. (2020) On the Mechanism of Laboratory Earthquake Nucleation Highlighted by Acoustic Emission // *Scientific Reports* 10, doi: 10.1038/s41598-020-64272-1.

## **ИНФРАКРАСНАЯ ДИАГНОСТИКА ОПАСНЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ ФАКТОРАМИ**

**Блохин Д.И.**

*ИПКОН РАН им. Н.В. Мельникова, Москва, Россия*

Современное горное производство характеризуется увеличением глубины разработки месторождений полезных ископаемых, вовлечением в эксплуатацию запасов, находящихся в сложных горно-геологических условиях, что обуславливает проявления геомеханических процессов в разнообразных катастрофических формах (горные удары, техногенные землетрясения, массовые обрушения, выбросы пород и газа и т.п.), приводящих к большому экономическому и социальному ущербу. Для достоверной диагностики и прогноза таких процессов наиболее эффективно использование методик геомеханического контроля, в основу которых положены физические модели, однозначно связывающие регистрируемые физические параметры с определяемыми вариациями механических величин.

К одним из активно развиваемых методов диагностики изменений механического состояния горных пород относится метод ИК-радиометрии (терморрадиометрии), использующий результаты бесконтактных измерений изменений интенсивности инфракрасного излучения с поверхности геоматериалов при их деформировании. Интерпретация результатов терморрадиационных (ИК-) измерений основана на описании известных термодинамических эффектов: изменение температуры твердого тела при ее адиабатическом деформировании («термоупругий» и «термопластический» эффекты) и зависимость интенсивности инфракрасного излучения с поверхности тела от температуры.

В сообщении описываются экспериментальные исследования по возможности использования термомеханических эффектов, возникающих при деформировании геоматериалов, для оценки изменений напряжённого состояния и структурной нарушенности техногенно изменяемых массивов горных пород. В указанных работах оценка применимости терморрадиационного метода производилась по результатам лабораторных испытаний с использованием прессового оборудования при различных режимах изменения нагрузки. В качестве основных результатов проведенных экспериментов следует выделить следующее:

1. Использование бесконтактной терморрадиометрии в диапазоне длин волн от 2 до 14 мкм позволяет получить достоверные оценки изменений интенсивности ИК-излучения с поверхности геоматериалов, соответствующие значениям приращений их температуры в процессе деформирования. При этом регистрируемые значения вариаций интенсивности ИК-излучения с поверхности геоматериалов оказываются чувствительными к изменениям их геомеханического состояния и степени структурной нарушенности, что создает предпосылки для использования терморрадиометрии в качестве инструмента геоконтроля.

2. Основанные на стандартных алгоритмах математической статистики, спектрального и вейвлет-анализа подходы к обработке экспериментальных записей вариаций во времени интенсивности ИК-излучения с поверхности геоматериалов, сопутствующих изменению их геомеханического состояния, позволяют достоверно идентифицировать параметры соответствующих деформационных процессов.

3. Структурно-текстурные особенности, физико-механические и теплофизические свойства горных пород, а также скорость протекания в них деформационных процессов оказывают определяющее влияние на характер изменений сопутствующего ИК-излучения при любом виде механического нагружения на всех стадиях деформирования.

4. Основой разработанной методики терморрадиометрической диагностики структурной

нарушенности и геомеханического состояния горных пород являются видоизменения характера зависимостей интенсивности теплового излучения с их поверхности от времени и от механических величин (напряжения, деформации), обусловленные переходами между стадиями деформирования материала.

В заключении сделан вывод об эффективности практического применения ИК-радиометрии для полевых измерений вариаций напряженного состояния породных массивов.

## **КИНЕМАТИКА МАЛЫХ ДИЗЬЮНКТИВОВ И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ХИБИНСКОГО МАССИВА**

*Бондарь И.В.<sup>1</sup>, Жиров Д.В.<sup>2</sup>, Маринин А.В.<sup>1</sup>, Сим Л.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

Хибинский массив долгие годы представляет уникальный природный полигон с длительной историей изучения природных тектонических напряжений [1]. Повышенный интерес к этому объекту объясняется как особенностями строения крупнейшего в мире щелочного массива, так и наличием в пределах массива крупных месторождений апатит-нефелиновых руд. При этом одна из проблем, с которой сталкиваются в ходе разработки этих месторождений, является проблема избыточных горизонтальных напряжений [2]. В целом, напряженно-деформированное состояние массива неоднородное, доминирующими агентами влияния на нее служат техногенные факторы и разрывная тектоника [3]. При этом на разных горизонтах рудников почти повсеместно преобладают напряжения горизонтального сжатия над вертикальными сжимающими напряжениями, значительно превышая их. Напряжения почти вдвое возрастают вблизи геологических нарушений и разломов. Вблизи горных выработок наблюдается не только повышение уровня напряжения, но и переориентировка направления сжатия [4]. С целью максимально точного изучения распределения напряжений в пределах Хибинского массива следует проводить комплексные исследования, в том числе на удалении от объектов горнорудной инфраструктуры с привлечением полевых тектонофизических методов.

В 2009-2019 годах нами проведены тектонофизические исследования в южной части Хибинского массива и в прилегающих к нему районах. Для обработки данных полевых замеров использовались методы катакластического анализа разрывных смещений [5] и структурно-парагенетического анализа малых дизьюнктивов [6]. Проведенные реконструкции напряженного состояния в пределах Кировского и Расвумчоррского рудников, карьеров «Центральный», «Коашвинский» и «Олений Ручей» позволили реконструировать 21 локальное палеостресс-состояние в пределах Хибинского массива и 10 локальных стресс-состояний в окружающих массив супракрустальных образованиях.

Положение осей главных напряжений в пределах Хибинского массива по данным проведенных реконструкций имеют значительные вариации. Среди преобладающих направлений осей максимального сжатия можно выделить запад-северо-западные (до субширотных) и северо-восточные, а также реже встречающиеся меридиональные ориентировки. Промежуточные оси часто занимают субвертикальное положение, но довольно много и субгоризонтальных осей, имеющих северо-восточное и субширотное



простирается. Оси максимального девиаторного растяжения ориентированы в север-северо-западном направлении или расположены субвертикально.

При сравнении полученных ориентировок оси максимального сжатия с *in situ* измерениями в рудниках Хибинского массива наблюдается большое сходство. При этом тектонофизическими методами в пределах какого-либо рудника или карьера фиксируются широкий разброс ориентации оси максимального сжатия, наблюдаемый также и при измерениях *in situ* [7]. По сравнению с меняющимися по азимуту погружению ориентировками осей главных напряжений более устойчив и информативен тип напряженного состояния, определяемый по положению осей на зенит. При таком рассмотрении реконструированных локальных стресс-состояний появляется закономерность. В центральной части массива преобладают геодинамические типы горизонтального сжатия, а по периферии массива – горизонтального сдвига и горизонтального растяжения. Это объясняется тем, что массив развивается по типу протрузивного поднятия приповерхностной центральной части массива с одновременным смещением от центра к периферии в радиальном направлении за счет разгрузки остаточных горизонтальных напряжений [8].

### **Выводы**

1. Кинематика малых дизъюнктивов и их парагенезы в пределах Хибин показывают большую зависимость от морфологии и строения массива, нежели от таковых в структурах обрамления, что говорит о преобладании автотектоники и соответствующих генерируемых напряжений над внешними тектоническими силами.

2. Ориентация осей главных напряжений в пределах Хибинского массива сильно варьирует, что также не может интерпретировано приложением только внешней тектонической силы.

3. Распределение геодинамических типов локальных стресс-состояний имеет закономерность: в центре Хибинского массива преобладает геодинамический тип горизонтального сжатия, а на периферии – геодинамические типы горизонтального растяжения и горизонтального сдвига.

### **Список литературы:**

1. Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В. История и результаты изучения тектонических напряжений Кольского региона полевыми тектонофизическими методами // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2013. №10. С. 96-99.
2. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Козырев А.А. О возможном механизме генерации избыточного горизонтального сжатия рудных узлов Кольского полуострова (Хибины Ловозеро, Ковдор) // Геология рудных месторождений. Т. 59, № 4. 2017. С. 263–280.
3. Жиров Д.В., Климов С.А., Пантелеев А.В., Жирова А.М. Выделение факторов контроля геодинамических опасностей на примере 3d геолого-структурной модели природотехнической системы "рудник Расвумчоррский - карьер Центральный" (Хибины) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). №7. 2016. С. 200-226.
4. Козырев А.А., Семенова И.Э., Земцовский А.В. Анализ условий реализации горного удара на Расвумчоррском руднике 14 февраля 2012 г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 4. 2013. С. 28-33.
5. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Изд. Наука. 2007. 406 с.

6. Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений. Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР, 1987. Ч.2, С. 173-235.
7. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах / Козырев А.А., Панин В.И., Иванов В.И., Савченко С.Н. и др. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 159 с. Ч. 2. 162 с.
8. Жиров Д. В., Маринин А. В., Жирова А. М., Сим Л. А. Неотектоника южной части Хибинского массива: результаты комплексной интерпретации противоречивых явлений // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН 2018. Апатиты. 2018. 140-143 с.

## **СВЯЗЬ КРУПНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ С ПОЛОГОПАДАЮЩИМИ ЭГИРИНОВЫМИ ЖИЛАМИ В ЛЕЖАЧЕМ БОКУ ХИБИНСКИХ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Габов Д.А., Корчак П.А.*

*КФ АО «Апатит», Кировск, Россия,*

Важной особенностью месторождений Хибинского массива является широко развитая дизъюнктивная и пликативная тектоника, а также высокий уровень горизонтальных напряжений, значительно превышающих вертикальные [1]. Разрывная тектоника представлена радиальными, концентрическими и коническими разломами, что весьма характерно для интрузий центрального типа [2,3]. Сведения о динамических проявлениях горного давления на рудниках централизованно собираются «Службой прогноза и предотвращения горных ударов».

По результатам микросейсмического мониторинга на подземных рудниках КФ АО «Апатит» за период времени с 1989 г. по 2021 г. зарегистрировано более 34 геодинамических явлений, ощущаемых на земной поверхности и повлекших нарушение устойчивости горных выработок. Несколько событий произошли в лежачем боку рудной залежи (например, 16.04.1989 г. магнитудой  $M=4.2$  и 21.10.2010г. магнитудой  $M=3.5$ ) были описаны как подвижки типа взбросо-надвиг по плоскости «разгнейсованной» эгириновой жилы мощностью 15-25 см, и спровоцированы массовыми взрывами [4].

В декабре 2020 г. в среднезернистых уртигах вблизи нижнего контакта рудного тела Юкспорского месторождения автоматизированной системой контроля сейсмичности массива Кировского рудника зафиксировано сейсмическое событие с магнитудой 2.4. Осмотр прилегающих горных выработок показал, что разрушения (нарушения) крепления носят закономерно линейный характер и выглядят как зияющая трещина с раскрытием стенок до 7 см.

Установлено что, во всех случаях раскрытие произошло вдоль жилы, выполненной темно-зеленым спутанно-волокнистым эгирином третьей генерации, местами с кавернами и прожилками натролита. Профиль жилы слегка волнистый с переменной мощностью от 5 до 25 см, а профиль контакт с вмещающими породами четкий и ломанный. В одной из выработок жила сечет пегматитовое тело лампрофиллит-арфвердсонит-эгиринового состава (рис. 1).

Осмотр поверхности срыва показал наличие следов смещения (борозды скольжения) по плоскости жилы, также смещение хорошо в стволах скважин с амплитудой до 3-4 см в северо-восточном направлении (рис.2). В одной выработке на 1 м ниже основной расположена еще одна эгириновая жила меньшей мощности, также следами скольжения и вывалами породами по ней. Максимальное раскрытие жилы зафиксировано ближе к гипоцентру произошедшего

сейсмособытия на границе с очистным пространством, постепенно уменьшаясь на юго-восток. После сейсмособытия в части выработок ортогового направления, располагающихся непосредственно вблизи жилы, проявились ранее не отмечавшиеся признаки горного давления.

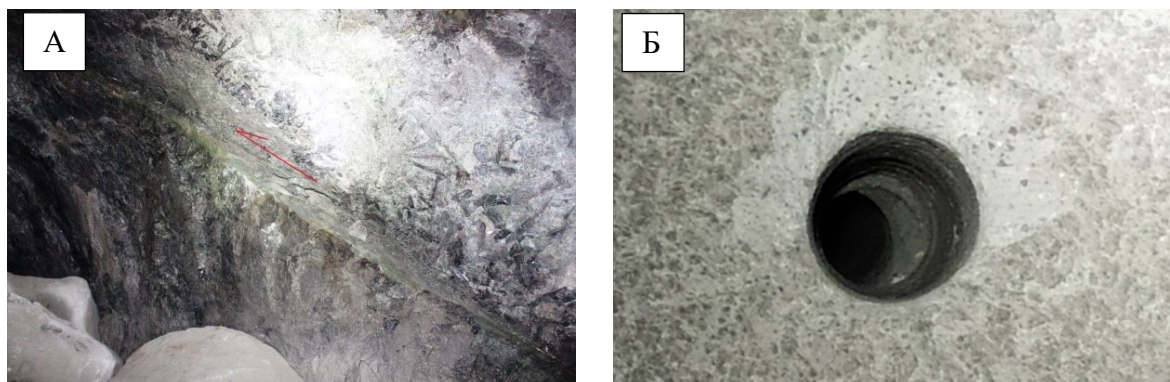


Рисунок 1. А - фотография раскрытой эгириновой жилы на границе среднезернистых уртитов и пегматита, красной стрелкой указано направление взброса. Б - ствол скважины глубокого бурения с видимым смещением породы внутри массива

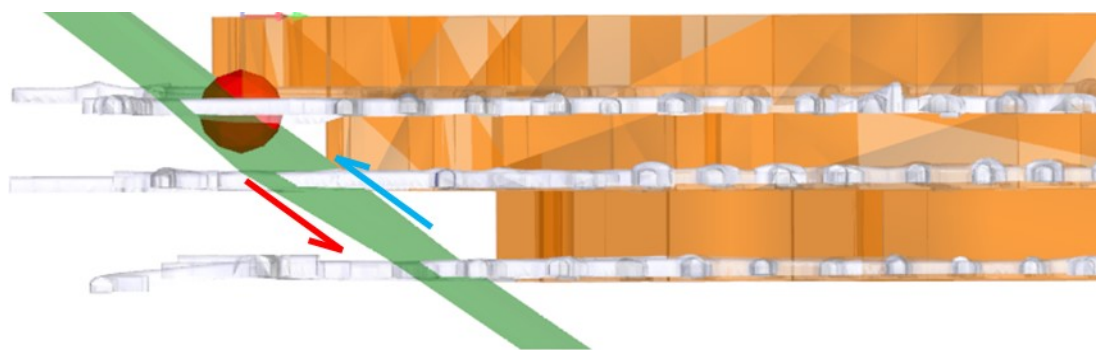


Рисунок 2. 3-D поверхность эгириновой жилы (зеленый), гипоцентр сейсмособытия (красный) и положение отбойки (оранжевый) на момент события

На основании фактических точек наблюдения по результатам осмотра выработок построена 3D-поверхность, отвечающая положению жилы в пространстве. Поверхность имеет довольно ровный и предсказуемый характер. Ее усредненные пространственные характеристики (азимут простирания  $130^\circ$ , азимут падения  $40^\circ$ , угол падения около  $40^\circ$ ) однозначно позволяют отнести ее к системе пологопадающих конических структур.

В заключении можно утверждать, что данное геодинамическое событие следует рассматривать как надвиг со сдвигом по азимуту  $263^\circ$  и с амплитудой до 3-4 см. Возможными причинами стали перераспределение напряжений в массиве горных пород вследствие увеличения объема очистной выемки, а также неблагоприятное залегание эгириновой жилы аналогично техногенным землетрясениям 1989 г. и 2010 г. в лежащем боку Кукисвумчоррского месторождения. По-видимому, физико-механические свойства материала заполнителя жилы заметно хуже вмещающих уртитов и способствуют срыву по ее поверхности, однако этот вопрос требует отдельного изучения на представительной выборке образцов. Жилы подобного типа весьма распространены в лежащем боку, они долгое время не рассматривались как потенциально опасные тектонические структуры. Кроме того, необходимо учитывать, что часть из них сопряжена с мощными водоносными зонами и прослеживается на значительные расстояния.

### Список литературы:

1. Тряпицын В. М., Шабаров А. Н. Современная тектоника и геодинамика Хибин. – 2007. 146 с.
2. Онохин Ф.М. Особенности структуры Хибинского массива и апатитонефелиновых месторождений. - Л.: Наука, 1975. 106 с.
3. Козырев А.А., Жиров Д.В., Климов С.А., Семенова И.Э., Аветисян И.М., Савченко С.Н. 3D-моделирование структурных неоднородностей породных массивов центрального типа фенноскандинавского кристаллического щита // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горно-технических и природных системах. 2019. С. 117-145.
4. Козырев А.А., Каган М.М., Константинов К.Н., Жиров Д.В. Изменения деформаций и наклонов геоструктурного блока в процессе подготовки и реализации техногенного землетрясения // Записки горного института. 2012. Т. 199. С. 230-235.

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКАЛЬНОГО МАССИВА ПОРОД НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ЕГО НАРУШЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ

*Дьяков А.Ю., Калашник А.И.*

*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия  
a.dyakov@ksc.ru, a.kalashnik@ksc.ru*

Как известно, породы являются весьма сложными природными многофазными образованиями, состоящими из различных по своим физическим свойствам компонентов, находящихся в разном фазовом состоянии (твердом, жидком, газообразном). Наличие различных зон и неоднородностей в структуре массивов пород обуславливает локальное изменение показателей параметров физических свойств.

Основным физическим свойством скальных горных пород, которое можно определить при помощи электромагнитного зондирования, является их диэлектрическая проницаемость. Диэлектрическая проницаемость конкретного типа породы зависит от непосредственно диэлектрических свойств составляющих ее компонентов — минеральных частиц, воздуха, воды, льда. Диэлектрическая проницаемость сухих пород определяется только их плотностью и диэлектрическими свойствами слагающих их минералов, в то время как увлажненных - дополнительно количеством воды (степенью водонасыщенности) в породе [1].

Диэлектрическая проницаемость скальных пород напрямую влияет на скорость распространения электромагнитных волн, что предопределяет возможность применения электромагнитного зондирования для исследования внутренней структуры массива пород. Параметрами, характеризующими результаты электромагнитного зондирования в скальных породах, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн. Первый из них определяет глубинность зондирования, знание второго параметра необходимо для пересчета временной задержки отраженного импульса в глубину до отражающей границы [1].

Параметры результирующего сигнала электромагнитного зондирования информативно отражают внутреннюю изменчивость свойств и неоднородность структуры скальных пород.

Представительным числом инструментальных измерений выявлено, что наведенное электромагнитное поле искажается на участках различия физических свойств скальных пород (зоны неоднородностей массива, участки повышенной трещиноватости, зоны повышенного водонасыщения и т. п.) [1].

Для теоретического обоснования подходов к локализации на радарограммах структурных нарушений скальных пород было применено компьютерное моделирование электромагнитного поля, индуцированного георадарным зондированием. Моделирование позволило существенно снизить неоднозначность в процессе интерпретации георадарных данных посредством понимания механизма формирования особенностей волновых характеристик (оси синфазности, амплитудные значения) и сравнения модельных данных с натурными. Установлены закономерности формирования волновых картин осей синфазности и амплитудных характеристик сигнала синтетических радарограмм массива скальных пород, ослабленного структурной неоднородностью, на которых при приближении георадара к неоднородности на радарограмме заблаговременно проявляются отражения в виде «хвостов» гипербол от краевых частей неоднородности. Ключевым параметром здесь является интенсивность искажения волнового поля, которая определяется контрастностью (соотношением) физических свойств пород, пространственной ориентацией и глубиной расположения неоднородности.

В работе выполнен анализ результатов электромагнитного зондирования участка скальных пород Ковдорского массива. Стоит отметить, что изменчивость физических свойств скального массива пород в окрестности существующих нарушений вносит значительные искажения при локализации этих нарушений электромагнитным зондированием, в части определения угла их залегания. Так, например, при общем среднем значении диэлектрической проницаемости по разрезу равной 9, полученной по годографу дифрагированной волны и методу общей точки, угол падения структурного нарушения, выявленного в массиве скальных пород, составляет 27 градусов. Изменение диэлектрической проницаемости в меньшую сторону, от 8 до 3 единиц, что характерно для монолитных скальных, либо мерзлых скальных пород, приводит к существенному изменению угла падения – до 29-55 градусов. Такая изменчивость физических свойств приводит к значительной неопределенности в интерпретации результатов в части оценки угла падения структурного нарушения массива скальных пород. В свою очередь, изменение диэлектрической проницаемости в большую сторону, от 10 до 15 единиц, что характерно для нарушенных скальных пород, либо значительно увлажненным и обводненным, приводит к изменению угла падения нарушения от 25 до 20 градусов.

Таким образом, даже незначительное на первый взгляд изменение физических свойств скального массива пород, а именно - значений диэлектрической проницаемости, вносит существенную трансформацию локализации структурных нарушений с применением электромагнитного зондирования.

#### **Список литературы:**

1. Дьяков А.Ю., Калашник А.И. Методические основы георадарных исследований горнотехнических объектов. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2021. 110 с.



# НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПАСНОСТИ И СКЛОННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ К ГОРНЫМ УДАРАМ, ОСНОВАННЫЙ НА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

**Еременко В.А.**

Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

prof.eremenko@gmail.com

Согласно нормативным документам Российской Федерации месторождение считается удароопасным (опасное по горным ударам) с глубины  $H$ , если в горных породах, составляющих не менее 10% планируемого к отработке объема, отношение модуля спада к модулю упругости больше 1 и измеренное или расчетное главное напряжение ( $\sigma_{max}$ ) превышает предел прочности породы при одноосном сжатии ( $\sigma_{сж}$ ).

К потенциально удароопасным (склонным к горным ударам) с глубины  $H$  относят месторождения, если в горных породах, составляющих не менее 10% планируемого к отработке объема, отношение модуля спада к модулю упругости больше 1; наибольшее главное напряжение ( $\sigma_{max}$ ) на наиболее напряженных участках месторождения превышает 80% предела прочности на одноосное сжатие ( $\sigma_{сж}$ ) –  $\sigma_{max} \geq 0,8\sigma_{сж}$ .

По графику деформирования образца (рис. 1), определяют модуль упругости  $E$  и модуль спада  $M$ : при  $E/M < 1$  порода считается удароопасной; при  $E/M > 1$  – неудароопасной.

С помощью численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения на стадии проектирования определяют значения максимальных напряжений в диапазоне рассматриваемых глубин.

Критерий удароопасности определяется:

$$K = \sigma_{max} / \sigma_{сж} \geq 0,8,$$

где  $K$  – коэффициент, характеризующий удароопасность массива.

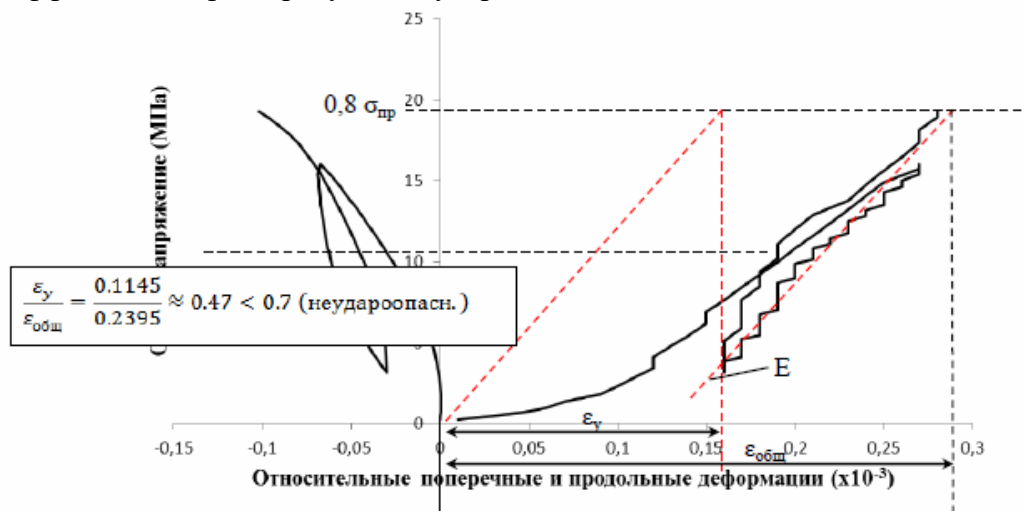


Рисунок 1. Результаты испытаний образца горной породы

Для определения условий возникновения проявлений горного давления в динамической форме необходимо определить на основе полученных результатов численного моделирования критерии напряженности и прочности массива. Динамические формы проявления горного давления в массиве возможны, когда действующие напряжения превышают половину предела прочности пород на одноосное сжатие  $\sigma_l > 0,5 \cdot \sigma_{сж}$ , при хрупком характере разрушения массива.

По многочисленным натурным измерениям установлено, что при действии на контуре обнажений выработок напряжений  $\sigma_l = 1,0 \cdot \sigma_{сж}$  отмечается разрушение массива в динамической форме.

Анализ опыта ведения работ на рудниках указывает на то, что в используемых региональных прогнозах удароопасности, критические напряжения принимаются в диапазоне  $\sigma_l = (0,5 \div 1,2) \cdot \sigma_{сж}$ .

Что касается литологического типа пород, то по опыту обычно породами, склонными к горным ударам, являются вулканические породы и рекристаллизованные метаморфические породы, в особенности с высоким уровнем кремне содержания или карбонизации и/или с мелкозернистой текстурой.

При вышеуказанных условиях будут наблюдаться высокие концентрации напряжений вокруг выработок, которые могут привести к стрелянию и динамическому отслоению пластинообразных кусков породы, а также к микроударам и горным ударам.

Если же эти условия не выполняются, то порода будет неудароопасна ввиду поглощения энергии горного давления за счет движения породных блоков по ранее существовавшим структурам (разломы, трещины, жилы, другие нарушения сплошности).

Согласно российской и зарубежной практике массив средней категории нарушенности, который имеет рейтинг RMR < 75 (по методу Бенявского) и индекс Q' < 60 (по методу Бартон) не может быть склонным и опасным по горным ударам, даже если горные породы полностью или частично составляющие его удароопасны. С данными характеристиками массив обладает пластическими свойствами.

На рис. 2 представлен график влияния количественных показателей шероховатости и измененности стенок трещин на удароопасное состояние массива или степень его скальной пластичности.

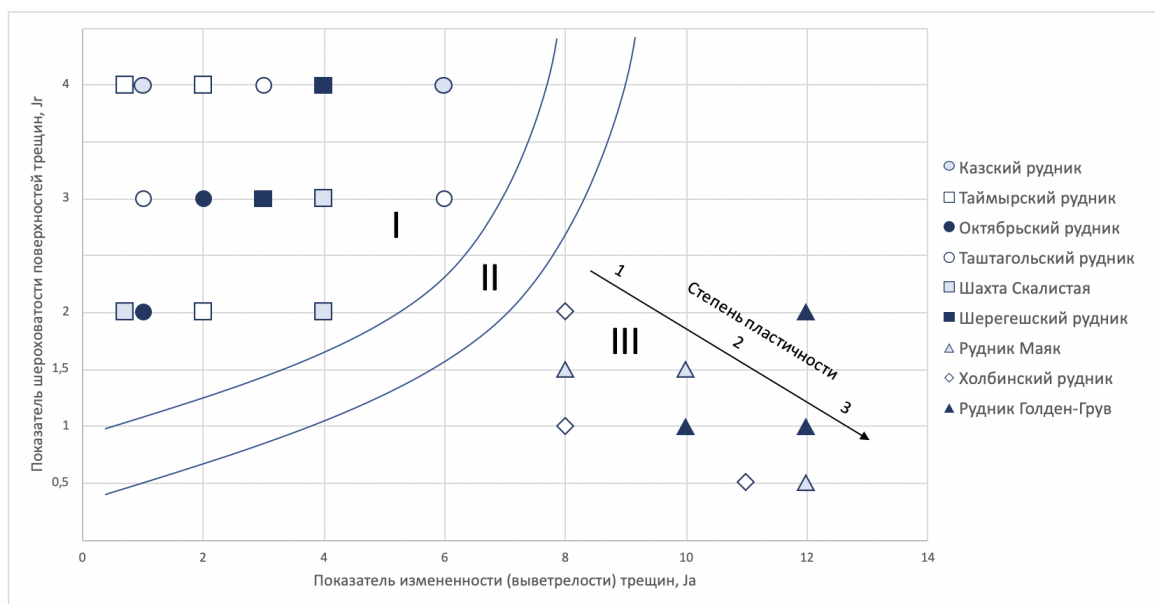


Рисунок 2. Прогноз удароопасности или скальной пластичности массива горных пород: I – хрупкое состояние массива (вероятность возникновения горных ударов); II – упругое состояние массива; III - пластичное состояние массива; 1 – слабая пластичность; 2 – умеренная пластичность; 3 - высокая пластичность

Соотношение между динамическим и статическим модулями упругости (Юнга)  $E_D/E_S < 1$  способствует формированию и развитию трещин. Низкое соотношение  $E_D/E_S$ , особенно если оно  $< 1$ , подразумевает, что эти породы имеют больше микротрещин, пор и/или крупных зерен в матрице мелких. Такие дефекты могут служить концентраторами напряжения и могут инициировать раннее зарождение и рост трещин в породе при достижении критического давления.

Для того чтобы горно-геологические условия были признаны потенциально удароопасными, должны выполняться следующие условия, причем все:

1. Опорное давление на периметре выработок должно быть очень высоким, близким к прочности породы в образце (свыше 80%);
2. Массив горных пород должен иметь относительно низкую трещиноватость, т.е. высокий индекс по Бартону ( $Q > 60$ ) и рейтинг по Бенявскому ( $RMR > 75$ );
3. При испытаниях на одноосное сжатие порода проявляет хрупкое разрушение взрывного типа;
4. Соотношение между динамическим и статическим модулями упругости (Юнга)  $E_D/E_S < 1$ .

## **ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОМ МАССИВЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ**

**Жариков С.Н., Кутуев В.А.**

*Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия, 9634447996@mail.ru*

В настоящее время пока не существует более экономичного способа единовременного разрушения больших объемов горных пород, чем буровзрывные работы. Учитывая, что для поддержания нормального функционирования выстроенных городских агломераций требуется регулярное поглощение ресурсов, то добыча полезных ископаемых в ближайшее время будет проходить примерно в тех же объемах, и скорее всего с незначительными изменениями, связанными с кризисными явлениями различного характера. Поэтому и объемы разрушения горных пород взрывом для выемки и транспортирования на поверхность во времени останутся прежними. Следует заострить внимание на том, что как подземные горные выработки, так и открытые двигаются постепенно от горизонта к горизонту в глубину, а значит, последствия взрывов становятся более опасными, т.к. могут спровоцировать крупные обвалы, оползни и обрушения. Для обеспечения безопасности охраняемых объектов можно выделить три основных критерия, которые существенно ограничивают те или иные решения при производстве технологических взрывов. Это сейсмозрывное воздействие (сейсмика), разлет отдельностей и степень возможного повреждения охраняемого объекта ударной волной. Сейсмика влияет на межблочные подвижки и соответствующим образом на устойчивое состояние грунтов и откосов, а также на здания и сооружения, испытывающие в своем основании гармонические колебания. Не всегда сейсмическое воздействие на устойчивость объекта заметно сразу, но оно всегда приводит к изменению свойств блочной структуры массива горных пород.

Наиболее опасными для любого сооружения являются колебания горного массива, превышающие допустимые значения по критерию устойчивости, поэтому важным вопросом

промышленной безопасности является контроль таких колебаний при производстве взрывных работ, которые обеспечили бы сохранность или хотя бы минимальное негативное воздействие на объект при производстве взрывов. Учитывая изложенное, следует отметить актуальность исследований в направлении изучения сейсмических волн, а привязка этих исследований к задачам горной промышленности имеет высокое научно-практическое значение.

Целью работы является изучение особенностей пространственно-временного распространения сейсмических волн от технологических взрывов, используя данные, полученные сейсморегистраторами, установленными на земной поверхности, для повышения уровня безопасности охраняемых объектов, устойчивости откосов и более рационального использования прибортовых запасов месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом.

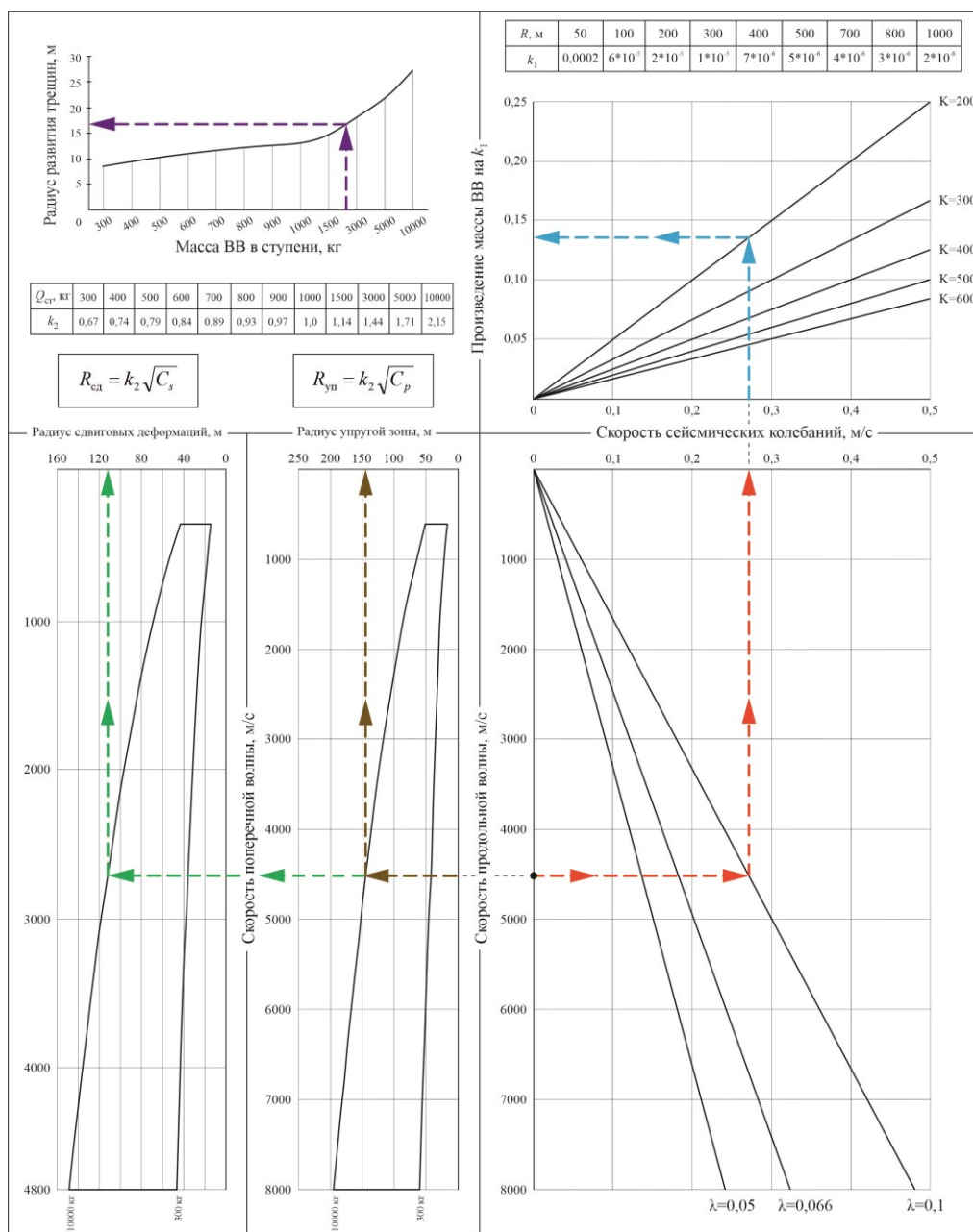


Рисунок 1. Номограмма для определения допустимого сейсмического воздействия

Для достижения поставленной цели были решены основные задачи исследования:

- Изучение сейсмического действия технологических взрывов на охраняемые объекты и законтурный массив в различных горно-геологических условиях сложноструктурных месторождений с использованием прямых натурных измерений.

- Анализ отклонений фактических колебаний массива горных пород от расчётных значений при разных коэффициентах грунтовых условий, и установление уточняющих зависимостей для расчёта допустимых скоростей колебаний на основе физико-механических свойств горных пород при различном структурном ослаблении горного массива.

- Разработка номограммы, позволяющей определять сейсмобезопасные параметры БВР в приконтурной зоне карьера, для обеспечения устойчивости откосов, а также прогнозировать сейсмическое воздействие взрывных работ на охраняемые объекты.

*Результаты исследований.*

В процессе анализа данных фактических измерений сейсмичности взрывов на различных месторождениях Урала, Сибири, Карелии и Казахстана за продолжительный период времени установлены средние отклонения фактических колебаний от расчётных значений при различных коэффициентах грунтовых условий. Получены уточняющие зависимости для расчёта допустимых скоростей колебаний массива горных пород.

На основе данных о физико-механических свойствах горных пород и распространении в них сейсмических колебаний при массовых взрывах построена номограмма (рисунок 1) для определения ограничений по массе зарядов в ступени замедления, обеспечивающих сейсмобезопасность охраняемых объектов.

## **МНОГОФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ**

***Злобина Т.В.***

*Горный институт УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

*tati.verkholantseva@gmail.com*

Добыча калийных руд является важной основой процесса производства минеральных удобрений. Российская Федерация входит в тройку лидеров-производителей калийных удобрений, что объясняется наличием на территории страны Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), одного из крупнейших в мире. Основной компанией, ведущей добычу на этом месторождении, является ПАО «Уралкалий», эксплуатирующее в настоящее время семь рудников. Проблема техногенной сейсмичности на месторождении существует более 30 лет. Существующая система сейсмологического мониторинга на ВКМКС действует с 1995 года и постоянно развивается. Более чем за двадцатилетний период наблюдений получен огромный объем информации о микросейсмичности территории месторождения, о ее пространственно-временных закономерностях и о влияющих факторах. Среди факторов можно выделить влияние взрывных работ на руднике. После взрыва происходит локальное повышение выделившейся сейсмической энергии в течение первых трех суток. Похожее воздействие оказывают и сильные ( $M \geq 5$ ) удаленные (эпицентральное расстояние до 3800 км) землетрясения. После прохождения волн от таких землетрясений происходит повышение энергии локальных событий в 1.7 раза по сравнению с фоновыми значениями. С другой стороны, на пространственное распределение зон повышенной сейсмической активности

оказывает влияние само наличие горных выработок, т.е. вариации сейсмической активности на месторождении в значительной степени обусловлены изменениями в горнотехнических параметрах отработки. Так, изучение влияния возраста горных выработок показало, что максимум энерговыделения регистрируется не сразу после отработки камер, а через 30-60 лет, в зависимости от обрабатываемого пласта. Анализ влияния типа и возраста закладочного материала позволил установить, что гидравлическая закладка дает значительное и более быстрое уменьшение средней плотности выделения сейсмической энергии по сравнению с сухой закладкой. Необходимо отметить влияние ширины и высоты камеры. Для сейсмических событий типа «обрушение» была выявлена прямая линейная зависимость максимальной моментной магнитуды от геометрических параметров камеры. Все полученные данные позволили формализовать их в единую многофакторную математическую модель прогноза сейсмической активности на калийных рудниках, которая имеет вид:

$$P(t) = P_0 \cdot \prod_{i=1}^n U_i(t, t_{0i})$$

где  $P_0$  – максимальный уровень параметра плотности выделения сейсмической энергии, определяемого для каждого сочетания разрабатываемых пластов;  $U_i(t, t_{0i})$  – функция, описывающая относительные изменения влияния  $i$ -го фактора во времени, нормированная на диапазон от 0 до 1;  $t$  – момент времени, для которого рассчитывается модельное значение (измеряется в годах);  $t_{0i}$  – момент начала действия  $i$ -го фактора.

Данная модель прогноза с одной стороны проста и универсальна, с другой стороны требует тщательного изучения всех возможных влияющих факторов с последующей отбраковкой малозначимых. Ранее проведенные исследования [1,2] показали, что влияние таких факторов, как взрывные работы, удаленные землетрясения, ширина и высота камеры, является нестабильным и они сложны для использования в прогностической модели. С другой стороны, такие факторы, как возраст отработки, количество отработанных пластов, возраст и тип закладочного материала, продемонстрировали наилучшую корреляцию, что позволило их использовать для прогноза активности процессов разрушения. При этом прогностический параметр  $P(t)$  рассчитывается для каждой отдельной камеры определенного рудника для интервала длительностью в один год, используя полученные взаимосвязи сейсмичности с влияющими факторами. Меньший временной интервал является нецелесообразным для расчета в связи с пластическими свойствами калийных солей.

Верификация и апробация данной модели [1,2] показали, что предложенная многофакторная математическая модель прогноза объективно отражает существующую реальность, основываясь на выявленных ранее закономерностях. Это дает возможность своевременно принимать меры, направленные на снижение сейсмической активности и корректировать планы ведения горных работ (как по добыче руды, так и по закладке выработанного пространства) в условиях калийных рудников. Особенностью данной математической модели является не прогноз времени и силы сейсмического события, а определение района, в пределах которого ожидается повышенный уровень выделения сейсмической энергии, причем даже на той территории, где нет возможности установить сейсмические датчики. После выделения таких зон в калийном руднике необходимо проводить мероприятия по снижению интенсивности деформационных процессов в их пределах. При отсутствии такой возможности альтернативой может быть принятие мер по снижению рисков, связанных с возможными негативными последствиями в пределах выявленных зон.



*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от «29» декабря 2020 г. (рег. номер 122012000401-7)*

#### **Список литературы:**

1. Злобина Т.В., Дягилев Р.А. Применение модели влияния горнотехнических параметров отработки при прогнозе сейсмической активности в калийных рудниках // Геофизика. 2018. № 5. С. 12–17.
2. Злобина Т.В., Дягилев Р.А. Апробация метода прогноза сейсмической активности для Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 4. С. 56–66. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_4\_0\_56.

### **АНАЛИЗ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА, РАСПОЛОЖЕННОГО НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ В СОЛЯНОМ МАССИВЕ**

***Катеров А.М.***

*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия  
andrey.katerov292@gmail.com*

В рамках исследования выполнен прогноз напряженно-деформированного состояния комбинированной крепи протяженного участка вертикального ствола, пройденного в соляном массиве на глубине 1250 м. В работе рассматривалось 4 участка по трассе ствола на глубинах в 500 м, 750 м, 1000 м, 1250 м. На основе анализа работы крепи даны рекомендации по выбору конструктивных параметров крепи вертикального ствола. Рассматривалось два типа конструкций крепей, таких как: "жесткая" – чугунно-бетонная крепь и "податливая" крепь, состоящая из двух слоев, где внутренний слой выполнен из чугунных тюбингов, а внешний из пенополистирола. Величина бетонного и податливого слоя принималась равной 300 мм. Для увеличения точности прогноза напряженно-деформированного состояния чугунная тюбинговая колонна рассматривается с учетом геометрической конфигурации тюбинга из чугуна марки ВЧ-70. Решение задачи выполняется в объемной постановке с учетом развития длительных деформаций ползучести, реализующихся за срок эксплуатации горной выработки 50 лет. Величина начального поля напряжений равна гидростатическому давлению, реализуемому на рассматриваемых участках вертикального ствола. В рамках исследовательской работы выполнено сравнение напряжений, реализуемых в чугунной тюбинговой крепи и даны рекомендации по области применения той или иной конструкции крепи.

#### **Актуальность исследования**

Освоение глубоких месторождений полезных ископаемых осложняется условиями вскрытия. Строительство подземных горных выработок в соляном массиве осложнено развитием длительных пластических деформаций, возникающих вследствие ползучести вмещающего массива. Поле естественных напряжений соляного массива на глубинах более 500 м приравнивается к гидростатическому. По мере увеличения глубины заложения интенсивность развития геомеханических процессов в окрестности подземного сооружения интенсивно растет. В

связи с этим возникает необходимость выбора надежной конструкции крепи вертикального ствола, обеспечивающей безопасную работу предприятия на этапе строительства и эксплуатации.

### **Методы исследования напряженно-деформированного состояния крепи вертикального ствола**

Прогноз развития напряженно-деформированного состояния комбинированной крепи вертикального ствола, заложенного в соляном массиве выполнялся в пространственной постановке с учетом срока эксплуатации подземного сооружения.

В работе рассматривается протяженный участок вертикального ствола с диаметром в проходке равным 8,3 м и диаметром в свету равным 7,0 м. Величина внешнего слоя для обоих типов крепи равна 0,3 м. Рассматривается 4 сечения крепи протяженного ствола, участки располагаются с шагом 250 м с отметки 500 м и до 1250 м. Граничные условия были приложены по периметру модели и ограничивали перемещения массива, в массиве действовало поле естественных напряжений равное гидростатическому и определялось по градиенту давления 0,0226 МПа/м. К верхней и нижней частям модели прикладывалось давление равное гидростатическому. Для учета развития напряжений в конструкции крепи ствола была построена пространственная модель, учитывающая геометрическую конфигурацию тубинговой крепи.

Для описания реологических свойств соляного массива использовалась феноменологическая модель, описанная степенным законом ползучести Power law, позволяющая описать первую стадию ползучести и частично вторую.

Верификация модели производилась на основании натуральных данных. Модуль деформаций соляных пород 20 ГПа при коэффициенте Пуассона 0,35. Поведение чугуна и бетона рассматривалось в рамках теории упругости в первом приближении, для второго приближения применялись прогрессивные модели описания механических свойств материалов крепи Concrete Damage Plasticity и Cast-Iron Plasticity. Принято, что модуль деформации бетона составляет 30 ГПа при коэффициенте Пуассона равном 0,2. При выполнении расчетов учитывалось снижение прочностных характеристик бетона, связанных с особенностью его длительного деформирования. Для чугунной крепи, представленной тубингом типоразмера «7,0-100», модуль упругости составлял 180 ГПа при коэффициенте Пуассона равном 0,3.

В качестве модели описания поведения пенополистирола, используемого в качестве компенсационного слоя, использовалась модель Crushable Foam. Для описания упругой деформации материала был принят модуль деформации 10 МПа при коэффициенте Пуассона 0,2.

### **Выводы**

Полученные результаты демонстрируют основные отличия "жесткой" и "податливой" крепи, из чего можно сделать основной вывод, что для "жесткой" крепи большая часть напряжений реализуются в первые годы эксплуатации ствола, в то время как развитие напряжений в "податливой" крепи плавно развивается на протяжении всего срока эксплуатации.

На основе результатов моделирования напряжений, можно сделать вывод, что величина напряжений равная 526 МПа превысила величину предела пластичности ВЧ-70, что говорит о том, что рассмотрение упругой модели для описания свойств чугуна является не корректной, поэтому во втором приближении применялись прогрессивные модели.

На основании выполненных расчетов даны рекомендации по выбору крепления вертикального участка ствола с учетом коэффициента надежности материала и ответственности конструкции, расположенной в соляном массиве.

На основании результатов, полученных при расчетах крепления кровли, когда бетон и чугун были представлены как упругие материалы (1-е приближение), можно сделать вывод, что для протяженной секции ствола, расположенной на высоте от -500 м до -820 м, стоит использовать "жесткую" комбинированную крепь; для крепления секции ствола на высотах от -820 м до -1250 м следует использовать податливую конструкцию крепи.

После использования более точных моделей, описывающих прочностные свойства бетона и чугуна (2-е приближение), даются следующие рекомендации. До 950 м можно использовать жесткую крепь, участок ствола между 950 м и 1250 м следует крепить податливой крепью.

## О КРИТЕРИЯХ УДАРООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

*Козырев А.А.<sup>1</sup>, Кузнецов Н.Н.<sup>1</sup>, Макаров А.Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Горный институт КНЦ РАН, Анатиты, Россия, [a.kozyrev@ksc.ru](mailto:a.kozyrev@ksc.ru), [n.kuznecov@ksc.ru](mailto:n.kuznecov@ksc.ru)

<sup>2</sup> SRK Consulting (Russia), Москва, Россия, [abm51@mail.ru](mailto:abm51@mail.ru)

Проблеме предотвращения горных ударов насчитывается уже порядка 200 лет. Она актуальна и по сей день. Исследователями различных стран установлено, что для реализации динамических явлений необходимо выполнение двух условий: а) способность пород к накоплению потенциальной энергии упругих деформаций при сжатии и разрушению их в динамической форме (упругость и хрупкость пород определяет их склонность к горным ударам); б) наличие в массиве высоких напряжений, близких к прочности горных пород.

В ходе исследований способности горных пород к динамическому разрушению (удароопасности) разработано несколько критериев. В основном, все они базировались на результатах испытаний образцов пород на прессах. Однако оценку удароопасности пород выполняют, исходя из различных данных. В некоторых критериях требуется определение деформационных характеристик пород до и после разрушения. В других устанавливают энергию, накопленную при деформировании пород до разрушения, определяют соотношение прочности пород при сжатии и растяжении.

К настоящему времени разработано не менее 10 различных критериев оценки удароопасности горных пород. Часть из них используется только в определенных странах, а некоторые только на определенных месторождениях. В связи с этим возникает проблема выбора универсального критерия удароопасности пород, который можно использовать при наличии стандартного испытательного оборудования.

Для решения этой задачи выполнена оценка склонности к динамическому разрушению (удароопасности) горных пород месторождений России и других стран мира (в частности, Казахстана). Рассмотрены следующие критерии. 1. Критерий Кайзера, заключающийся в оценке потенциала удароопасности пород по величине их прочности при одноосном сжатии и коэффициенту хрупкости. 2. Критерий А.Н.Ставрогина по сопоставлению модулей упругости и спада, определяемых на жестких прессах. 3. Критерий ГоИ КНЦ РАН, основанный на сопоставлении фактической и расчетной идеально упругой энергии деформирования пород до разрушения при сжатии. 4. Энергетический критерий, при котором оценку склонности пород к динамическому разрушению выполняют по характеру разрушения образцов на прессах при одноосном сжатии и значению накопленной критической удельной энергии деформирования.

На основе полученных данных выполнено сопоставление результатов оценки склонности горных пород к динамическому разрушению по рассмотренным критериям. Установлены границы применимости этих критериев и взаимосвязь между полученными результатами. Предложен универсальный подход, позволяющий проводить оценку склонности горных пород к динамическому разрушению на различных месторождениях.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКЛОННОСТИ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД К РАЗРУШЕНИЯМ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ПРИ ОДНООСНОМ И ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ**

**Козырев А.А., Кузнецов Н.Н., Пак А.К.**

*Горный институт КНЦ РАН, Анапиты, Россия*

*a.kozyrev@ksc.ru, n.kuznecov@ksc.ru, a.pak@ksc.ru*

На данный момент разработано множество методов определения склонности горных пород к разрушениям в динамической форме (удароопасности). Один из наиболее используемых подходов заключается в сопоставлении значений модуля упругости и модуля спада, устанавливаемых по результатам испытаний образцов на жестких прессах. Также существуют методы, позволяющие выполнять подобные определения по результатам оценки критических значений накопленной в образцах потенциальной энергии деформирования, по форме графика деформирования пород до предела прочности и т.д. В основном все эти методы применимы при проведении испытаний образцов пород в условиях одноосного сжатия.

При переходе к условиям трехосного сжатия изменятся характер деформирования пород и их прочностные свойства. Возникают вопросы, каким образом будет меняться склонность горных пород к разрушениям в динамической форме в таком случае и будут ли применимы разработанные для одноосного нагружения подходы?

Для ответа на эти вопросы проведены экспериментальные исследования образцов скальных горных пород месторождений Кольского региона в условиях одноосного и трехосного сжатия. Выполнена оценка их склонности к динамическим разрушениям по критерию А.Н.Ставрогина и критерию, разработанному в Горном институте КНЦ РАН. Выявлены породы, которые сохраняют свою склонность к динамическим разрушениям при переходе от одноосного нагружения к трехосному, либо не являются склонными к таким разрушениям в обоих случаях. Установлено пороговое значение бокового давления, при котором породы переходят из склонного к динамическим разрушениям состояния к не склонному. Определена применимость рассматриваемых критериев для случаев одноосного и трехосного сжатия.

## **ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ – ОБЪЕКТИВНЫЙ ИНДИКАТОР УДАРООПАСНОСТИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

**Козырев А.А., Панин В.И.**

*Горный институт КНЦ РАН, Анапиты, Россия, a.kozyrev@ksc.ru*

Энергонасыщенность геологической среды, являясь производной величиной от напряженного состояния и физических свойств пород в массиве, основной показатель, определяющий геомеханическую ситуацию в горнотехнической системе.

Это убедительно подтверждают результаты оценки величины энергонасыщенности основных рудоносных массивов Кольского полуострова, которые показали, что наибольшими этими параметрами обладают Хибинский и Ловозерский массивы, где имеют место высокий уровень сейсмической активности, динамических проявлений горного давления и наибольшие разрушения элементов горной технологии на различных масштабных уровнях.

Энергонасыщенность геологической среды определяет основные закономерности геомеханической эволюции горнотехнических систем, наблюдаемыми проявлениями которой являются деформации горных пород в массиве и сейсмичность. При этом деформации определяют процессы накопления и концентрации энергии, а сейсмичность – степень ее релаксации и диссипации, что в совокупности определяют основные параметры энергообмена.

К настоящему времени наибольший объем информации о сейсмичности накоплен в горнотехнических системах Хибинского массива, что является основанием для анализа его энергонасыщенности и ее динамики в процессе ведения горных работ.

Результаты выполненных исследований показали, что, несмотря на оценку в целом современной сейсмичности территории Мурманской области как сравнительно невысокой, геодинамический риск при разработке удароопасных месторождений Хибинских и Ловозерских массивов за счет концентрации напряжений вблизи очистных пространств может быть значительным и существенно влиять на безопасность горных работ, что подтверждается соответствующей практикой.

Таким образом, уровень энергонасыщенности определяет геомеханическую ситуацию в горнотехнической системе и является основным индикатором ее удароопасности.

## **СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗ ПОСЛЕДСТВИЙ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОРОДНЫЙ МАССИВ В КАРЬЕРНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Козырев С.А., Соколов А.В., Усачев Е.А.*

*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия, s.kozyrev@ksc.ru*

С увеличением глубины карьера рудника "Железный" Ковдорского ГОКа большое значение приобрело обеспечение устойчивости долговременных откосов уступов и бортов, поэтому существенно возросли требования к сохранности законтурного массива и качеству оформляемых бортов. Под действием взрывов в массиве горных пород образуются зона дробления (полного разрушения), зона заколов (перемещения) и наведенной трещиноватости (остаточных деформаций). Размеры этих зон взаимосвязаны и определяют границы структурного ослабления массивов, в которых заметно изменяются его деформационно-прочностные характеристики и проницаемость, и зависят от многих факторов, главные из них – количество одновременно врываемого взрывчатого вещества, структурно-тектонические особенности массива, прочностные свойства горных пород, параметры буровзрывных работ.

Существующие подходы к определению этих зон являются весьма ориентировочными и не учитывают особенности действия удлиненных зарядов при наличии свободных поверхностей при уступной отбойке и динамику изменения трещиноватости в плане и по глубине породного массива в карьере.

В настоящей работе за основу при определении ширины зоны трещинообразования и заколов в законтурном массиве приняты данные, полученные по результатам математического моделирования с использованием методического подхода, предложенного М.И.Шуйфером и А.Е.Азарковичем. В качестве критерия оценки зоны трещинообразования и заколов использовалась критическая скорость смещения. Как показали результаты математического моделирования при наличии боковой открытой поверхности уступа

симметрия распространения разрушений от заряда не соблюдается. Разрушения в основном направлены в сторону боковой и верхней открытых поверхностей. В противоположную тыльную сторону массива на уровне торца заряда разрушения распространяются на небольшие расстояния в пределах зоны дробления напряжениями сжатия в прямой волне. Зоны разрушения на уровне торца заряда, средней его части, на уровне недозаряда и на дневной поверхности существенно отличаются друг от друга, а наибольшие разрушения приурочены к приповерхностной зоне. Для расчета этих зон получены эмпирические зависимости при взрыве одиночных и группы зарядов, позволяющие производить оценку ширины зон трещинообразования и заколов в тыльную часть массива.

Для оценки зон проявления наведенной трещиноватости использовались данные о сейсмическом действии взрывов в ближней зоне (до 200 м), а в качестве критерия использовалась допустимая скорость смещения в зависимости от категории пород по трещиноватости во взрываемом блоке в различных зонах по сейсмичности.

На основе экспериментальных наблюдений за сейсмическим действием массовых взрывов на карьере рудника "Железный" АО "Ковдорский ГОК" произведено ранжирование карьера по степени реакции массива горных пород на взрывные воздействия с разделением на зоны в зависимости от размера отдельности по глубине карьера. Выявлено, что наибольший размер зоны наведенной трещиноватости в массиве горных пород наблюдается в средней зоне карьера, что связано с неравномерным распределением отдельностей в массиве и двойным воздействием взрывов, производимых как на верхних горизонтах по разноске борта карьера, так и от взрывов, производимых на нижних горизонтах, что приводит к дополнительному разуплотнению массива горных пород в этой зоне. Для каждой из выделенных зон получены эмпирические зависимости по оценке зон проявления наведенной трещиноватости. Показано, что размер зоны проявления наведенной трещиноватости в приповерхностной зоне уступа при применяемой технологии буровзрывных работ может достигать 20 и более метров, что требует минимизации интенсивности взрывного воздействия за счет подбора оптимальных параметров буровзрывных работ и схем взрывания.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОСТОЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ВЫЗВАННЫХ ОБРУШЕНИЕМ КРОВЛИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛИННЫМИ ЛАВАМИ**

*Кубрин С.С., Закошменный И.М., Блохин Д.И.  
ИПКОН РАН им. Н.В. Мельникова, Москва, Россия*

В настоящее время внедрение высокопроизводительного надежного очистного оборудования и связанное с ним повышение уровня концентрации горных работ при подземной разработке пологих угольных пластов обусловило в большинстве случаев переход шахт к структуре «шахта–лава». При этом наблюдается тенденция существенного увеличения геометрических размеров выемочных столбов. Например, длина лавы в реально действующих забоях сейчас достигает значений 350–400 м.

Изменившиеся условия отработки выемочных столбов приводят к появлению ранее не наблюдавшихся особенностей пространственного распределения напряженно–деформированного состояния углепородного массива, в результате которых обрушение

кровли в выработанное пространство приобретает более сложный характер. Указанные геомеханические процессы в свою очередь изменяют метанообильность рассматриваемых высокопроизводительных выемочных участков. Поэтому исследование существующих геомеханических ситуаций с целью оценки пространственных параметров обрушения кровли и последующего прогноза газокинетических параметров выемочных участков является актуальным и практически значимым.

В настоящем сообщении описывается основанная на использовании алгоритмов спектрально – корреляционного анализа методика выделения и описания составляющих исследуемых случайных функций, отражающих влияние различных факторов на изменчивость распределения значений напряженно-деформируемого состояния углепородного массива в зоне очистного забоя. В качестве примера таких реализаций приведены результаты измерений изменений давления в стойках механизированной крепи при отработке лавы 24–63 шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК – Кузбасс».

В результате анализа экспериментальных данных выявлена разномасштабная периодичность в распределении параметров, характеризующих напряженно-деформированное состояние углепородного массива в приконтурной области выемочного столба (при отработке запасов угля лавами протяженностью более 300 м).

Анализ хронометража работы оборудования комплексного механизированного забоя лавы 24–63 в период, соответствующий времени проведению замеров в стойках механизированной крепи, позволил установить связь влияния периодичности обрушения пород кровли при работе механизированных комплексов на состав рудничной атмосферы призабойного пространства.

В заключении сделан вывод о том, что периодичность обрушения основной кровли, а вместе с ней и периодичность изменения концентрации метана в призабойном пространстве соответствуют характеру изменения зависимостей, установленных по давлению на крепь, и в процессе отработки выемочного столба могут быть оценены по данным мониторинга.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРАКТИКЕ ОТРАБОТКИ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Мансуров В.А.<sup>1</sup>, Герман В.И.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> *ОсОО «Вертекс Голд Компани», Бишкек, Кыргызстан, geomans43@gmail.com*

<sup>2</sup> *ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья», Красноярск, Россия, german3v@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

Геомеханический мониторинг играет большую роль в принятии эффективных проектных и управленческих решений, а также обеспечении необходимого уровня безопасности работ. Особенно важное значение он имеет на начальной стадии разработки месторождений, когда имеется дефицит исходной информации для проектирования. Крайне высока его роль и на стадии доработки месторождения, когда в условиях ослабленного выработками массива необходимо сочетать требования полноты извлечения запасов, обеспечения экономических показателей и безопасности.



Грамотное использование имеющихся инструментов геомеханического мониторинга позволяет успешно решать все перечисленные выше задачи.

Одним из объектов, где широко применяется геомеханический мониторинг, является Жезказганское медное месторождение. Оно расположено в юго-западной части Центрального Казахстана. Активное его освоение началось в 50-х годах XX века. Подземные выработки месторождения занимают участок 10х10 км и уходят на глубину до 650 м. Месторождение преимущественно отрабатывалось камерно-столбовой системой. На значительной площади выемочные единицы перекрываются в плане. Число таких перекрытий часто изменяется от 3 до 5. С 80-х годов началась повторная отработка месторождения с выемкой междукамерных и барьерных целиков. В настоящее время большая часть месторождения находится на стадии доработки.

Основной проблемой ведения горных работ на Жезказганском месторождении (ЖМ) является возникновение крупных обрушений. Одно из сильнейших обрушений произошло 01.08.1994 года. Оно сопровождалось обрушением на площади 480 тыс.м<sup>2</sup> (900х680 м). Объем обрушившихся пород составил 144 млн.м<sup>3</sup>, вес – 375 млн.т. Сейсмическими сетями оно было зафиксировано как техногенное землетрясение с магнитудой MS=4.6, mb=4.8 (по данным ЕГС РАН). Возникновение обрушения привело к повышению внимания к геомеханическому мониторингу. Уже в 1995 г. была создана специализированная геомеханическая служба. Ее основной задачей являлся мониторинг выработанного пространства, подработанной налегающей толщи и земной поверхности. Основными методами контроля были приняты:

- инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности по профильным линиям;
- визуальные обследования состояния междукамерных целиков (МКЦ), поддерживающих выработанное пространство;
- сейсмический мониторинг подработанной толщи пород.

На основании данных наблюдений все выемочные единицы были разделены на 4 класса: устойчивые, ослабленные, неустойчивые и интенсивные сдвигения. Для такой классификации были определены формальные критерии [1]. Класс выработки мог уточняться при поступлении новых данных либо на основе дополнительного геомеханического анализа. Такое разделение помогало в планировании горных работ, а также общей оценке геомеханической ситуации на месторождении.

Первая сеть профильных линий на дневной поверхности появилась на месторождении еще в конце 50-х годов, затем с продвижением горных работ она расширялась. Наблюдения по ним позволяло вовремя переносить наземные коммуникации и другие объекты. Кроме того, были установлены признаки готовящегося обрушения в данных сдвигения земной поверхности [2], основанные на предельных значениях оседаний, а также значениях скорости оседаний. Вместе с тем к 2005 г. стало понятно, что профильные линии не покрывают площадь, на которой возможно формирование обрушений. Более того, принятая периодичность наблюдений (1-2 раза в год) являлась не достаточной. В этих условиях в 2010 г. было принято решение о проведении космического радарного мониторинга смещений земной поверхности [3], позволившего оперативно выявлять места готовящихся обрушений.

С конца 2000-х годов было усилено направление визуальных наблюдений. Геомеханики были выведены из подчинения директоров рудников, их обеспечили инструментами, позволяющими точнее контролировать поперечные размеры разрушающихся целиков. Дополнительно были внедрены методика и программа расчета устойчивости МКЦ с учетом их реальных размеров (с определением коэффициента запаса устойчивости), а также данных об условиях возникновения уже реализовавшихся обрушений

на ЖМ [4]. Ранее о возможности обрушения судили в первую очередь по доли МКЦ, имеющих различную степень разрушения [1].

В 1997 году была создана система сейсмического мониторинга ЖМ. Она позволила контролировать сейсмичность в местах ведения горных работ. На первоначальном этапе в качестве основного критерия возникновения опасной ситуации рассматривалось возникновение сильных сейсмических событий, а также резкое увеличение сейсмической активности в пределах нескольких расположенных вблизи выработок [1].

С 2007 г. в качестве основного метода выделения опасных зон по данным сейсмического мониторинга использовался модифицированный концентрационный критерий разрушения твердых тел [5, 6]. При этом для оценки концентрации дефектов использовался не концентрационный параметр  $k$ , а параметр сближения сейсмических событий  $\kappa$ , который рассчитывается для каждой пары сейсмических событий с индексами  $i$  и  $j$  без применения процедуры осреднения, он характеризует возможность взаимодействия событий с индексами  $i$  и  $j$ :

$$\kappa_{ij} = \frac{d_{ij}}{(L_i + L_j)/2},$$

где  $d_{ij}$  – расстояние между гипоцентрами/эпицентрами событий, а  $L_i$  и  $L_j$  – размеры соответствующих им дефектов.

Условие возникновения опасной ситуации  $\kappa_{ij} < \kappa_*$  можно записать в виде

$$\kappa_{ij} = \frac{d_{ij}}{(L_i + L_j)/2} < \kappa_* \text{ или } d_{ij} < (\kappa_* L_i + \kappa_* L_j)/2.$$

В рамках данного подхода взаимодействие двух дефектов возможно, если пересекаются области их влияния, имеющие радиус  $\kappa_* L/2$ . Чем крупнее дефект соответствующий событию, тем больше размер этой зоны. Цепочки из данных зон образуют опасные области, где можно ожидать возникновение обрушения (см. рис. 1).

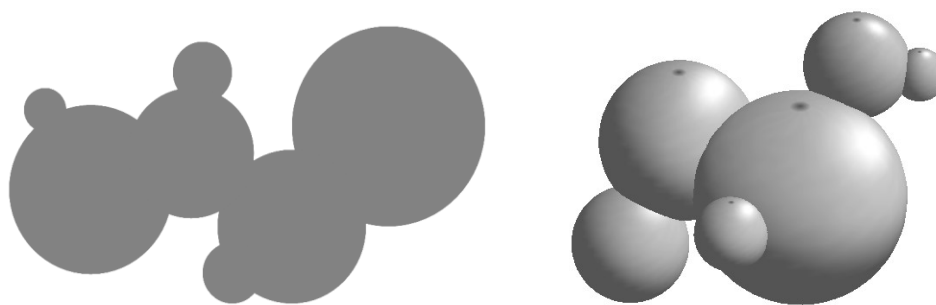


Рисунок 1. Цепочки из зон влияния событий, образующие потенциально опасные области: а) на плоскости (если нет данных о глубине), б) в пространстве

Дополнительно для прогноза обрушений использовались представления о формировании сейсмических брешей первого и второго рода, миграции сейсмичности, а также результаты визуальных наблюдений в шахте и наблюдений за оседанием поверхности над выработками.

С 2007 г. по 2012 г. (в годы участия авторов в проведении геомеханического мониторинга на ЖМ) были спрогнозированы все основные обрушения на месторождении [5-7]. Первый прогноз опасности возникновения выдавался, как правило, за месяц до реализации обрушения.

### Список литературы:

1. Методические указания по экспресс-оценке состояния выработанного пространства Жезказганского месторождения, Караганда, 1999. – 26 с.
2. Сатов М.Ж. Мониторинг горного массива по данным сдвижения горных пород // Горный журнал. – 1999. – № 3. – С. 44-47.
3. Мансуров В.А., Сатов М.Ж., Жантуев Р.Т., Кантемиров Ю.И. Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности и сооружений на Жезказганском месторождении меди (Республика Казахстан) // Геоматика. – 2012. – № 1. – С. 77-83.
4. Юн А.Б., Макаров А.Б., Мосякин Д.В., Чарковский К.И., Карпиков А.А. Обратный расчет прочности междукамерных целиков по факту их разрушения // Горный журнал. – 2005. – № 3. – С. 45-51.
5. Герман В.И., Мансуров В.А. Прогноз обрушений на Жезказганском медном месторождении. // ГИАБ. – 2010. – № 1. – С. 95-104.
6. Герман В.И. Прогноз обрушений на рудниках по данным сейсмического мониторинга // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 99-109.
7. Мансуров В.А., Герман В.И. Прогноз обрушений на Жезказганском месторождении по данным сейсмического мониторинга // Горный журнал. – 2007. – № 1. – С. 89-92.

## МОНИТОРИНГ ОСНОВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

*Махмудов Х.Ф.<sup>1</sup>, Щербаков И.П.<sup>1</sup>, Юлдашев З.Ш.<sup>2</sup>, Хайдарова М.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан*

<sup>3</sup> *Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова, Худжанд, Республика Таджикистан*

Усовершенствовано устройство для оперативного контроля и определения энергетических параметров силовых трансформаторов, содержащее блок измерения величины тока, блок измерения величины напряжения, блок контроля системы масляного охлаждения трансформатора, устройства обработки полученных данных, на входе высоковольтной стороны силового трансформатора установлены высоковольтные трансформаторы тока (на каждой фазе) и высоковольтный измерительный трансформатор напряжения (на каждой фазе А,В,С, а, в, с. рис. 1), выходы которых соединены с входом блока коммутации, также их выходы через измеритель соэф на высоковольтной стороне соединены с входом блока коммутации. Усовершенствование энергетических параметров силовых трансформаторов для оперативного контроля при мониторинге основных энергетических параметров позволит получить результат достоверной информации по потерям мощности (энергии) по фазам и в целом по силовому трансформатору и предотвратить от преждевременного выхода из строя и получения энергетического паспорта силового трансформатора.

Устройство относится к электротехнике и предназначено для мониторинга основных энергетических параметров и энергоемкости выполнения энерготехнологического процесса силовых трансформаторов.

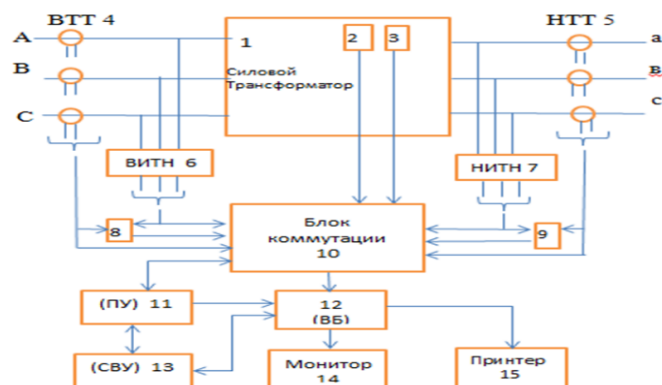


Рисунок 1

### Список литературы:

1. Патент США US N!!4654806, Н 02 Н 7/04.
2. Устройство для мониторинга силовых трансформаторов. Патент РФ на изобретение N!!2242830, Н02Н 7104.
3. Способ диагностики силовых трансформаторов. Заявка N294034034J07, 19.09.1994, Н\_О2\_Н 7/04 (1995.01), G\_О1\_Р 31/02 (1995.01).

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»

*Мороз Н.Е.<sup>1</sup>, Вюников А.А.<sup>2</sup>, Сидоров Д.В.<sup>3</sup>, Василенко Т.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Служба ППДЯ рудника «Интернациональный», Мирный, Россия

<sup>3</sup> ООО «Полигор», Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время фронт горных работ на руднике «Интернациональный» опустился на глубину свыше 1300 метров от уровня поверхности. Горно-геологические условия весьма сложные – кимберлитовую трубку вмещают упруго-пластичные нефтегазосодержащие карбонаты. Под влиянием тектонических нарушений и взрывной сейсмичности горные породы подвергаются регулярному газодинамическому разрушению.

На сегодняшний день детально изучены фазово-физические и физико-механические свойства горных пород, а также геомеханическая обстановка, что позволяет реконструировать происходящие процессы. Таким образом, целью исследования является оценка степени влияния перечня факторов, влияющих на склонность карбонатных пород к развитию газодинамических явлений.

В основу моделирования закладываются кинетические уравнения для давления газа и трещиноватости горных пород, объясняющие происхождение физического эффекта повышения давления газа вблизи максимума горного давления и разрушения системы газонаполненных трещин. Для расчета напряженно-деформированного состояния решается упруго-пластическая задача в отечественном программном комплексе «Press 3D Ural».

## **ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ЮЖНО-ХИНГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД**

*Рассказов М.И., Сидляр А.В., Крюков В.Г., Терешкин А.А., Цой Д.И.*

*Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия, rasm.max@mail.ru*

Объектом исследований является Южно-Хинганское месторождение марганцевых руд, расположенное на территории Октябрьского района Еврейской автономной области. Его геодинамическая позиция и приуроченность к тектонически активным структурам в южной части Буреинского срединного массива на стыке крупных современных морфологических элементов региона: Средне-Амурской рифтогенной впадины и Буреинского хребта, что часто предопределяет склонность месторождения к горным ударам при ведении подземных горных работ, послужили основанием для постановки геомеханических исследований.

Рудоносная структура месторождения, которая контролирует положение рудных участков, прослеживается в субмеридиональном направлении на 54 км при ширине 6-12 км, площадь более 400 кв. км, от р. Амур на юге до р. Помпеевка на севере. В её пределах выявлен 21 участок с рудами железа либо железа и марганца. Наиболее подготовленным для освоения является участок Поперечный (на начальных этапах разведки до 1951 г. объект назывался месторождением). Протяженность основного рудного тела на месторождении составляет 2400 м при средней мощности 3,2 метра и содержании марганца 20,4%. По падению на глубину рудные тела изучены до 400 м без признаков выклинивания. Падение тела крутое, на восток, под углами 65-85°. Запасы марганца определены по категориям В+С<sub>1</sub> – 5116 тыс. т., С<sub>2</sub> – 1415 тыс. тонн. Запасы железа не подсчитывались.

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.

Месторождение разрабатывается подземным способом. Схема вскрытия предусматривает проходку двух наклонных стволов. Для выемки запасов применяются системы разработки с магазинированием руды и системы поэтажными штреками, со шпуровой или скважинной отбойкой.

Для оценки изменения напряженно-деформированного состояния рудо-породного массива были выполнены комплексные исследования, включающие геодинамическое районирование (комплексная морфоструктурная интерпретация разномасштабных топографических карт и объемный анализ современного рельефа земной поверхности; целевой анализ радарных снимков обобщение сведений о региональном природном фоне напряженно-деформированного состояния геосреды).

Анализ физико-механических свойств пород и руд Южно-Хинганского месторождения показали, что практически все литологические разности, слагающие массив (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). Результаты исследований показывают, что большинство горных пород, которые встречаются на участке «Поперечный» Южно-Хинганского месторождения относятся к породам с высокой прочностью и жесткостью. Также были проведены исследования браунитовой

руды на трёхосное сжатие, результаты испытаний показали, что данная горная порода является удароопасной.

По результатам моделирования установлено, что при отработке месторождения формируется сложное техногенное поле напряжений. С углублением горных работ в отдельных областях массива, к которым относятся: безрудные участки, зоны тектонических нарушений, межэтажные и иные целики и краевые части массива, происходит рост нормальных и касательных напряжений, особенно заметный в нижней части месторождения. В этаже -20... -120 м и ниже (глубина 300 м и более) величина первых главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  в надштрековых и подштрековых целиках при отработке вышележащих запасов превышает 90 МПа.

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.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ**

*Розанов И.Ю., Рыбин В.В., Константинов К.Н.*

*Горный институт КНЦ РАН, Анапты, Россия*

*i.rozanov@ksc.ru, v.rybin@ksc.ru, k.konstantinov@ksc.ru*

При развитии открытых горных работ необходимо особое внимание уделять вопросам обеспечения безопасности. Горный институт КНЦ РАН имеет достаточный опыт в подготовке регламентов по отработке запасов месторождений Кольского региона открытым способом, в которых уделялось значительное внимание контролю состояния прибортового массива и устойчивости бортов карьеров.

Характерной особенностью условий разработки месторождений при открытых горных работах является достаточно высокая доля приповерхностных, большей частью слабых слоёв пород, часто по своим свойствам приближающихся к грунтовым массивам. Грунтовые массивы отличаются небольшими размерами слагающих их частиц (в пределах нескольких миллиметров), весьма малым сцеплением между частицами, практически полным отсутствием систем структурных неоднородностей, за исключением слоистости, а также наличием естественного напряжённого состояния, обусловленного исключительно гравитационным полем.

По мере увеличения глубины карьеров доля грунтовых массивов уменьшается, а скальных, большей частью, достаточно прочных пород, увеличивается. Массивы скальных пород характеризуются ярко выраженной иерархично-блочной структурой, обусловленной широким развитием систем разномасштабных структурных неоднородностей, их естественное напряжённое состояние в общем случае обусловлено гравитационно-тектоническими полями напряжений.

С точки зрения геомеханики бортов карьеров следует рассматривать как специфические инженерные сооружения, в которых разные уступы имеют различный срок службы. При этом самые долгоживущие верхние уступы располагаются в наиболее ослабленных грунтовых массивах, где наиболее вероятными видами потери устойчивости являются оползневые явления.

Уступы, сложенные скальными породами, вследствие иерархично-блочной структуры, с различной степенью интенсивности ослабляются структурными неоднородностями, и здесь преобладающими проявлениями геомеханических процессов являются образования приконтурных зон нарушенных пород (зон неупругих деформаций и разрушений), в пределах которых возможно образование отдельных вывалов.

В пределах всего борта вследствие наличия крупномасштабных неоднородностей (ослабленных зон, геологических нарушений, разломов), определяющих устойчивость бортов в целом, возможны смещения крупных структурных блоков и их смещение в сторону выработанного пространства, а также оползневые явления в пределах самих крупных структурных неоднородностей.

Подобный механизм развития деформаций и разрушений пород в массивах иерархично-блочной структуры применительно к условиям контроля устойчивости бортов и уступов карьеров обуславливает иерархичную структуру мониторинга. В настоящее время достаточно активно применяются различные натурные методы мониторинга устойчивости бортов карьеров, охватывающие как отдельные уступы, группы уступов, так и борт карьера в целом.

В качестве примера излагаемого подхода приводится система комплексного мониторинга, организованная в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК».

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТАШТОГОЛЬСКОМ ЖЕЛЕЗОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

**Рукавишников Г.Д.<sup>1</sup>, Мулёв С.Н.<sup>1</sup>, Гаврилов А.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> АО «ВНИМИ», Санкт-Петербург, Россия, [geodmiruk@gmail.com](mailto:geodmiruk@gmail.com), [smuleva@yandex.ru](mailto:smuleva@yandex.ru)

<sup>2</sup> АО «Евраз ЗСМК», Новокузнецк, Россия, [aleksey.gavrilov@evraz.com](mailto:aleksey.gavrilov@evraz.com)

Таштагольское железорудное месторождение в начале 2022 года было оснащено системой сейсмического мониторинга ГИТС, разработанной АО «ВНИМИ». Система включает в себя подземные сейсмо-павильоны, оборудованные трёхкомпонентными датчиками-акселерометрами ДРЦ-11, а также наземную часть с блоком регистрации и компьютером для обработки сигнала. Управление системой, настройка параметров регистрации и обработка результатов производится с помощью удалённого подключения по сети интернет.

В настоящее время система используется главным образом для локации очагов сейсмических событий. Блок регистрации записывает в память лишь те отрывки сигнала с каждого датчика, когда была превышена пороговая амплитуда колебаний. В результате формируется каталог, включающий в себя точное время, координаты и силу каждого зарегистрированного события. По данным таких каталогов становится возможным строить графики изменения основных параметров сейсмической активности, выявлять пространственные зоны концентрации сейсмических событий и их взаиморасположение с



участками ведения горных работ. Контроль удароопасности осуществляется на основе наблюдений за процессом образования и миграции зон сейсмической активности.

Дальнейшим развитием систем сейсмического мониторинга на глубоких шахтах и рудниках должно стать (в дополнение к имеющимся методам контроля) наблюдение за показаниями каждого сейсмического датчика в непрерывном режиме. До прихода на датчик сейсмической волны в классическом её понимании датчик испытывает фоновые колебания, связанные с состоянием породного массива в этот момент времени. Непрерывные наблюдения позволят выявить изменения в характере фоновых колебаний каждого датчика непосредственно перед возникновением очага сейсмического события.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В КАРЬЕРАХ**

**Рыбин В.В., Константинов К.Н., Калюжный А.С.**

*Горный институт КНЦ РАН, Анатиты, Россия*

*v.rubin@ksc.ru, k.konstantinov@ksc.ru*

Горным институтом КНЦ РАН начиная с 2000-х годов проводились специальные исследования параметров напряжённо-деформированного состояния массива пород на действующих карьерах. При проведении исследований использовались метод разгрузки в варианте торцевых измерений, метод дискования керна и метод фиксации искривления стволов геологических скважин и другие методы. В результате было показано, что при формировании глубоких карьерных выемок в массивах прочных скальных пород уровень действующих напряжений в прибортовом массиве карьеров может быть весьма значителен, достигая значений, при которых становится вероятной реализация динамических проявлений горного давления. В условиях действия в массиве пород гравитационно-тектонического поля напряжений, уровень действующих напряжений может быть высок даже на сравнительно небольших глубинах. При этом выявлена тенденция к увеличению абсолютных значений напряжений с глубиной; определено направление действия максимальной компоненты главных напряжений на «бесконечности» по результатам исследований непосредственно в пределах карьерной выемки; изучено распределение напряжений в непосредственной близости от контура карьерной выемки.

В то же время необходимо особо отметить, что действие в массиве пород повышенных горизонтальных напряжений неоднозначно влияет на устойчивость бортов карьеров. С одной стороны создаётся дополнительная нагрузка, нормальная граням структурных блоков, перпендикулярных контуру карьера, что увеличивает силу трения по контактам блоков пород и как следствие, повышается устойчивость бортов карьеров в целом. С другой стороны, учитывая прогнозируемые действующие напряжения на уровне дна карьера, сравнимые с прочностью на одноосное сжатие скальных пород, слагающих его борт, становится вероятным разрушение скальных пород в динамической форме.

Уже сейчас при современном состоянии горных работ на исследованных карьерах отмечаются случаи разрушения горных пород под действием высоких напряжений. Отмечены случаи дискования керна как в исследовательских скважинах при измерении напряжений методом разгрузки в карьерах, так и в глубоких вертикальных скважинах, пробуренных с поверхности с целью дополнительного изучения состояния массива

вмещающих пород. Известны случаи разрушения горных пород в прибортовом массиве карьеров в динамической форме при отработке открытым способом Хибинских апатит-нефелиновых месторождений, Карельских месторождений гранита, других месторождений. Все эти факты являются свидетельством возможности реализации динамических проявлений горного давления в карьерах, характерной в настоящее время в основном для удароопасных месторождений, обрабатываемых подземным способом.

## **ПРОГНОЗ УДАРООПАСНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ОТРАБОТКИ ХИБИНСКОЙ АПАТИТОВОЙ ДУГИ**

*Семенова И.Э., Аветисян И.М.*

*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

Одним из перспективных участков отработки запасов Хибинской апатитовой дуги подземным способом является месторождение апатит-нефелиновых руд Плато Расвумчорр, которое с 1964 г. разрабатывалось открытым способом, а с 1997 г. на северо-западном фланге, граничащим с месторождением Апатитовый Цирк, ведется подземная выемка.

Ряд факторов предопределил отнесение месторождения Плато Расвумчорр к склонным и опасным по горным ударам с глубины 300м от дневной поверхности. Во-первых, месторождение сложено в основном хрупкими и прочными породами. Во-вторых, в массиве имеет место гравитационно-тектонический тип напряженно-деформированного состояния (НДС) с превышением действия тектонической составляющей над собственным весом пород более чем в 2 раза. В-третьих, с увеличением глубины фиксируется рост действующих тектонических напряжений.

Результаты измерений параметров НДС прибортового массива пород карьера Центрального рудника ОАО «Апатит», выполненные в 2003 – 2005 гг. ГоИ КНЦ РАН, показали уровень  $\sigma_{\max}$  17–26 МПа на абсолютных высотных отметках +580 – +595м и незначительной глубине от начального рельефа (5–20м). Часть измерений выполнена на месторождении Апатитовый Цирк, часть – на месторождении Плато Расвумчорр.

Полученные ранее результаты измерения напряжений, выполненные в подземных горных выработках околоствольного двора Центрального рудника на гор. +440м (глубина от поверхности 600м), засвидетельствовали величину  $\sigma_{\max}=78$  МПа при субгоризонтальной ориентации максимальной компоненты главных напряжений по простиранию рудного тела.

В 2020-2021 гг. ООО «Геотехническое бюро» были проведены измерения напряжений на трех замерных станциях непосредственно в подготовительных выработках месторождения Плато Расвумчорр, где значения  $\sigma_{\max}$  варьируют в пределах 30–45 МПа и также подтверждено магистральное направление тектонических напряжений.

Для оценки и прогноза геомеханической ситуации при отработке прибортовых и подкарьерных запасов месторождения Плато Расвумчорр разработана численная 3D модель, и проведены расчеты НДС методом конечных элементов с использованием программного комплекса Sigma GT (рисунок 1). Результаты приведенных данных измерений напряжений натурными методами использованы для верификации разработанной модели. Получена хорошая сходимость как по значениям главных напряжений, так и по направлению действия их векторов. Расчетные данные укладываются в гипотезу гравитационно-тектонического

типа НДС с субмагистральным действием максимальных сжимающих напряжений и соотношением максимальной и промежуточной компонент  $\sigma_{пр}=(0.6\div 0.7)\sigma_{max}$ . Минимальная компонента напряжений соответствует действию собственного веса пород  $\gamma H$  и характеризуется существенной изменчивостью за счет больших перепадов естественного и техногенного рельефа дневной поверхности.

Понятно, что в настоящее время в связи с небольшим количеством пройденных выработок параметры НДС существенной части моделируемого массива еще не изучены, однако указанные выше закономерности с высокой вероятностью распространяются и на область всей перспективной отработки запасов. По мере развития горных работ как косвенные, так и прямые данные о геомеханическом состоянии массива пород будут пополняться и при необходимости учитываться в виде корректировки граничных условий.

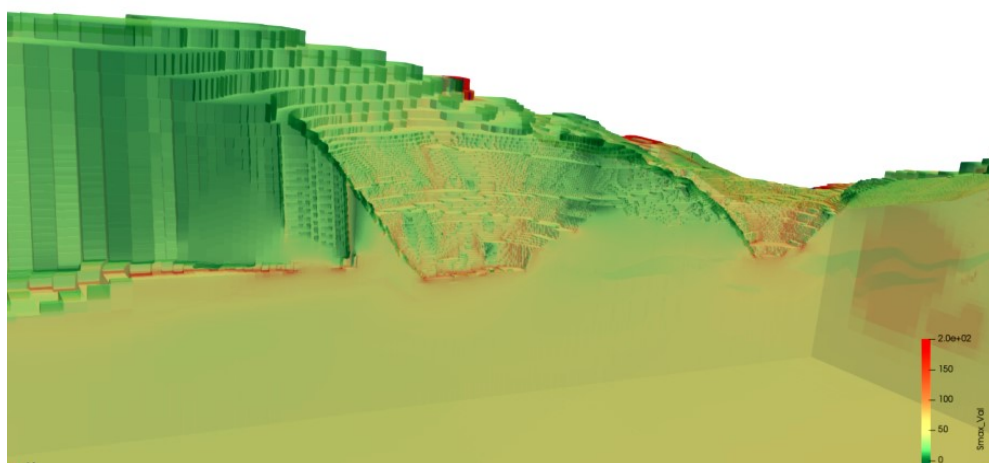


Рисунок 1. 3D модель месторождения Плато Расвумчорр в разрезе по простиранию рудной залежи с распределением  $\sigma_{max}$  в окрестности фактических горных работ

Особенности в распределении напряжений вносит сложный естественный рельеф поверхности, который дополняется техногенным (карьер). В условиях действия тектонических напряжений зоны концентраций действующих напряжений формируются под дном карьерной выемки с переориентировкой векторов  $\sigma_{max}$  на определенных участках.

Еще одной сложностью является наличие двух безрудных участков в восточной и центральной части месторождения, что влечет за собой образование целиков, которые по мере их образования станут дополнительными концентраторами напряжений.

Как показали расчеты, Восточный участок, где планируется отработка прибортовых запасов, характеризуется высокой анизотропией поля напряжений, то есть существенным отличием компонент  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{пр}$ ,  $\sigma_{min}$  друг от друга, что предопределяет создание классических для Хибинских месторождений условий разрушения выработок в зонах концентрации напряжений с формированием нарушенных зон в основном в кровле. Неоднородности поля напряжений по всем трем компонентам приурочены к борту карьерной выемки и промоделированным структурным неоднородностям как к ослабленным зонам, так и к мончекитовой дайке.

Минимальная компонента на высотных отметках выше +500м характеризуется выраженными зонами растягивающих напряжений, что объясняется их небольшой удаленностью от дневной поверхности и свидетельствует о создании условий обрушения подработанной толщи пород до дневной поверхности при развитии подземных горных работ.

Результаты, полученные для участка между двумя чашами карьера Центральный, свидетельствуют, что здесь работы будут вестись, по сути, в целике. То есть будут иметь место более сложные геомеханические условия с высоким фоновым уровнем сжимающих напряжений  $\sigma_{\max}$  50 МПа и концентрацией у бортов карьера. Особенно у выступающей части борта восточной чаши, где  $\sigma_{\max}$  достигает 80 и более МПа.

Таким образом, разработанная численная 3D модель позволила провести оценку и прогноз НДС массива в окрестности месторождения Плато Расвумчорр и выделить потенциально опасные зоны по проявлениям горного давления в динамической форме.

## **О МЕХАНИЗМАХ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ЗОН В ОКРЕСТНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*Семенова И.Э., Журавлева О.Г., Жукова С.А.*

*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

Интенсивное ведение крупномасштабных горных работ на месторождениях с выраженным гравитационно-тектоническим типом напряженно-деформированного состояния трансформирует исходное поле напряжений массива горных пород и может приводить к реализации горных ударов. Эта проблема по-прежнему остается актуальной для многих рудников мира. Не является исключением и тектонически напряженный Хибинский массив, где ведение горных работ сопровождается проявлениями горного давления в динамической форме.

Для природно-технической системы апатитовой дуги Хибин рассмотрены закономерности формирования опасных зон в окрестности горных работ. Разработка апатит-нефелиновых месторождений ведется здесь почти 100 лет, что обуславливает существенное техногенное воздействие на массив горных пород. Полученные за это время данные о геологическом строении, геодинамическом районировании, свойствах горных пород и руд, параметров естественного и техногенного поля напряжений, а также миграции зон сейсмической активности позволяют вести многофакторный анализ и прогнозирование геомеханической ситуации.

К настоящему времени в отделе геомеханики ГоИ КНЦ РАН сложилось следующее представление о типах реализации проявлений горного давления в динамической форме, их причинах и механизмах:

1) Первый тип – вследствие активизации существующих разломов и реализации подвижек по ним структурных блоков. К таким событиям относятся техногенные землетрясения – наиболее опасные и трудно прогнозируемые сейсмические события, которые происходят с периодичностью 5-10 и более лет.

2) Второй тип – в результате развития и лавинно-неустойчивого слияния техногенных трещин в новые крупные разрывы или разрушения барьеров между сближенными очистными пространствами или разломами, или между очистным пространством и разломом. К этому типу относятся динамические события, реализующиеся в непосредственной близости от фронта горных работ или в целиках на фоне концентрации сжимающих напряжений, уровень которых близок или превышает предел прочности пород на сжатие.

3) Третий тип – в процессе формирования трещин отрыва в подработанном массиве пород висячего бока. Сейсмические события в подработанных породах сопровождают процессы формирования и развития трещин отрыва в консольных зависаниях.

Анализ мощных сейсмических событий последних лет подтверждает данную классификацию и позволяет выделить соответствующие опасные зоны, формирование которых происходит по одному из трех вышеописанных сценариев.

Проведено исследование фактически произошедших геодинамических явлений на рудниках с точки зрения выявления закономерностей формирования техногенных полей напряжений, геологических и геомеханических характеристик массива горных пород на локальном участке или на месторождении в целом, изменения сейсмической активности до и после реализации геодинамического явления. Такой ретроспективный анализ является важным этапом для разработки методических подходов к прогнозу опасных геодинамических явлений.

Известно, что активизация техногенной сейсмичности – это результат совместного влияния целого ряда факторов: геологических (строение массива), геодинамических (тектонические процессы), антропогенных (горные работы), гидрогеологических (обводненность массива пород), метеорологических (резкие перепады температуры). Для условий апатит-нефелиновых месторождений Хибинского массива определены основные потенциальные причины изменения сейсмической активности месторождений. В большинстве случаев проявлению динамических явлений способствует совокупное влияние этих факторов, влияние одного из которых может стать решающим, то есть триггером. Как общее, так и отдельное влияние каждого фактора ведет к изменению деформационных характеристик обрабатываемого месторождения в большей или меньшей степени, а, следовательно, - к изменению параметров поля напряжений в массиве. Выявление комплекса влияющих факторов и их взаимодействия является основой разрабатываемых методических подходов к оценке состояния массива горных пород.

Таким образом, подтверждены основные механизмы разрушения массива горных пород и выявлены закономерностей формирования трех типов опасных зон в окрестности элементов горной технологии с учетом параметров естественного и техногенного поля напряжений, структурных неоднородностей и свойств пород.

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В УСЛОВИЯХ РУДНИКА УДАЧНЫЙ (ЯКУТИЯ)**

***Скулкин А.А., Леонтьев А.В., Рубцова Е.В.***

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия  
chuptt@yandex.ru*

Одним из немногих методов, обеспечивающих инструментальное определение параметров поля напряжений на значительном удалении от контура выработки, является измерительный гидроразрыв. В последние годы метод достаточно активно развивается и применяется на практике как в России, так и за рубежом.

Большое значение при практической реализации метода имеет используемая аппаратура. Созданный в ИГД СО РАН измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «Гидроразрыв» постоянно совершенствуется с учетом опыта его применения в шахтных условиях и современных возможностей информационных технологий. В целях повышения

надежности герметизации межпакерного интервала и исключения эффекта «обыгрывания» пакеров при выполнении измерительного гидроразрыва усовершенствована конструкция измерительного зонда: применяются составные герметизирующие элементы в виде полиуретановых цилиндров с разделительными металлическими вставками (конструкция представляется перспективной ввиду ее более высокой ремонтпригодности); зонд оснащен двумя парами герметизирующих элементов с синхронным приведением их в рабочее состояние двумя однотипными гидроцилиндрами; герметизирующие элементы армированы металлическими пружинами (обеспечивается надежное возвращение пакера после снятия сжимающих усилий к первоначальной форме, необходимое для извлечения зонда из скважины). Отличительной особенностью современного исполнения электронных средств комплекса является использование беспроводного канала связи портативного компьютера с регистратором давления, что обеспечивает мобильность и комфортные условия при выполнении шахтных экспериментов. В современной комплектации ИВК «Гидроразрыв» был использован при экспериментальных исследованиях полей напряжений на калийных рудниках Верхнекамского месторождения, Таштагольском руднике, на месторождении «Юбилейное» (Республика Казахстан), на руднике «Удачный» (АК «Алроса»).

В настоящем докладе приводятся результаты экспериментальных работ, выполненных с использованием ИВК «Гидроразрыв» на руднике «Удачный» в 2020 г. Работы проводились в рудном массиве на горизонте -465 м и в породном массиве на горизонтах -480 м и -580 м.

В результате анализа производственной обстановки на горизонте -465 м местом размещения замерной станции выбран Центр западного рудного тела. На замерной станции было пробурено две скважины: горизонтальная в борт выработки и вертикальная в подошву. Из-за наличия зон разрушения в вертикальной скважине произвести гидроразрывы не представлялось возможным. В горизонтальной скважине произведены замеры в пяти точках с интервалом 0,5 м, максимальное расстояние от контура выработки до места гидроразрыва составило 7,6 м. Ориентация трещин определялась путем визуального осмотра стенок скважины с помощью видеозонда.

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая оценка компонент напряжений, действующих в массиве:  $\sigma_{min}=10,51\div 12,08$  МПа;  $\sigma_{max}=19,94\div 25,64$  МПа, а  $\sigma_{верт}=9,78\div 10,51$  МПа. Действие максимального горизонтального напряжения ориентировано почти перпендикулярно оси скважины с запада на восток по азимуту 70–90°. Выявлено пониженное значение вертикальной составляющей, что обусловлено карьерной отработкой и отработкой горизонтов вышележащих руд.

На горизонте -480 м замерная станция была размещена в Камере стоянки автобуса. Пробурено две горизонтальные скважины: одна в забой выработки, другая под углом 90° в правый борт. Бурение вертикальной скважины не было произведено ввиду того, что высота выработки не позволяла расположить бурильный станок для проходки скважин в кровле или подошве выработки. В различных местах скважин наблюдались газо- и нефтепроявления, а также вывалы пород. На замерной станции обнаружена анизотропия массива, что было показано в ходе определения напряжений методом параллельных скважин. В связи с этим в расчетах учитывались только значения давления запираения, а по ориентации трещин определен азимут действия максимального горизонтального напряжения. Всего в двух скважинах произведено 8 гидроразрывов с интервалами по оси скважин 0,5 м, минимальное и максимальное расстояния от контура выработки до мест выполнения гидроразрывов, составляло, соответственно, 5,5 м и 7,5 м. В расчетах компонент напряжений учитывалось влияние выработки, из которой пробурены скважины:  $\sigma_{min}=12,63\div 17,73$  МПа;  $\sigma_{max}=24,39\div 29,24$  МПа,  $\sigma_{верт}=19,88\div 20,43$  МПа. На данной глубине расположения замерной станции влияние выработанного пространства на вышележащих горизонтах и отвалов не

существенно. Действие максимального горизонтального напряжения ориентировано на север-северо-запад (азимут 320-340°).

На горизонте -580 м замерная станция была размещена в Нише складирования шлама №2. Для выполнения измерительных гидроразрывов пробурены две горизонтальные скважины: в забой и в левый борт выработки. В обеих скважинах по всей длине присутствовали каверны длиной 1÷3 см и глубиной 1÷2 см. На глубинах 6,3 м в скважине, пробуренной в забой, и 5,5 м в скважине, пройденной в борт выработки, присутствовали вывалы с нефтепроявлениями, перекрывающие скважины. Поэтому в скважине, пробуренной в забой, выполнены три гидроразрыва на расстояниях от контура выработки 6,0; 5,0 и 4,5 м, а в скважине, расположенной в борту выработки – один гидроразрыв на расстоянии 5,0 м от контура выработки. На замерной станции обнаружена анизотропия массива, что было показано в ходе определения напряжений методом параллельных скважин. По этой причине, как и на горизонте -480 м, при расчетах компонент напряжений учитывались только значения давления записания, а направление действия максимального горизонтального напряжения определялось по ориентации трещин. Вертикальная составляющая рассчитана по весу вышележащих пород  $\sigma_{\text{верт}} = 22$  Мпа;  $\sigma_{\text{min}} = 16,87 \div 19,1$  Мпа;  $\sigma_{\text{max}} = 31,07 \div 31,55$  Мпа. Действие максимального горизонтального напряжения ориентировано на север-северо-запад (азимут 330-340°).

Полученные методом измерительного гидроразрыва оценки величины и направлений действия главных напряжений хорошо коррелируются с данными, полученными на этих же станциях методом параллельных скважин. Результаты выполненных экспериментов переданы руководству рудника и будут использованы при обосновании проектных и технологических решений, выборе эффективных и безопасных приемов отработки месторождения.

## **РОСТ ХРУПКОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД С ГЛУБИНОЙ И СУПЕР-ХРУПКОЕ СОСТОЯНИЕ НА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГЛУБИНАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

**Тарасов Б.Г.**

*АО «ВНИМИ», Санкт-Петербург, Россия, bgtaras@gmail.com*

В данном докладе обсуждается неизвестное до недавнего времени свойство цельных прочных горных пород, составляющих основу земной коры, которое отражает рост хрупкости с глубиной залегания, вплоть до супер-хрупкого состояния на соответствующих глубинах. Рост хрупкости начинается с определенных глубин и является следствием снижения энергоемкости разрушения, которое обеспечивается ранее неизвестным механизмом развития магистральных сдвиговых динамических трещин. На базе структурных особенностей магистральных трещин механизм разрушения получил название «веерного механизма». Суть веерного механизма изложена в докладе. Критическая глубина, с которой начинается рост хрупкости, составляет около 1–2 км. Максимальная хрупкость (супер-хрупкость) достигается на глубине около 10 км, а далее происходит снижение хрупкости. Нижняя граница зоны охрупчивания находится на глубинах около 20 км. Повышенная хрупкость пород в данном диапазоне глубин является причиной таких динамических событий как особого типа горные удары в глубоких выработках (shear rupture rock bursts) и землетрясения.



Диапазон глубин, расположенных между верхней и нижней границами, составляет зону сейсмических глубин. Следует подчеркнуть, что согласно общепринятым представлениям глубины сейсмической активности сегодня определяются способностью к динамическому проскальзыванию (stick-slip) по имеющимся разломам в земной коре. В докладе показано, что stick-slip механизм является частным случаем. Подавляющая масса динамических явлений в земной коре происходит за счет образования новых разломов (магистральных трещин) в цельных породах ввиду высокой хрупкости и уникальных свойств веерного механизма, выполняющего роль триггера динамического процесса при парадоксально низком уровне сдвиговых напряжений в земной коре. Веерный механизм и создаваемые им свойства горных пород открывают ранее скрытую природу динамических явлений в земной коре. Изучение новой природы приведет к созданию новых методов прогноза глубинных горных ударов и техногенных землетрясений, а также их предотвращения.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ «КАРКАСНОЙ» ГОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

**Умаров А.Р.**

*Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, flek1231998@mail.ru*

Анализ геотехнологий, применяемых при подземной разработке рудных месторождений, позволил выделить одну общую для всех случаев особенность развития геотехнологических и геомеханических процессов – добыча полезного ископаемого в зоне техногенного разрушения литосферы и ее защита от последствий геомеханического возмущения прилегающих участков литосферы всегда совмещены во времени [1]. Это означает, что при использовании традиционных систем разработки различного класса, основанных на экстенсивных методах преодоления горного давления и избавления от отходов производства, неизбежной платой за локальную геомеханическую безопасность добычных работ является появление очагов опасных напряжений в налегающих массивах и повышение потерь балансовых запасов в целиках различного размера и назначения.

Опережающее формирование каркасного контура, который вмещает будущий участок освоения недр, позволяет преодолеть обозначенное выше локальное противоречие. При формировании и развитии зоны техногенного разрушения участка литосферы, процессы добычи полезного ископаемого и защиты от последствий геомеханических возмущений литосферы разделяются во времени, что обеспечивает безопасность, эффективность и экологичность горных работ.

Проектирование каркасной горной конструкции для условий разработки мощных рудных месторождений позволило определить пошаговый порядок формирования горнотехнической системы в рудном и породном массиве горных пород [2, 3].

Для численных расчетов и анализа использовался программный комплекс Map3D, встроенный САПР - для построения сложных трехмерных моделей, анализа и визуализации результатов расчетов, с учетом различных критериев нарушенности массива горных пород и руд. Для оценки НДС массива в поле вторичных напряжений в предположении упругого поведения массива использовался критерий прочности Хука-Брауна, являющийся функцией главных напряжений и прочностных свойств массива горных пород. При проведении

исследований рассмотрены и рассчитаны несколько вариантов горно-геологических и горнотехнических условий разработки рудных месторождений.

Эксперименты с использованием численных моделей в программном комплексе Map3D показали, что в условиях применения каркасной горной конструкции, граница вторичного поля напряжений находится на внешней границе каркасной системы горизонтальных и вертикальных искусственных целиков, и уровень деформирования ее конструктивных элементов и вмещающего массива не превышает критических значений объемного трещинообразования.

#### **Список литературы:**

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная геотехнология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2020. 368с.
2. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. 2019. № 5. С.6-13.
3. Еременко В.А., Галченко Ю.П., Липницкий Н.А., Умаров А.Р. Каркасная горная конструкция при подземной разработке мощных рудных месторождений // Горный журнал. 2021. № 9.

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ ВОСТОЧНОГО РУДНИКА КФ АО "АПАТИТ", АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ**

*Федоров А.В.<sup>1</sup>, Асминг В.Э.<sup>1</sup>, Федоров И.С.<sup>1</sup>, Корчак П.А.<sup>2</sup>,  
Стрешнев А.А.<sup>2</sup>, Моторин А.Ю.<sup>2</sup>, Воронин А.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Кольский филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба Российской академии наук", Апатиты, Россия

<sup>2</sup> Кировский филиал АО "Апатит", Кировск, Россия

В 2020 году сотрудниками Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН в рамках соглашения с Кировским филиалом АО "Апатит" была начата работа по созданию автоматизированной системы сейсмического мониторинга промышленной площадки Восточного рудника КФ АО "Апатит" (АССМ ВР).

При сейсмическом мониторинге площадок производства открытых и подземных горных работ важно обеспечить максимальную точность определения гипоцентров сейсмических событий и минимальный энергетических порог регистрации. Эти два параметра крайне важны с точки зрения выявления возможных активизируемых структур для дальнейшего принятия мер по снижению рисков ведения горных работ.

Точность определения координат сейсмических событий во многом контролируется геометрией расположения элементов сети сейсмических станций. На этапе проектирования АССМ ВР в КоФ ФИЦ ЕГС РАН была выполнена работа по определению максимальных возможных ошибок локации с применением методов математического моделирования. Начальные положения размещения сейсмостанций выбирались из соображений обеспечения равномерного азимутального охвата контролируемой зоны, наличия условий для обеспечения электропитания, а также с учетом производственных планов развития рудника на срок службы системы.

Не менее важным фактором повышения точности определения гипоцентров сейсмических событий является применение максимально реалистичных моделей природной среды, в которой происходит распространение сейсмических волн. При проведении локального сейсмического мониторинга небольших объектов - когда ожидаемые эпицентральные расстояния (расстояние от сейсмической станции до источника) соизмеримы с линейными размерами элементов естественного или техногенного рельефа, как в случае карьеров или рудников, важно учитывать эти факторы при построении скоростных моделей и таблиц времен пробега объемных сейсмических волн. С этой целью для контролируемого района была разработана трехмерная модель среды, учитывающая как природный рельеф местности, так и объемы выбранной горной породы. Для локации сейсмических событий в такой модели среды были разработаны специальные алгоритмы, использующие не таблицы времен пробега волн, а таблицы так называемых «псевдоскоростей» для каждой станции в зависимости от азимута подхода волны, расстояния и глубины.

В итоге была создана сеть из 12 сейсмических станций. Регистрация колебаний грунта ведется велосиметрами HS-1, сопряженными с регистраторами геофизических сигналов "Ермак-5". Передача данных на сервер сбора и обработки выполняется в режиме реального времени по каналам сотовой связи. Для электропитания части сейсмических пунктов применяются автономные системы на основе ветрогенераторных установок.

Результаты эксплуатации АССМ ВР за 2020-2021 годы выявили зоны проявления природной сейсмичности в контролируемом районе. Накопление данных сейсмического мониторинга позволяет наблюдать сезонные вариации сейсмической активности. Полученные первые результаты эксплуатации системы будут положены в основу решений по снижению рисков ведения горных работ на карьерах Восточного рудника КФ АО "Апатит".

## **РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ БЛОКОВ МАССИВА, РАЗДЕЛЕННЫХ РАЗЛОМОМ, ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖИЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

***Федотова Ю.В.***

*Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия, fjulia@mail.ru*

Гидротермальное жильное полиметаллическое месторождение Южное (Приморский край) характеризуется достаточно сложными геомеханическими условиями и за время его эксплуатации отмечены многочисленные случаи динамических проявлений горного давления. Проведенными ранее геомеханическими исследованиями установлено, что поле напряжений в районе месторождения неоднородно и характеризуется сдвиговым типом, в котором преобладают субгоризонтальные сжимающие напряжения, ориентированные в северо-восточном направлении и превышающие гравитационную составляющую в 1,8 раза. Результаты измерений напряжений в массиве месторождения хорошо согласуются с данными GPS-наблюдений, которые фиксируют общее движение тектонических блоков в верхней части земной коры со средней скоростью 3,5-4,0 см/год в юго-восточном направлении.

Генезис формирования геологической обстановки месторождения обусловил существенную пространственную неоднородность физико-механических свойств руд и

пород. При ведении горных работ условиях сложной геолого-тектонической структуры месторождения необходимо осуществлять наблюдения за наиболее активными разломами. Прямые геодезические измерения в массиве позволяют выявить характер деформирования и степень влияния на него различных природных и техногенных факторов.

В период 2017-2022 гг. проводился анализ результатов выполненных измерений с помощью применения геодезических методов, в частности – измерений расстояний между парами реперов станций наблюдений № 1 (гор. +480 м) и № 2 (гор. +422 м) участка «Южный» рудника «2 Советский» «ГМК «Дальполиметалл»», заложенных в окрестности активного рудоконтролирующего разлома «Рудный». При этом также был выполнен анализ базы данных динамических проявлений, зарегистрированных на месторождении.

Полученные результаты показали, что за анализируемый период наблюдалось несколько смен режимов деформирования массива, которые отразились на характере распределения зарегистрированных динамических проявлений.

Выявлено, что характер изменения величин расстояний между парами реперов на противоположных берегах исследуемого разлома отличается как по амплитудам, так и по смене типов колебаний (от синфазного до противофазного).

Проведенный анализ базы данных результатов измерений расстояний между парами реперов станций наблюдений № 1 и № 2, расположенных по берегам разлома «Рудный», позволил выявить следующие закономерности.

1. Общей особенностью изменения величин расстояний для анализируемых пар является то, что за весь срок наблюдений выделяется три характерных типа их колебаний: 1) синфазное (изменение величин у разных пар происходит с одинаковым знаком); 2) противофазное (изменение величин происходит с противоположным знаком); и 3) когда при изменениях величины одной пары не происходят изменения величины второй.

2. Анализ данных реперной станции № 1 (гор. +480 м) показал значительные изменения характера поведения массива по годам за весь период наблюдений. При этом наблюдается некоторое соответствие периодов пиков колебаний с датами регистрации динамических проявлений в массиве.

3. Выполненный анализ базы данных по реперной станции № 2 (гор. +422 м) позволил выявить некоторую тенденцию к цикличности изменений – интенсивные колебания значений изменения расстояния между парами реперов по разным берегам разлома зафиксированы в периоды с октября по декабрь и с мая по июль.

Выявленная специфика колебаний блоков пород по двум берегам разлома «Рудный», вероятно, связана с одной стороны с углублением горных работ, а с другой – с продолжающимся формированием полостей разрушения массива горных пород на горизонте +480 м вдоль разлома «Рудный». Также выявленная специфика может быть связана с триггерным эффектом неравномерного по интенсивности воздействия ведущихся горных работ по разные стороны от разлома.

Поскольку разлом «Рудный» является контролирующим только для отдельных структурных блоков массива горных пород, требуется проведение более детальных исследований данного вопроса на расширенном полигоне с добавлением наблюдательных станций за другими активными разрывными нарушениями.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РИСКОВ МАСШТАБНОГО ОСВОЕНИЯ КУЗБАССА

*Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Бондарев А.В.*

*Институт горной геомеханики и геофизики – Межотраслевой научный центр GEOMEX,  
Санкт-Петербург, Россия*

Комплексное воздействие (подземные работы, карьеры, отвалы, водопонижение и т.д.) горных работ в целом ведет к расширению области сейсмической активности, перестройке её зонального распределения в «старых» горнодобывающих регионах, и в целом – к повышению, вплоть до появления землетрясений большой магнитуды (речь идёт о Бачатском землетрясении 2013 года). Кроме этого, техногенное воздействие вызывает множество новых форм сейсмических явлений, прежде всего роевых мелкофокусных землетрясений, весьма опасных для жилых строений.

Более всего в России техногенная сейсмичность сказалась на Кольском полуострове и Кузнецком угольном бассейне. На Кольском полуострове сейсмическая активность, прежде всего, возросла на тех участках Хибинского массива, где ведутся горные работы по добыче апатит-нефелиновых руд, затем - на территории всего Хибинского массива, а в настоящее время охватила весь Кольский полуостров. Но наиболее тяжелая ситуация сложилась в Кузбассе, где формируются сложные связи между шахтной сейсмической активностью, природно-техногенной районной (весь Кузбасс) и активностью Алтае-Саянского сейсмического региона, к краевой части которого относится Кузнецкий бассейн. В результате возросшая сейсмическая активность Кузбасса стала представлять серьезную проблему как для ведения горных работ, так и для безопасности проживания людей и ведения промышленной деятельности, развития инфраструктуры и др. на многих участках Кузбасса, примыкающих к зонам концентрации горных работ.

В сформулированном виде программа исследований этой глобальной проблемы должна включать:

1. Анализ современных тенденций нарастания природно-техногенной сейсмичности в регионах с длительными ведением горных работ, большими объемами извлеченной горной массы, и большими нагрузками на природные экосистемы.

2. Постановку комплексных сейсмо-геодинамических наблюдений за проявлениями техногенной и естественной сейсмической активности на ведущих горнодобывающих объектах Кузбасса, Воркуты, Урала с дооснащением и актуализацией функций действующих в этих регионах геодинамических полигонов на основе использования систем:

- деформационного мониторинга с использованием режимных GPS-наблюдений;
- непрерывных сейсмических наблюдений с возможностью локации координат очагов происходящих землетрясений с точностью не ниже 50-100 м и приближенной оценки глубины гипоцентров;
- геофизических исследований природных и наведенных электромагнитных полей в очаговых зонах техногенной сейсмичности;
- гидрогеологических наблюдений в оснащенных датчиками порового давления скважинах;
- контроля процессов эманации из очаговых зон техногенной сейсмической активизации радиоактивных газов–идентификаторов геодинамических процессов (родона, торона);
- проведение магнитотеллурического зондирования зон повышенной сейсмической активности;

– исследование зон повышенной сейсмической активности методами сейсморазведки и мюонной радиографии.

3. Исследование различных форм природно-техногенной сейсмичности – от роевых потоков мелких сейсмических событий до крупных землетрясений.

4. Исследование пространственного и временного распределений природно-техногенной сейсмичности и закономерных изменений графиков повторяемости.

5. Исследование важнейших факторов, способствующих интенсификации сейсмических процессов, включая влияние промышленных взрывов, технологий интенсивного освоения недр, возросших объемов извлечения горной массы на подземных горных работах, в карьерных выемках, увеличения объема отвалов, а также изменения гидрогеологических режимов в районах ведения горных работ, связанных с интенсивным водопонижением на действующих предприятиях, затоплением отработанных шахт и карьеров, увеличением количества гидроотвалов, а также вызванных всеми этими факторами природных геомеханических, геодинамических, геофизических и гидрогеологических процессов. Анализ тесноты связи (с учетом временных лагов) возрастания и трансформации сейсмической активности с техногенными процессами и их воздействиями на природную среду. Важно отметить, что все приведенные выше направления исследований должны базироваться на всестороннем тщательном изучении особенностей геологического строения месторождения в разрезе всех глубин, влияния подработки и надработки. На наш взгляд термин «углепородный массив» вообще должен быть исключен из обращения, как не отвечающий задачам исследования многофазных гетерогенных сред.

6. Проверку гипотезы наличия природных и техногенных каналов энергообмена в геологической среде и техногенных комплексах.

7. Исследование связи малой техногенной сейсмичности, непосредственно связанной с ведением горных работ, и природно-техногенной сейсмоактивности прилегающих к шахтам участков повышенной сейсмоактивности.

8. Исследование изменений геомеханических и гидрогеологических процессов в районах ведения горных работ (прежде всего на Бачатском разрезе и в окружающей его области) после крупного землетрясения.

9. Разработку методики системного анализа данных мониторинга геологических, физических и геофизических полей.

10. Исследование связи природно-техногенной сейсмичности с глубинными разломами, планетарными вариациями сейсмичности и скорости вращения Земли, солнечной активности, а также временными и пространственными вариациями сейсмической активности Алтае-Саянской сейсмической зоны.

11. Разработку региональных моделей развития сейсмо-геодинамических и деформационных процессов и формирования очаговых зон сейсмичности при различных сценариях повышения нагрузки на геологическую среду за счет введения в эксплуатацию новых горных предприятий, в том числе с использованием данных многопараметрического контроля горной среды с использованием данных спутниковой радарной интерферометрии.

12. Разработку рекомендаций по минимизации негативных последствий сейсмо-геодинамических процессов.

13. Исследование возможностей управления сейсмическими рисками на основе использования современных технических средств активного воздействия на очаговые зоны техногенной сейсмичности (взрывное воздействие, гидроразрыв, электрофизические эффекты и др.), а также научно обоснованного порядка размещения новых объектов недропользования.

## **ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОНВЕРГЕНТНЫМИ ГОРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ**

**Янбеков А.М.**

*Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия  
yanbekov17@mail.ru*

Развитие идей, заложенных в основу принципов создания конвергентных горных технологий с превентивным устранением прямого влияния исходных напряжений [1,2], открывает совершенно новые перспективы коренной модернизации этой давно известной технологии отбойки методом самообрушения [3].

Опережающее возведение системы ограждающих и разделительных искусственных массивов кардинально изменяет геомеханические и структурные условия, при которых происходит развитие процессов гравитационного разрушения в выемочных единицах. Если при использовании традиционных решений гравитационная отбойка полезного ископаемого протекает в выемочной единице, дислоцированной в исходном поле напряжений и имеющей континуальную границу со вмещающим горным массивом, то в рассматриваемом в работе случае использования «каркасной» геотехнологии каждый обрабатываемый блок имеет дискретные внешние границы и располагается в пределах зоны вторичного поля напряжений, сформировавшейся в процессе образования и развития техногенно измененных недр, как нового литосферного объекта.

Из анализа имеющихся в этом направлении работ следует, что использование для горного производства возобновляемой энергии гравитационного поля Земли происходит в рамках прежней технологической структуры систем разработок, основанных на принудительном обрушении руды.

Следует отметить, что на протяжении всего длительного периода применения систем разработки, основанных на принудительном обрушении руды, наблюдаются крупномасштабные изменения геофизического состояния литосферы по сравнению с масштабом структурных элементов самой горной технологии (выемочной единицы), в пределах которых эти изменения реализуются. Попытки преодоления влияния конструктивных элементов систем разработки с принудительным обрушением руды на напряженно-деформированное состояние вмещающего массива привели к применению технологии разделения всего отбиваемого объема на обрушаемые слои путем последовательного проведения в плоскости условной границы очистного блока, горизонтальных выработок, расположенных друг над другом. Это позволяло стабилизировать развитие процесса в горизонтальной плоскости за счет ослабления пяты будущего свода обрушения, но неизбежно создавало неодинаковые граничные условия для развития процесса по высоте блока и кардинально ограничило возможности управления обрушением во времени. При использовании такой схемы дезинтеграция материала в каждом слое развивалась от техногенно ослабленной зоны (пяты свода) к зоне, наиболее упрочненной за счет эффекта саморасклинивания (замку свода), что приводило к быстрому росту выхода негабарита со всеми вытекающими отсюда техническими проблемами [3].

В рамках предлагаемой технологической концепции открывается реальная возможность перехода от неуправляемого процесса «классического» самообрушения к управляемому процессу взрыво-гравитационного послойного самообрушения, где взрыв используется только для принудительного инициирования процесса самообрушения в единичном слое ограниченной толщины.

Теоретическая проработка идей и принципов нового подхода к использованию энергии гравитации Земли для создания оптимальных условий к самообрушению руды в блочном массиве открывает реальную перспективу повышения экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности подземной разработки рудных месторождений за счет применения обоснованных решений и изменения параметров конструктивных элементов конвергентных горных технологий. Эффективность и безопасность предлагаемых решений достигается, в том числе за счет уменьшения влияния взрыва на вмещающий и закладочный массивы и, как следствие, на сохранение их устойчивости в процессе разработки участков месторождений и последующем безопасном поддержании техногенно измененных недр.

#### **Список литературы:**

1. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. 2019. № 5. С.6-13.
2. Еременко В. А., Галченко Ю. П., Липницкий Н. А., Умаров А. Р. Каркасная горная конструкция при подземной разработке мощных рудных месторождений // Горный журнал. № 9 2021.
3. Кузьмин Е. В., Узбекова А. Р. Самообрушение руды при подземной добыче. — М.: Московский государственный горный университет, 2006. — 276 с.



