

УДК 622.831.327:550.34

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.056

**Рассказов Максим Игоревич**  
научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН,  
680000 г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51  
e-mail: [rasm.max@mail.ru](mailto:rasm.max@mail.ru)

**Raskazov Maksim I.**  
Researcher,  
Institute of Mining, FEB RAS,  
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.  
e-mail: [rasm.max@mail.ru](mailto:rasm.max@mail.ru)

**Гладырь Андрей Владимирович**  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН

**Gladyr Andrey V.**  
Senior Researcher,  
Institute of Mining, FEB RAS

**Терешкин Андрей Александрович**  
научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН

**Tereshkin Andrey A.**  
Researcher,  
Institute of Mining, FEB RAS

**Цой Денис Игоревич**  
научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН

**Tsoy Denis I.**  
Researcher,  
Institute of Mining, FEB RAS

### СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ «МИР»

### SEISMIC ACOUSTIC MONITORING SYSTEM OF MINING PRESSURE AT THE UNDERGROUND MINE MIR

#### Аннотация:

На руднике «МИР» была установлена сейсмоакустическая система контроля горного давления «Prognoz-ADS», разработанная в ИГД ДВО РАН для контроля состояния предохранительного целика и прогноза опасных проявлений горного давления при введении горных работ. С помощью системы «Prognoz ADS» по параметрам и характеру проявления сейсмоакустической эмиссии позволяет на первой стадии осуществить районирование массива по степени нарушенности и оценить его напряженно-деформированное состояние, на последующих стадиях фиксировать этапы разрушения целиков и горных выработок с разделением сигналов техногенного и природного происхождения.

*Ключевые слова:* горное давление, система мониторинга, удароопасность, акустическая эмиссия, тектоническая нарушенность.

#### Abstract:

The mine MIR has installed the seismic acoustic mining pressure control system Prognoz-ADS developed in the Institute of Mining of FEB RAS for monitoring the state of safety pillar and the prediction of hazardous manifestations of mining pressure during the mining operations. The system Prognoz ADS in terms of parameters and nature of seismoacoustic emission allows to zone the rock mass by degree of disturbance at the first stage and to evaluate its stress-deformed state, as well as to fix at the subsequent stages the stages of destruction of pillars and mine workings with the separation of signals of technogenic and natural origins.

*Key words:* rock pressure, monitoring system, impact hazard, acoustic emission, tectonic disturbance.

#### Введение

Проблема управления горным давлением является одной из наиболее сложных при подземной разработке полезных ископаемых. Горное давление, неизбежное при подземной разработке в условиях глубоких горизонтов и высокой тектонической напряженности массива, создает серьезную угрозу жизни работающим, нарушает нормальный ход ведения горных работ и тем самым снижает эффективность горного производства [1].

Эта проблема актуальна для целого ряда подземных рудников России, в частности Дальневосточного региона. К числу глубоко залегающих месторождений относится коренное месторождение алмазов кимберлитовая трубка «МИР», разведанные запасы которой простираются на глубину более 1 км. Верхняя часть месторождения отработана карьером, глубина которого составляет 525 м. Нижняя часть месторождения отработывается подземным способом. Безопасность горных работ обеспечивает предохранительный охранный целик мощностью около 20 м.

### *Горно-геологические условия месторождения*

Кимберлитовая трубка «Мир» находится в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе и представляет собой крутопадающее трубообразное тело, до глубины 300 м конусообразное. Площадь поперечного сечения рудного тела уменьшается с глубиной и на глубине 900 м переходит в даечное тело. Трубка сложена кимберлитовыми породами, образовавшимися в результате трехфазного внедрения кимберлитовой магмы. Породы разных фаз мало отличаются по составу, физико-механическим свойствам и алмазоносности. Газоносность и нефтеносность сильно пористых слоев, вмещающих карбонатных пород и в меньшей степени кимберлитов обусловила отнесение подземного рудника к опасным по газонефтепроявлениям [2 – 4].

Горно-геологические условия месторождения трубки «Мир» являются весьма сложными, что обуславливается следующими основными факторами:

- распространением в районе работ многолетней мерзлоты с нулевой изотермой на глубине 760 – 780 м и мощностью мерзлых пород до 330 м;
- нефтебитумонасыщенностью отдельных интервалов отложений и связанной с ней газоносностью пород;
- газопроявлениями, обусловленными как растворенными в нефти и рассоле, так и свободными газами. Последние сорбируются породами в порах и микротрещинах и могут аккумулироваться под большим давлением в микрозалежах, характеризующихся при их вскрытии выбросом газа;
- распространенностью в разрезе месторождения большого количества разновидностей пород, отличающихся по своим физико-механическим свойствам;
- сложной тектонической обстановкой месторождения, обусловленной приуроченностью его к сочленению региональных разломов с многочисленными опережающими их тектоническими нарушениями низшего порядка и проявлением кимберлитового и траппового магматизма;
- неравномерно развитой трещиноватостью пород, ухудшающих их прочностные свойства.

#### *Автоматизированная система контроля горного давления «Prognoz-ADS»*

Для контроля состояния предохранительного целика и прогноза опасных проявлений горного давления при введении горных работ на руднике «Мир» применяются различные методы и средства, в том числе разработанная в Институте горного дела сейсмоакустическая система контроля горного давления «Prognoz-ADS» [5 – 6].

Оценка геомеханического состояния массива горных пород по данным сейсмоакустического контроля с применением автоматизированной системы контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS» является одним из наиболее перспективных направлений прогноза и предупреждения внезапных разрушений целиков и горных выработок. АСКГД «Prognoz-ADS» предназначена для непрерывной регистрации в массиве горных пород импульсов сейсмоакустической эмиссии в частотном диапазоне 0,5...12 кГц, определения их параметров (энергии, координат, спектральных и иных характеристик акустических событий) и представления результатов мониторинга в форме каталогов, карт, графиков и т.п. с применением современных программных средств 3D визуализации. Измерительно-вычислительный комплекс позволяет выделять и контролировать параметры акустически-активных и потенциально опасных зон, проводить оценку геомеханического состояния массива горных пород.

Система «Prognoz-ADS» разработана на базе современных микропроцессорных, программных и геоинформационных технологий, включая высокопроизводительные компьютеры со специальным программным обеспечением.

Система мониторинга состоит из подземной и поверхностной частей. В поверхностном комплексе рудника «Мир» в отделе геотехнического мониторинга устанавлива-

ется высокопроизводительный персональный компьютер оператора системы с производительной системой управления базами данных, который обеспечит сбор и обработку информации, а также удаленное управление системой по локальной сети рудника «Мир». В состав программного обеспечения входят программные комплексы «GeoControl» и «GeoAcoustics-ADS».

На автоматизированном рабочем месте (персональном компьютере) оператора выполняется:

- обработка данных мониторинга в приложении «GeoAcoustics-ADS»;
- работа в редакторах AutoCad, CorelDraw, MineFrame, 2D и 3D графика;
- работа в локальной сети и на удаленном рабочем столе подземного компьютера.

Подземная часть системы «Prognoz-ADS» включает в себя коммутационно-распределительный узел, который размещается в РПП № 1 на горизонте -210 м и разнесенную в пространстве сеть цифровых преобразователей RADCi40 с подключенными к ним пьезоэлектрическими датчиками, которые соединяются с коммутационным узлом посредством симметричных медных кабельных линий.

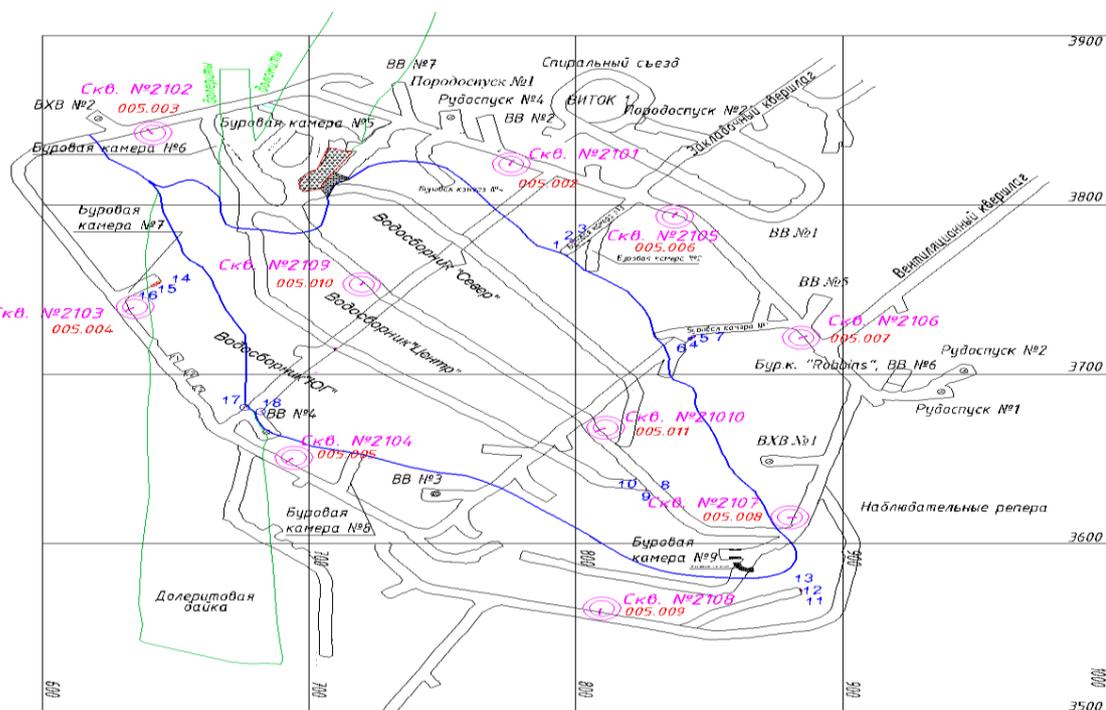
В подземной горной выработке РПП № 1 на горизонте -210 м устанавливается коммутационно-распределительный узел (рис. 1), состоящий из шкафов и клеммных коробок, закрепленных на раме. Все элементы на раме взрывозащищенные, со степенью защиты IP54. В первый шкаф управления помещают компактный компьютер с низким энергопотреблением (включен в одну сеть с компьютером оператора, выполняет роль промежуточного сервера сбора данных системы) в комплекте с внешним взрывозащищенным монитором и клавиатурой, платой с интерфейсом RS-485 производства MOXA; преобразователь IMS-21GA-LX; устройство фильтрации звуковых каналов и 4 устройства защиты информационных каналов MOXA; источник питания и синхронизации времени в ЦПП модели PSUt4. Во второй шкаф питания входят источник бесперебойного питания системы типа «Mean Well»; стабилизатор напряжения Mean Well 24В; блок питания Mean Well 100-380/24В. В третий аккумуляторный шкаф входят АКБ повышенной емкости (до 44Ач), которые поддерживают работоспособность всей системы в автономном режиме до 8 ч. После подачи внешнего напряжения система автоматически запустится, и АКБ зарядится в течение 10 – 12 часов. Над шкафами коммутационного узла размещается взрывозащищенный газоанализатор ДАХ-М 03 для контроля концентрации сероводорода (H<sub>2</sub>S). Релейный сигнализатор в шкафу управления отключит входное напряжение 24В при превышении концентрации газа и автоматически восстановит питание шкафа при ее снижении.

Высокочувствительные пьезоэлектрические датчики регистрируют импульсы акустической эмиссии в диапазоне частот от 0,5 до 12 кГц. Интеллектуальные цифровые преобразователи RADCi40, объединенные с пьезоэлектрическими датчиками, регистрируют упругий импульс, сохраняют в буфер памяти, обрабатывают форму сигнала на наличие технологических помех, выявляют природу сигнала, преобразуют аналоговый сигнал в цифровой вид и передают по протоколу RS-485 в базу данных, которая хранится на ПК в основном шкафу коммутационного узла. Базы данных в подземном и поверхностном компьютерах системы синхронизируются в автоматическом режиме каждые 10 мин, чем обеспечивают надежность хранения данных. Пьезоэлектрические датчики и цифровые преобразователи RADCi40 устанавливаются в скважинах длиной 2 м и диаметром от 90 до 110 мм, пробуренных горизонтально в борту выработки с подъемом забоя 5°. Преобразователи соединяются в распределительные линии последовательно не более 4 шт. на один канал.

Таким образом, на первом этапе в зоне контроля установлено 13 пьезоэлектрических датчиков, из них 10 датчиков находятся на горизонте 210 м (рис. 2); 4 датчика с северной стороны по Вентиляционно-закладочный штреку, 4 датчика с южной стороны по Закладочному штреку и 2 датчика по центральной Водоулавливающей выработке. Еще 3 датчика находятся на горизонте 240 м



Рис. 1 – Взрывозащищенный коммутационно-распределительный узел автоматизированной системы «Prognoz-ADS»



Условные обозначения:

-  Места установки сейсмодатчиков
-  Места проведения взрывов

Рис. 2 – Схема размещения датчиков на горизонте -210 м

Для подключения цифровых преобразователей RADCi40 с коммутационным узлом используется распределительный кабель марки КИПШнг-(А) HF. Специальный симметричный кабель для систем распределенного сбора данных, использующих промышленный интерфейс RS-485, имеет следующие характеристики: 3 пары с разным монолитным сечением жил (диаметром 1,0, 0,8, 0,64 мм); индивидуальный экран каждой пары; оплетка из медных лужены проволок; внешняя оболочка поливинилхлоридного пластика оранжевого цвета, устойчивая к нефтепродуктам, не распространяет открытое горение.

Подземная часть системы (компьютер для сбора данных) с поверхностным комплексом рудника (рабочего места оператора системы) подключается с помощью оптического кабеля.

Для данной системы используется сервер на базе HP Proliant DL380 Gen9, достаточно высокопроизводительный, чтобы обеспечить одновременную работу по репликации баз данных с подземным компьютером сбора данных, а также результатов мониторинга с автоматизированного рабочего места оператора системы. База данных и результаты мониторинга хранятся на главном сервере системы и поддерживают RAID (0/1/10/5/50/6/60) с использованием 8 жестких дисков.

Микросейсмический мониторинг включает в себя

- регистрацию и определение параметров сейсмоакустических событий за определенный интервал времени и формирование каталога;
- построение карт геоакустической активности (в виде изолиний плотности пространственного распределения очагов АЭ-событий, их суммарной энергии и других параметров), совмещенных с планами горных работ.
- определение зон (участков) в горном массиве, опасных по горным ударам, вывалам и разрушениям, и их мониторинг.

#### *Результаты работы АСКГД «Prognoz-ADS»*

По результатам сейсмоакустического контроля формируется база данных параметров геоакустической активности в контролируемой зоне. Содержащаяся информация в базе данных постоянно пополняется и является основой для осуществления текущего и перспективного прогноза шахтного поля рудника и отдельных его участков.

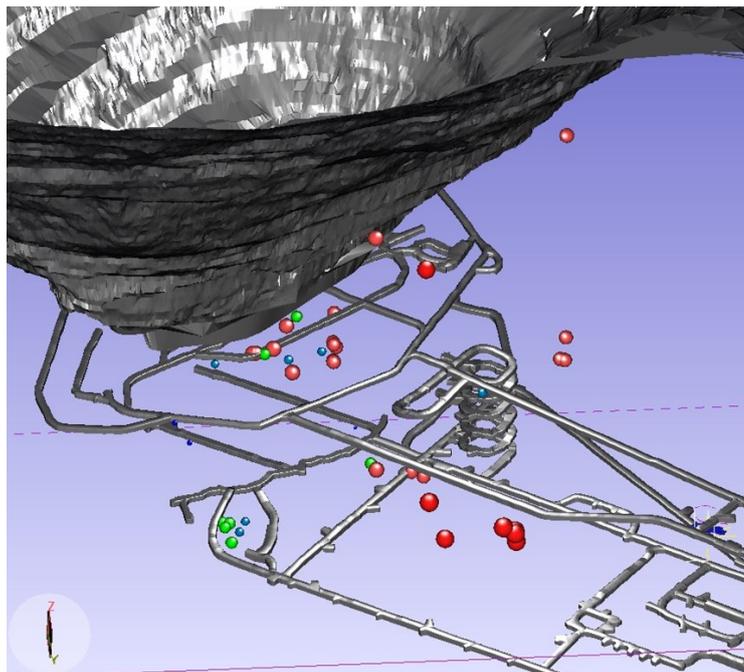


Рис. 3 – Объемная горно-геологическая модель рудника «МИР»

По результатам измерений строятся карты сейсмоакустической активности, горно-геологические модели, отражающие процесс перераспределения напряжений в массиве под влиянием природно-техногенных факторов, определение сейсмоакустических активных зон (рис. 3).

По результатам мониторинга математическими средствами программы «GeoAcoustics-ADS» проводится расчет комплексного показателя удароопасности для каждой из выделенных акустически активных зон.

#### *Выводы*

1. Геоакустический метод контроля позволяет оценить состояние горного массива подкарьерного целика под влиянием горных работ, ведущихся на нижележащих горизонтах, и внешней нагрузки от обводненных массивов сухой консервации.

2. Система «Prognoz ADS» по параметрам и характеру проявления сейсмоакустической эмиссии позволяет на первой стадии осуществить районирование массива по степени нарушенности и оценить его напряженно-деформированное состояние, на последующих стадиях фиксировать этапы разрушения целиков и горных выработок с разделением сигналов техногенного и природного происхождения.

3. По результатам мониторинга горного массива строятся карты сейсмоакустической активности и горно-геологические модели по результатам сейсмоакустического мониторинга.

#### **Литература**

1. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона / И.Ю. Рассказов. - М.: Издательство «Горная книга», 2008. – 329 с.

2. Классификация кимберлитов и внутреннее строение кимберлитовых трубок / Б.М. Владимиров, С.И. Костровицкий, Л.В. Соловьева и др. – М.: Наука, 1981. – 136 с.

3. Тектонофизические исследования при алмазопроископических работах: Методическое пособие / А.С. Гладков, С.А. Борняков, А.В. Манаков, В.А. Матросов. – М.: Научный мир, 2008. – 175 с.

4. Андреев М.Н. Обоснование технологии разработки подкарьерных запасов кимберлитовых трубок в условиях МГОК АК "АЛРОСА" / М.Н. Андреев. - Санкт-Петербург, 2011. - 136 с.

5. Развитие и модернизация системы контроля динамических проявлений горного давления на рудниках ОАО «ППГХО» / И.Ю. Рассказов, А.В. Гладырь, П.А. Аникин, В.С. Святецкий, Б.А. Просекин // Горный журнал. – 2013. – № 8 (2). – С. 9 - 14.

6. I.Yu. Rasskazov, V.A. Lugovoy, G.A. Kalinov, A.V. Gladyr, P.A. Anikin, M.I. Rasskazov and D.I. Tsoj. Development of measuring complexes for the assessment and control of burst-hazard during mining // Proceedings of the 8-th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (Russia, Saint-Petersburg – Moscow. 1-7 September 2013). – Obninsk-Perm, 2013. – P. 121 - 124.