

УДК 550.3

О.А. Хачай

**ПРОБЛЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО
ПРОЦЕССА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НАПРЯЖЕННОГО И ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЙ
МАССИВА МЕЖДУ СИЛЬНЫМИ
ТЕХНОГЕННЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ**

Семинар № 3

Технология отработки рудных глыбок залегающих месторождений предусматривает проведение профилактических и контролируемых мер безопасности отработки. Для этого на ряде крупнейших горнодобывающих предприятий России установлены в пределах шахтных полей многоканальные автоматизированные системы контроля сейсмичности, вызванной ведением подземных горных работ [1, 2]. Анализ обширного банка данных сейсмических записей толчков и горных ударов, зарегистрированных сейсмостанцией “Норильск” на рудниках Норильского месторождения с использованием предложенного ранее метода анализа [3] обнаружил пульсирующий режим сейсмоэнерговыведения из напряженных участков рудного и породного массивов с движением фронтов индуцированной сейсмичности по типу колеблющегося маятника [4]. Одной из фундаментальных проблем горного дела, которые традиционно относятся к проблемам геомеханики, является разработка теоретических и экспериментальных методов изучения строения и состояния массивов горных пород с целью прогноза и предотвращения катастрофических явлений при отработке месторождений. Эта проблема усложняется тем, что массив горных пород находится под прямым или косвенным техногенным воздействием, что приводит к существенной нестационарности как строения, так и со-

стояния массива. Идейным вдохновителем поиска комплексного геофизического и геомеханического подходов к решению этой проблемы на Урале был Н.П. Влох.

Для решения задач геолого-геофизического картирования в настоящее время широко используется модель слоисто-блоковой среды с включениями, в рамках которой созданы аппаратно-методические комплексы изучения трехмерно-неоднородных сред с соответствующей теорией интерпретации геофизических данных, см. например, [5]. При изучении пространственно-временных изменений структуры, физических свойств геологической среды или массива горных пород и связанных с ними напряженно-деформированного или фазового состояния модель слоисто-блоковой среды с включениями нами усложняется, мы переходим к двухранговой цепочке в общей иерархически неоднородной модели среды. Модель иерархически неоднородной среды для описания процессов деформирования и разрушения геологической среды была впервые предложена академиком М. А. Садовским [6]. Развитию и использованию иерархично-блоковой модели среды на качественном уровне посвящен ряд работ сотрудников ИФЗ РАН [6, 7]. Важную роль для понимания формирования и развития иерархии структурных уровней деформации в твердых телах играют теоретические и экспериментальные результаты, полученные на образцах [8], с

помощью которых обоснован подход, базирующийся на представлении о диссипативных структурах в неравновесных системах [9]. Кроме того, получены важные теоретические результаты по рассмотрению нагруженного твердого тела как многоуровневой самоорганизующейся системы, в которой микро-, мезо- и макроуровни органически взаимосвязаны, разрушение есть заключительный этап эволюции микро- и мезоструктуры, наступающий после того, как материал исчерпал свои аккомодационные возможности [10]. В работах [11, 12] Н. А. Караевым обобщены результаты сейсмических исследований по выделению участков земной коры со строением гетерогенного типа. Гетерогенность, по мнению автора, — это важнейшая особенность горных пород, обусловленная неравномерностью распределения в пространстве геологических неоднородностей в виде включений всех масштабов. И, согласно этой концепции, изучение строения и динамики гетерогенных участков земной коры с необходимостью сопряжено с использованием представлений об иерархических моделях. Явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок, связанные с дискретностью и фрагментацией среды, описаны академиком Е. И. Шемякиным и соавторами [13] и получили статус открытия [14]. Эти явления имеют место как в неглубоких (с глубинами до 500 м), так и в глубоких шахтах. Результаты геолого-геофизических исследований сверхглубоких скважин показывают, что с увеличением глубины сложность геологического строения среды не уменьшается [15].

В рамках школы ИГД СО РАН развивается новое направление изучения состояния массива горных пород, называемое нелинейной геомеханикой [16]. Нам представляется, что большего успеха можно достичь в комплексе с геофизическими исследованиями, методики проведения которых опираются на модель среды с иерархической структурой. Если же нас интересует дополнительно эволюция

этой структуры, то необходимо использовать комплексные геофизические методики, обладающие разрешающей способностью выявления зарождения и распада самоорганизующихся структур.

Впервые именно при использовании разработанной в ИГФ УрО РАН попланшетной электромагнитной методики удалось в рамках натурных исследований реализовать идею выявления зон дезинтеграции в массиве горных пород и организовать мониторинг их морфологии [17, 18]. Используемая методика относится к геофизическим методикам неразрушающего контроля. Она отличается от известных ранее методик просвечивания или томографии системами наблюдения и последующим методом интерпретации, основанной на концепции трехэтапной интерпретации [19, 20].

В работе [21] описаны первые натурные результаты по обнаружению явления самоорганизации в массиве горных пород при техногенном воздействии и способу разработки критериев устойчивости на основе предложенной методики классификации. Эти результаты получены на основе анализа нескольких циклов электромагнитного мониторинга массива удароопасного Таштагольского подземного рудника, проведенных в 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 гг. в ряде выработок, расположенных на четырех горизонтах на глубинах от 540 до 750 м, с целью выявления морфологии зон дезинтеграции в околывыработочном пространстве в массиве горных пород, находящемся под интенсивным техногенным воздействием и влиянием естественного поля напряжений. Настоящая работа посвящена разработке нового подхода для организации пространственно-временного комплексного активного и пассивного сейсмического и электромагнитного мониторинга для предотвращения разрушительных динамических явлений. Этот подход разработан на основе шестилетних данных сейсмологического мониторинга, проводимого службой горных ударов на Таштагольском под-

Отклик массива на техногенное воздействие 2003г.,
блок 24, горизонты -280,-210

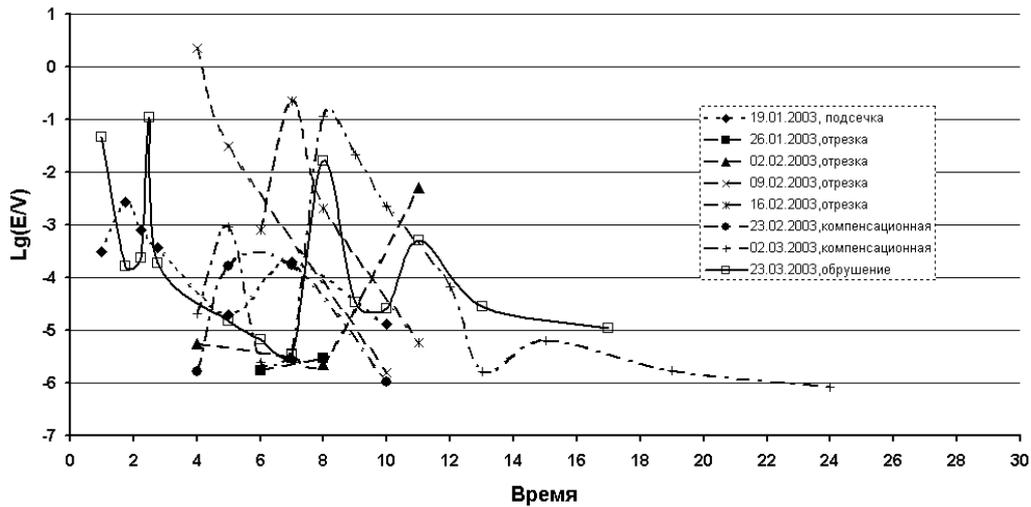


Рис. 1

земном руднике и полученного опыта использования разработанной в ИГФ УрО РАН системы индукционного электромагнитного пространственно-временного мониторинга на массивах различного вещественного состава до и после массовых взрывов.

В качестве изучаемых параметров сейсмологического мониторинга рассмотрим в логарифмическом масштабе значения суммарной энергии, выделяемой массивом конкретного блока отработки в виде динамических явлений, после каждого массового взрыва $lg(Ev)$, значения поглощаемой массивом этого же блока энергии $lg(Ep)$ и максимального объема шахтного поля, где происходят динамические явления от данного массового взрыва $lg(Vmax)$. Кроме того, собственно переходный процесс энерговыделения массивом в виде отклика на техногенное воздействие — массовый взрыв для осуществления той или иной технологической процедуры (подсечка, отрезка, компенсация, обрушение) — мы анализируем в виде зависимости $lg(Evs(t)/Vs(t))$ (на рис. 1, 3, а, б эта величина обозначена как $lg(E/V)$). По оси абсцисс от 1 до 4 отложе-

но время в долях суток, а абсциссы, большие 4, равны количеству целых суток, истекших за рассматриваемый период времени, плюс число 3. И так для каждого технологического приема с использованием массового взрыва. Суммы энергий и максимальный объем пространства были определены за каждый период времени между целыми делениями оси абсцисс в отдельности.

Отработка 24 блока на горизонтах — 280/–210 от подсечки до обрушения происходила почти 3 месяца, массовые взрывы производились практически регулярно через неделю в пределах этого блока. Первое вмешательство в массив в виде подсечки не вызвало сильных динамических проявлений, они начались 9 февраля, 16 февраля, 2 марта и в момент обрушения, следует отметить, что динамические проявления в первые сутки, т.е. при абсциссах от 1 до 4 на рис. 1, 3, а, б, представляют меньшую опасность для людей, работающих в подземных условиях.

На рис. 2 представлено изменение от взрыва к взрыву суммарной выделенной массивом энергии при отработке блока 23 (нижняя сплошная кривая) и блока 24

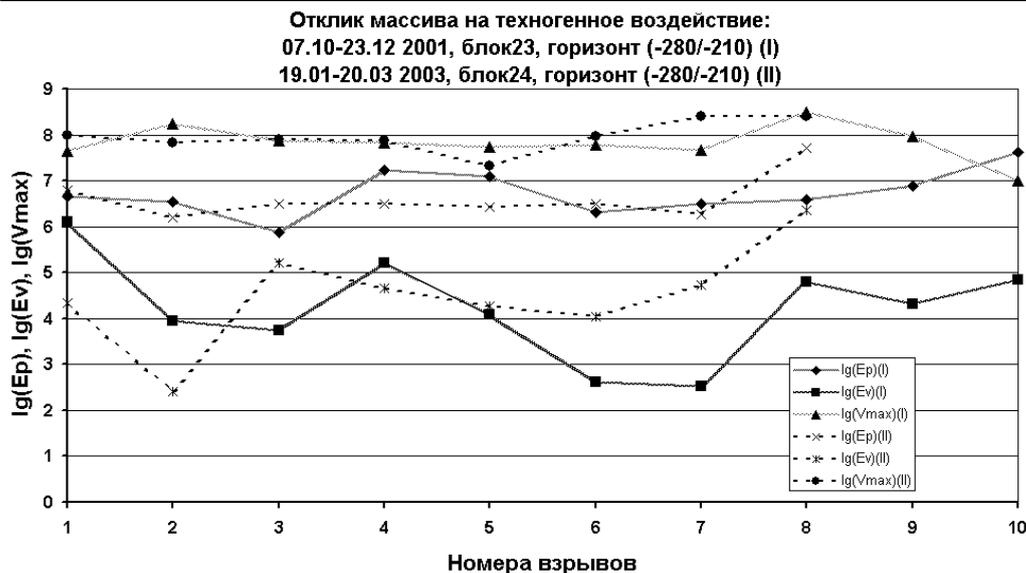


Рис. 2

(нижняя пунктирная кривая), две средних кривые — поглощенная энергия блоком 23 и 24 соответственно и две верхние кривые — максимальные объемы распространения динамических явлений при отработке соответственно этих двух блоков. Из полученных результатов видно, что наименьшее отличие имеет место для последней зависимости ($lg(Vmax)$). При отработке 23 блока имеет место в начале отработки довольно резкое изменение от взрыва к взрыву количества поглощаемой энергии, что приводит и к большему градиенту выделяемой энергии в виде динамических явлений. Наиболее опасны интервалы затишья массива (4–7) для 23 блока. При отработке 24 блока эта зона была более продолжительной (3–7). Это период накопления энергии массивом, который, после восьмого массового взрыва заканчивается разрушительным сбросом энергии, который происходит на четвертые сутки после массового взрыва (рис. 1), что является опасным для работы в шахте.

Аналогичную ситуацию можно увидеть при отработке массива в северной его части на горизонте –210/–140, блоки 6 и 7.

После массового взрыва с целью обрушения в 6 блоке массив проявил сопротивление в виде динамического явления в первые сутки, что является приемлемым для дальнейшей отработки, обрушение же седьмого блока привело к значительной активизации массива в направлении отдачи динамической энергии и на вторые и на 6 сутки, что является опасным при отработке массива.

Как видно из результатов на рис. 4, всякий раз зона динамического затишья после массового взрыва заканчивается динамическим явлением с энергией более чем 10^6 , при этом, как правило, сильное динамическое явление-отклик со стороны массива инициируется техногенным вмешательством в виде массового взрыва и может быть прогнозируемо по времени. При выходе из зоны затишья необходимо начать пространственное обследование всего массива шахты методом активного электромагнитного индукционного, либо активного сейсмического мониторинга. Процесс подготовки динамического события хорошо картируется значительным изменением интенсивности и морфологии зон дезинтеграции, проявляющихся в дан-

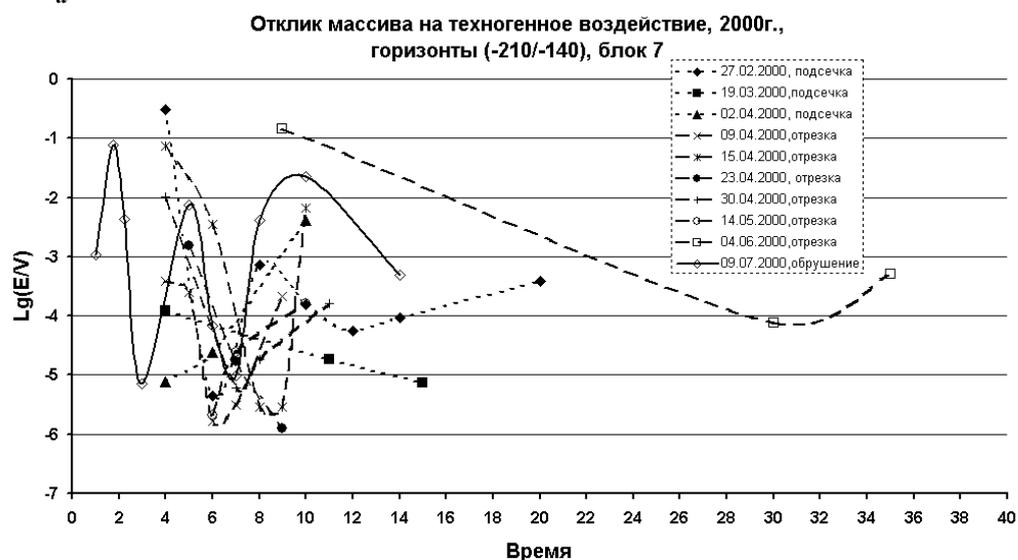
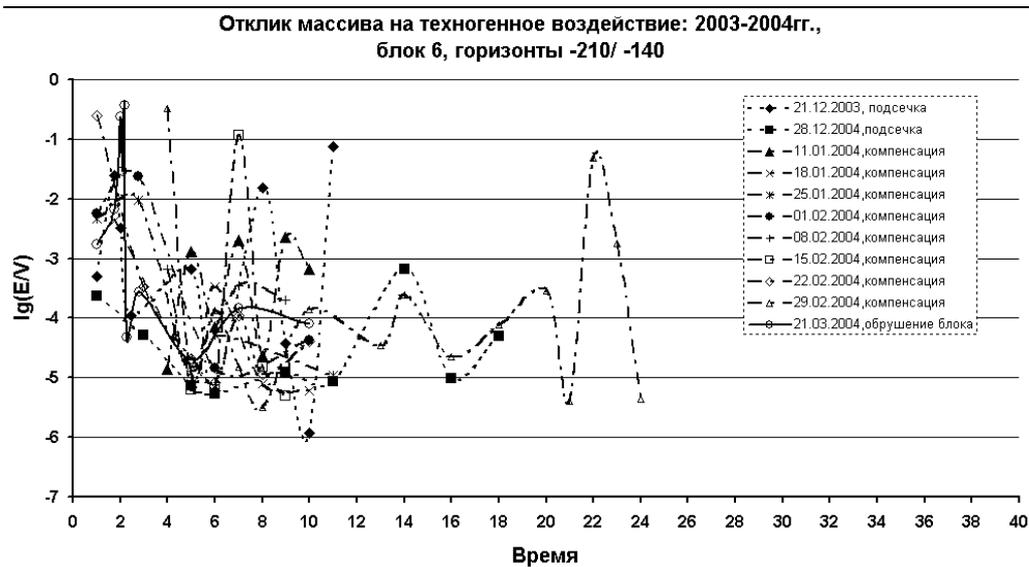


Рис. 3

ных электромагнитного мониторинга неоднородностями второго ранга.

Заключение:

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- при отработке конкретного блока массива весь массив шахтного поля испытывает изменение напряженно-де-

формированного и фазового состояний от взрыва к взрыву;

- количество поглощаемой и отдаваемой массивом энергии не равно друг другу и поэтому в массиве происходит накопление энергии;

- процесс отдачи энергии происходит с запаздыванием и сильно зависит от гради-

27.02-09.07 2000г, блок 7(-210/-140)(I)
21.12-21.03 2003-2004гг., блок 6 (-210/-140) (II)

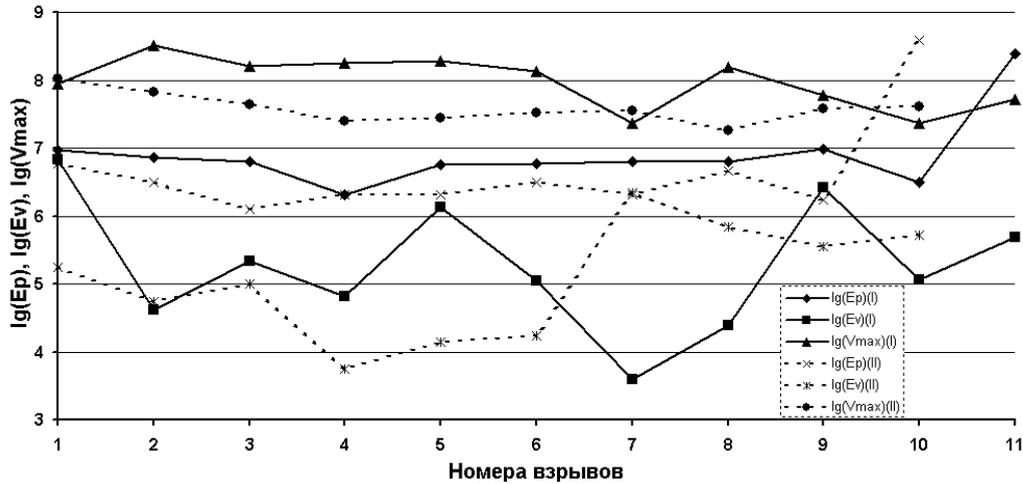


Рис. 4

ента поглощаемой энергии от массовых взрывов;

- в массиве возникают зоны динамического затишья. Эти зоны следует отслеживать с помощью данных сейсмологического мониторинга, используя предложенные нами параметры.

-после выхода из минимума затишья необходимо в течение недели или двух недель до момента технологического обрушения проводить протрансвенно-временной активный электромагнитный или сейсмический мониторинг по выявлению зон потенциальной неустойчивости второго ранга;

-эти зоны могут быть после массового взрыва обрушения источниками сильных динамических явлений.

Таким образом введение в систему отработки предлагаемого комплексного пассивного и активного геофизического мониторинга, нацеленного на изучение переходных процессов перераспределения напряженно-деформированного и фазового состояний может способствовать предотвращению катастрофических динамических проявлений при отработке глубоко-залегающих месторождений. Методы активного геофизического мониторинга должны быть настроены на модель иерархической неоднородной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаев Ю.С., Мулев С.Н. Мониторинг техногенной сейсмичности на шахтах и рудниках // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Тр. Межд. конф. Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1999.

2. Курленя М.В., Опарин В.Н., Востриков В.Н. и др. Стратегия развития автоматизированной системы контроля геодинамической безопасности на рудниках ОАО Горно-металлургическая компания "Норильский никель" // Геодинамика и на-

пряженное состояние недр Земли. Тр. Межд. конф. Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2001.

3. Курленя М.В., Опарин В.Н., Еременко А.А. Об одном методе сканирования шахтной сейсмологической информации // ДАН.-1993, Т.333, №6.

4. Опарин В.Н., Востриков В.И., Жилкина Н.Ф., Тапсиев А.П., Аршавский В.В. О пульсирующем режиме сейсмоэнерговыведения из напряженных участков шахтных полей // Проблемы и перспективы развития горных наук. Тр. Межд.

- конф. Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2005. Т.1, с.7–16.
5. *Хачай О.А., Новгородова Е.Н.* Опыт площадных индукционных исследований резко неоднородных геоэлектрических сред. // *Физика Земли*, 1997, №5, с.60–64.
6. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука. 1987. с.98.
7. *Дискретные свойства геофизической среды.* – М.: Наука. 1989. с.173.
8. *Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В.* Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск СО АН СССР Наука. 1985 г. – С. 226.
9. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах М. Мир 1979, 300с.
10. *Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов.* Т.1, Новосибирск Наука, СО РАН, 1995, 297 с.
11. *Караев Н.А., Рабинович Г.Я.* Рудная сейсморазведка. М.ЗАО. "Геоин-форммарк", 2000. – С.468.
12. *Караев Н.А.* Сейсмическая гетерогенность земной коры и проблемы интерпретации результатов региональных наблюдений в "ближней" зоне. Неклассическая геофизика. Саратов 2000. – С. 30–32.
13. *Шемякин Е.И., Фисенко Г.Л., Курленя М.В., Опарин В.Н. и др.* Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок. ДАН СССР, 1986, Т.289, №5.
14. *Шемякин Е.И., Курленя М.В., Опарин В.Н. и др.* Открытие №400. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок. БИ 1992, №1.
15. *Курленя М.В., Опарин В.Н.* Современные проблемы нелинейной геомеханики. Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск, 1999 г. – С. 5–20.
16. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Песковский И.Д.* К вопросу об оценке эффективности наземной геофизической информации о строении континентальной земной коры по данным бурения Уральской и Тюменской сверхглубоких скважин. Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон. Петрозаводск. Материалы восьмой Международной конференции 2002. – С. 87–90
17. *Хачай О.А., Новгородова Е.Н., Хачай О.Ю.* Новая методика обнаружения зон де-интеграции в околывыработочном пространстве массивов горных пород различного вещественного состава. // *Горный информационный аналитический бюллетень*. 2003, №11, – М.: Изд-о МГГУ. – С. 26–29.
18. *Хачай О.А.* К вопросу об изучении строения, состояния геологической гетерогенной среды и их динамики в рамках дискретной и иерархической модели. // *Геомеханика в горном деле*. Екатеринбург. ИГД УрО РАН, 2003. – С. 30–38.
19. *Хачай О.А.* К вопросу об изучении строения и состояния геологической гетерогенной нестационарной среды в рамках дискретной иерархической модели // *Российский геофизический журнал*, 2004, № 33–34. – С. 32–37.
20. *Хачай О.А., Влох Н.П., Новгородова Е.Н., Хачай А.Ю., Худяков С.В.* Трехмерный электромагнитный мониторинг состояния массива горных пород. // *Физика Земли*, 2001, №2, с. 85–92.
21. *Хачай О.А.* Явления самоорганизации в массиве горных пород при техногенном воздействии. // *Физическая мезомеханика* 7, Спец.выпуск, Ч.2., 2004, С. 292–295.

Коротко об авторах

Хачай О.А. – доктор физико-математических наук, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург.

