

А.Н. Кочанов

НЕКОТОРЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗМОЖНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ ПО ЭМИССИИ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ*

Рассмотрены методические вопросы прогнозирования горных ударов при подземной добычи полезных ископаемых с помощью экспериментальных методов контроля. Отмечается, что принципиальная возможность прогноза развития горных ударов заключается в характере протекания разрушения как кинетического процесса накопления дефектов на разных масштабных уровнях. Описаны методики и результаты экспериментов по изучению кинетики образования субмикронных частиц при деформировании и разрушении образцов горных пород. В основу методик положена идентификация субмикронных частиц с помощью лазерных счетчиков в воздушной среде. По данным экспериментов наблюдается значительное увеличение интенсивности эмиссии частиц при достижении определенного уровня напряжений. На основе выявленных закономерностей обсуждается возможный метод контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород с целью оценки его удароопасности.

Ключевые слова: горные удары, прогноз, методы, прочность, кинетический подход, предразрушение, субмикронные частицы, контроль, лазерные счетчики частиц.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-101-109

Перед горнодобывающими предприятиями России стоят общие проблемы безопасности, характерные для всех стран с развитой горной промышленностью, обусловленные, прежде всего, увеличением глубины ведения горных работ и, соответственно, повышением их напряженно-деформированного состояния. Ведущие ученые Н.В. Мельников, Д.М. Бронников, К.Н. Трубецкой, Е.И. Шемякин, М.В. Курленя, В.Т. Глушко и другие, рассматривая особенности ведения горных работ на больших глубинах, считали определяющими вопросы, связанные с изменениями напряженного состояния массива горных пород

и возможностью динамических проявлений горного давления в этих условиях.

Известно, что основной особенностью проявлений горного давления при подземной разработке месторождений полезных ископаемых являются динамические и газодинамические явления в форме горных ударов и внезапных выбросов угля, породы и газа. Динамические и газодинамические явления приводят к тяжелым последствиям, в результате которых возможны многочисленные человеческие жертвы, а также значительное снижение технико-экономических показателей работы угольных и рудных шахт в течение длительного

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00066).

периода времени. Практика ведения горных работ и научные исследования свидетельствуют о том, что наиболее тесно с напряженным состоянием массива и динамикой его изменения связаны горные удары. Изучению этого явления посвящены многочисленные исследования, как отечественных, так и англоязычных авторов [1–8].

Горный удар представляет собой практически мгновенное отделение и разрушение некоторой части массива горных пород вблизи очистных и подготовительных горных выработок, возникающий в условиях, когда скорость изменения напряженного состояния превышает предельную скорость релаксации напряжений. Вероятность развития горных ударов тесно связана с прочностью и структурными особенностями пород, и в более прочных породах выше вероятность их возникновения, а также зависит от критической глубины разработки, начиная с которой возможно их проявления, что является определяющим фактором. Это величина в зависимости от конкретных горно-геологических условий разработки месторождений составляет 150–400 м.

Опасными по горным ударам являются рудники Северного Урала, Горной Шории, Норильского региона, Кольского полуострова, угольные шахты Кузнецкого и Печорского угольных бассейнов и т.д. Более 40 месторождений нашей страны официально отнесены к угрожаемым по горным ударам. Однако возможность развития горных ударов определяется не только особенностями геологического строения и состава пород, но и особенностями технологии горных работ, в частности, временные проявления горных ударов часто приурочены к массовым технологическим взрывам. Подавляющее число динамических проявлений горного давления происходит при очистных работах, но в ряде случаях, например, на Николаевском руднике

динамические проявления приурочены в основном к забоям подготовительных выработок в районах тектонических нарушений и контактов пород, имеющих различную прочность [9]. Практика отработки удароопасных месторождений показывает, что интенсивность горных ударов может быть самой различной — от разрушения небольшого участка забоя выработки с вывалом до 1–2 м³ до катастрофических горных ударов, в процессе которых разрушениями охватывается большая площадь или значительный объем массива, и повреждаются или выводятся из строя практически все выработки. В работе [10] для оценки высоконапряженных участков пород предлагается ввести три уровня удароопасности по интенсивным горным ударам.

I уровень с повышенной опасностью проявления интенсивности горного удара, когда напряжения в глубине массива достигают ~0,8–0,9 от прочности пород на одноосное сжатие на участках с объемом пород до 5000 м³. II уровень опасности по проявлениям интенсивного горного удара, когда имеются участки пород объемом 5000 м³ и более с напряжениями ~0,5–0,7 от прочности пород на одноосное сжатие. Если нет непосредственной опасности возникновения горного удара, то эта ситуация соответствует III уровню удароопасности. Об интенсивности динамических явлений судят по массе разрушаемой горной породы: слабые до 5 т, средние от 5 до 100 т, сильные от 100 до 1000 т, катастрофические более 1000 т [1].

Формирование удароопасных условий связано с большим числом факторов, количественные связи между которыми не поддаются надежному установлению. В этих условиях прогноз горных ударов во времени имеет вероятностный характер не более 50–60%, что не позволяет в полной степени обеспечить безопасность ведения горных работ [1].

Вместе с тем научные работы по разработке методов прогноза горных ударов имеют самостоятельное значение для изучения природы, механизма и энергетических особенностей горных ударов.

В настоящее время наблюдается характерная тенденция увеличения глубины разработки месторождений, и нередко горные работы ведутся на горизонтах 1000 и более м в сложных и часто изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условиях. Благодаря разработке мероприятий по прогнозированию и предупреждению горных ударов в последние годы удалось значительно сократить их количество, однако данная проблема остается актуальной.

Среди методов оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород распространение получили методы, основанные на выходе штыба при бурении скважины, по выходу керна, вдавлении пуансона в торец скважины и другие. К основным геофизическим методам относятся электрические, акустические, сейсмические, а также методы, основанные на исследовании электромагнитного излучения и акустической эмиссии.

Активное образование трещин и их рост в напряженном массиве сопровождается возникновением упругих импульсов, и на измерении характеристик этих естественных сигналов основан метод акустической эмиссии. Полученные результаты с помощью регистрации сигналов акустической эмиссии позволяют за трещинообразованием позволяют на весьма ранних стадиях деформирования, как образцов, так и природных массивов выделять пространственные области, где со временем может произойти катастрофическое разрушение, что дает предпосылки к долгосрочному прогнозу [11–12].

Для оперативного прогнозирования удароопасности при проходке вырабо-

ток метод акустической эмиссии успешно применяется почти десять лет на руднике «Глубокий» месторождения Антей [13].

Одним из перспективных геофизических методов для изучения динамики трещинообразования и получения сведений о процессе разрушения горных пород является метод электромагнитного излучения. В горных породах при образовании трещин возникает импульсное электромагнитное излучение, амплитуда которого может служить показателем опасности массива пород по горным ударам [14]. Метод и аппаратура, разработанная в ИГД СО РАН, прошли испытания в шахтных условиях и постоянно совершенствуются [15]. Согласно данным работы [16] использование электромагнитного излучения для структурного мониторинга состояния массива горных пород может быть потенциально экономически выгодным и альтернативным тензометрии и сейсмоакустическим методам.

В настоящее время проводится работа по совершенствованию указанных методов прогнозирования горных ударов, однако ни одна из задач, связанная с предсказанием места, энергии и момента возникновения горных ударов, не может считаться до конца решенной. Такое положение объясняется недостатком физических представлений о природе и особенностях развития разрушения в такой сложной среде, как массив горных пород. Этим определяется актуальность исследований с целью разработки новых методов прогноза горных ударов.

В настоящее время разработан ряд теорий, которые используют для изучения процессов разрушения горных пород в очагах динамических явлений. Известна теория лавинно-неустойчивого трещинообразования, основанная на эффекте дилатансии — объемном расширении пород в запредельной области

деформирования при их всестороннем сжатии. Однако однозначных выводов о возможности прогноза горных ударов с использованием положений этой теории получить не удалось [1].

Наиболее близкой к этой теории является кинетическая концепция прочности, основу которой составили экспериментальные результаты, полученные для широкого круга материалов искусственного и естественного происхождения, включая полимеры, металлы, горные породы [17–18]. Важным следствием кинетического подхода к процессу разрушения твердых тел стало выявление концентрационного механизма укрупнения трещин и количественная формулировка критерия, известного как концентрационный критерий разрушения. Концентрационная модель разрушения описывает условия перехода процесса разрушения с одного иерархического уровня на другой более высокий, при достижении критической концентрации дефектов в нагруженном объеме.

Концентрационный механизм развития разрушения выполняется как для начальных дефектов, так и для их ассоциаций сколь угодно высокого уровня от лабораторных образцов до литосферных плит. Представление разрушения как многоэтапного пространственно-временного процесса накопления и развития нарушений сплошности материала составляет основу кинетической точки зрения, позволяющей обосновать принципиальную возможность прогноза разрушения. При прогнозировании разрушения и наиболее общем физическом подходе можно выделить две основные стадии этого процесса, через которые проходят все материалы — стадию накопления микродефектов (предразрушение) и стадию их объединения с возникновением более крупной трещины.

В горных породах на стадии предразрушения формируются локальные объек-

ты разрушения или области запредельного деформирования, развитие которых сопровождается акустической и электромагнитной эмиссией, температурными изменениями и т.п. В вершинах трещин происходит диссипация энергии на всех структурных уровнях природной нарушенности, происходит критическое сдвигание и отрыв поверхностных микроструктурных фрагментов, т.е. эти области являются источниками эмиссии частиц различного размера. Образование и отрыв частиц от поверхности обнажения имеет место при высокой степени напряженности горных пород и в ряде случаев является предвестником горного удара. Анализ данных фактов и теоретических представлений позволяет использовать эмиссию частиц различного размера, динамику изменения их количества в качестве одного из показателей процесса подготовки горных пород к разрушению. Следует также отметить, что по выходу буровой мелочи и пыли при бурении шпуров или скважин оценивается напряженное состояние пород с целью прогнозирования горных ударов.

В Институте информационных технологий Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» для обнаружения предаварийных ситуаций была разработана система контроля, которая базируется на мониторинге микрочастиц в воздухе с помощью лазерных счетчиков [19]. Действие лазерных счетчиков основано на анализе и подсчете световых импульсов, рассеянных отдельными частицами при использовании лазерного луча, которые преобразуются затем в электрические импульсы с амплитудой пропорциональной размерам частиц. Как правило, эти приборы имеют предельную чувствительность 0,1 мкм. Регистрация отдельных субмикронных частиц в диапазоне размеров 0,1–10,0 мкм представляет собой уникальный способ контроля развития ава-

рийной ситуации различной природы на ранних стадиях.

В ИПКОНе для изучения закономерностей образования частиц и оценки их количественных показателей при разрушении образцов горных пород разработаны экспериментальные методики, в основе которых положена идентификация частиц с помощью лазерной счетчиков в воздушной среде [20–24]. При проведении экспериментов по разрушению образцов горных пород в условиях взрывного воздействия установлено, что процентное содержание частиц размером 0,3–0,5 мкм для большинства прочных горных пород не превышает 10–25% от их общего количества в рассматриваемом диапазоне размеров от 0,3 до 10,0 мкм, а преобладают частицы 1–5 мкм [21]. Максимум в распределении частиц в диапазоне размеров несколько мкм является отличительной особенностью распределения, так как обычно количество частиц закономерно увеличивается с уменьшением их размеров. Для кварцсодержащих горных пород, например, гранита и яшмы наблюдается увеличение содержания субмикронных частиц при разрушении по сравнению с мрамором или доломитом. Полученное распределение микрочастиц может быть объяснено как с позиции увеличения прочности частиц с уменьшением их размеров так и с точки зрения минерального состава, одним из факторов которого является содержание кварца, несмотря на свою высокую прочность, особенно на сжатие, склонного к хрупкому разрушению.

Разработана методика и выполнены экспериментальные исследования генерации субмикронных частиц в условиях одноосного сжатия образцов горной породы с отверстием. Регистрация числа частиц и их распределения по размерам проводилась с помощью лазерного счетчика в диапазонах измерений 0,5,

0,5–5 и более 5 мкм. Результаты экспериментов указывают на значительное увеличение интенсивности эмиссии частиц при достижении определенного порога напряжений и при приближении величины напряжения к предельному значению, при котором происходит разрушение образцов [22]. Таким образом, было показано, что интенсивность эмиссии субмикронных частиц определяется величиной действующих напряжений и может информативным показателем, характеризующим степень напряженности горных пород и степени удароопасности.

Известно, что характер разрушения материалов и конструкций существенно различается в зависимости от того, как осуществляется нагружение — медленно или быстро. Особенно отчетливо это проявляется, когда нагружение носит ударно-волновой характер и разрушение происходит при взаимодействии волн напряжений. Исследования процессов разрушения материалов при действии импульсных ударных нагрузок представляют большой интерес для прикладных задач, в том числе и для оценки удароопасности массива.

С целью изучения возможности образования субмикронных частиц при ударном воздействии с поверхности образцов горных пород были проведены лабораторные исследования [23]. В образцах горных пород, также как и при статическом нагружении, высверливалось сквозное отверстие диаметром 6 мм, т.е. создавались свободная поверхность и измерительный объем. Отличие заключалось в том, что при проведении экспериментов образцы горных пород подвергались не квазистатическому нагружению на прессе, а ударному воздействию: с заданной высоты сбрасывались стальные шары.

Изменение высоты сбрасывания и массы шара позволяло изменять условия динамического нагружения образ-

цов горных пород. По результатам измерений установлено, что при ударном воздействии наблюдается образование микрочастиц со свободной поверхности образцов горных пород. Получены распределения частиц в различных диапазонах размеров в зависимости от энергии удара и числа циклов нагружения.

Результаты проведенных исследований демонстрируют сложный вероятностный характер динамики образования микрочастиц при ударно-волновом воздействии. Можно отметить следующие закономерности в образовании микрочастиц при ударном воздействии. Количество образующихся частиц зависит от петрографических особенностей горных пород и, например, для образца гранита оно примерно на порядок больше чем для змеевика и доломита при одинаковом уровне нагружения.

Как правило, наибольшее количество частиц приходится на диапазон 0,5–5 мкм, но для некоторых пород (гранит, змеевик) характерно и образование субмикронных частиц размером менее 0,5 мкм. Эмиссия наибольшего числа микрочастиц в каком-либо диапазоне размеров наблюдается не после первого нагружения, а с некоторой задержкой после определенного числа циклов, что вполне соответствует современным кинетическим представлениям о природе разрушения, т.е. имеет место подготовка к отрыву микрочастиц во времени.

На основе выявленных закономерностей в лабораторных экспериментах предложен метод контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород с целью оценки его удароопасности и разработана принципиальная схема проведения измерений [20, 24]. В массиве горных пород создают объем

в виде шнура или скважины, осуществляется их герметизация с помощью заглушки и специального фильтра. Производят прокачку воздуха из объема шнура и замеряют с использованием лазерного счетчика количества частиц за определенный временной интервал. В качестве параметров, характеризующих состояние исследуемого участка массива, принимается счетная концентрация частиц, а также их распределение по размерам. Вероятность проявления горного удара на данном участке массива предполагается оценивать по интенсивности эмиссии частиц в единицу времени.

Выводы

Выявленные закономерности и динамика образования субмикронных частиц при деформировании и разрушении горных пород позволяют использовать принципиально новые физические принципы для разработки инструментальный метод прогноза горных ударов. Применение этого метода, наряду с другими способами оперативного инструментального контроля, повышает достоверность прогноза катастрофических явлений. Метод может использоваться и в других областях промышленности для прогноза катастрофических явлений, например, в строительстве при оценке состояния строительных конструкций и тоннелей, устойчивости различных сооружений и т.п. Вопрос применения этого метода прогнозирования горных ударов должен решаться на основе изучения свойств и строения массива, особенностей горной технологии, и представляется целесообразным для обеспечения надежности прогноза его использование совместно с другими методами локального прогноза, например, электромагнитными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов И. М., Ильин А. М., Трубецкой К. Н. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках. — М.: изд-во АГН, 1997. — 376 с.

2. Еременко А. А., Башков В. И. Проблема освоения железнорудных месторождений Западной Сибири, склонных и опасных по горным ударам // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2014. — т. 1. — С. 105—114.
3. Линдин Г. Л., Лобанова Т. В. Энергетические источники горных ударов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2013. — № 1. — С. 42—50.
4. Хачай О. А., Хачай О. Ю. Алгоритм построения сценария подготовки горных ударов в породных массивах под действием взрывов по данным сейсмического каталога // *Горный информационно-аналитический журнал*. — 2014. — № 4. — С. 239—246.
5. Винокуров Л. В. Прогнозирование горных ударов // *Горный информационно-аналитический журнал*. — 2005 — № 8. — С. 78—82.
6. Peng Y. H., Peng K., Zhou J., Liu Z. X. Prediction of Classification of Rock Burst Risk Based on Algorithms with SVM // *Applied Mechanics and Materials*. — 2014. — vol. 628. — pp. 383—389.
7. Huang R. Q., Wang X. N. Analysis of Dynamic Disturbance on Rock Burst // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 1999, vol. 57. — no 3. — pp. 281—284.
8. Cai W., Dou L., Gong S., Li Z., Yuan S. Quantitative analysis of seismic velocity tomography in rock burst hazard assessment // *Natural Hazards*. — 2014, vol. 75, no 3. — pp. 2453—2465.
9. Дорошенко В. И., Фрейдин А. М., Гусев М. С., Науменко Ю. Д. Об удароопасности Николаевского месторождения // *Горный журнал*. — 1990. — № 1. — С. 49—53.
10. Шемякин Е. И., Курленя М. В., Кулаков Г. И. Уровень удароопасности горного предприятия, обрабатывающего месторождение, опасное по горным ударам // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 1985. — № 2. — С. 73—76.
11. Дамаскинская Е. Е., Кадомцев А. Г. Выявление пространственной области будущего очага разрушения на основе анализа энергетических распределений сигналов акустической эмиссии // *Физика Земли*. — 2015. — № 3. — С. 78—84.
12. Демчишин Ю. Б., Вознесенский А. С., Кузнецова Т. И., Солодов А. М. Современное состояние и тенденции развитие метода акустической эмиссии для контроля деформирования и разрушения горных пород // *Горный информационно-аналитический журнал*. — 2000. — № 8. — С. 114—119.
13. Аксенов А. А., Ожиганов И. А., Исьянов О. А. Применение метода акустической эмиссии для прогноза удароопасности массива горных пород // *Горный журнал*. — 2014. — № 9. — С. 82—84.
14. Курленя М. В., Вострецов А. Г., Кулаков Г. И., Яковицкая Г. Е. О прогнозе разрушения горных пород на основе регистрации импульсов электромагнитного излучения // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2001. — № 3. — С. 12—18.
15. Бизяев А. А., Яковицкая Г. Е. О контроле динамических проявлений горного давления с использованием усовершенствованной аппаратуры регистрации ЭМИ // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2015. — № 5. — С. 115—123.
16. Archer J. W., Dobbs M. R., Aydin A., Reeves H. J., Prance R. J. Measurement and correlation of acoustic emissions and pressure stimulated voltages in rock using an electric potential sensor // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. — 2016. Vol. 89. pp. 26—33.
17. Куксенко В. С., Махмудов Х. Ф., Манжиков Б. Ц. Концентрационная модель разрушения твердых тел и прогнозирование катастрофических ситуаций крупномасштабных объектов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2010 — № 4. — С. 29—34.
18. Иванов В. В., Егоров П. В., Пимонов А. Г. Прогноз горных ударов на основе кинетических представлений о разрушении твердых тел // *Горный журнал*. — 1990. — № 1. — С. 44—48.
19. Александров П. А., Калечиц В. И., Сотсков В. П. Предупредить аварию: это носится в воздухе // *Природа*. — 2012. — № 9. — С. 3—13.
20. Викторов С. Д. Образование микро- и наночастиц в технологических процессах горного производства и разработка новых методов оценки катастрофических явлений // *Горный информационно-аналитический журнал*. — 2011. — № 1. — С. 27—46.
21. Викторов С. Д., Кочанов А. Н. Дезинтеграция образцов горных пород в условиях высокого импульсного давления // *Известия РАН. Серия физическая*. — 2013. — т. 77 — № 3. — С. 298—300.
22. Викторов С. Д., Кочанов А. Н., Одинцев В. Н., Осокин А. А. Эмиссия субмикронных частиц при деформировании горных пород // *Известия РАН. Серия физическая*. — 2012. — т. 76. — № 3. — С. 388—390.

23. Викторов С. Д., Кочанов А. Н., Осокин А. А. Закономерности субмикронных частиц при воздействии ударных нагрузок на горные породы // Горный информационно-аналитический журнал. — 2012. — № 1. — С. 112–118.

24. Викторов С. Д. Образование субмикронных частиц при горном производстве и новый метод оценки катастрофических явлений // Вестник РАН. — 2013. — № 4. — С. 300–306. **РИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Кочанов Алексей Николаевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: kochanov@mail.ru, Институт проблем комплексного освоения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 1, pp. 101–109.

A.N. Kochanov

SOME BACKGROUND TO ROCKBURST PREDICTION BY SUBMICRON PARTICLE EMISSIONS

Some methodical issues of rockburst prediction in underground mines by experimental testing techniques are discussed. It is highlighted that rock failure behavior as a kinetic process of accumulation of defects at different scales affords ground for rockburst prediction. The experimentation procedures and data on the kinetics of formation of submicron particles during deformation and failure of rock specimens are described. The procedures are based on the identification of submicron particles in air using laser-beam counters. The experimental data show a considerable increase in the rate of emission of submicron particles when a certain stress level is reached. Based on the revealed regularities, monitoring of stresses and strains in rock mass for the purpose of rockburst hazard assessment is considered.

Key words: rock bursts, prediction, methods, strength, kinetic approach, pre-failure, submicron particles, control, laser-beam particle counter.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-101-109

AUTHOR

Kochanov A.N., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: kochanov@mail.ru, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study has been supported by the Russian Science Foundation, Project No. 16-17-00066.

REFERENCES

1. Petukhov I. M., Il'in A. M., Trubetskiy K. N. *Prognoz i predotvrashchenie gornyykh udarov na rudnikakh* (Prediction and prevention of rock bursts in mines), Moscow, izd-vo AGN, 1997, 376 p.
2. Eremenko A. A., Bashkov V. I. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyykh nauk*. 2014. t. 1, pp. 105–114.
3. Lindin G. L., Lobanova T. V. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2013, no 1, pp. 42–50.
4. Khachay O. A., Khachay O. Yu. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy zhurnal*. 2014, no 4, pp. 239–246.
5. Vinokurov L. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy zhurnal*. 2005, no 8, pp. 78–82.
6. Peng Y. H., Peng K., Zhou J., Liu Z. X. Prediction of Classification of Rock Burst Risk Based on Algorithms with SVM. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. vol. 628. pp. 383–389.

7. Huang R. Q., Wang X. N. Analysis of Dynamic Disturbance on Rock Burst. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 1999, vol. 57. no 3. pp. 281–284.
8. Cai W., Dou L., Gong S., Li Z., Yuan S. Quantitative analysis of seismic velocity tomography in rock burst hazard assessment. *Natural Hazards*. 2014, vol. 75, no 3. pp. 2453–2465.
9. Doroshenko V. I., Freydin A. M., Gusev M. S., Naumenko Yu. D. *Gornyy zhurnal*. 1990, no 1, pp. 49–53.
10. Shemyakin E. I., Kurlenya M. V., Kulakov G. I. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 1985, no 2, pp. 73–76.
11. Damaskinskaya E. E., Kadomtsev A. G. *Fizika Zemli*. 2015, no 3, pp. 78–84.
12. Demchishin Yu. B., Voznesenskiy A. S., Kuznetsova T. I., Solodov A. M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy zhurnal*. 2000, no 8, pp. 114–119.
13. Aksenov A. A., Ozhiganov I. A., Is'yanov O. A. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 9, pp. 82–84.
14. Kurlenya M. V., Vostretsov A. G., Kulakov G. I., Yakovitskaya G. E. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2001, no 3, pp. 12–18.
15. Bizyaev A. A., Yakovitskaya G. E. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2015, no 5, pp. 115–123.
16. Archer J. W., Dobbs M. R., Aydin A., Reeves H. J., Prance R. J. Measurement and correlation of acoustic emissions and pressure stimulated voltages in rock using an electric potential sensor. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2016. Vol. 89. pp. 26–33.
17. Kuksenko V. S., Makhmudov Kh. F., Manzhikov B. Ts. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2010, no 4, pp. 29–34.
18. Ivanov V. V., Egorov P. V., Pimonov A. G. *Gornyy zhurnal*. 1990, no 1, pp. 44–48.
19. Aleksandrov P. A., Kalechits V. I., Sotskov V. P. *Priroda*. 2012, no 9, pp. 3–13.
20. Viktorov S. D. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy zhurnal*. 2011, no 1, pp. 27–46.
21. Viktorov S. D., Kochanov A. N. *Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya*. 2013, vol. 77, no 3, pp. 298–300.
22. Viktorov S. D., Kochanov A. N., Odintsev V. N., Osokin A. A. *Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya*. 2012, vol. 76, no 3, pp. 388–390.
23. Viktorov S. D., Kochanov A. N., Osokin A. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy zhurnal*. 2012, no 1, pp. 112–118.
24. Viktorov S. D. *Vestnik RAN*. 2013, no 4, pp. 300–306.



**ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ
(СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)**

**ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО СИМПОЗИУМА «НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА-2017»
(2017, № 1, СВ 1, 520 с.)**

Коллектив авторов

В сборник вошли статьи по 9-ти научным направлениям: горнопромышленная геология, геометрия недр, маркшейдерское дело, геофизика, геодинамика, разрушение горных пород, безопасность горного производства, аэрология, газодинамика, геотехнология, проектирование горно-технических систем, горное оборудование и электротехнические системы, обогащение и глубокая переработка полезных ископаемых, экология, ресурсосбережение, геоинформатика, автоматизированные системы, экономика и менеджмент горного производства. Сборник включает в себя ключевые доклады 2 сессий и двух круглых столов.

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC SYMPOSIUM «MINER'S WEEK-2017»

Team of authors

The collection includes articles in 9 research areas: mining Geology, geometry of mineral resources, mine surveying, Geophysics, geodynamics, rock destruction, mine safety production, aerology, dynamics, Geotechnology, designing mining technical systems, mining equipment and electrical systems, refining and deep processing of mineral resources, ecology, resource conservation, Geomatics, automated systems, Economics and management of mining production. The collection includes 2 keynote sessions and two round tables of the international scientific Symposium. For professionals in the mining industries.