

УДК 622.235.5:622.012 (470.54)

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ШАХТЕ ЕСТЮНИНСКАЯ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЛЕГАЮЩЕГО К НЕЙ БОРТА КАРЬЕРА
ПО ДАННЫМ АКТИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА**

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

Предложена методика электромагнитного индукционного мониторинга, которая эффективна при изучении динамики состояния бортов карьеров, сопряженных с шахтами, где происходит отработка взрывными технологиями.

Ключевые слова: электромагнитный индукционный мониторинг; методика наблюдения; геоэлектрические разрезы; зоны дезинтеграции; борт карьера; массовые взрывы.

**ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF MINE EXPLOSIONS
IN MINE ESTUNINSKYA ON THE STABILITY OF THE PIT EDGE
BY USE DATA OF ACTIVE ELECTROMAGNETIC MONITORING**

O.A. Khachay, O.Yu. Khachay, V.M. Baryshev, O.Yu. Uharskaja

It is offered the technique of electromagnetic induction monitoring which is effective for studying of dynamics of a condition of pit edges interfaced to mines where there is a working off by explosive production engineering.

Keywords: electromagnetic induction monitoring; observation technique; geoelectric cuts, decomposition zones; pit edge; mass explosions.

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 усложняется: она представляет собой двухранговую цепочку в общей иерархически неоднородной модели среды. Если нас дополнительно интересует 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 [1–3]. Используемая методика относится к геофизическим методикам неразрушающего контроля. Она отличается от известных

ранее методик просвечивания или томографии системами наблюдения и последующим методом интерпретации, основанном на концепции трех-этапной интерпретации [4]. В работах [5–7] описа-



Рисунок 1 – План расположения профилей наблюдения на борту карьера со стороны лежачего бока месторождения

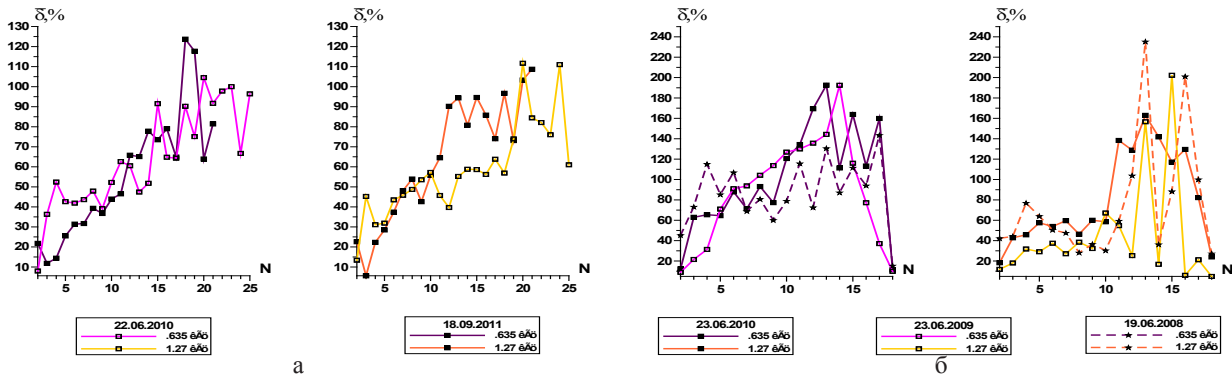


Рисунок 2 – Распределение среднего параметра геоэлектрической неоднородности по результатам мониторинга 2010–2011 гг. по второму профилю (а) и по результатам мониторинга 2008–2010 гг. по первому профилю карьера (б), (N – номера пикетов)

ны первые натурные результаты по обнаружению явления самоорганизации в массиве горных пород при техногенном воздействии и способу разработки критериев устойчивости на основе предложенной методики классификации. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: массив горных пород представляет многогранную 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* [6, 7], 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 позволяет предотвратить сильные динамические явления в результате использования разнонаправленных массовых взрывов. Эта идея была опробована на Естунинской шахте магнетитового месторождения с использованием подземной и наземной систем наблюдения [8, 9].

Мониторинг состояния борта карьера производили с 2008 по 2010 г. ежегодно в июне месяце для исключения погодных влияний на результаты электромагнитной индукционной съемки, в 2011 г. – в октябре месяце. С 2008 по 2009 г. исследования проводили только по первому профилю (рисунок 1),

в 2010 г. – по первому и второму профилям, в 2011 г. – только по второму профилю. Между первым и вторым профилем находится зона разрушения, которая расширяется от года к году. Подземные шахтные работы ведутся на большей глубине по направлению от первого профиля к второму. В 2011 г. они велись целиком под вторым профилем. Цель работы – исследование изменения состояния массива борта карьера в связи с подземными взрывными работами.

Исследования проводили с помощью аппаратуры МЧЗ-12 (разработчик А.И. Человечков) на двух частотах – 1,27 и 0,635 кГц. Шаг для точек наблюдения по профилям – 25 м, длина расстановки – 225 м, шаг перекрытий – тоже 25 м. Измерялись модули трех компонент переменного индукционного магнитного поля $|H_z|, |H_r|, |H_\phi|$ как функции частоты и расстояния между источником и приемником, ось r направлена на источник, ось z – перпендикулярно ей. Далее вычислялись два интерпретационных параметра: для каждой расстановки величина эффективного сопро-

тивления: $\rho_{eff} = 2\omega^2 r \frac{|H_z|}{|H_r|}$ и средний для всех пере-

крытий параметр геоэлектрической неоднородности:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} \delta_i, \quad \delta_i = \left(\frac{|H_\phi|}{|H_r|} \times 100\% \right)_i.$$

Для обработки и интерпретации разработан комплекс программ (авторы А.Ю. Хачай, О.Ю. Хачай), которые позволяют анализировать полученные разрезы в рамках слоисто-блоковой модели с иерархическими включениями второго ранга в режиме рабочей смены [10–13].

Как видно на рисунке 2, а, большие изменения произошли в объеме массива второго профиля на пикетах 12–22, увеличение значения среднего параметра геоэлектрической неоднородности

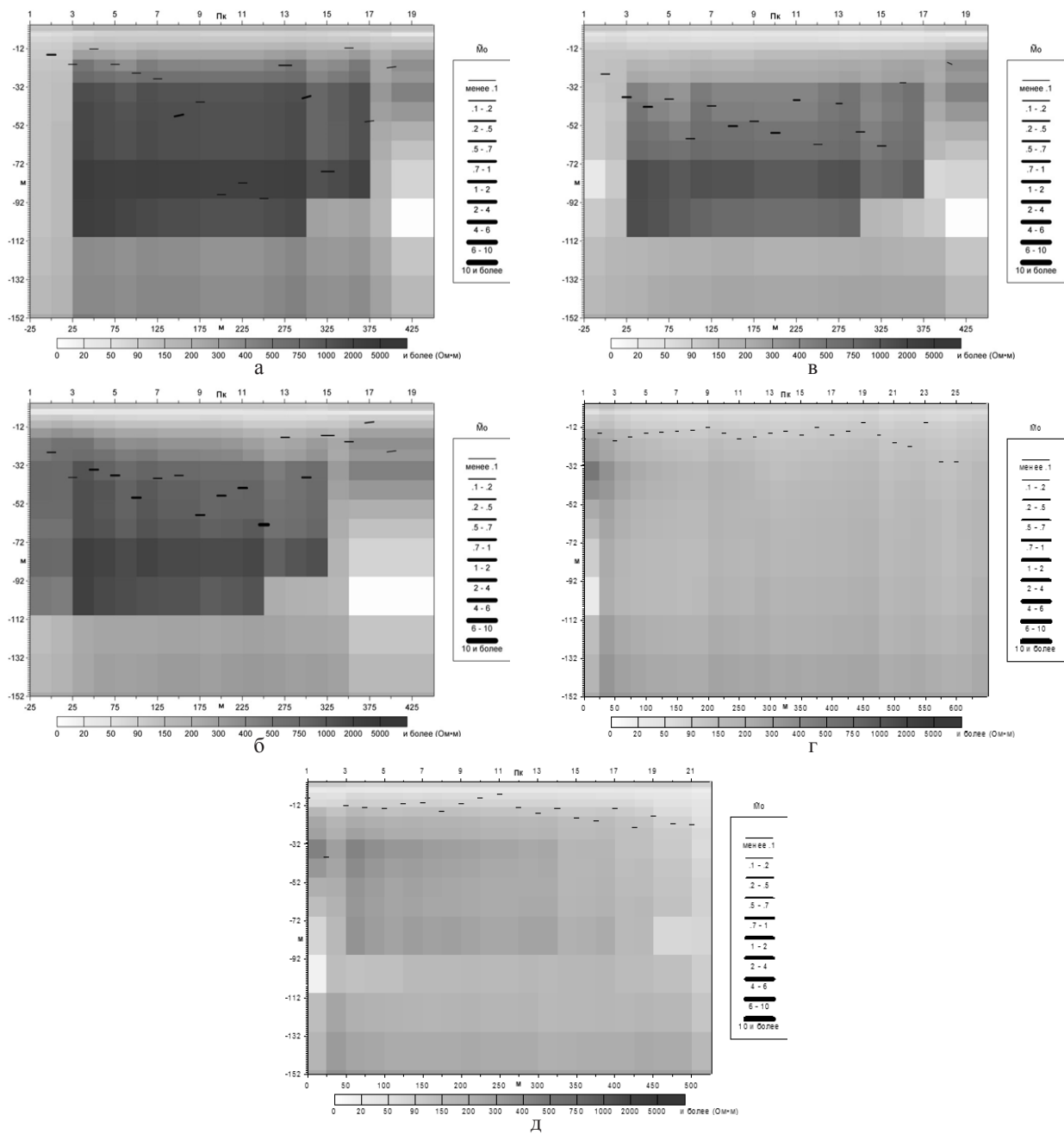


Рисунок 3 – Геоэлектрические слоисто-блоковые разрезы с включениями второго ранга по профилю 1 (а–в, 2008–2010 гг.) и профилю 2 (г–д, 2010–2011 гг.), частота 1,27 кГц, ПК – номера пикетов, M0 – интенсивность токовой линии, эквивалентной влиянию неоднородности второго ранга

на частоте 0,635 кГц свидетельствует о расширении области трещиноватости от зоны нарушенности, что может привести к неустойчивости борта карьера в этой его части.

На рисунке 2, б по обеим частотам отчетливо картируется зона повышенной трещиноватости по

профилю 1 с 10 по 19 пикеты. Причем в течение каждого года интенсивность и морфология этих зон меняется. Расширение зоны нарушенности можно ожидать и в сторону 10 пикета вдоль профиля.

Геоэлектрическое строение массива по первому профилю (рисунок 3, а–в) значительно отлича-

ется от второго профиля наличием высокоомного неоднородного блока (пикеты 3–17), глубина которого достигает 112 м и интенсивными зонами неоднородности (дезинтеграции), достигающих глубин более 90 м. Сопротивление вмещающей высокоомный блок среды соответствует сопротивлению массива второго профиля. Зоны дезинтеграции расположены в приповерхностном слое до 32 м.

Применение описанной методики эффективно для изучения динамики состояния бортов карьеров, сопряженных с шахтами, где происходит отработка взрывными технологиями. Представляет интерес совместить по времени проведение мониторинговых исследований на профилях 1, 2 с массовыми взрывами, производимыми на шахте, для определения времени запаздывания максимального воздействия сейсмической энергии на структуру борта карьера, склонного к локальному разрушению.

Литература

1. Хачай О.А. Использование новой трехмерной методики электромагнитных исследований строения горных массивов / О.А. Хачай, Е.Н. Новгородова // *Физика Земли*. 1999. № 5. С. 7–12.
2. Хачай О.А. Новая методика обнаружения зон дезинтеграции в околорудном пространстве массивов горных пород различного вещественного состава / О.А. Хачай, Е.Н. Новгородова, О.Ю. Хачай // *Горный информационный аналитический бюллетень*. 2003. № 11. С. 26–29.
3. Хачай О.А. К вопросу об изучении строения, состояния геологической гетерогенной среды и их динамики в рамках дискретной и иерархической модели / О.А. Хачай // *Геомеханика в горном деле*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. С. 30–38.
4. Хачай О.А. Трехмерный электромагнитный мониторинг состояния массива горных пород / О.А. Хачай, Н.П. Влох, Е.Н. Новгородова, А.Ю. Хачай, С.В. Худяков // *Физика Земли*. 2001. № 2. С. 85–92.
5. Хачай О.А. Явления самоорганизации в массиве горных пород при техногенном воздействии / О.Ю. Хачай // *Физическая мезомеханика*. Спец. выпуск. Ч. 2. 2004. С. 292–295.
6. Хачай О.А. Изучение, оценка и классификация устойчивости геологической среды с использованием данных активного геофизического мониторинга на основе парадигмы физической мезомеханики / О.А. Хачай, О.Ю. Хачай // *Физическая мезомеханика*. 2007. Т. 10. № 2. С. 87–92.
7. Хачай О.А. Исследование развития неустойчивости в массиве горных пород с использованием метода активного электромагнитного мониторинга // О.А. Хачай // *Физика Земли*. 2007. № 4. С. 65–70.
8. Хачай О.А. Электромагнитный метод изучения устойчивости бортов карьера (теория и практические результаты) / О.А. Хачай, Е.Н. Новгородова, А.В. Кононов, О.Ю. Хачай // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. М.: Изд-во МГГУ, 2006. № 4. С. 288–295.
9. Хачай О.А. Результаты геофизических и геологических исследований на шахте Естюнинская / О.А. Хачай, Е.Н. Новгородова, О.Ю. Хачай, А.В. Кононов, В.Г. Наседкин // *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: 4 науч. чтения пам. Ю.П. Булашевича*. г. Екатеринбург, 02–06 июля 2007 г. Екатеринбург, 2007. С. 197–199.
10. Хачай О.А. Опыт площадных индукционных исследований резко неоднородных геоэлектрических сред / О.А. Хачай, Е.Н. Новгородова // *Физика Земли*. 1997. № 5. С. 60–64.
11. Хачай О.А. Унифицированный метод решения обратной задачи электромагнитных зондирований для одномерной среды / О.А. Хачай // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1980. № 5. С. 51–60.
12. Хачай О.А. О решении обратной задачи для трехмерных переменных электромагнитных полей / О.А. Хачай // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1991. № 6. С. 50–57.
13. Хачай О.А. Картирование трехмерных проводящих зон с использованием площадных систем наблюдения в рамках 3-D частотно-геометрической методики / О.А. Хачай, Е.Н. Новгородова, А.Ю. Хачай // *Геология и геофизика*. 2000. Т. 41. № 9. С. 1331–1340.