

УДК 622.83+ 530.1(075.8)

**О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, В.М. Барышев, О.Ю. Ухарская**

**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ  
В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД ЕСТЮНИНСКОЙ ШАХТЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА**

*Обобщены результаты индукционного электромагнитного мониторинга, проводимого в течение ряда лет в магнетитовой шахте Естюнинская, Высокогорский ГОК. Выявлены аналогично данным по Таштагольскому руднику явления самоорганизации, которые проявились в изменении морфологии зон дезинтеграции (геоэлектрических неоднородностей второго ранга), связанных с изменением напряженно-деформированного состояния массива при его отработке. Полученные результаты позволяют классифицировать отдельные участки массива по степени устойчивости до и после их отработки.*

*Ключевые слова: геологическая среда, многоуровневая индукционная электромагнитная методика.*

---

**П**ри изучении пространственно-временных изменений структуры, физических свойств геологической среды или массива горных пород и связанных с ними напряженно-деформированного или фазового состояния модель слоистой-блоковой среды с включениями усложняется: она представляет собой двухранговую цепочку 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 [5]. Развитию и использованию иерархично-блоковой модели среды на качественном уровне посвящен ряд работ сотрудников ИФЗ РАН [1, 5]. Важную роль для понимания формирования и развития иерархии структурных уровней деформации в твердых телах играют теоретические и экспериментальные ре-

зультаты, полученные на образцах [4], с помощью которых обоснован подход, базирующийся на представлении о диссипативных структурах в неравновесных системах [3]. 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 [6]. Явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок, связанные с дискретностью и фрагментацией среды, описаны академиком Е.И. Шемякиным и соавторами [11] и получили статус открытия [12]. Эти явления имеют место как в неглубоких шахтах (до 500 м), так и в глубоких шахтах (более 500 м).

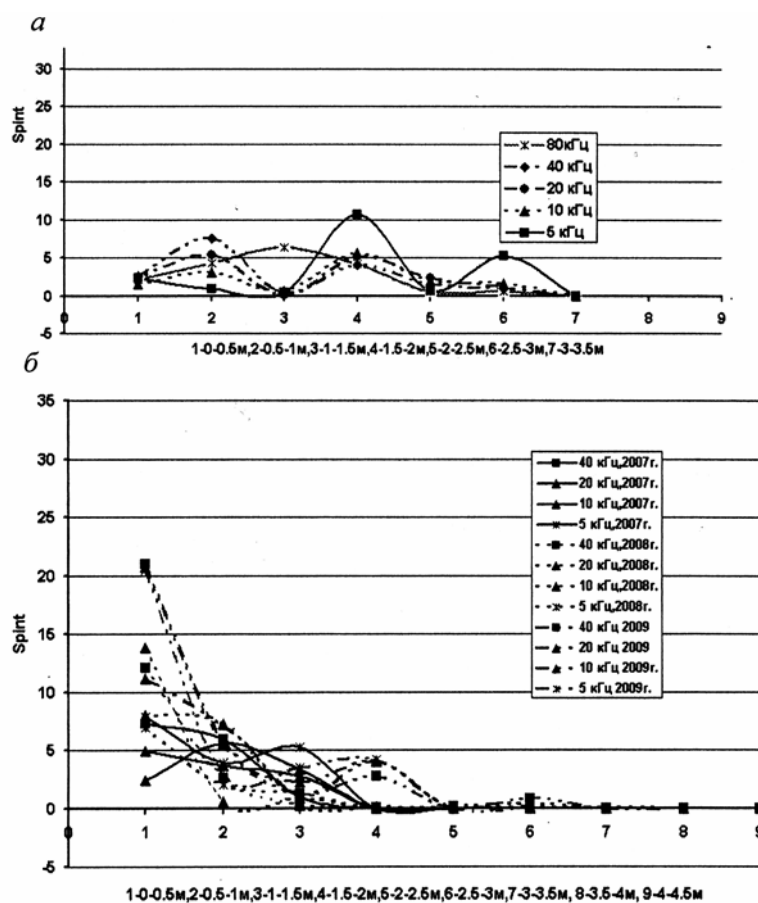
С увеличением глубины сложность геологического строения среды не уменьшается. В рамках школы ИГД СО РАН развивается новое направление изучения состояния массива горных пород, называемое нелинейной геомеханикой [2]. Если нас интересует дополнительно эволюция этой структуры, то необходимо использовать 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 [7,8]. 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 [9]. В работе [10] 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. Исследования проводились в 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 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.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: массив горных пород представляет многогранговую иерархическую структуру; изучение динамики состояния, его структуры и явлений самоорганизации массива можно вести геофизическими методами, настроенными на такую модель среды.

Использование попланшетной многоуровневой индукционной электромагнитной методики с контролируемым источником и соответствующей методики обработки и интерпретации позволило выявить зоны дезинтеграции, являющиеся индикатором устойчивости массива. Введение нового интегрального параметра – поинтервального распределения интенсивности зон дезинтеграции **Spint** [7, 8, 10], позволяет перейти к детальной классификации массива по степени устойчивости, ввести для этого количественные критерии и характеризовать устойчивость массива. Использование настоящей системы мониторинга в рамках технологии отработки глубокозалегающих месторождений может позволить предотвратить сильные динамические явления в результате использования разнонаправленных массовых взрывов. Эта идея была опробована на Естюнинской шахте магнетитового месторождения.

Второй участок полевого штрека, длина которого 110 м, располагался в пределах блоков 0—1, отработка которых в 2005 году только начиналась, а в 2007—2008 годах была завершена. За промежуток времени 2005—2008 гг. очевидны изменения в морфологии распределении поинтервальной интенсивности зон дезинтеграции в почве по наблюдениям электромагнитного поля на всех использованных нами частотах (рис. 1, а—б).



**Рис. 1. Изменение состояния массива в пределах второго участка полевого штрека по данным индукционного электромагнитного мониторинга:**  
 а — 2005 г., б — 2007—2009 гг.

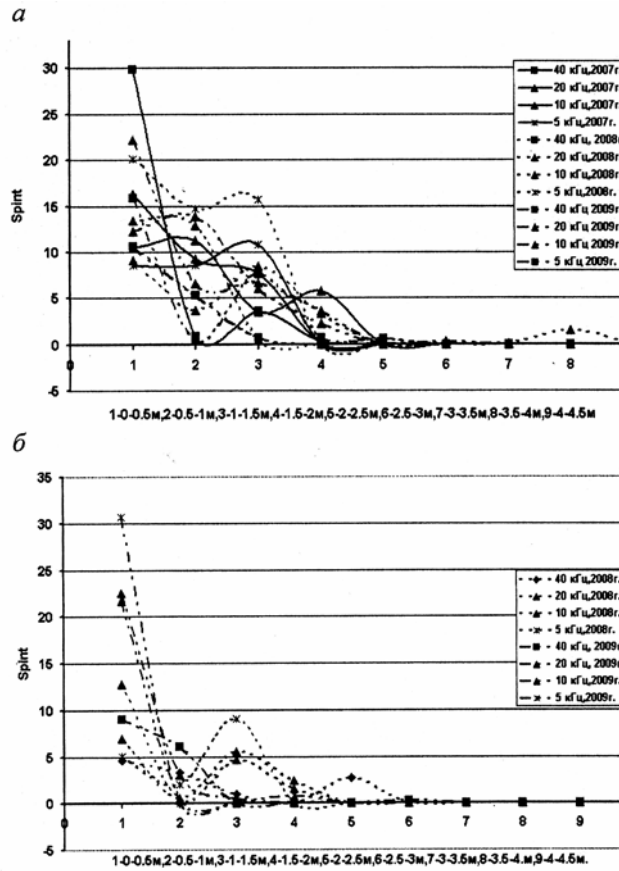
К 2008 году наибольшая интенсивность зон дезинтеграций в почве достигается на интервале 0—0,5 м (рис. 1, б).

Аналогичные явления эффекта самоорганизации наблюдались на третьем участке полевого штрека, соседствующем со вторым, длина которого составляла 115 м (рис. 2, а) и на четвертом участке, соседствующем с третьим, длина которого составляла также 115 м (рис. 2, б)

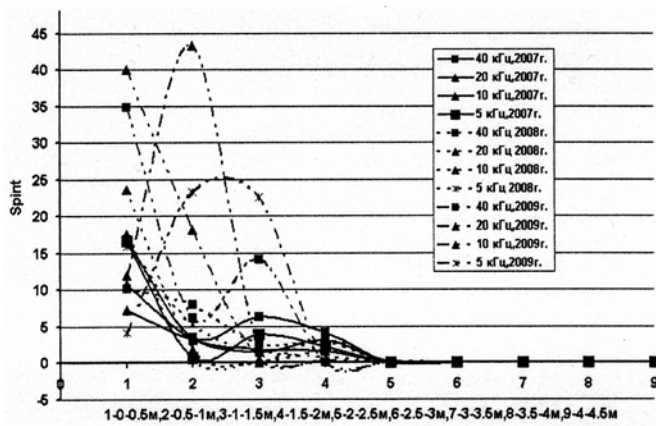
Важную роль при обнаружении проявлений эффекта самоорганиза-

ции играет расположение профилей электромагнитного мониторинга относительно направления главных напряжений в массиве и близость опорного давления в массиве к наблюдательному профилю.

Таким профилем, более чувствительным к изменению напряженного состояние в массиве в процессе его отработки в настоящее время на Естюнинской шахте является квершлаг, расположенный перпендикулярно концу профиля четвертого участка полевого штрека (рис. 3.).



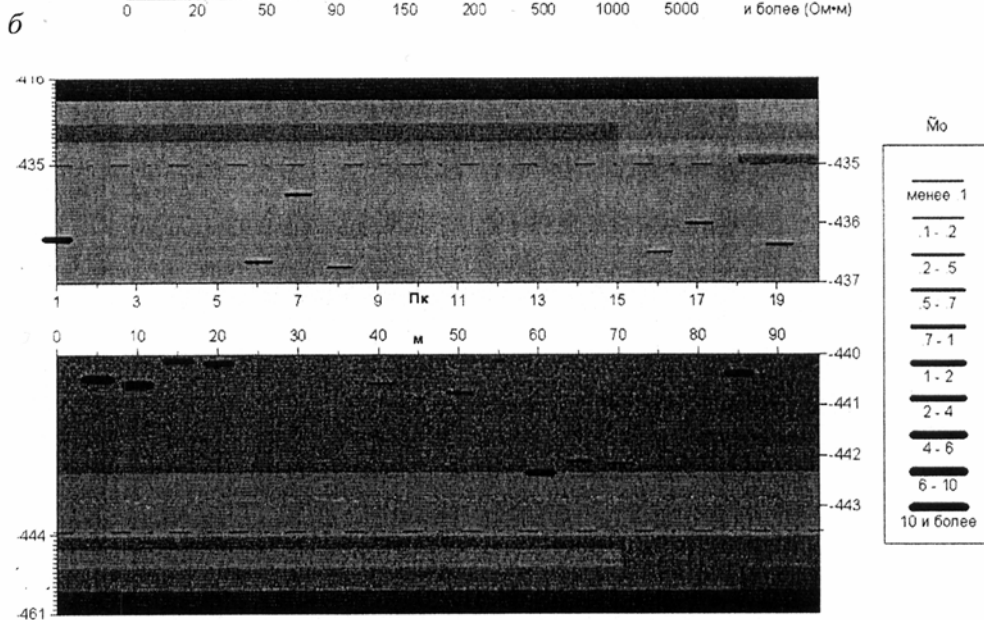
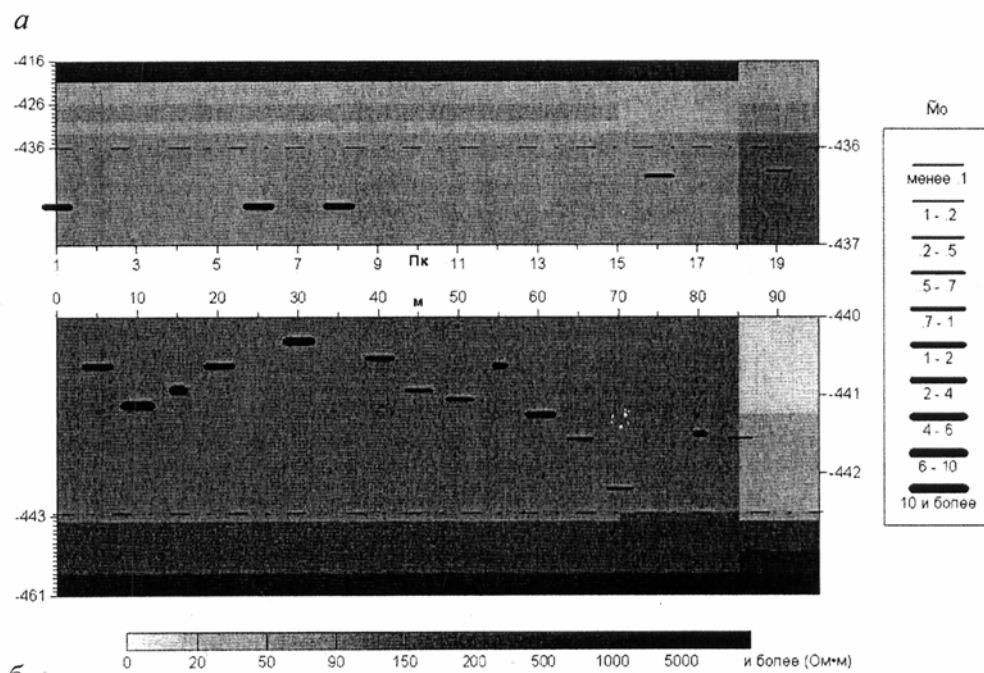
**Рис. 2.** Изменение состояния массива в пределах третьего (а) и четвертого (б) участков полевого штрека по данным индукционного электромагнитного мониторинга: а — 2007—2009 гг., б — 2008—2009 гг

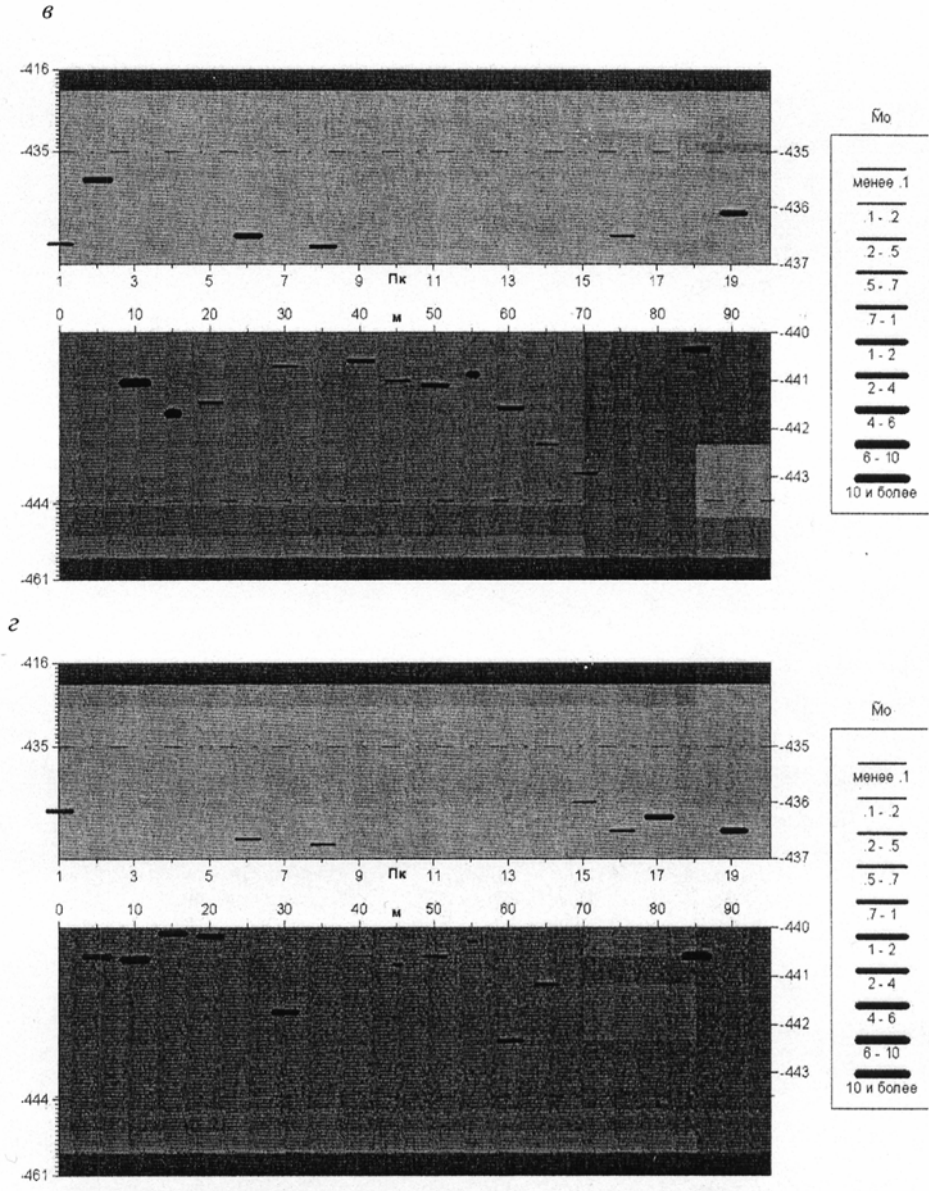


**Рис. 3.** Изменение состояния массива в пределах квершлага по данным индукционного электромагнитного мониторинга, 2005 г., 2008—2009 гг.

На профиле в кваршлагге произошли существенные изменения в распределении интенсивности зон дезинтеграции, а также и в морфологии их распределения в почве. (см. сравнительные геоэлектрические разрезы

рис. 4 (а, б), 4 (в,г)). В таком отчетливом виде явление самоорганизации впервые проявилось в данных электромагнитного мониторинга в шахте Естюнинская.





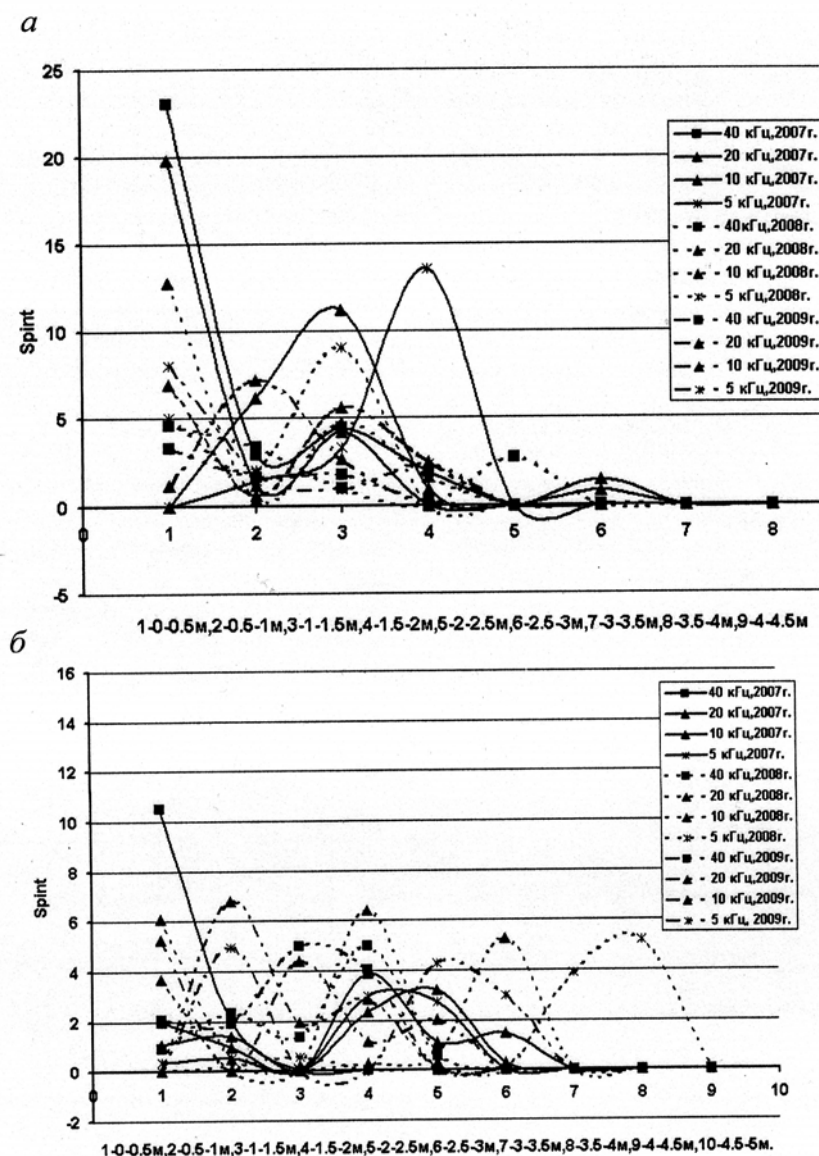
**Рис. 4. Отражение процесса самоорганизации в изменении морфологии распределения зон дезинтеграции в геоэлектрических разрезах по профилю квершлаг по данным электромагнитного индукционного мониторинга:**  
*а, б* — 2009 г — 2008 г., 10.16 кГц, *в, д* — 2009 г — 2008 г., 5.08 кГц

Как видно из результатов электромагнитного мониторинга рис. 5 (*а, б*) ежегодно в пределах обоих полигонов геомеханического мониторинга про-

исходят изменения в морфологии распределения зон неоднородностей второго ранга. Если геомеханические датчики настроены на высокую

чувствительность, на них должно сказываться такое изменение структуры, а следовательно и на деформационные характеристики. Поэтому для проведения геомеханических исследований необходимо использовать информацию о глубине расположения макси-

мумы зон дезинтеграции. Анализ динамики во времени параметра **Spint** позволяет сделать предположение о необходимости перемещения по глубине реперов измерения деформационных характеристик, а также приращения напряжений в массиве.



**Рис. 5.** Изменение состояния массива в пределах 4-й линии (а) и профиля на складе ВВ (б) по данным индукционного электромагнитного мониторинга, 2007—2009 гг.

### **Заключение**

Таким образом обобщение результатов многолетнего активного электромагнитного мониторинга в Естюнинской шахте позволило произвести классификацию массива по типу устойчивости, а также оценить склон-

ность его к самоорганизации. Эти данные необходимы для прогноза реакции массива на сильное техногенное воздействие — массовые взрывы, используемые при отработке.

---

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Дискретные свойства геофизической среды.* – М.:Наука.1989. – С. 173.
2. *Курленя М.В., Опарин В.Н.* Современные проблемы нелинейной геомеханики. Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск, 1999. С.5–20.
3. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. – М. Мир 1979. – 300 с.
4. *Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В.* Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск СО АН СССР Наука.1988. – С. 226.
5. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука: 1987. – С. 98.
6. *Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов.* Т.1, – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1995, 297 с.
7. *Хачай О.А., Новгородова Е.Н., Хачай О.Ю.* Новая методика обнаружения зон дезинтеграции в околорудном пространстве массивов горных пород различного вещественного состава. // Горный информационный аналитический бюллетень. 2003, № 11. – С. 26–29.
8. *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.
9. *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.
10. *Хачай О.А.* Явления самоорганизации в массиве горных пород при техногенном воздействии. // Физическая мезомеханика 7, Спец. выпуск, Ч.2., 2004, С. 292–295.
11. *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.
12. *Шемякин Е.И., Курленя М.В., Опарин В.Н. и др.* Открытие №400. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок. БИ 1992, № 1.

**ГИАБ**

---

### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

*Хачай О.А.* — доктор физико-математических наук, ст. научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН, olga.hachay@r66.ru

*Хачай О.Ю.* — Уральский государственный университет, Математический факультет, ассистент кафедры Математического анализа и теории функций. khachay@mail.ru

*Барышев В.М.* — технический рук. ПСПППГУ ВГОК, г. Нижний Тагил, шахта Естюнинская.

*Ухарская О.Ю.* — маркшейдер ПСПППГУ, ВГОК, г. Нижний Тагил, шахта Естюнинская.

