

УДК 622.831.32

**И.Ю. Рассказов, П.А. Аникин, Д.С. Мигунов,  
А.Ю. Искра**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
УДАРООПАСНОСТИ НА РУДНИКАХ ДАЛЬНЕГО  
ВОСТОКА**

*Приведены некоторые результаты применения геоакустического метода для контроля динамических проявлений горного давления на удароопасных месторождениях дальневосточного региона. Отмечены представляющие научный интерес закономерности формирования в разрабатываемом массиве горных пород акустических волновых полей. Предложен методический подход к оценке состояния горного массива по данным геоакустического мониторинга.*

Семинар № 2

---

**Д**обыча руд цветных и драгоценных металлов подземным способом занимает значительное место в горной промышленности Российского Дальнего Востока. Здесь действует ряд крупных и средних рудников, ведущих горные работы в разнообразных, как правило, в сложных горногеологических условиях. В настоящее время геомеханическая обстановка на целом ряде рудников Дальнего Востока России определяется либо динамическими проявлениями горного давления, либо отнесением глубоких горизонтов месторождений к опасным или склонным к горным ударам. На некоторых из них наблюдается весь спектр динамических форм горного давления вплоть до сильных с тяжелыми последствиями горных и горно-тектонических ударов [1].

Для прогнозирования этих опасных динамических явлений необходимо применение эффективных методов оценки и контроля геомеханического состояния массива горных пород, к числу которых следует отнести микросейсмический и геоакустический методы.

Последний, 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, что существенно повышает надежность прогноза динамических явлений.

На рудниках Дальнего Востока геоакустический метод применяют более 20 лет. Вначале на двух удароопасных рудниках, обрабатывающих месторождения Николаевское и Южное, а несколько позже на Хинганском руднике были испытаны и приняты к промышленному использованию несколько комплектов сейсмоакустической аппаратуры «Гроза-16», представляющей собой мобильный, не требующий большого объема подготовительных и монтажных работ измерительный комплекс, позволяющий контролировать массив горных пород в приконтурных зонах горных выработок одного или нескольких очистных блоков. Недостаток таких систем заключа-

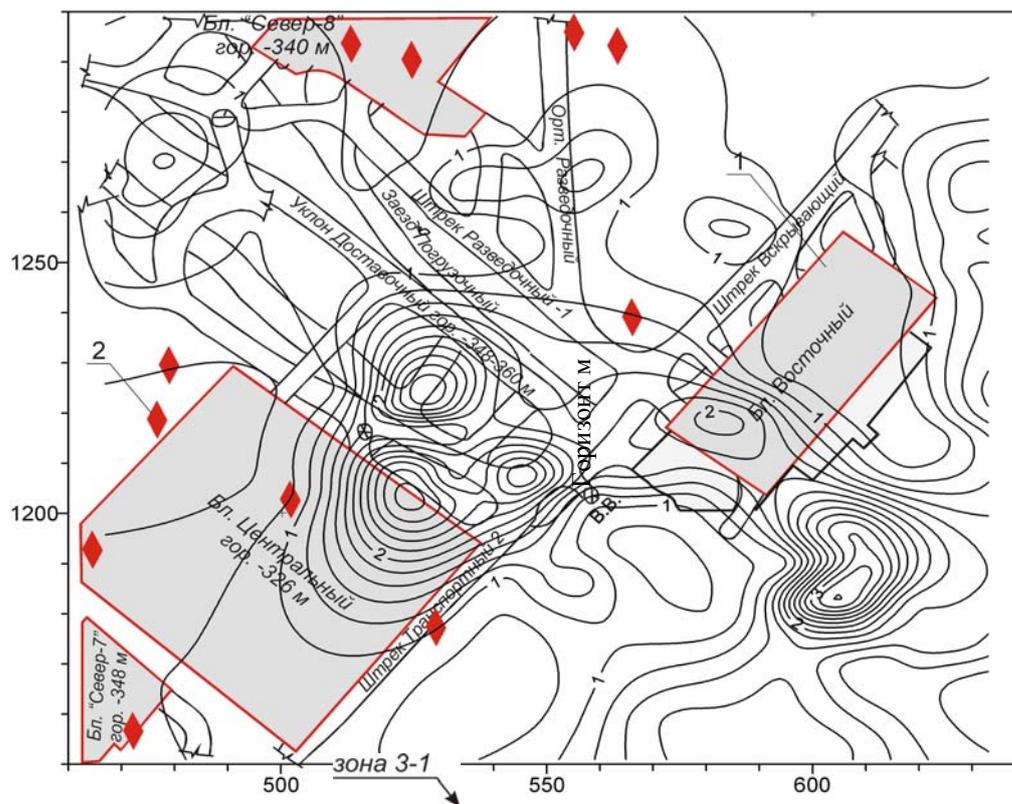
ется в слабых информативных возможностях, так как можно определять, по существу, только один параметр — интенсивность акустической эмиссии (число импульсов АЭ в единицу времени) в частотном диапазоне 0,6–10 кГц.

При оценке состояния горного массива аппаратурой «Гроза-16» рекомендованы [2] следующие эмпирические критерии удароопасности: продолжительность времени спада интенсивности АЭ после технологических (массовых) взрывов (более 1,5 и 3,0 часов, соответственно, для условий Николаевского и Южного месторождений), а также резкое возрастание интенсивности АЭ (более 90–120 импульсов за 15-минутный интервал) без видимого влияния технологических процессов. Использование указанных технических средств и методических подходов позволило в некоторых случаях прогнозировать удароопасную ситуацию на Николаевском и Южном месторождениях. Однако, в последующем (особенно в последние годы) на рудниках отмечено снижение эффективности прогноза динамических проявлений горного давления данной аппаратурой, а регистрируемая с ее помощью информация и установленные критерии не позволяют надежно контролировать состояние массива и прогнозировать происходящие динамические явления. Анализ данных показал, что в настоящее время на удароопасных месторождениях Дальнего Востока в результате значительного увеличения объемов горных работ складывается качественно новая геомеханическая ситуация, главной особенностью которой является активизация геодинамических процессов. Результатом такой активизации являются труднопрогнозируемые существующими техническими средствами (в частности, аппаратурой «Гроза»)

резкие подвижки структурных тектонических блоков массива, протекающие в форме толчкообразного деформирования массива. Для оценки состояния массива горных пород и выявления в нем геодинамически активных структур, к которым часто пространственно приурочены регистрируемые толчки и другие проявления горного давления, необходимо применение систем контроля, удовлетворяющих определенным техническим требованиям, в числе которых один из наиболее важных — возможность локации и определения энергии источников АЭ.

Выполнение этих требований при проводимых геомеханических исследованиях обеспечивалось на первоначальном этапе использованием измерительного комплекса на базе пятисканальной микросейсмической станции «Прогноз-5АМ». В совокупности с дополнительно разработанными техническими и программно-методическими средствами она представляет собой автоматизированную систему контроля горного давления (АСКГД), которая используется в экспериментальном порядке на рудниках Хинганском (с 1993 г.) и Николаевском (с 2004 г.). На руднике Глубокий ОАО «ППГХО» с 2006 г. эксплуатируется аппаратура нового поколения – многоканальная цифровая геоакустическая система геомеханического мониторинга «Prognos-ADS» [3, 4].

На нижних горизонтах Николаевского, Хинганского и Глубокого рудников в районе обрабатываемых рудных зон была создана разветвленная сеть геофонов, охватывающая наиболее удароопасные участки рудничного поля площадью до 0,3 км<sup>2</sup> (диаметр зоны контроля около 400–500 м). Питающие устройства и коммутационные элементы систем контроля размещались в подземных аппаратах, а основные блоки аппаратуры,



**Рис. 1.** Зоны концентрации очагов микроразрушений участка массива горных пород Николаевского месторождения по данным локации источников акустической эмиссии (АЭ) в период с 01.01.05 г. по 31.09.05 г.: 1 — выработанное пространство; 2 — места динамических проявлений горного давления; изолинии отражают плотность пространственного распределения очагов АЭ

включая центр управления системой на базе ПК, — в поверхностных комплексах рудников.

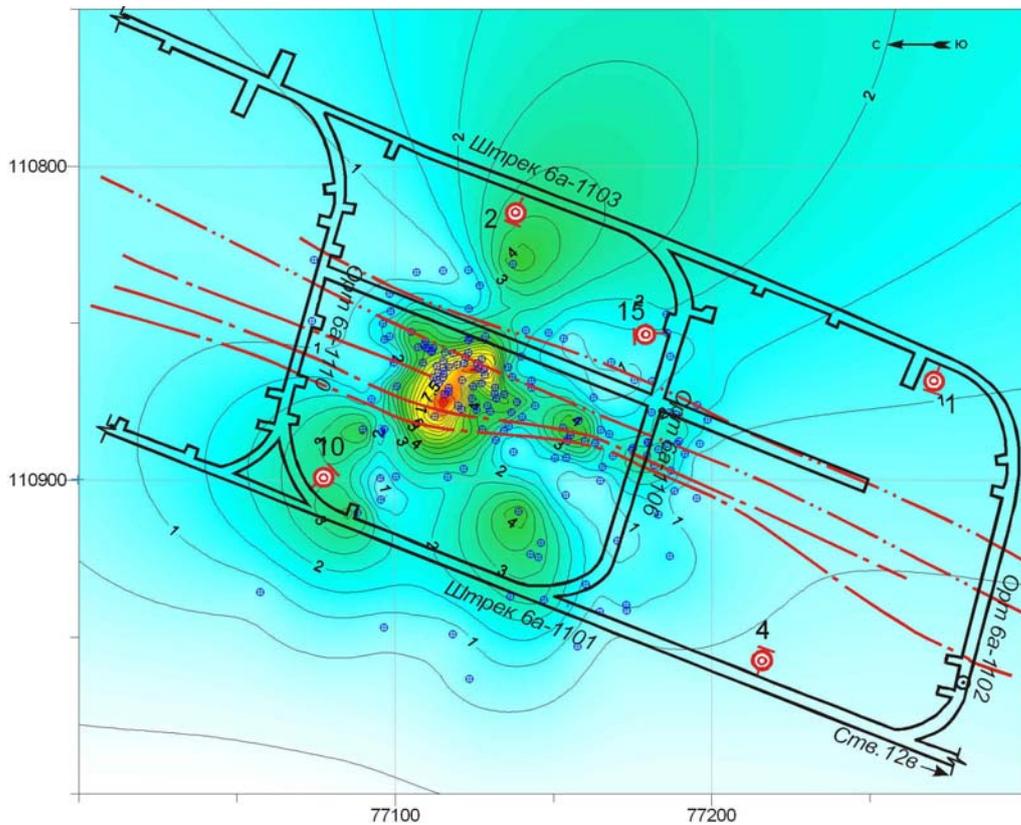
Режимные геоакустические наблюдения на рудниках с использованием систем контроля «Прогноз-5АМ» и «Prognoz-ADS» включали в себя:

- регистрацию количества естественных акустических импульсов, определение их параметров (координат и энергии) и формирование каталогов (баз данных) АЭ-событий;

- составление карт сейсмоакустической активности, совмещенных с планами горных работ (карты регионального прогноза удароопасности);

- определение зон, опасных по горным ударам.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что в различные периоды наблюдений в зонах контроля регистрировалось и проходило селекцию от 50-70 до 250-300 и более событий естественной АЭ в месяц. Установлено, что большая часть (около 70 % от общего числа) источников акустических сигналов локализуется в районах интенсивного ведения горных работ. На отдельных участках очаги источников АЭ концентрируются, формируя так называемые акустически активные зоны, отражающие процесс перераспределения



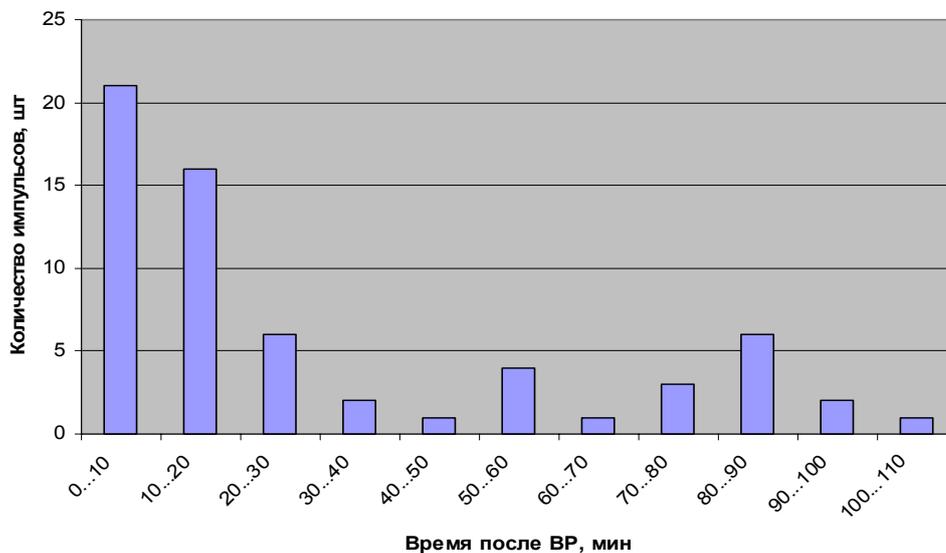
**Рис. 2.** Распределение очагов акустических импульсов, зарегистрированных в феврале-июле 2007 г. в массиве горных пород месторождения «Антей» (в проекции на XI горизонт)

напряжений и деформаций в массиве под влиянием горных работ.

Иллюстрацией могут служить акустически активные зоны, сформированные на участке массива горных пород Николаевского рудника (рис. 1). В окруженном выработанными пространствами целике, в течение нескольких месяцев наблюдался рост интенсивности АЭ, завершающийся, как правило, динамическими проявлениями горного давления в форме толчков, после которых следовал спад акустической активности. Затем, спустя некоторое время, этот процесс повторялся. Через некоторое время расположенный в рассматриваемом

участке массива транспортный уклон «Доставочный» был выведен из эксплуатации в результате обширного разрушения пород кровли и бортов горной выработки.

Геоакустические наблюдения в условиях опасных по горным ударам месторождениях Дальневосточного региона дали возможность выявить представляющие научный интерес особенности формирования крупных долгоживущих акустически активных зон: приуроченность их преимущественно к контурам очистных выработок, к геологическим контактам разнопрочных пород, к активным тектоническим разломам. Про-



**Рис. 3. Изменение интенсивности АЭ, зарегистрированной 22.02.2007 приемным преобразователем № 15 после взрывных работ на 18 слое блока 6а-1110**

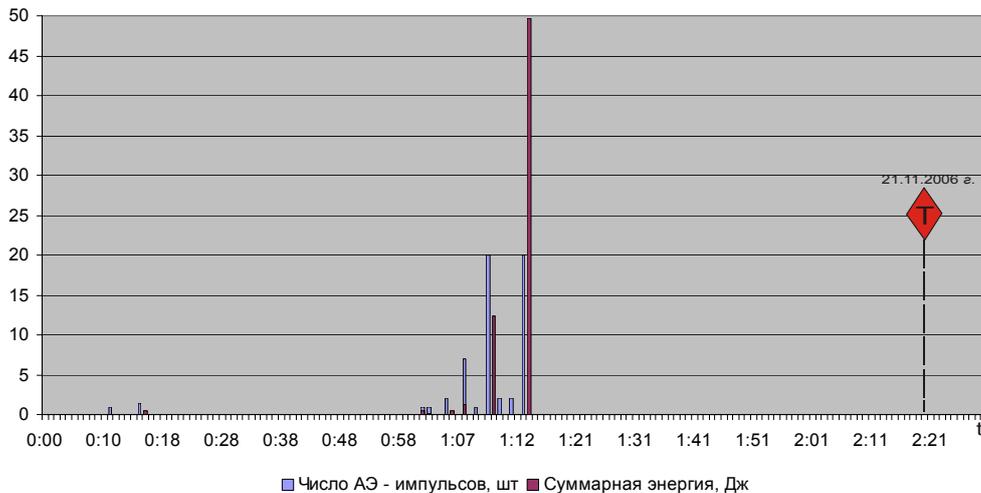
цесс формирования и перемещения в пространстве таких зон наблюдался также в массиве месторождения «Антей» (рис. 2). Результаты геоакустического контроля показали, что в период 2006-2007 гг. наиболее сложная геомеханическая ситуация на этом месторождении складывалась в районе блока 6а-1110, приуроченного к участку «перезжима» рудоконтролирующего тектонического разлома 160, где ранее неоднократно отмечались динамические проявления горного давления.

Особенно высокая акустическая активность на этом участке наблюдалась после проведения взрывных работ. При этом длительность времени спада акустической активности составляла 1-2 часа, а сам этот процесс, как правило, носил волнообразный характер (рис. 3). Повышение акустической активности массива было зарегистрировано в ночную смену 21.11.2006 г. перед динамическим проявлением горного давления (в форме толчка), который произошел в

2 часа 25 минут в целике между 6 и 9 слоями блока 6а-1110 и сопровождался сотрясением массива и вспучиванием на 0,3 м почвы 6 слоя.

На фоне мелких (менее 1 Дж) акустических импульсов за 1,5 часа до динамического проявления четко фиксировалось 2 серии АЭ-импульсов, следовавших через 10 минут одна от другой (рис. 4).

При примерно одинаковом количестве импульсов в сериях (21 и 20 импульсов соответственно) во второй серии наблюдалось значительное более чем в 3 раза увеличение энергии (рис. 5). Такой характер акустической активности указывает на начало процесса формирования очаговой зоны, в которой происходит слияние мелких дефектов в более крупные разрывы. Критическое накопление разрывных деформаций (трещин), привело через определенное время к разрушению участка массива в виде толчка.



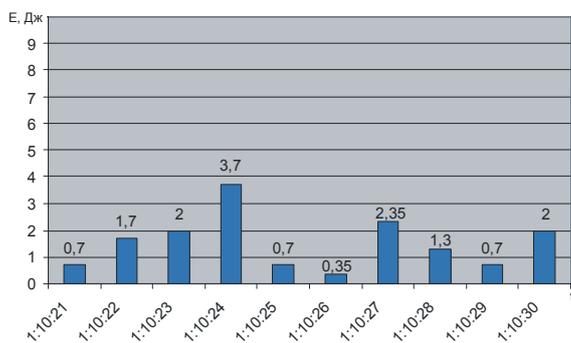
**Рис. 4.** Изменение акустической активности перед динамическим проявлением 21.11.2006 г. в блоке 6а-1110

Основываясь на возникшей из результатов шахтных наблюдений и измерений идее существования в разрабатываемом массиве горных пород изменяющихся в пространстве и во времени акустически активных зон, была поставлена и решена задача адаптации имеющихся методических разработок к специфическим условиям удароопасных месторождений Дальневосточного региона.

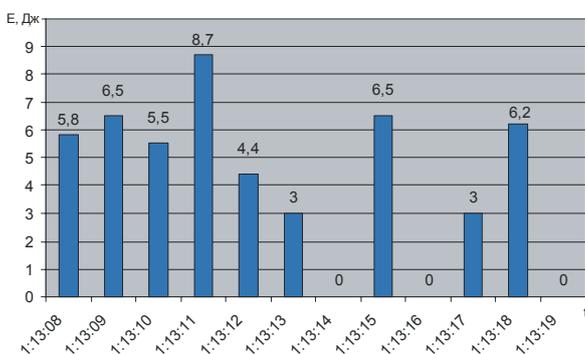
Разработанный и апробированный в условиях удароопасных рудников Дальнего Востока России вариант метода геоакустического мониторинга очагов микроразрушений заключается в идентификации и анализе динамики формирования акустически активных зон и в последующем прогнозировании удароопасности на основе устанавливаемых закономерностей изменения геоакустической активности массива [1].

В основу метода положена трехстадийная модель разрушения горных пород, согласно которой в процессе мониторинга выделяют: А) фоновое (незако-

номерное) распределение источников АЭ; Б) участки более или менее равномерной, но плотной и различающейся друг от друга акустической активности; В) сравнительно плоско-протяжённые зоны концентрации; Г) объёмные концентрированные зоны [5, 6]. Фоновое излучение АЭ указывает на I (неопасную) стадию, на которой разрушение только начинается с появления точечных дефектов, не связанных в какие-либо структуры. На II (доменной) стадии начинается процесс укрупнения дефектов (кластеризации трещин), на что указывают участки квазиравномерно плотного распределения источников АЭ. Этот процесс, при определенных условиях, может развиваться и перейти на следующую стадию, став необратимым. Выявление начала этого перехода требует непрерывного мониторинга зарождающихся акустически активных зон и применения обоснованных критериев наступления III (удароопасной) предразрушающей стадии.



а



б

Состояние массива в пределах акустически активных зон отражает сравнительная характеристика совокупности 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., количественно-качественные значения которых устанавливаются экспериментально для условий конкретного месторождения или его части [1].

Дополнительным критерием удаороопасности может являться величина удельной энергии  $E_V^{AЭ}$ , выделившейся

Рис. 5. Характер изменения акустической энергии АЭ импульсов в сериях, зарегистрированных в 1 час 10 минут (а) и 1 час 13 минут (б) перед толчком 21.11.2006 г.

в пределах акустически активной зоны, которая может служить критерием для оценки полноты разрушения [5]:

$$E_V^{AЭ} = 0,05 \frac{1}{V} \tau_{инт} \sum_{i=1}^N L_i^3, \text{ Дж/м}^3.$$

где  $V$  — объем контролируемой зоны,  $\text{м}^3$ ;  $L_i$  — дилатансионный объем трещин,  $\text{м}^3$ ;  $\tau_{инт}$  — касательные напряжения в окрестности разрабатываемого участка массива горных пород, МПа.

При  $E_V^{AЭ} \geq 0,7 E_{V крит}^{AЭ}$ , наступает III (опасная) предразрушающая стадия, за которой следует лавинообразный неуправляемый процесс разрушения геоматериала. В результате предварительных оценок, получены следующие значения  $E_{V крит}^{AЭ}$  для пород некоторых месторождений Дальневосточного региона: для геденбергитового скарна  $E_{V крит}^{AЭ} = 1,4 \text{ кДж/м}^3$ ; для известняка  $E_{V крит}^{AЭ} = 1,08 \text{ кДж/м}^3$ ; для кварцевых порфиров  $E_{V крит}^{AЭ} = 1,97 \text{ кДж/м}^3$ .

Результаты исследований и разработок дают основание считать оправданной концентрацию усилий на применении и дальнейшем развитии геоакустического метода как одного из наиболее эффективных для науки и практики инструментов изучения и контроля геомеханического состояния

массива горных пород. Геоакустические наблюдения в условиях ряда действующих рудников Дальнего Востока, позволили выявить ряд важных особенностей формирования геоакустических волновых полей в разраба-

тываемых горных массивах, которые дали возможность составить практически значимое представление об их геодинамическом состоянии и выделить потенциально удароопасные участки рудничного поля.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А.* Оценка и контроль удароопасности массива горных пород на рудниках.– Владивосток: Дальнаука, 2001.– 169 с.

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

3. *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 // Физическая акустика. Распространение и дифракция волн. Геоакустика. Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. Т. 1. М.: ГЕОС. 2005. С. 351-354.

4. *Особенности* динамических проявлений горного давления на месторождении «Антей» / И.Ю. Рассказов, Б.Г. Саксин, П.А. Аникин, Г.П. Потапчук, Б.А. Просекин, О.А. Исьянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Дальний Восток. М.: МГГУ, 2007. № 09. С. 234-240.

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

6. *Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А.* Особенности сейсмоакустического контроля геомеханического состояния массива горных пород в геодинамически активных районах // Известия ВУЗов. Горный журнал. 2006. № 6. С. 22-28.

ГИАБ

#### Коротко об авторах

*Рассказов И.Ю.* – доктор технических наук, директор,  
*Аникин П.А.* – младший научный сотрудник,  
*Мишунов Д.С.* – младший научный сотрудник,  
*Искра А.Ю.* – старший научный сотрудник,  
Института горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2008».  
Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.Л. Шкуратник.*

