УДК 622.831.32

И.Ю.РАССКАЗОВ, *д-р техн. наук, профессор, директор, rasskazov@igd.khv.ru*
Г.А.КАЛИНОВ, *канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, adm@igd.khv.ru*
В.И.МИРОШНИКОВ, *канд. техн. наук, ст. науч., сотрудник, adm@igd.khv.ru*
Д.С.МИГУНОВ, *мл. науч. сотрудник, adm@igd.khv.ru*
А.Ю.ИСКРА, *канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, adm@igd.khv.ru*
П.А.АНИКИН, *науч. сотрудник, adm@igd.khv.ru*
Институт горного дела ДВО РАН, г.Хабаровск

I.Yu.RASSKAZOV, *Dr. in eng. sc., professor, director, rasskazov@igd.khv.ru*
G.A.KALINOV, *PhD in eng. sc., senior research assistant, adm@igd.khv.ru*
V.I.MIROSHNIKOV, *PhD. in eng. sci., senior research assistant, adm@igd.khv.ru*
D.S.MIGUNOV, *junior research*, *adm@igd.khv.ru*
A.Yu.ISKRA, *PhD in eng. sc.*, *senior research assistant*, *adm@igd.khv.ru*
P.A.ANIKIN, *research assistant*, *adm@igd.khv.ru*
Institute of Mining, the Far-East Office of RAS, Khabarovsk

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ УДАРООПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА РУДНИКАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Дана оценка современного состояния контроля динамических проявлений горного давления на удароопасных рудниках Дальнего Востока.

Рассмотрены применяемые на горно-добывающих предприятиях региона методы и средства контроля горного давления и показаны направления их совершенствования.

Изложены основные положения методических подходов к оценке геомеханического состояния горного массива по данным геоакустического контроля.

Ключевые слова: горные и горно-тектонические удары, прогноз, контроль и информатика, геоакустический метод и аппаратура ИГД ДВО РАН, карты геоакустической активности.

METHODS AND TECHNIQUES FOR CONTROL OF ROCKBURST-HAZARD IN UNDERGROUND MINING AT ORE MINES OF THE FAR-EAST DISTRICT

An assessment is given to the present-day state of control of dynamic rock pressure manifestations in the rockburst-hazardous ore mines of the Far-East district.

Consideration is given to the used methods and facilities for control of rock pressure and the ways for their improvement .

Basic foundations of methodical approaches to the assessment of geomechanical state of rock mass by data of geoacoustic control are considered.

Key words: rock and tectonic bursts, prediction, control and informatics, geoacoustic method and equipment of Institute of Mining of Far-East branch of RAS, maps of geoacoustic activity.

На Дальнем Востоке России проблема необходимости контроля и предотвращения горных ударов приобрела актуальность с 70-х годов прошлого столетия. В настоящее время в регионе разрабатывается целый ряд месторождений, отнесенных к опасным или склонным к горным ударам. На некоторых из них наблюдается весь спектр динамиче-

ских форм горного давления вплоть до сильных с тяжелыми последствиями горных и горно-тектонических ударов.

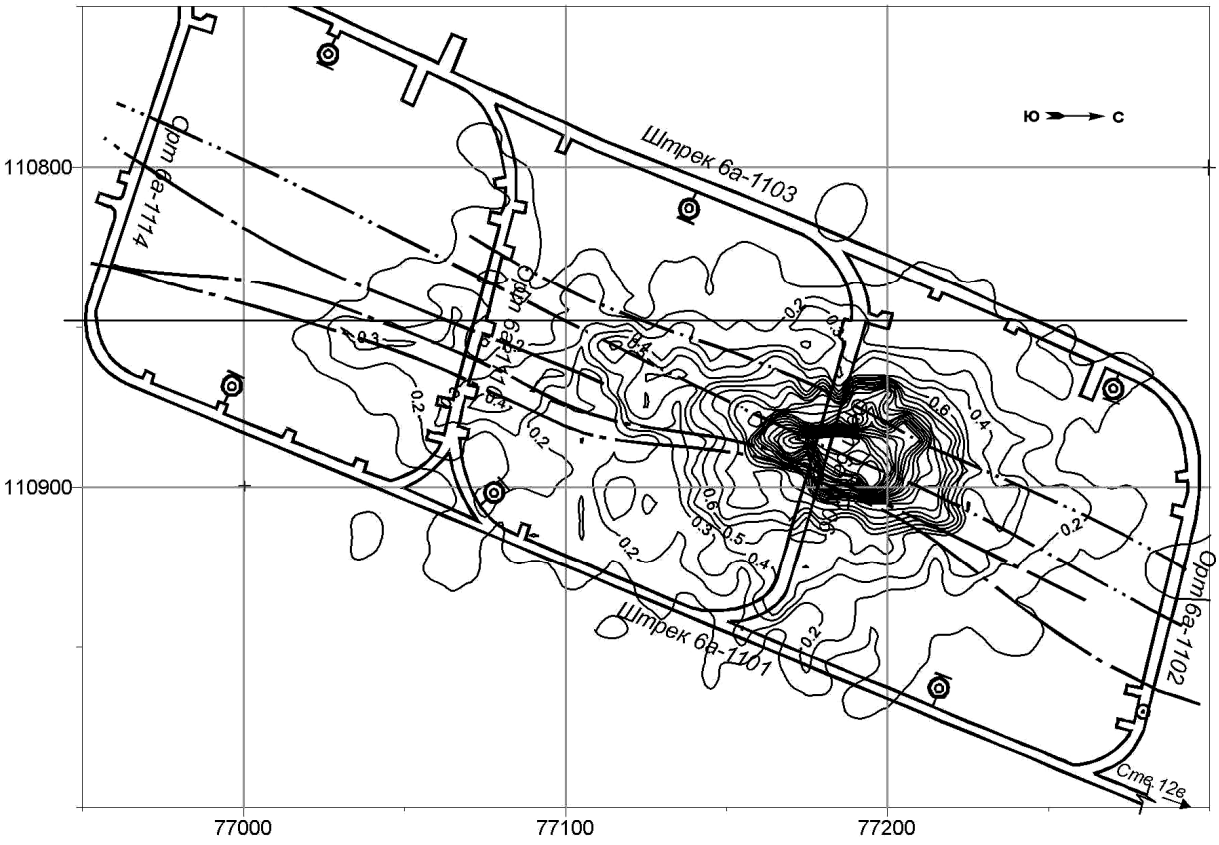
Прогнозирование этих динамических явлений представляет собой весьма сложную научно-техническую проблему, обусловленную существенной неоднородностью естественных полей напряжений, которая еще больше усиливается при техногенном воздействии на породный массив в результате ведения горных работ. Для оценки геомеханического состояния массива горных пород и контроля динамических проявлений горного давления на дальневосточных рудниках применяется комплекс теоретических и инструментальных методов.

Математическое моделирование методами конечных элементов (МКЭ) и граничных интегральных уравнений (МГИУ) применяется для разработки прогнозных карт напряженно-деформированного состояния (НДС) отдельных участков рудничного поля, являющихся основой для перспективного планирования горных работ, а также позволяет установить важные закономерности формирования техногенных полей напряжений, учитывающие особенности геолого-тектонического строения месторождения и параметры применяемых технологических схем [4, 6].

Выявленные по результатам моделирования высоконапряженные и потенциально удароопасные участки массива контролируются инструментальными методами. На дальневосточных горно-добывающих предприятиях для контроля динамических проявлений горного давления в числе прочих применяется геоакустический метод, который по сравнению с широко применяемым микросейсмическим методом, обладает более высокой «разрешающей способностью» и возможностью наблюдений за развитием процесса формирования очагов разрушения непосредственно от начальных стадий их образования. Геоакустический метод на рудниках региона реализуется для локального контроля с использованием одно- или двух канальных регистраторов АЭ, а региональный прогноз удароопасности осуществляется с применением автоматизированных систем контроля горного давления (АСКГД) [8].

Первыми отечественными системами контроля являлись сейсмоакустические станции «Гроза-4» и «Гроза-16», разработанные НПО «Сибцветметавтоматика». Для оценки состояния горного массива аппаратурой «Гроза-16» были рекомендованы эмпирические критерии удароопасности: продолжительность времени спада интенсивности АЭ после технологических (массовых) взрывов, а также резкое возрастание интенсивности АЭ без видимого влияния технологических процессов [2]. Использование этой аппаратуры позволило в ряде случаев прогнозировать удароопасную ситуацию на этих месторождениях. Вместе с тем применение «Грозы-16» оказалось недостаточно эффективным на участках интенсивного ведения горных работ и в условиях активизации геодинамических процессов. Признаком такой активизации является отмечающаяся в последние годы на месторождениях региона техногенная сейсмичность, вызываемая подвижками структурных тектонических блоков, которые охватывают значительные пространства в глубине массива и практически не контролируются аппаратурой типа «Гроза».

Следующим этапом развития геоакустических исследований на Дальнем Востоке явилось внедрение на ряде рудников 5-канальных измерительных комплексов «Прогноз-5», с помощью которых появилась возможность определять местоположение и энергию источников АЭ. Применение этой аппаратуры позволило получить целый ряд значимых с научной и практической точки зрения результатов, включая выявленные пространственно-временные закономерности формирования акустических волновых полей в массивах разрабатываемых месторождений [7]. К недостаткам станций «Прогноз-5» следует отнести недостаточную информативность (для более надежного прогноза удароопасности необходимо определять и учитывать целый ряд дополнительных параметров АЭ, в первую очередь ее спектральную характери-



Карта акустической активности участка массива месторождения «Антей»,
построенная по данным геоакустического мониторинга в 2008 г. (в проекции на XI горизонт)

стику, а также длительность, крутизну переднего фронта и ряд других), слабую помехозащищенность и др.

В последние годы для геоакустического контроля удароопасности применяется измерительный комплекс нового поколения – разработанная в ИГД ДВО РАН многоканальная цифровая геоакустическая АСКГД «Prognoz-ADS», которая состоит из подземной и поверхностной частей и включает в себя цифровые приемные преобразователи, объединенные в одном блоке ретранслятор, источник питания и синхронизатор, многопортовый расширитель RS-485 и центр управления системой на базе персонального компьютера [1]. Эффективная работа АСКГД обеспечивается за счет применения технических решений, базирующихся на последних достижениях в области информационных технологий, а также использованием оригинальных алгоритмов программного обеспечения (Свидетельства о государственной регистрации №№ 50200501285, 2008615167, 2009610594).

Эксплуатация АСКГД «Prognoz-ADS» показала, что в сравнении с известными аналогами система обеспечивает более высокую скорость обмена данных в многоканальном режиме, измерение большего числа параметров АЭ и возможность эффективного геоакустического контроля в сложной помеховой обстановке действующего горно-добывающего предприятия.

По результатам геоакустических наблюдений построены карты изолиний акустической активности, отражающие процесс перераспределения напряжений в массиве под влиянием горных работ (см.рисунок). Результаты мониторинга посредством программы MineFrame импортируются в 3D-модель месторождения и могут быть представлены в объемном виде [3].

Для оценки состояния массива в условиях удароопасных рудников Дальнего

Востока разработан вариант метода геоакустического мониторинга очагов микроразрушений, базирующегося на трехстадийной модели разрушения горных пород и выявленных закономерностях проявления акустической активности при различных соотношениях действующих и разрушающих напряжений [8].

Состояние массива в пределах акустически активных зон достаточно объективно отражает совокупность следующих прогностических признаков: концентрированность очагов и степень локализации источников АЭ, повторяемость периодов акустической активности и ее незатухающий характер, скорость и направление миграции очагов, близость очаговой зоны к обнажению и др., значения которых экспериментально устанавливаются для условий конкретного месторождения или его части. Дополнительным критерием удароопасности может являться величина удельной энергии $E_V^{\text{АЭ}}$, выделившейся в пределах акустически активной зоны, которая может служить критерием для оценки полноты разрушения [8].

Краевые участки горного массива в пределах выявленных по результатам мониторинга потенциально удароопасных зон, характеризующихся повышенной акустической активностью, дополнительно исследуются локальными методами. К числу апробированных и рекомендованных к применению на месторождениях дальневосточного региона относятся геомеханический метод и экспресс-методы, основанные на регистрации естественной акустической эмиссии. Последние реализуются с использованием аппаратуры АЭР и СБ 32М «Сапфир».

В целом применение теоретических и экспериментальных методов и технических средств контроля горного давления позволяют эффективно решать задачи оперативного и перспективного планирования горных работ на удароопасных участках, осуществлять необходимую корректировку параметров принятых на месторождениях технологий и более обоснованно применять профилактические мероприятия по предотвращению горных ударов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акустический измерительно-вычислительный комплекс для геомеханического мониторинга массива пород при ведении горных работ / Г.А.Калинов, И.Ю.Рассказов, А.Ю.Искра, Д.А.Куликов, К.О.Харитонов // Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. Т. 1. Физическая акустика. Распространение и дифракция волн. Геоакустика. М.: ГЕОС. 2005. С. 351-354.

2. *Дорошенко В.И.* Сейсмоакустический мониторинг удароопасности при отработке рудных месторождений Приморья / В.И.Дорошенко, А.В.Антипов, О.Ю.Смирнов // Горная геофизика. Междунар. конф., 22-25 июня 1998 г., Санкт-Петербург / ВНИМИ, СПб., 1998. С. 99-104.

3. *Морозов К.В.* Создание геомеханической модели месторождения Антей на основе цифровых технологий / К.В.Морозов, Б.А.Просекин // Горный журнал. 2008. № 8. С. 47-49.

4. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов системы разработки с закладкой с нисходящей выемкой / И.Ю. Рассказов, Г.М. Потапчук, В.И. Мирошников, М.И. Рассказова // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ, М., 2008. № 7. С. 116-124.

5. *Рассказов И.Ю.* Прогнозирование опасных проявлений горного давления на основе трехстадийной модели разрушения горных пород / И.Ю.Рассказов, В.И.Мирошников // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ, М., 2007. № 4. С. 234-240.

6. *Рассказов И.Ю.* Применение методов численного моделирования геомеханических процессов при планировании горных работ на удароопасных рудниках Дальнего Востока // Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных работ / Апатиты, СПб: Реноме, 2009. С. 24-28.

7. Результаты геоакустического контроля удароопасности на рудниках Дальнего Востока / И.Ю.Рассказов, П.А.Аникин, Д.С.Мигунов, А.Ю.Искра // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ, М., 2008. № 7. С. 104-111.

8. Совершенствование систем геоакустического мониторинга при ведении подземных горных работ / И.Ю.Рассказов, А.Ю.Искра, Г.А.Калинов, Ю.И.Болотин // Горный журнал. 2006. № 6. С. 72-77.

REFERENCES

1. *Kalinov G.A., Rasskazov I.Yu., Iskra A.Yu., Kulikov D.A., Kharitonov K.O.* The acoustic computer-measuring complex for geomechanical monitoring of rock mass under conducting of mining works The proceedings of XVI session of the Russian Acoustic Society. Vol. 1. Physical acoustics. Distribution and Diffraction of Waves. Geoacoustics. Moscow: GEOS. 2005. P. 351-354.

2. *Doroshenko V.I, Antipov A.V., Smirnov O.Ju.* Seismoacoustic monitoring of rock-burst risk in ore deposits mining at Primorski Krai // Mining geophysics. Intern. Conf. on June, 22-25nd, 1998, Saint Petersburg / VNIMI, Saint Petersburg, 1998. P.99-104.

3. *Morozov K.V., Prosekin V.A.* Creation of geomechanical model of ore deposit "Antey" on the basis of computer technologies // Mining Journal. 2008. N. 8. P.47-49.

4. *Rasskazov I.Yu., Potapchuk G.M., Miroshnikov V.I., Rasskazova M.I.* An estimation of stress-strain state of elements of mining system with packing in descending order // Mining information-analytical bulletin / MSMU, Moscow, 2008. N.7. P.116-124.

5. *Rasskazov I.Yu., Miroshnikov V.I.* Forecasting of dangerous manifectation of rock pressure on the basis of three-phase model of destruction of rocks // Mining information-analytical bulletin. MSMU, Moscow, 2007. N.4. P.234-240.

6. *Rasskazov I.Yu.* Application of methods of numerical modelling of geomechanical processes while planning of mining works at rockburt-hazarddous ore mines of the Russian Far East //Computer technologies at designing and planning of mining works. Apatity; Saint Petersburg: Renome, 2009. P. 24-28.

7. *Rasskazov I.Yu., Anikin P.A., Migunov D.S., Iskra A.Yu.* Results of the geoacoustical control of rock-burst risk at ore mines of the Far East. Mining Information-Analytical Bulletin / MSMU, Moscow, 2008. N. 7. P.104-111.

8. *Rasskazov I.Yu., Iskra A.Yu., Kalinov G.A., Bolotin Yu.I.* Improvment of systems of geoacoustic monitoring underground mining / Mining journal. 2006. N. 6. P.72-77.