

Механизмы разрушения горных пород вокруг подземных выработок  
и в очаговых зонах катастрофических событий

УДК 622. 83 + 530. 1 (075. 8)

О.А. Хачай

ХАЧАЙ ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург).  
E-mail: olgakhachay@yandex.ru

Оценка состояния удароопасного массива с использованием системы электромагнитного индукционного мониторинга (на примере Николаевского подземного рудника, г. Дальнегорск)

Настоящая работа посвящена результатам геофизических исследований, представляющих собой электромагнитные индукционные частотно-геометрические исследования с использованием объемной индукционной методики. Ранее данная методика хорошо зарекомендовала себя при изучении строения и состояния удароопасных массивов горных пород различного вещественного состава, в частности на магнетитовых шахтах: Таштагол и Естониинская. Здесь изложены результаты опробования методики в новых геолого-геофизических условиях полиметаллического рудника для выявления зон и оценки степени их потенциальной неустойчивости, определения их состояния и потенциальной опасности путем сопоставления друг с другом их различных участков, расположенных на разных горизонтах, что необходимо для безопасного продолжения отработки месторождения.

Проведенные исследования показали, что задача объемного картирования зон дезинтеграции как индикаторов зон потенциальной неустойчивости массива и блоковых структур в кровле и почве решается экспрессно, с высокой достоверностью и надежностью.

*Ключевые слова:* удароопасный массив, система мониторинга, электромагнитный, индукционный, Николаевский рудник.

**Введение**

В мае 2005 г. Институт геофизики УрО РАН впервые провел геофизические исследования на шахте Николаевского рудника (г. Дальнегорск) на горизонтах –320, –332, –348, –277 по системе, используемой на Таштагольском руднике и Естониинской шахте (г. Нижний Тагил) и с тем же комплектом аппаратуры [1–5]. Исследования проводились с целью выявления зон потенциальной неустойчивости, определения их состояния и потенциальной опасности в сопоставлении друг с другом на различных горизонтах и расположенных в разных участках рудного поля для продолжения отработки месторождения. Наблюдения проводились также вблизи датчиков сейсмологических и сейсмоакустических исследований. Полученные результаты свидетельствуют о возможности проведения таких исследований в шахте Николаевского рудника для предварительного изучения состояния массива перед массовыми взрывами, заложением новых камер в более глубоких горизонтах.

Электромагнитные индукционные частотно-геометрические исследования проводились на горизонтах:

- 320: диагональный штрек (длина: 20 пикетов, 95 м) и буровой штрек (длина: 19 пикетов, 90 м);
- 332: транзитный штрек (длина: 22 пикета, 105 м);
- 348: транзитный штрек (длина: 27 пикетов, 130 м) и кольцевой штрек (длина: 17 пикетов, 80 м);
- 277: участок Харьковской залежи, орт разведочный, вентиляционный штрек (длина: 20 пикетов, 95 м).

© Хачай О.А., 2014

Работа выполнена при участии Шагабутдинова В.Х. и Новгородовой Е.Н. Институт геофизики УРО РАН, г. Екатеринбург, Россия. 2005 г.

### Описание и результаты экспериментов

Профили наблюдений проходили вдоль выработок, практически по центру, источник возбуждения (вертикальный магнитный диполь) находился в той же выработке, что и приемник. Один цикл наблюдений включал в себя многочастотные (на частотах от 5 до 80 кГц) измерения модулей двух горизонтальных и вертикальной компоненты переменного магнитного поля при перемещении приемника с шагом 5 м на базе 65 м и фиксированном положении источника. Затем источник перемещался через 15 м по профилю, и цикл измерений повторялся. Методика измерений была той же самой, что и при проведении аналогичных исследований на удароопасных шахтах Таштагола и Естюнихи с целью сопоставления и выявления общих признаков реакции массивов различного вещественного состава на техногенные воздействия. Проведенные исследования являются первым циклом мониторинговых исследований, которые позволяют получить полную пространственную картину о состоянии массива непосредственно вблизи зоны его отработки. В качестве параметра, характеризующего степень неоднородности массива, используется средний параметр геоэлектрической неоднородности ( $\bar{\delta}$ ), определяемый как арифметическое среднее от суммы отношений модулей двух горизонтальных компонент магнитного поля (поперечной к продольной относительно выработки) в каждой точке профиля при разных положениях источника возбуждения. Распределения параметра геоэлектрической неоднородности, зафиксированные на пяти частотах, приведены в качестве примера на рис. 1. Эти распределения дополнены геологической информацией о контактах руды и вмещающих пород и наличии трещин и тектонических нарушений.

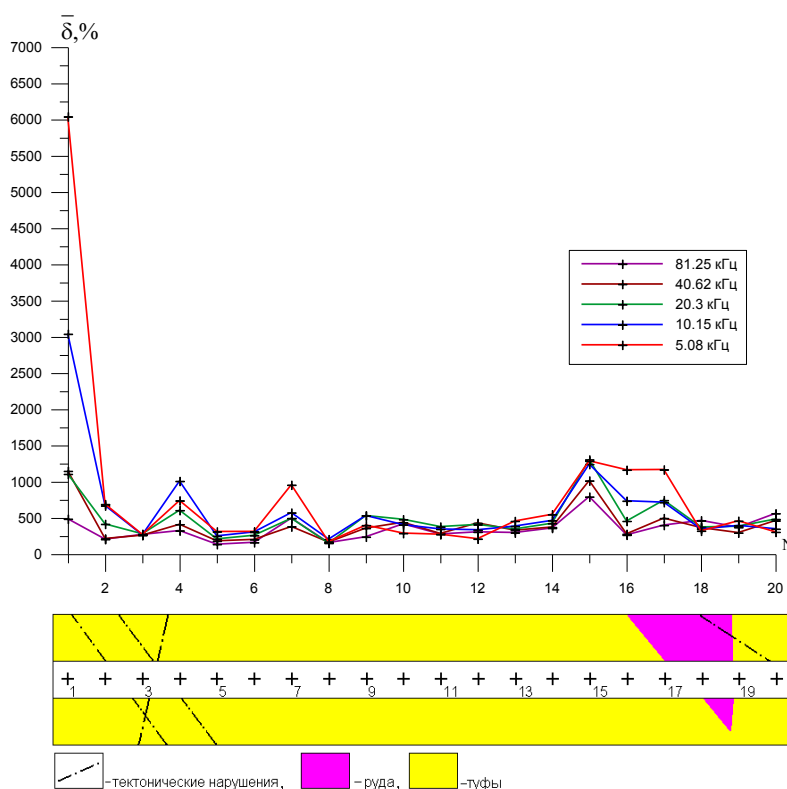


Рис. 1. Распределение среднего параметра геоэлектрической неоднородности для диагонального квершлага, горизонт –320. План геолого-геомеханической информации

На рис. 1 приведено распределение среднего параметра геоэлектрической неоднородности для диагонального квершлага, горизонт –320. На первом пикете имеет место значительная аномалия этого параметра, превышающая фоновый уровень на частоте 5.08 кГц примерно в 10 раз. Это может быть вызвано локальной зоной трещиноватости со значительной влагонасыщенностью. Рас-

положение этой аномалии совпадает с зоной тектонических нарушений, имевших место на геологическом плане этого горизонта. Выявлена еще одна зона трещиноватости в районе 14–18-го пикетов. Она также совпадает с зоной трещиноватости в пределах контакта руды и туфов. Эта аномалия менее значительная, забегая вперед, поясним, что картированная аномалия в зоне сочленения двух штреков диагонального и бурового является самой большой по абсолютному значению. Еще одна аномалия выделена на 7-м пикете. В остальных точках профиля наблюдаются фоновые значения параметра геоэлектрической неоднородности в пределах 400–500. Анализ распределения среднего параметра геоэлектрической неоднородности позволяет очень оперативно выявить зоны неоднородности массива, которые могут быть связаны с зонами породных контактов либо с зонами трещиноватости или зонами потенциальной неустойчивости, связанными с зонами дезинтеграции.

### Результаты интерпретации данных электромагнитного индукционного исследования

Анализируя новую информацию о геоэлектрическом строении диагонального штрека горизонта – 320 (рис. 2, а–б), можно отметить, что практически на всех частотах выделяется дискретная дезинтеграционная структура (пикеты 1–10), которую можно было видеть и на других удароопасных шахтах, например в Таштаголе.

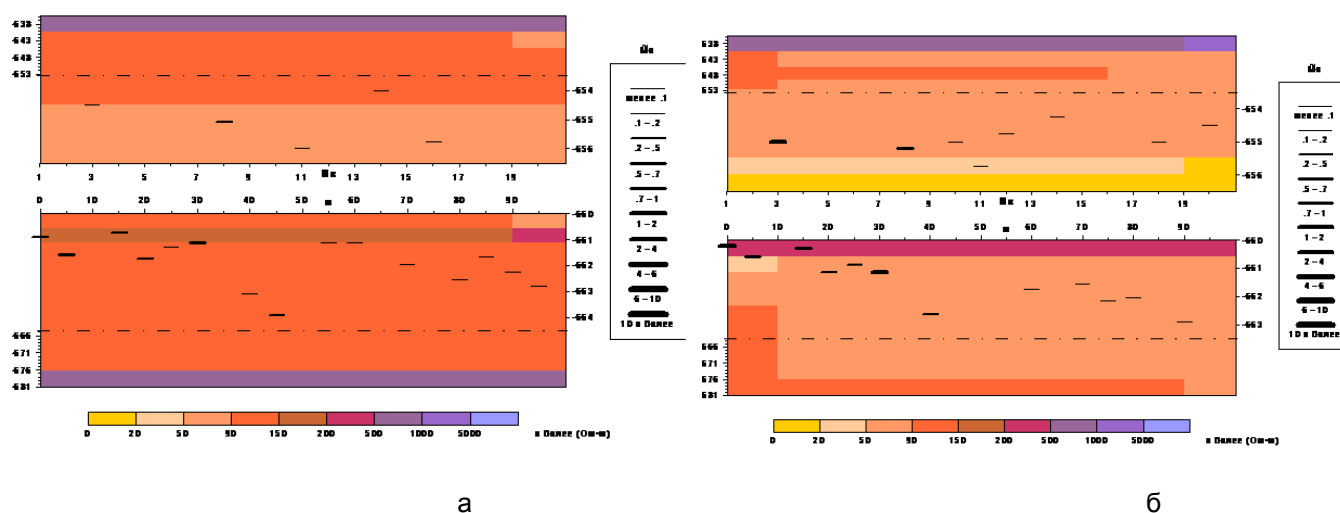


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по диагональному квершлягу, горизонт – 320. а – частота 81.25 кГц, б – частота 5.08 кГц

Вторая половина профиля содержит более закрытые трещинные зоны, свидетельствующие о неоднородности распределения действующих горизонтальных напряжений. В кровле также содержатся локальные дезинтеграционные зоны, расположенные ближе к кровле. Разрезы по буровому штреку, горизонт –320, также в начале профиля содержат протяженную зону дезинтеграции подобной морфологии. Транзитный штрек, горизонт –332, имеет зоны дезинтеграции, продолжающиеся из кровли в почву, что может влиять на устойчивость массива, особенно в пределах 9–22-го пикетов. Транзитный штрек горизонта –348 характеризуется не только наличием многочисленных околоконтурных зон дезинтеграции, но и общей блоковостью массива, в отличие от остальных и предыдущих штреков, где вмещающая среда практически не отличалась большой неоднородностью по сопротивлению. Кроме того, границы блоков смещаются в разрезе по частоте, что может означать дополнительное влияние водной составляющей в гигроскопических известняках. Разрез кольцевого штрека характеризуется наличием большого количества зон дезинтеграции не только в почве, но и в кровле (пикеты 10–17). Разрез Харьковского участка демонстрирует наличие дезинтеграционной зоны в пределах пикетов 2–9 и далее, в почве есть зона отсутствия трещин, все они имеют место в кровле. Участок профиля 9–14 может быть участком потенциальной опасности, желательно в этом месте закрепить кровлю.

Проведенные исследования показали, что задача объемного картирования зон дезинтеграции, как индикаторов зон потенциальной неустойчивости массива, и блоковых структур в кровле и почве решается экспрессно, с высокой достоверностью и надежностью. Однако информация о продольной проводимости блоковых структур является недостаточной при изучении изменений состояния массива. Необходимо учитывать информацию о морфологии и интенсивности зон дезинтеграции.

### Анализ поинтервальной интенсивности зон дезинтеграции

Аналогично [3] используется интегральный параметр поинтервальной интенсивности зон дезинтеграции, выявленных по данным электромагнитного индукционного мониторинга:

$$S_{p \text{ int}} = \sum_{i=1}^K \tilde{L}_{-v}^i, \text{ где } N - \text{ номер интервала, на которые разбивается подпочвенное выработочное про-}$$

странство: N=1 (0–1 м), N=2 (от 1 до 2 м), N=3 (от 2 до 3 м), N=4 (от 3 до 4 м), N=5 (от 4 до 5 м), N=6 (от 5 до 6 м), N=7 (от 6 до 7 м), N=8 (7–8 м), N=9 (от 8 до 12 м), N=10 (от 12 до 17 м), K=k<sub>N</sub> – количество выделенных неоднородностей в пределах интервала N по всей длине выработки.

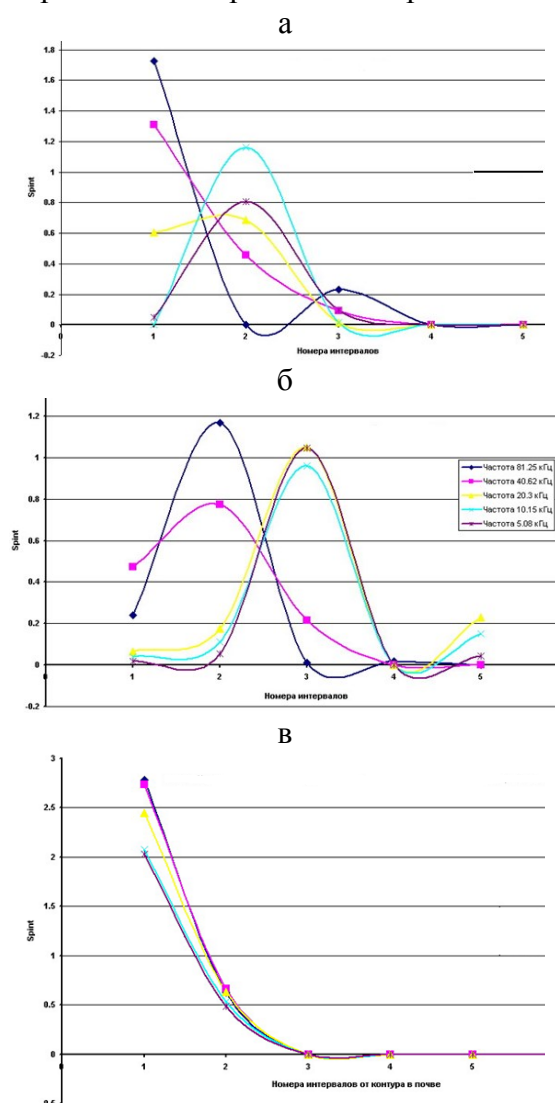


Рис. 3. Распределение поинтервальной интенсивности для пяти частот, а – кольцевой штрек, горизонт –348 м, б – транзитный штрек, горизонт –332 м, в – участок Харьковской залежи, горизонт –277 м.

Анализ параметра  $S_{p \text{ int}}$  для кольцевого и транзитного штреков горизонта –348 показывает (рис. 3, а), что для кольцевого штрека интенсивность этого параметра меньше в 3–4 раза, чем для транзитного штрека, но для кольцевого штрека имеет место возможное отслоение подпочвенного

контура, что не наблюдается в массиве транзитного штрека. Наиболее явно это проявляется для транзитного штрека, горизонт –332 (рис. 3, б). Имеет место начало этого процесса в массиве диагонального штрека. Наименьшая частотная дисперсия в распределении параметра  $Sp_{int}$  для профиля Харьковского участка (рис. 3, в). Полученные результаты следует рассматривать как первый этап изучения динамики состояния массива. Выявленные особенности характеризуют массив неоднородный как по своей структуре, так и по распределению действующих напряжений и реакции массива на их влияние. Характеристика степени устойчивости массива может быть получена в результате повторных электромагнитных исследований, в рамках этой характеристики может быть сформулировано и классификационное разделение соответствующих участков массива на устойчивый, квазиустойчивый и неустойчивый, аналогично [2]

### Заключение

В целом состояние массива горных пород определяется не только его напряженно-деформированным, но и его фазовым состоянием, т.е. наличием жидкой и газообразной фазы в трещиновато-пористых локальных зонах, на границах которых и наблюдается градиент напряжений и деформаций. Этот процесс может происходить несинхронно во времени, при этом причина и следствие в виде изменения трещиноватости, влагонасыщенности и деформируемости могут меняться местами. Примененная система мониторинга в условиях массива шахты Николаевского рудника является полезной, потому что позволяет с высокой разрешающей способностью картировать изменение структуры массива с учетом его фазового состояния. Использование этой методики позволяет делать прогноз о тенденции изменений в массиве и увеличении или отсутствии потенциально опасных зон в массиве. Наибольшую опасность они представляют, когда объединяются в виде связанных между собой линий скольжения. Настоящая методика позволяет их картировать. Использование ее в мониторинговом режиме позволяет в количественном отношении судить о динамике состояния массива. Для решения задачи прогноза состояния применительно к проблеме удароопасности необходимо провести по крайней мере в течение нескольких лет аналогичные циклы измерений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Хачай О.А. Явления самоорганизации в массиве горных пород при техногенном воздействии // Физическая мезомеханика. Т. 7. Специальный выпуск. Ч. 2. 2004. С. 292–295.

## Rock failure mechanisms in the surrounding rock masses with deep level tunnels and in the source areas of disastrous events

Hachay O.A.

OLGA A. HACHAY, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: olgakhachay@yandex.ru

### Estimation of the rock-shock massif state with use of the system of electromagnetic induction monitoring (Nikolaevsk mine, Dalnegorsk)

That paper is devoted to results of geophysical research in Nikolaevsk mine, based on electromagnetic induction frequency-geometrical volume method. Earlier that method shows good results by mapping and monitoring of structure and state of the rock-shock massive of different matter content, for instance in magnetite mines: Tashtagol and Estuninskaja. Here we show the results of using that method in a new geological and geophysical conditions of poli-metal mine for revealing zones and estimation of degree it's potential non stability, estimation it's state and potential dangerous dynamical events by comparing of different places, located on different horizons, what is needed for normal outworking of the massif. The provided research showed that the volume mapping of disintegration zones, as indicators of the zones of potential massif non stability and block structures in the roof and the sole of the hole is solved express and with high reliability and recognition accuracy.

*Key words:* rock-shock massive, electromagnetic induction, monitoring.

#### REFERENCES

1. Khachai O.A. On the study of the geological structure and heterogeneous non-stationary environment in a discrete hierarchical model. Russian Geophysical Journal. 2004;33-34:32-37. (in Russ.). [Hachaj O.A. K voprosu ob izuchenii stroenija i sostojanija geologicheskoy geterogennoj nestacionarnoj sredy v ramkah diskretnoj ierarhicheskoj modeli // Rossijskij geofizicheskij zhurnal. 2004. № 33-34. S. 32-37].
2. Khachai O.A. On the study of the structure, the geological heterogeneous environments and their dynamics in the framework of the discrete and hierarchical model. Geomechanics in mining. Yekaterinburg, IGD UB RAS, 2003, pp. 30-38. (in Russ.). [Hachaj O.A. K voprosu ob izuchenii stroenija, sostojanija geologicheskoy geterogennoj sredy i ih dinamiki v ramkah diskretnoj i ierarhicheskoj modeli // Geomehanika v gornom dele. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2003. S. 30-38].
3. Khachai O.A., Vlokh N.P., Novgorodova E.N., Khachai A.Y., Hudyakov S.V. Three-dimensional electromagnetic monitoring of the rock mass. Fiz. 2001;2:85-92. (in Russ.). [Hachaj O.A., Vloh N.P., Novgorodova E.N., Hachaj A.Ju., Hudjakov S.V. Trehmernyj jelektromagnitnyj monitoring sostojanija massiva gornyh porod // Fizika Zemli. 2001. № 2. S. 85-92].
4. Khachai O.A., Novgorodova E.N., Khachai O.Yu. A new method for the detection of disintegration zones in the space of rocks of different material composition. Mountain informational and analytical bulletin. 2003;11:26-29. (in Russ.). [Hachaj O.A., Novgorodova E.N., Hachaj O.Ju. Novaja metodika obnaruzhenija zon dezintegracii v okolovyrabotochnom prostranstve massivov gornyh porod razlichnogo veshhestvennogo sostava // Gornyj informacionnyj analiticheskij bjulleten'. 2003. № 11. S. 26-29].
5. Khachai O.A. Self-organization in a rock mass with technogenic impact . Physical Mesomechanics. Vol. 7 Special Edition. Part 2, 2004, pp. 292-295. (in Russ.). [Hachaj O.A. Javlenija samoorganizacii v massive gornyh porod pri tehnogennom vozdejstvii // Fizicheskaja mezomehanika. T. 7. Special'nyj vypusk. Ch. 2. 2004. S. 292-295].