

*На правах рукописи*



**ОСОКИН Александр Андреевич**

**ЭМИССИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ  
ЧАСТИЦ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Специальность: 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Москва – 2012**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН), отдел Проблем геомеханики и разрушения горных пород.

*Научный руководитель:* профессор, доктор технических наук  
ВИКТОРОВ Сергей Дмитриевич

*Официальные оппоненты:* профессор, доктор технических наук  
БОБИН Вячеслав Александрович  
кандидат физико-математических наук  
КУЛИКОВ Владимир Иванович

*Ведущая организация:* Московский государственный горный университет (МГГУ)

Защита состоится «22» февраля 2012 г. в 10 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук по адресу: 111020, Е-20, г. Москва, Крюковский тупик, 4; тел./факс 8-495-360-89-60.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук.

Автореферат разослан «\_\_\_» января 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук



И.В. Милетенко

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы.** Добыча твердых полезных ископаемых подземным способом в последнее время осуществляется на больших глубинах и в сложных горно-геологических условиях. С увеличением глубины разработки возникают трудности при транспортировке отбитой породы, проветривании горных выработок, эксплуатации горного оборудования и др. Под действием статических и динамических нагрузок горные породы вокруг выработок и скважин переходят в предельное состояние и разрушаются в условиях неоднородных объемных напряженных состояний.

В этой связи особую актуальность приобретает вопрос безопасности ведения горных работ. Для изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород разработано большое количество методов и средств. Однако в силу высокой трудоемкости, слабой оперативности и других причин их применение ограничено. Совершенствование существующих и создание новых методов диагностики и контроля напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, является приоритетным направлением для горнодобывающей промышленности.

В последние годы изучение наноразмерных частиц, создание наноматериалов и нанотехнологий является перспективным направлением научных исследований во всем мире. Добыча полезных ископаемых также связана с образованием микро- и наноразмерных минеральных частиц на различных этапах добычи и переработки. Появление тонкодисперсных частиц при разрушении горных пород негативно влияет на экологию, однако в определенных условиях оно может быть использовано для контроля механического состояния массивов горных пород. Поэтому фундаментальные исследования по раскрытию механизмов образования тонкодисперсных частиц и структурных изменений в горных породах являются актуальными.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с тематическими планами НИР Учреждения Российской академии наук Института проблем комплексного освоения недр РАН по теме: «Наноразмерные частицы в природе и техногенных продуктах: условия нахождения, физические и химические свойства и механизм образования» и при поддержке РФФИ (проект 11-05-00528-а).

**Цель работы.** Установление закономерностей эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц при нагружении горных пород.

**Научная идея работы.** Использование эмиссии тонкодисперсных фракций с поверхности горных пород для оценки их напряженного состояния.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач проводились комплексные исследования, включающие анализ существующих методов оценки и контроля напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, обзор лабораторных эмиссионных методов при одноосном сжатии образцов геоматериалов, теоретические и экспериментальные исследования процессов деформирования и разрушения горных пород, проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях с использованием метода лазерной спектроскопии, компьютерное моделирование.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

1) Деформирование образцов горных пород при их одноосном сжатии сопровождается образованием тонкодисперсных минеральных частиц с их поверхности с интенсивностью, зависящей от величины нагружения.

2) Интенсивность и дисперсный состав образующихся частиц определяется минеральным составом исследуемых горных пород.

3) Интенсивность эмиссии тонкодисперсных частиц экспоненциально возрастает по мере приближения нагрузок к пределу прочности образца.

**Научная новизна исследований:**

- экспериментально установлено явление эмиссии минеральных частиц в диапазоне 0.3-5.0 мкм с поверхности цилиндрической полости при одноосном сжатии геоматериалов;

- установлено, что при возрастании напряжений до уровня, предшествующего разрушению исследуемых образцов наблюдается резкий рост эмиссии частиц;

- получены количественные оценки эмиссии частиц в зависимости от действующих напряжений сжатия и относительного уровня нагружения для различных типов геоматериалов;

- интенсивность и дисперсный состав эмиссии частиц определяется минеральным составом исследуемых геоматериалов;

- найдена функциональная зависимость между эмиссией частиц и относительным уровнем нагружения.

**Личный вклад автора:** определена цель и задачи исследований; обосновано приобретение оборудования для проведения экспериментальных исследований; разработан и создан экспериментальный стенд; опробована и усовершенствована методика проведения экспериментов; отобраны и подготовлены образцы геоматериалов; проведены экспериментальные исследования; получены и обработаны экспериментальные результаты; сделаны выводы.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в работе, подтверждены комплексной методикой работ, предусматривающей использование современных теоретических и экспериментальных методов исследований, применением современных высокотехнологических приборов и средств измерения.

**Практическая ценность работы** заключается в проведении экспериментальных исследований и установлении закономерностей эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц при одноосном сжатии образцов геоматериалов. Результаты этих исследований могут стать основой разработки принципиально нового инструментального метода для прогноза катастрофических явлений, связанных с неконтролируемым разрушением массивов горных пород.

**Апробация работы.** Основные научные положения и результаты исследований докладывались на научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, 2010, 2011 гг.), V Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Микромеханизмы пластичности, разрушения и сопутствующих явлений» (г. Тамбов, 2010 г.), XX Международной научной школе им. академика С.А. Христиановича (г. Алушта, 2010 г.), III Международном форуме по нанотехнологиям (г. Москва, 2010 г.), V «Фестивале Науки» (г. Москва, 2010 г.), на VII и VIII Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, 2010, 2011 гг.), VII и VIII Международной выставке «Недра. Изучение. Разведка. Добыча» (г. Москва, 2010, 2011 гг.), Первом междисциплинарном, международном симпозиуме «Свойства веществ при высоких давлениях и температурах. Физика, геология, механика, химия» (п. Лоо, г. Сочи, 2011 г.), 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction (Китай, 2011 г.), XI научно-практической

конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (г. Москва, 2011 г.), Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр земли» (г. Новосибирск, 2011 г.), IV Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (г. Москва, 2011 г.).

**Публикации.** Основные положения и результаты исследований опубликованы в 12 научных работах, в том числе 4 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Новизна полученных результатов подтверждена 2 патентами.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения, изложенных на 130 страницах машинописного текста, содержащих 46 рисунков, 6 таблиц, списка используемой литературы из 87 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Изучением напряженно-деформированного состояния массивов горных пород занимаются давно, но, не смотря на большое количество разработанных методов и средств его изучение актуально и на сегодняшний день. Большой вклад в изучение напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, проведение теоретических и экспериментальных исследований процессов разрушения массивов горных пород, внесли следующие ученые: Н.В. Мельников, М.А. Садовский, К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, Л.И. Барон, Г.П. Демидюк, В.А. Бобин, И.Ж. Бунин, С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко, М.А. Иофис, В.М. Закалинский, Н.Н. Казаков, В.В. Кудряшов, С.В. Кузнецов, В.Н. Одинцев, В.А. Трофимов, А.Н. Кочанов, В.И. Куликов и др.

Знания о напряженно-деформированном состоянии массивов горных пород и протекающих в них геомеханических и физических процессах, имеют фундаментальную значимость и необходимы для создания безопасных технологий отработки месторождений и рационального извлечения полезных ископаемых. Первые работы по экспериментальному изучению напряженно-деформированного состояния массивов горных пород относят к 30-м г.г. прошлого столетия. За этот период было разработано и реализовано множество методов измерений, а также накоплен значительный объем экспериментальных данных. Современные экспериментальные методы диагностики и контроля напряженно-деформированного

состояния массивов горных пород условно можно разделить на механические и геофизические методы. В практике исследования наиболее распространенными оказались следующие методы: разгрузка (полная и частичная), компенсационная нагрузка, разность давлений, упругие включения, измерение деформаций буровых скважин. Однако, в силу достаточно высокой трудоемкости реализации единичных измерений, слабой оперативности этих методов и по ряду других причин для изучения геомеханических процессов наиболее удобной оказалась группа геофизических методов. Наибольшее распространение получили следующие геофизические методы: ультразвуковой, сейсмический, сейсмоакустический, электрометрический, акустический, электромагнитного излучения и др.

Деформирование и разрушение горных пород под действием горного давления и взрывных работ связаны с развитием микро- и макротрещин, которое сопровождается излучением акустических, электромагнитных и тепловых импульсов. Существуют методы, которые позволяют регистрировать эти импульсы и определять возникновение, рост и координаты трещин. Эмиссионные методы нашли широкое применение в горном деле, в частности, для лабораторных исследований образцов горных пород при их механическом нагружении. Этим методам посвящено множество экспериментальных и теоретических работ. Однако вещественная эмиссия, а именно образование твердых минеральных частиц с поверхности обнажения при механическом нагружении горных пород не изучена.

В Российском научном центре «Курчатовский институт» экспериментально была обнаружена зависимость генерации частиц при растяжении металлического стержня. Позже в лаборатории УРАН ИПКОН РАН были проведены совместные исследования, результаты которых подтвердили образование частиц в диапазоне 0.3-5.0 мкм с поверхностей граней образца доломита при его одноосном сжатии. В связи с возникшими техническими трудностями, в частности, связанными с герметизацией камеры, в УРАН ИПКОН РАН родилась идея замера эмиссии частиц внутри изолированного объема в горной породе. В качестве этого объема была предложена сквозная цилиндрическая полость.

Явление отрыва фрагментов горной породы от поверхности обнажения имеет место при высокой внутренней энергии геоматериала. Такое явление в макромасштабе можно наблюдать в подземных выработках, в виде «стреляния» и шелушения пород со стенок выработок, а в микромасштабе это явление известно как фрактоэмиссия. Согласно теории упругости о влиянии круглого отверстия на распределение напряжений, одноосное сжатие образца с цилиндрической полостью формирует в нем области с максимальными сжимающими и растягивающими напряжениями вблизи ее контура, т.е. создаются благоприятные условия для образования частиц с внутренней поверхности полости. Таким образом, есть два источника образования частиц: область с максимальными сжимающими напряжениями и область с максимальными растягивающими напряжениями. Данная гипотеза послужила теоретической основой последующих экспериментальных исследований данного явления.

### **Методика проведения экспериментов и первые результаты**

Схема устройства для проведения экспериментальных исследований эмиссии частиц при одноосном сжатии образцов геоматериалов показана на рис. 1. Методика проведения исследований заключается в следующем. Предварительно в центре исследуемого образца 1 создают измерительный объем в виде сквозной цилиндрической полости 3 диаметром 6 мм. К этой полости с двух сторон прикрепляют пробоотборные трубки 4. Одну трубку присоединяют к счетчику аэрозольных частиц 5, а другую к воздушному фильтру 6. Образец устанавливают между опорными плитами пресса 2 и подвергают его одноосному сжатию от нулевого значения до разрушения. На протяжении всего времени эксперимента регистрируют параметры эмиссии частиц в диапазоне 0.3-5.0 мкм. Для изолирования полости от частиц из окружающей среды был использован воздушный фильтр, не пропускающий частицы размером более 100 нм.

Образец доломита кубической формы со стороной 40 мм и со сквозной цилиндрической полостью 6 мм подвергали одноосному сжатию с постоянной скоростью нагружения. Прочность на одноосное сжатие составила 56 МПа. Регистрация числа частиц и анализ их дисперсного состава проводились с периодичностью 60 секунд.

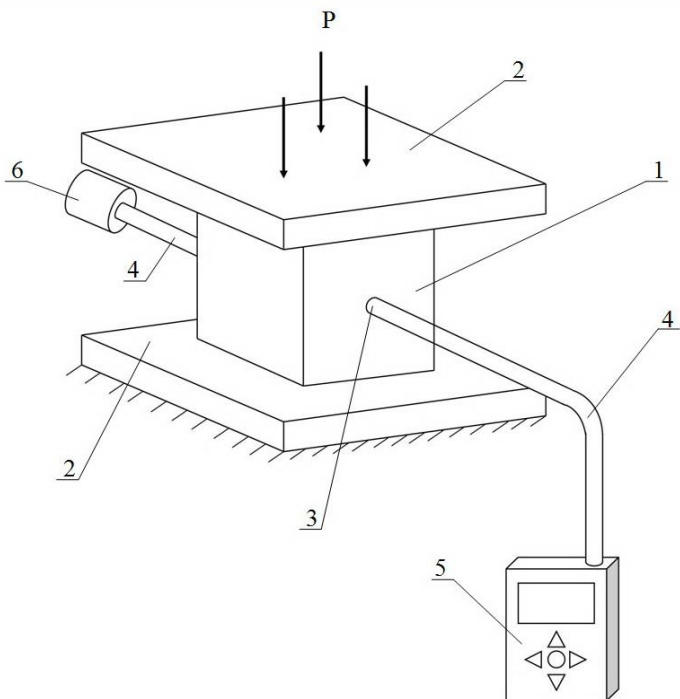


Рис. 1. Схема устройства для проведения исследований:  
 1) исследуемый образец; 2) опорные плиты пресса; 3) сквозная цилиндрическая полость; 4) пробоотборные трубки; 5) счетчик аэрозольных частиц; 6) воздушный фильтр.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 2, где по оси абсцисс отложено напряжение сжатия  $\sigma$ , МПа, а по оси ординат приведенное количество частиц,  $1/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ .

Из этих зависимостей видно, что при приближении к разрушению наблюдается рост частиц во всех диапазонах, а при приближении к критическому состоянию – резкий рост эмиссии частиц, который является предвестником приближающегося макроразрушения образца. Аналогичные зависимости были получены и при испытаниях образцов уррита и известняка.

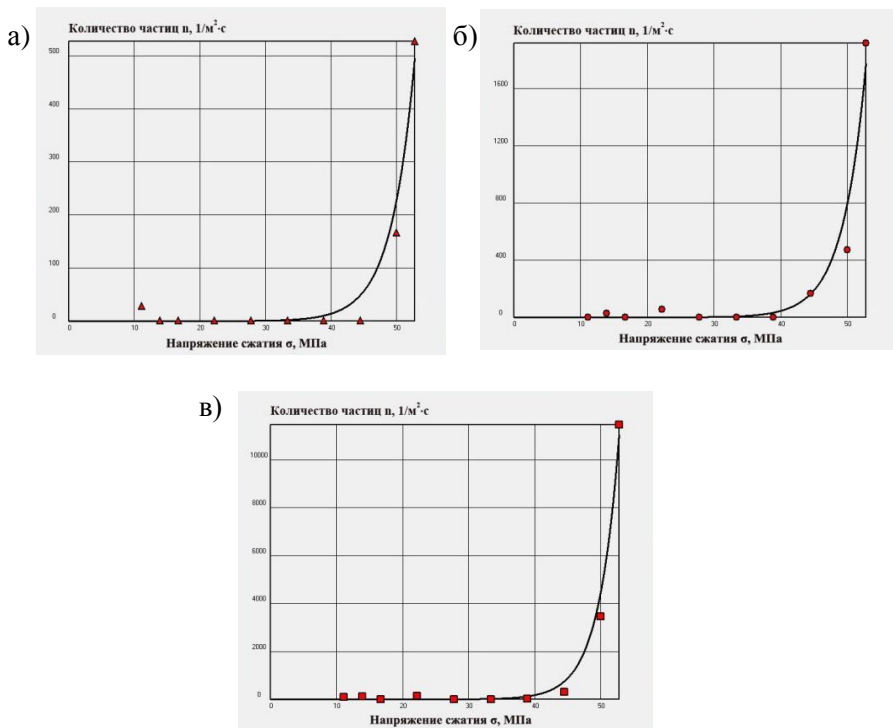


Рис. 2. Зависимость эмиссии частиц от напряжений сжатия для образца доломита в различных диапазонах: а) 0.3-0.5 мкм; б) 0.5-5.0 мкм; в) >5.0 мкм.

В этих исследованиях было установлено явление эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц с поверхности цилиндрической полости при одноосном сжатии образцов горных пород. Эти результаты стали основой для дальнейшего изучения этого явления и было принято решение о создании экспериментального стенда с возможностью реализации статического одноосного сжатия и компьютеризации полученных данных.

### Создание экспериментального стенда

Экспериментальный стенд, который был разработан и создан для исследований эмиссии частиц при одноосном сжатии образцов геоматериалов со сквозной цилиндрической полостью представлен на рис. 3. Для создания стенда было использовано следующее

оборудование. В качестве нагружаемого устройства был выбран гидравлический пресс PR20P с максимальным усилием сжатия 200 кН, позволяющий обеспечить одноосное ступенчатое сжатия с возможностью реализации статического нагружения. Для определения нагрузки и изменения ее значений во времени был использован электронный динамометр сжатия ДОС-3-200И в комплекте с весовым индикатором R320. Регистрацию эмиссии частиц осуществляли с помощью счетчика аэрозольных частиц Hand Held 3013, который позволяет определять счетную концентрацию частиц в диапазоне 0.3-5.0 мкм. Для обеспечения герметизации измерительного объема полости применялся измерительный зонд, состоящий из пробоотборных трубок и воздушного фильтра.



Рис. 3. Общий вид экспериментального стенда.

Таким образом, зная параметры нагружения и результаты экспериментов, можно определить количество и размерный диапазон частиц за определенный промежуток времени.

### **Проведение экспериментальных исследований**

Необходимым условием для проведения исследований эмиссии частиц является обеспечение герметичности объема цилиндрической

полости. Это связано с тем, что количество частиц в атмосферном воздухе очень велико, и прежде чем начать эксперимент объем полости проверялся на герметичность. Для этого измерительный зонд прикрепляли к образцу и производили отбор проб воздуха из объема полости в ненагруженном состоянии. Ее герметичность будет подтверждена, если спустя некоторое время (как правило, несколько десятков секунд) количество частиц во всех размерных диапазонах станет нулевым. В противном случае имеет место быть фоновая концентрация (трещиноватый образец либо нарушена герметичность анализируемого объема воздуха за счет неплотного прилегания измерительного зонда к образцу) и проведение эксперимента нецелесообразно. В случае отсутствия фона, образец подвергали одноосному сжатию и непрерывно регистрировали параметры эмиссии частиц. Таким образом, применение воздушного фильтра позволило изолировать измерительный объем цилиндрической полости от частиц из окружающей среды, а частицы, зарегистрированные прибором, являются твердыми минеральными частицами, которые образовались с поверхности сквозной цилиндрической полости в результате одноосного сжатия исследуемых образцов геоматериалов.

По описанной выше методике исследуемые образцы геоматериалов подвергали одноосному ступенчатому сжатию и непрерывно регистрировали параметры эмиссии частиц. Были выбраны следующие параметры нагружения: шаг нагрузки  $\Delta P$  принимался примерно равным  $P^*/10$ , где  $P^*$  – нагрузка, при которой произошло разрушение образца. Время изменения нагрузки на величину  $\Delta P$  составило 10 секунд, а время статического нагружения – 60 секунд.

### **Полученные результаты и их анализ**

Были исследованы следующие типы геоматериалов: известняк, уртит, доломит, гранит, железистый кварцит, калийная соль, дунит, змеевик, мрамор, песчаник и на всех этих образцах экспериментально было установлено это явление. Результаты исследований различных типов геоматериалов при фиксированном уровне нагружения  $P=0.8P^*$  представлены на рис. 4, где  $P^*$  – нагрузка, при которой произошло разрушение образца. По оси абсцисс отложены диапазоны размеров частиц, мкм, а по оси ординат количество частиц  $N$ , шт.

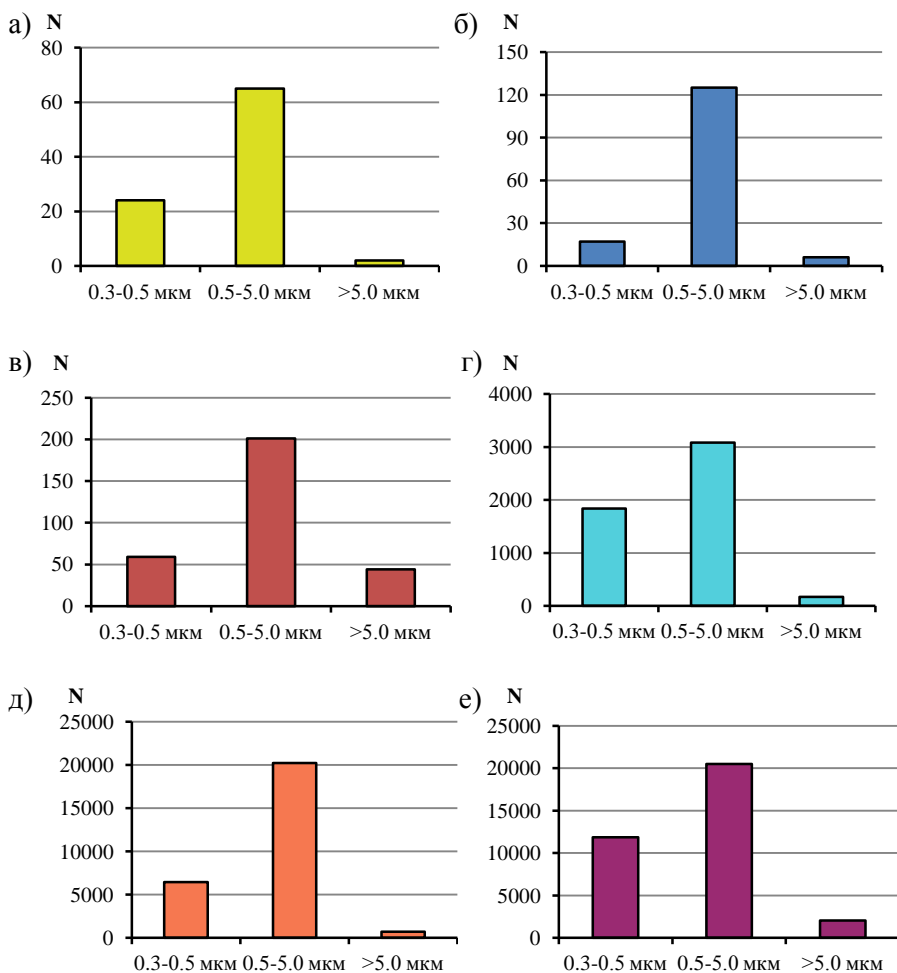


Рис. 4. Распределение эмиссии частиц при фиксированном относительном уровне нагружения  $P=0.8P^*$ : а) мрамор; б) доломит; в) известняк; г) красный гранит; д) уртит; е) песчаник.

Из диаграмм видно, что количество частиц для этих типов геоматериалов существенно отличается друг от друга: для мрамора (а) максимальное количество частиц в диапазоне 0.5-5.0 мкм менее 70, а для уртита (д) и песчаника (е) около 20000 шт.

## Обработка экспериментальных данных

Полученные результаты экспериментальных исследований были обработаны с помощью компьютерной программы, разработанной С.Д. Викторовым. На рис. 5 представлен экранный вид компьютерной программы, которая позволяет рассчитывать коэффициенты функциональной зависимости, дисперсию и корреляционное отношение полученных данных.

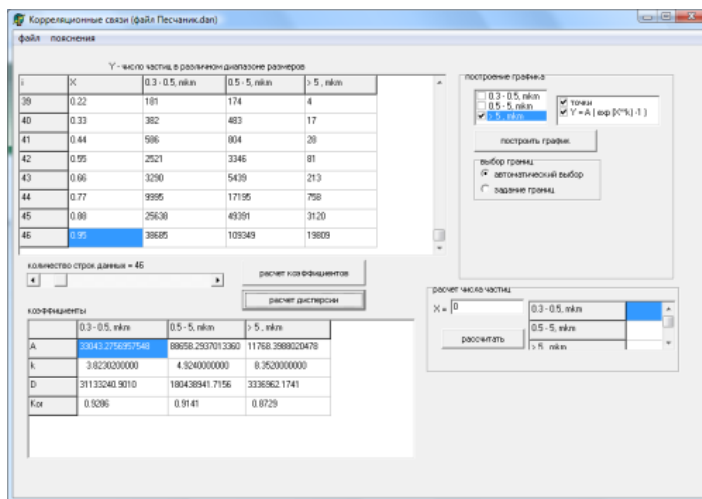


Рис. 5. Экранный вид компьютерной программы.

Для описания зависимости между эмиссией частиц и относительным уровнем нагружения нами была использована следующая формула

$$Y = A(e^{X^k} - 1),$$

где A и k – коэффициенты функциональной зависимости;

X – относительный уровень нагружения,  $X = \sigma / \sigma^*$ ;

$\sigma$  – действующее напряжение сжатия в образце;

$\sigma^*$  – предельное значение напряжения сжатия.

Такой вид зависимости наиболее точно описывает полученные результаты.

На рис. 6 показано распределение эмиссии частиц при одноосном сжатии образцов песчаника для различных диапазонов. По оси абсцисс отложен относительный уровень нагружения  $\sigma/\sigma^*$ , а по оси ординат количество частиц  $N$ , шт.

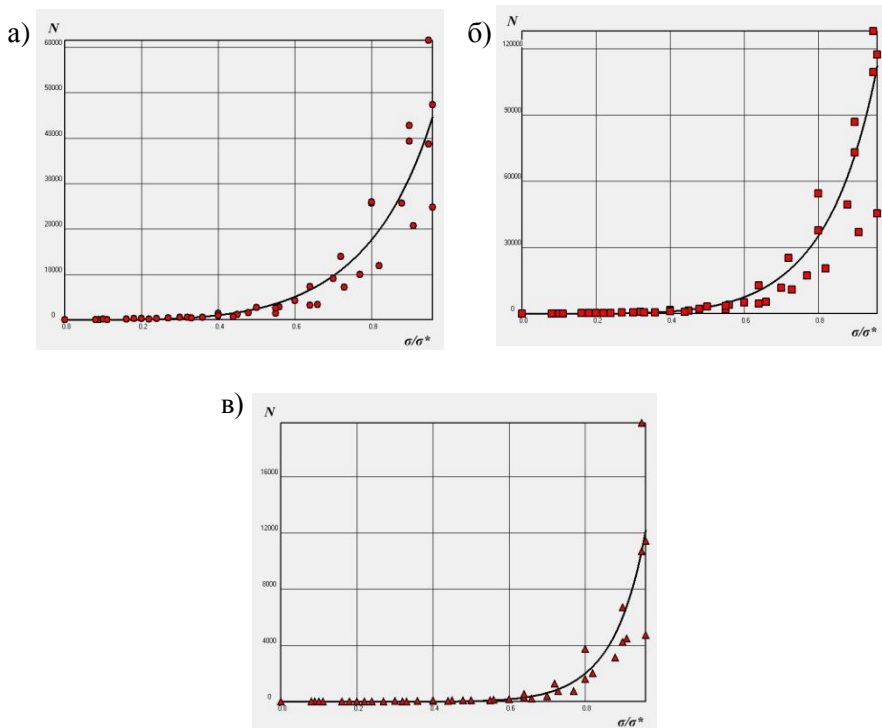


Рис. 6. Интенсивность эмиссии частиц при одноосном сжатии образцов песчаника: а) 0.3-0.5 мкм; б) 0.5-5.0 мкм; в) >5.0 мкм.

Аналогичные зависимости были получены для образцов известняка и мрамора.

Необходимо отметить, что нами также были опробованы и образцы строительных материалов – бетонов. Увеличение нагрузки сопровождалось ростом эмиссии частиц, а при достижении определенного критического уровня напряжений в образце наблюдался резкий рост эмиссии частиц, который предвещал его макроразрушение.

## Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой дано решение научной задачи по установлению закономерностей эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц при нагружении горных пород для оценки их напряженного состояния.

Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Экспериментально установлено явление эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц в диапазоне 0.3-5.0 мкм с поверхности цилиндрической полости при одноосном сжатии различных типов горных пород.

2. Интенсивность и дисперсный состав эмиссии частиц, образующихся с поверхности цилиндрической полости, определяется минеральным составом исследуемых горных пород.

3. При приближении к нагрузке, близкой к пределу прочности образца, наблюдается экспоненциальный рост эмиссии частиц, который является индикатором приближающегося его макроразрушения.

4. Проведена серия исследований эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц для образцов известняка, мрамора и песчаника и экспериментально определен относительный уровень нагружения резкого роста эмиссии частиц. По результатам обработки экспериментальных данных найдена функциональная зависимость между эмиссией частиц и относительным уровнем нагружения.

5. Установлено, что зарегистрированные частицы образовались с поверхности цилиндрической полости в результате одноосного сжатия геоматериалов, что подтверждается герметичностью ее объема, который изолирован от частиц из окружающей среды посредством установки воздушного фильтра, не пропускающего частицы размером более 100 нм.

6. Для выполнения лабораторных исследований по изучению эмиссии тонкодисперсных минеральных частиц с поверхности цилиндрической полости в одноосно нагружаемых образцах горных пород разработан и создан экспериментальный стенд.

## **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

### *Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Определение состояния предразрушения горных пород по генерации микро- и наноразмерных частиц. Горный информационно-аналитический бюллетень, Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2010». – М.: изд. «Горная книга», 2010. – С. 88-93.

2. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Эмиссия микрочастиц при деформировании и разрушении образцов горных пород в условиях одноосного сжатия / Вестник Тамбовского Университета, том 15, вып.3, 2010. – С. 1163-1164.

3. Викторов С.Д., Одинцев В.Н., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Генерация микро- и наночастиц при деформировании и разрушении горных пород. Взрывное дело. Выпуск № 104/61. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2010. – С. 63-73.

4. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Закономерности генерации микро- и наноразмерных частиц при разрушении и деформировании горных пород. Горный информационно-аналитический бюллетень, Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2011». – М.: изд. «Горная книга», 2011. – С. 185-191.

### *Публикации в других изданиях*

1. Чантурия В.А., Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Изучение эмиссии микро- и наноразмерных частиц при одноосном сжатии образцов горных пород/ Сб.: Физико-механические свойства горных пород и композитов в нано-, микро- и макрошкале. – Тамбов, 2010. – С. 5-7.

2. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Эмиссия микро- и наноразмерных частиц при деформировании образцов горных пород в условиях одноосного сжатия. Сб. трудов XX Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича. – Симферополь, 2010. – С. 91-93.

3. Осокин А.А. Эмиссия минеральных частиц при одноосном нагружении образцов горных пород. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 7 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 15-19 ноября 2010 г. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2010. – С. 136-139.

4. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Одинцев В.Н., Осокин А.А. Эмиссия субмикронных частиц при деформировании горных пород // Труды симпозиума. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2010. – С. 137-140.

5. Victorov S.D., Odintcev V.N., Kochanov A.N., Osokin A.A. Phenomenon of the Emission of Microparticles under Quasi-Static Loading of Rocks // 7<sup>th</sup> International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. – China, 2011. – P. 3-5.

6. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Одинцев В.Н., Осокин А.А. Эмиссия микрочастиц с поверхности деформируемых горных пород. Труды Всероссийской конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», т.1. – Новосибирск: Ин-т горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2011. – С. 179-184.

7. Викторов С.Д., Одинцев В.Н., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Контроль эмиссии микро- и наноразмерных минеральных частиц для прогноза катастрофических явлений // Проблемы прогнозирования чрезвычайной ситуаций. XI научно-практическая конференция. Сборник материалов. – М.: Центр «Антистихия», 2011. – С. 19-21.

8. Осокин А.А. Изучение эмиссии высокодисперсных частиц при деформировании геоматериалов. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 8 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 14-18 ноября 2011 г. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2011. – С. 24-27.

### *Патенты*

1. Патент РФ № 2418165. Способ определения состояния, предшествующего разрушению горных пород и строительных сооружений, и устройство для его осуществления. С.Д. Викторов, К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, В.Н. Одинцев, А.Н. Кочанов, А.А. Осокин, П.А. Александров, В.И. Калечиц, М.Н. Шахов, Е.С. Хозяшева, М.И. Веселая. – Бюллетень ФИПС. – 2011. – № 13.

2. Патент РФ по заявке № 2010119584/28. Способ оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород и строительных сооружений, и устройство для его осуществления. С.Д. Викторов, А.Н. Кочанов, А.А. Осокин.