УДК 622.235

И.А. Добрынин, Ф.И. Галушко

НОВАЯ ПОРИСТАЯ СЕЛИТРА КОМПАНИИ «ЕВРОХИМ»

Представлены результаты сравнительных исследований физико-химических свойств и характеристик новой пористой аммиачной селитры (ПАС) производства «ЕвроХим» с характеристиками других Российских производителей ПАС и результаты измерений скорости детонации взрывчатых веществ типа ANFO (АС-ДТ в России), изготовленных из ПАС разных производителей, которые были проведены в ГосНИИ «Кристалл» и в Институте горного дела Уральского отделения РАН. Ценное свойство ПАС – способность не только впитывать, но и удерживать жидкий нефтепродукт, например, дизельное топливо или отработанное моторное масло. Если гранулы ПАС не удерживают жидкий нефтепродукт в достаточной степени, то при использовании такого взрывчатого вещества, к примеру, в вертикальных зарядах нефтепродукт стекает вниз, на дно скважины, что приводит к нарушению стехиометрического соотношения компонентов в составе, к флегматизации взрывчатого вещества, в результате чего происходит некачественное дробление горной породы. Кроме того, взрыв несбалансированных по кислородному балансу взрывчатых веществ отрицательно влияет и на экологическую обстановку в районах, где регулярно проводятся взрывные работы. В результате сравнительных испытаний различных ПАС установлено, что впитывающая способность селитры, производства «ЕвроХим» на 35–40 % выше, чем у селитр других российских производителей, а удерживающая способность – вдвое больше, вследствие чего взрывчатые составы на основе ПАС «ЕвроХим» показали более высокие взрывчатые характеристики.

Ключевые слова: промышленные взрывчатые вещества, пористая аммиачная селитра, высокая впитывающая способность, высокая удерживающая способность, сравнительные испытания, АС-ДТ, стехиометрическое соотношение компонентов.

Минерально-химическая компания «ЕвроХим» («ЕвроХим») это крупная и динамично развивающаяся компания по производству минеральных удобрений.

Успех быстрого развития компании и уникальное конкурентное преимущество перед другими компаниями связано, в т.ч. с возможностью собственными силами разрабатывать месторождения полезных ископаемых с их последующей переработкой на своих предприятиях с получением конечного продукта. Горные

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 64–73.
© 2017. И.А. Добрынин, Ф.И. Галушко.

предприятия компании «ЕвроХим» расположены в России: АО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» (Мурманская обл.), ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» (Волгоградская обл.), ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» (Пермский край) и в Казахстане: ТОО «ЕвроХим-Каратау» (Джамбульская обл.).

Подготовку к селективному разъединению минералов следует начинать на стадии взрывной отбойки, при которой в кусках руды должна закладываться разветвленная сеть зародышевых трещин и обеспечиваться разупрочнение минеральных агрегатов по плоскостям срастания минералов [1]. Взрывной способ является одним из основных технологических процессов при разработке скальных пород. От качества взрывных работ зависит эффективность всех последующих технологических операций горного производства.

При инициировании зарядов взрывчатых веществ (ВВ) не всегда обеспечивается оптимальный режим протекания детонации. Это отрицательно сказывается на качестве дробления горных пород и на экономических показателях работы горнодобывающих предприятий.

Промышленные ВВ (ПВВ) заводского изготовления имеют определенные значения теплоты взрыва, скорости детонации, критического диаметра детонации, представленные, в справочной литературе, которая является основой при проектировании параметров буровзрывных работ.

Для ПВВ местного изготовления, такие параметры, как, теплота взрыва, скорость детонации, плотность, и т.д. могут изменяться в зависимости от используемых сырьевых компонентов и условий производства взрывных работ.

Горные предприятия «ЕвроХим», как другие крупные горные российские и зарубежные предприятия, сами изготавливают ПВВ или используют ПВВ подрядных организаций, производства которых расположены вблизи горных предприятий. На горных предприятиях, в основном, изготавливаются ПВВ, которые можно разделить на две категории, взрывчатые смеси ANFO (АС-ДТ в России), и эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ).

ПВВ типа ANFO это механическая смесь аммиачной селитры (окислитель) и жидкого нефтепродукта (горючее). Основой всех составов ЭВВ является обратная эмульсия второго рода (вода в масле), которая образуется путем смешения в специальных аппаратах раствора окислителя (изготавливается из концентрированного раствора АС) и топливного раствора (жидкий нефтепродукт+эмульгатор).

В СССР к разработке ПВВ типа ANFO на основе гранулированной АС и солярового масла (дизельного топлива), которые получили название игданиты приступили в 1957 г. в ИГД АН СССР. Этому во многом способствовало то, что именно в этот год, в СССР, был освоен промышленный выпуск гранулированной АС.

В 1959 г. ПВВ типа ANFO стали наиболее широко используемыми при открытой добыче угля, и к началу 1990-х гг. смесь ANFO завоевала ~75% мирового рынка промышленных ВВ [2].

Следует уточнить, что ПВВ типа ANFO производятся и расходуются не только на горнорудных предприятиях, но и на предприятиях других отраслей гражданской промышленности, например, при строительстве взрывонабросной плотины Камбаратинской ГЭС-2 на реке Нарын 22 декабря 2009 г. за один взрыв было израсходовано около 3 тыс. т ПВВ, которые были изготовлены заранее непосредственно на месте [3].

Параллельно с внедрением ANFO в промышленность развивались и приобретали популярность ЭВВ, свойства которых позволили преодолеть основной недостаток ANFO – отсутствие водоустойчивости. В конце 80-х годов прошлого века, когда на комбинате «Ураласбест» и на заводе «Знамя» были произведены запуски первых отечественных установок по производству ЭВВ началась эпоха освоения данного типа ВВ в России [4].

Таким образом, отличительной особенностью современного ассортимента промышленных ПВВ во всем мире является чрезвычайно высокий уровень производства и применения взрывчатых смесей типа ANFO и ЭВВ, как наиболее безопасных, более экологически чистых и экономически выгодных ПВВ. Весь мировой опыт применения энергии взрыва в горной промышленности и тенденции совершенствования техники и взрывных технологий свидетельствуют об исключении из употребления индивидуальных бризантных ПВВ, как дорогих, токсичных, опасных в обращении и практически не пригодных для механизированных технологий.

Химическая промышленность России в настоящее время выпускает разные сорта АС, в т.ч. пористую АС (ПАС), впитывающая и удерживающая способность, которой намного выше по сравнению с АС по ГОСТ 2-2013, что позволяет формировать заряды ПВВ более эффективного действия и получать менее токсичные продукты взрыва. Попытки создать производство высококачественной ПАС неоднократно предпринимались в России, однако ПАС отечественного производства заметно уступала ка-

честву ПАС известных зарубежных производителей, например, ПАС фирмы «YARA». Такое несправедливое положение для химической промышленности России было исправлено компанией «ЕвроХим», которая на своем предприятии – «Новомосковская акционерная компания «Азот» (НАК «Азот») в Тульской обл. 9 сентября 2015 г. запустила производство ПАС, по лицензии испанской фирмы «Espindesa».

Одним из негативных факторов является нарушение баланса компонентов ПВВ в заряде, эффективность, которого определяется с одной стороны – химической природой компонентов и их расчетным соотношением в составе смеси, с другой – их физическим состоянием, наличием в них примесей, точностью дозирования, качеством смешения и т.д.

С целью исследования физико-химических свойств и характеристик новой ПАС, компания «ЕвроХим», обратилась в Госу-

Таблица 1

Наименование показателя	**Образцы пористой аммиачной селитры фирм-изготовителей**						
	ГОСТ 2-2013	**Евро-Хим**	**Урал-хим**	**Акрон**	**СДС**	**Yara 1**	**Yara 2**
Насыпная плотность, г/см^3	0,95	0,77	0,75	0,74	0,76	0,75	0,83
Прочность гранул, г/гран	936,0	873,75	160,25	380,75	237,0	769,0	863,0
Впитывающая способность по отношению к ДТ, %	2,18 2,52	12,40 12,06	12,42 12,22	9,90 10,01	7,98 8,06	17,72 17,40	12,38 12,62
Удерживающая способность по ГОСТ 29288-92, %	2,0	11,86	6,44	6,62	4,64	10,96	9,98
Удерживающая способность по ТУ 2143-635-00209023-99, %	2,38 2,40	5,07 5,30	4,50 4,74	4,93 4,60	4,79 4,81	5,29 5,16	5,11 4,97
Удерживающая способность ГосНИИ «Кристалл» весовой	1,64	11,48	6,58	3,94	3,90	8,51	7,0
Массовая доля влаги, % высушиванием реактивом Фишера	–	0,05 0,05	0,1 0,1	0,5 1,0	0,3 0,6	0,2 0,2	0,1 0,1

дарственный научно исследовательский институт «Кристалл» (ГосНИИ «Кристалл»), который более 60 лет в комплексе решает проблемы создания и внедрения технологий получения ВВ и изделий на их основе.

Исследованиям подвергались образцы ПАС изготовленной на российских заводах-изготовителях: «ЕвроХим», «Уралхим», «Акрон», «СДС» и от зарубежного производителя – «Yara». Основные результаты испытаний приведены в табл. 1, а с более подробной информацией по сравнительным исследованиям различных образцов ПАС можно ознакомится в научной статье, которая опубликована в сборнике «Взрывное дело» [5].

Исследования физико-химических свойств и характеристик ПАС, проведенные ГосНИИ «Кристалл», показали, что ПАС, изготовленная в НАК «Азот», обладает отличной впитывающей и удерживающей способностью гранул, что является залогом изготовления качественного ВВ типа ANFO.

Есть мнение о перспективности смеси эмульсионной матрицы (ЭМ) с гранулами ПАС или смесью ANFO в различном соотношении. При разработке состава было показано, что кроме повышения энергетических характеристик введение гранул ПАС в ЭМ позволяет использовать состав в трещиноватых горных породах, при этом важно, чтобы ПАС при смешении с ЭМ не разрушала ее.

Объективно оценить совместное влияние нескольких негативных факторов на энерговыделение ПВВ местного изготовления можно по экспериментально измеренной скорости детонации. ГосНИИ «Кристалл» провел сравнительные испытания скорости детонации ПВВ типа ANFO в металлических трубах с внутренним диаметром 40 мм, толщиной стенки 10 мм и длиной 500 мм [5].

Полученные величины скорости детонации показали, что наилучшие результаты получились у образцов на зарубежной селитре фирмы «Yara» около 3800 м/с и немного ей уступает ПАС компании «ЕвроХим» – около 3600 м/с.

В условиях проведенных испытаний наименьшую скорость 3150 м/с показали образцы на селитре «СДС» и несколько большую в пределах 3400 м/с показали образцы на селитрах «Уралхим» и «Акрон».

Научно-производственное предприятие «Интеррин» (Казахстан), которое имеет значительный опыт применения ПАС разных производителей при изготовлении ВВ типа Игданитов и Гранулитов провело собственные сравнительные испытания, где

лучшие результаты, хорошие впитывающую и удерживающую способность, и прочность гранул, показала ПАС «ЕвроХим» по ТУ 2143-073-05761643-2013, изготовленная в НАК «Азот». В процессе изготовления и заряжания Игданитов и Гранулитов до 40% гранул ПАС других производителей разрушается, что приводит к большому пылевыделению, ухудшению условий труда и снижению показателей взрывной отбойки. Эти проблемы были решены с применением ПАС «ЕвроХим» изготовленной в НАК «Азот», статическая прочность гранул, которой, как показали испытания, в три раза превышает прочность гранул селитр других производителей [6].

На Урале производственной организацией «Промгорсервис» совместно с институтом горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН) также были проведены испытания по тестированию ПАС различных российских производителей: «ЕвроХим», «Уралхим», «Акрон», «СДС», с целью определения качественных характеристик продукта, а также ВВ Гранулит «ПС-2», произведенного на их основе [7]. Исследование впитывающей способности гранул показало, что максимальная величина – 13,8% у образца ПАС «ЕвроХим», а наименьшая – 8,1% у образца ПАС «СДС». Исследование удерживающей способности показало, что максимальная величина равная 12,3% у образца ПАС «ЕвроХим», а наименьшая – 4,1% у образца ПАС «СДС».

Затем «Промгорсервис» и ИГД УрО РАН провели измерения скорости детонации ПВВ типа ANFO, изготовленных из селитр разных производителей в стальных трубах диаметром 108 мм с толщиной стенки не менее 3 мм и длиной 2500 мм, результаты которых представлены в табл. 2 [7].

Как показали испытания наибольшая скорость детонации была получена в заряде ПВВ, изготовленного на основе ПАС «ЕвроХим».

Таблица 2

Производитель ПАС	**Скорость детонации, м/с**			
	замер № 1	**замер № 2**	**замер № 3**	**среднее значение**
СДС	3694	3371	3286	3450
Акрон	3572	3578	3476	3542
Уралхим	3365	3388	3296	3350
ЕвроХим	3890	3885	3818	3864

В настоящее время ПАС «ЕвроХим», при участии экспертных организаций, проходит тестовые испытания на объектах горных предприятиях Сибирской угольной энергетической компании, Уральской горно-металлургической компании, а также на других горных предприятиях угольной, рудной и нерудной отраслей горной промышленности.

Исследования, проведенные в 2005–2007 гг. Институтом проблем комплексного освоения недр РАН показали, что частичная или полная замена ПАС на АС по ГОСТ 2-2013 в зарядах ANFO снижает их чувствительность к инициирующему импульсу и при недостаточной массе промежуточного детонатора в скважинных зарядах могут возникать участки разгона инициирующей ударной волны (ИУВ) длиной до нескольких метров, что приводит к снижению эффективности взрывных работ [8, 9]. На участках разгона ИУВ значения давления и температуры в зоне химической реакции значительно ниже, по сравнению с их величинами в условиях нормальной детонации, в связи чем происходит образование токсичных газообразных продуктов, среди которых, в зависимости от температуры, могут быть двуокись азота, закись азота и аммиак [10].

ПВВ типа ANFO, изготовленного на основе АС по ГОСТ 2-2013 и ПАС с низкой удерживающей способностью, при длительном нахождении в шпурах (скважинах) расслаивается – ДТ обычно мигрирует в нижнюю часть зарядной полости [11]. В результате стекания ДТ с гранул ПАС происходит локальное изменение соотношения компонентов в заряде ПВВ, что приводит к снижению энергии взрыва до 30% [12], образованию токсичных продуктов взрыва и к ухудшению экологической обстановки в районах, прилегающих к карьерам, на которых регулярно проводятся взрывные работы.

Следует отметить, что согласно Указу Президента РФ 2017 г. в России объявлен Годом экологии. Для одного из крупнейших в мире производителей минеральных удобрений МХК «ЕвроХим» вопросы экологии всегда были и остаются актуальными и в 2016 г, на международной выставке-форуме «Экотех» МХК «ЕвроХим» была награждена премией Министерства природных ресурсов и экологии РФ за комплексную экологическую программу «Новое производство – Чистые реки». Данную программу «ЕвроХим» реализует с 2013 г. в 6-ти российских регионах, где находятся предприятия компании.

Применение ПАС «ЕвроХим», как показали исследования и испытания, проведенные разными организациями и предприя-

тиями, влияет на повышение эффективности ПВВ созданных на ее основе. Это обеспечивается благодаря высокой впитывающей и высокой удерживающей способности ПАС, значения показателей которой находятся на уровне лучших мировых образцов. Разумеется, совершенству нет предела, однако с появлением ПАС «ЕвроХим» вопрос о нарушении стехиометрического соотношения компонентов в колонке заряда ANFO из-за стекания жидких нефтепродуктов с гранул селитры на сегодняшний день решен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайсберг Л.А.*, *Баранов В.Ф.*, *Биленко Л.Ф.*, *Дьячкова Т.Ф.* Современное состояние и перспективы развития процессов дробления и измельчения минерального сырья / Материалы 4 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» 6–9 ноября 2007 г. – М.: ИПКОН РАН, 2007. – С. 259–269.

2. *Добрынин А.А.* Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. – М.: ИД Академии им. Н.Е. Жуковского, 2014. – 528 с.

3. *Вартанов В.Г.*, *Самотин К.И.*, *Добрынин И.А.*, *Лукович Е.И.* Организация работ по заряжанию камер большого сечения на крупномасштабном взрыве Камбаратинской ГЭС-2 в Кыргызской Республике // Взрывное дело. – 2010. – № 104/61. – С. 122–133.

4. *Колганов Е.В.*, *Соснин В.А.* Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 1-я книга (Составы и свойства). – Дзержинск: ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.

5. *Черных В.А.*, *Тогунов М.Б.*, Соснин В.А, *Елин О.Л.* Особенности применения пористой аммиачной селитры производства МХК «ЕВРОХИМ» для изготовления // Взрывное дело. – 2016. – № 115/72. – С. 161–170.

6. *Елин О.Л.*, *Тамбиев П.Г.* Применение пористой аммиачной селитры в гранулированных взрывчатых веществах // Горный журнал Казахстана. – 2016. – № 2, 2016. – С. 10–12.

7. *Отчет* «Организация и проведение лабораторно-полигонных испытаний пористой аммиачной селитры производства «НАК «Азот». «Промгорсервис»». Оренбургская обл., г. Ясный. 2016 г.

8. *Добрынин И.А.*, *Беляев А.Г.*, *Пасынков В.И.* Результаты измерения скорости детонации в скважинных зарядах на Черниговском разрезе // Горный информационный бюллетень. – 2007. – ОВ № 8. Взрывное дело. – С. 21–26.

9. *Добрынин И.А.* Влияние качества компонентов, входящих в состав ПВВ типа ANFO на его взрывчатые характеристики и экологические последствия взрыва / Научно-практическая конференция «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы». – М.: РГГРУ, 2008. – С. 136–137.

10. *Алейников Н. Н.*, *Вершинин Н. Н.*, *Шведов К. К.* Проблемы мониторинга экологической безопасности окружающей среды в местах проведения взрывных работ. Физические проблемы разрушения горных пород. Сб. трудов Межд. науч. конференции 25–29 сентября 2000 г. Санкт-Петербург // Записки Горного института. – 2000. – Т. 148 (2). – С. 3–5.

11. *Демидюк Г. П.*, *Адрианов Н. Ф.*, *Иванов О. Б.* Повышение физической стабильности игданитов // Взрывное дело. – 1976. – № 77/34. – С. 85–87.

12. *Вахотин А. А.*, *Демченко Н. Г.*, *Франтов А. Е.* Новый тип горючего для простейших промышленных ВВ / Физические проблемы разрушения горных пород. Сб. тр. III международной научной конференции 9–14 сентября 2002 г. Абаза (Хакасия). – Новосибирск: Наука, 2003. – С. 164–166. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Добрынин Иван Александрович[1] – кандидат технических наук, менеджер по продажам индустриальных продуктов,
e-mail: Ivan.Dobrynin@eurochemgroup.com,
Галушко Федор Игоревич[1] – руководитель направления по БВР,
e-mail: Fedor.Galushko@eurochem.ru,
[1] АО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 64–73.

UDC 622.235

I.A. Dobrynin, F.I. Galushko

NEW POROUS SALTPETER OF THE EUROCHEM COMPANY

Results of comparative researches of physical and chemical properties and characteristics of the new porous ammonium nitrate (PAN) of production EuroChem with characteristics of other Russian PAN producers and results of measurements of speed of a detonation of explosives like ANFO (AS-DT in Russia) made from the PAN of different producers which were carried out to State Research and Development Institute «Crystal» and at Institute of mining of the Ural department RAS are provided.

The PAN valuable property – not only to absorb a capability, but also to hold liquid oil product, for example, diesel fuel or the fulfilled engine oil. If granules the PAN don't hold liquid oil product sufficiently, then when using such explosive, for example, in vertical charges oil product flows down, on a well bottom that leads to violation of a stoichiometric ratio of components in structure, to explosive phlegmatization therefore there is a low-quality crushing of rock. Besides, explosion of explosives, unbalanced on oxygen balance, negatively influences also an ecological situation in areas where explosive works are regularly carried out.

Results of comparative testing various the PAN it is established that the absorbing capability of saltpeter, productions EuroChem is 35–40 % higher, than at saltpeter of other Russian producers, and the holding capability – is twice more owing to what explosive structures on a basis were PAN by EuroChem showed higher explosive characteristics.

Key words: industrial explosives, porous ammonium nitrate, the high absorbing capability, the high holding capability, comparative testing, ANFO, stoichiometric ratio of components.

AUTHORS

Dobrynin I.A.[1], Candidate of Technical Sciences,
Sales Manager Industrial Products,
e-mail: Ivan.Dobrynin@eurochemgroup.com,
Galushko F.I.[1], Area Manager on Drilling-and-blasting Works,
e-mail: Fedor.Galushko@eurochem.ru,
[1] Mineral and Chemical Company «Eurochem»,
115054, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Vaysberg L.A., Baranov V.F., Bilenko L.F., D'yachkova T.F. *Materialy 4 Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov «Problemy osvoeniya nedr v KhKhI veke glazami molodykh» 6–9 noyabrya 2007 g.* (Materials 4 of the International school of sciences of young scientists and experts «Problems of development of a subsoil in the XXI century eyes of young people» on November 6–9, 2007), Moscow, IPKON RAN, 2007, pp. 259–269.

2. Dobrynin A.A. *Vzryvchatye veshchestva. Khimiya. Sostavy. Bezopasnost'* (Explosives. Chemistry. Structures. Safety), Moscow, ID Akademii im. N.E. Zhukovskogo, 2014, 528 p.

3. Vartanov V.G., Samotin K.I., Dobrynin I.A., Lukovich E.I. *Vzryvnoe delo*. 2010, no 104/61, pp. 122–133.

4. Kolganov E.V., Sosnin V.A. *Emul'sionnye promyshlennye vzryvchatye veshchestva. 1-ya kniga (Sostavy i svoystva)* (Emulsion industrial explosives. Book 1. Structures and properties), Dzerzhinsk, GosNII «Kristall», 2009, 592 p.

5. Chernykh V.A., Togunov M.B., Sosnin V.A, Elin O.L. *Vzryvnoe delo*. 2016, no 115/72, pp. 161–170.

6. Elin O.L., Tambiev P.G. *Gornyy zhurnal Kazakhstana*. 2016, no 2, 2016, pp. 10–12.

7. *Otchet «Organizatsiya i provedenie laboratorno-poligonnykh ispytaniy poristoy ammiachnoy selitry proizvodstva «NAK «Azot». «Promgorservis»»*. Orenburgskaya obl., Yasnyy (Report «Organization and carrying out laboratory and polygon testing of porous ammonium nitrate of production of Novomoskovsk Joint-stock Company Azot. Promgorservice. Orenburg Region, Yasnyy), 2016.

8. Dobrynin I.A., Belyaev A.G., Pasynkov V.I. *Gornyy informatsionnyy byulleten'*. 2007. Special edition 8 Vzryvnoe delo, pp. 21–26.

9. Dobrynin I.A. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Geoekologicheskie i inzhenerno-geologicheskie problemy razvitiya grazhdanskogo i promyshlennogo kompleksov goroda Moskvy»* (Scientific and practical conference «Geoenvironmental and engineering-geological problems of development of civil and industrial complexes of the city of Moscow»), Moscow, RGGRU, 2008, pp. 136–137.

10. Aleynikov N.N., Vershinin N.N., Shvedov K.K. *Zapiski Gornogo instituta*. 2000. T. 148 (2), pp. 3–5.

11. Demidyuk G.P., Adrianov N.F., Ivanov O.B. *Vzryvnoe delo*. 1976, no 77/34, pp. 85–87.

12. Vakhotin A.A., Demchenko N.G., Frantov A.E. *Fizicheskie problemy razrusheniya gornykh porod. Sbornik trudov III mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii 9–14 sentyabrya 2002 g. Abaza (Khakasiya)* (Physical problems of destruction of rocks. Proceedings of III international scientific conference, 9–14 September 2002, Abaza (Khakassia)), Novosibirsk, Nauka, 2003, pp. 164–166.