

УДК 622.272:550.3

Е.К. БАБЕЦ, Л.А. ШТАНЬКО, В.Я. КОЗАРИЗ, кандидаты технических наук,  
В.И. ЧЕПУРНОЙ, С.И. ЛЯШ, НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,  
Ю.А. ПЛУЖНИК, ПАО «Криворожжелезрудком»

## ОПЫТ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЕТОДАМИ ЕИЭМПЗ И РАП СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Обґрунтовано можливість геофізичного моніторингу методами ШЕМПЗ та РАП стану породного масиву в зоні впливу підземних гірничих робіт. Наведені результати моніторингу.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Изучение с земной поверхности состояния породного массива в зоне влияния подземных горных работ является актуальным направлением для оценки уровня геотехногенной безопасности объектов, попадающих в зону риска, обусловленного наличием выработанного пространства, образованного отработкой залежей подземным способом.

**Анализ исследований и публикаций.** Вокруг выработанного пространства происходят деформации, создающие силовое поле, электромагнитная и акустическая составляющая которого может характеризовать геодинамические явления в подработанном породном массиве. Поиском связей между деформациями породного массива и изменением параметров электромагнитного и акустического поля посвящены работы Воробьева А.А., Бахова Н.И., Акхозова Ю.Л., Грицай Е.Ю., Семенюка В.А., Зуйкова И.В.

Нерешенные части проблемы, которые отражены в данной работе. До настоящего времени в Криворожском бассейне возможности аппаратной диагностики геодинамических процессов на основе регистрации параметров электромагнитного и акустического поля в достаточной мере не изучены.

**Постановка задачи.** В настоящей работе авторы расширяют подходы к оперативному аппаратному диагностированию состояния породного массива в зоне влияния подземных горных работ.

**Изложение материала исследований и полученные результаты.** В Криворожском бассейне при отработке подземным способом залежей железных руд образуется выработанное пространство. При этом в массиве горных пород и на земной поверхности происходит развитие процесса деформаций. Наиболее опасными проявлениями последних являются провалы и воронки обрушения земной поверхности [1,6-8].

Реальный массив горных пород имеет сложное строение и обладает существенной анизотропией физико-механических свойств. Внутри и на границе структурных элементов массива связи существенно отличаются, что проявляется в ассоциировании (объединении) их в целостный элемент (кластер). Вследствие этого в массиве существует иерархически упорядоченная структура совокупности кластеров, связь между которыми обусловлена не только силами, связывающими элементы внутри кластера, но и силами, действующими на контактах его с другими кластерами. Очевидно, что силы связи между кластерами в ассоциате существенно слабее, чем внутри кластеров, что является необходимым условием устойчивости внутренней структуры ассоциатов, а также возможности перераспределения внешних силовых воздействий (перколяции сил) по структурным связям (взаимодействиям) внутри.

Исходя из изложенной кластерно - перколяционной модели массива горных пород деформирование последнего вокруг выработанного пространства в зонах максимальной концентрации напряжений приводит к образованию сети микро и макротрещин в этих зонах. Эти процессы лежат в основе явления дезинтеграции породного массива в зоне влияния подземных горных работ [2].

Данное положение является чрезвычайно важным при выборе геофизических методов, которые можно эффективно использовать в рамках геофизического мониторинга структуры и состояния массива горных пород в зоне влияния подземных горных работ [3-5, 9-16].

Для изучения процессов изменения структуры и состояния приведенного массива горных пород при использовании разработанной в НИГРИ ГВУЗ «КНУ» методики и мобильных технических средств удалось, в рамках натуральных исследований, реализовать идею применения методов ЕИЭМПЗ и РАП для наблюдения и оценки состояния породного массива в зоне влияния подземных горных работ. Используемая методика и технические средства относятся к геофизическим методам неразрушающего контроля.

Методологической основой применения метода ЕИЭМПЗ для оценки деформационного состояния горного массива служит существование связи между процессом механического (пластично-хрупкого) разрушения горных пород и возникновением при этом импульсов электромагнитного излучения.

По повышенным значениям ЕИЭМПЗ выделяются зоны сжимающих напряжений, а по пониженным – зоны растяжения и трещиноватости. Относительная величина аномалии позволяет качественно судить об интенсивности проявления сжатия или растяжения природно-техногенной среды.

Основным графическим материалом, представленным в результате полевых работ, являются карты эквипотенциальных линий и графики величин. Аномальные зоны выделяются в результате анализа карт и графиков измеренных компонентов поля. Реальной считается аномалия, интенсивность которой больше трехкратной величины средней квадратичной погрешности съемки (для амплитуд и количества импульсов). Аномальные зоны меньшей интенсивности заслуживают внимания лишь в том случае, когда они подтверждаются повторными съемками.

Участки со своеобразной геофизической характеристикой отличаются специфическим геологическим строением. Зоны, в которых возможны образования воронок, имеют напряженное состояние по замкнутому контуру (круг, овал и т.д.), так называемый краевой эффект. Поэтому можно сделать вывод о целесообразности применения рассматриваемого метода для определения возможных опасных участков массива горных пород в зоне влияния подземных горных работ.

Метод РАП используется для получения информации о естественном акустическом поле Земли, а именно – поле акустического резонанса, возникающее в толще горных пород под влиянием различных внешних факторов. Внешними факторами являются источники сейсмической активности земной коры, механические колебания, возникающие в результате напряжений земной толщи, движения планет и многое другое. Под влиянием вышеперечисленных внешних факторов в слоистой толще возникают поперечные упругие колебания.

Поперечные упругие волны возникают только в телах, в которых возможны упругие деформации сдвига. Существование поперечных поверхностных волн является следствием взаимодействия продольных и (или) поперечных упругих волн при отражении этих волн от плоской границы между различными средами. Границей между средами могут быть поверхности ослабленного механического контакта между средами, обусловленные:

- резкой сменой пород изучаемого разреза;
- прослоями различного генезиса (углистыми, глинистыми и т.п.);
- перерывами в осадконакоплении;
- интрузивными и экструзивными контактами;
- тектоническими нарушениями;
- подземными пустотами.

Чем слабее контакты – тем большая возможность взаимного перемещения соседних слоев, и, следовательно – больше амплитуда возникающих собственных колебаний.

В результате, поверхностные волны локализируют энергию возмущений, созданных на поверхности, в сравнительно узком слое. Именно это свойство поверхностных волн приводит к резонансным явлениям. В случае «граница твердого тела и жидкости» возникает незатухающая поверхностная волна, что характеризуется повышением амплитуды колебаний. Возможно искусственное усиление амплитуды принимаемых собственных колебаний (приведение акустического датчика в состояние резонанса) путем механического его возбуждения, при этом мощность источника возбуждения не имеет особого значения. Как правило, для возбуждения достаточно обыкновенного молотка.

При возбуждении (ударе в непосредственной близости от датчика) в датчике наводятся

акустические колебания широкой полосы частот, которые, при совпадении с частотами собственных акустических колебаний подповерхностных объектов, вызывают усиление их амплитуды. Частота колебаний обратно пропорциональна мощности колеблющегося «слоя». Под «слоем» понимается толща горных пород, находящаяся между поверхностью наблюдений и поверхностью «ослабленного механического контакта» (ОМК).

Натуральные исследования на основе применения методов ЕИЭМПЗ и РАП проводились на восточном борту карьера №1 ПАО «ЦГОК», который находится в зоне влияния подземных горных работ шахт «Октябрьская», «Большевик», «Фрунзе».

На основании проведенных исследований были построены карты аномальных зон, выделенных по результатам наблюдений методами ИЭМПЗ и РАП на восточном борту карьера №1 ПАО «ЦГОК».

В результате проведенных работ были выявлены два типа аномальных зон:

зона активных приповерхностных разуплотнений с повышенными значениями резонансного сигнала на глубине до 200 м;

зона повышенной трещиноватости и сдвижения с активным разуплотнением на глубине бале 200 м.

Аномальные зоны первого типа представляют наибольшую опасность в связи с возможным выходом воронок обрушения. В восточном борту Глееватского карьера выделяют 4 такие аномалии.

*Первая* находится в зоне влияния подземных выработок ш. Большевик МО 60-100 южнее существующей воронки обрушения. Ограничена зонами влияния двух разломов сложной конфигурации. Юг зоны расположен на границе целик – выработанное пространство, север опирается на проекцию зоны разлома, пересекающего выработки на глубине 500 м. Участок, примыкающий к воронке обрушения, отмечается повышенной трещиноватостью и процессами сдвижения.

Остальные зоны расположены в маркшейдерских осях шахты Октябрьская.

*Вторая* - находится в МО 65-90. Ограничена разломом и проекцией его пересечения с горными выработками мощностью до 100 м. Южная граница опирается на изменение структуры рудного тела с уменьшением мощности суммарного подработанного пространства со 120 до 60 м.

*Третья* - расположена в МО 100-125. В северных границах совпадает с положением выхода старых воронок, сдвигаясь к югу на 100 м.

*Четвертая* - расположена в МО 135-165. Является продолжением зоны влияния воронок обрушения и пустот ш. Северная (восточнее).

Зоны второго типа:

МО 15-42 зона старых воронок обрушения под влиянием поперечного разлома, активные процессы разуплотнения.

МО 50-75 зона влияния подземных выработок различной мощности и глубины с близким расположением нескольких целиков между ними. Активные процессы разуплотнения и просаживания до приповерхностного слоя.

МО 123-138 зона повышенной трещиноватости и разуплотнения.

МО 135-165 зона повышенной трещиноватости и разуплотнения под влиянием активной зоны №4.

Зона расположена на участке ш. им. Фрунзе в МО 35-20. Представлена приповерхностным разуплотнением на контактах пород.

Исследования на основе применения методов ЕИЭМПЗ и РАП проводятся в течение 3 лет на жизненно важном для г. Кривой Рог, техническом сооружении - городской автодороге, обеспечивающей проезд с северной группы рудников на трассу Кривой Рог - Кировоград. Участок автодороги длиной свыше 500 м проходит на земной поверхности породного массива над отработанный железорудной залежью. Отработка залежи выполнена шахтой «Родина» ПАО «Криворожский железорудный комбинат» с глубины 865 метров системами разработки с обрушением налегающих пород. В массиве горных пород и на земной поверхности на протяжении последних 30 лет происходит развитие техногенного геодинамического процесса, который проявляется в виде классической мульды сдвижения, включающий в себя следующие зоны: воронкообразования, обрушения, трещин, опасного и общего влияния.

Для гарантированной безопасности эксплуатации ответственных технических объектов и сооружений к которым относятся и автодороги различного назначения, тщательно изучаются горно-геологические условия их расположения с применением обширного комплекса различных видов геофизических исследований.

Существующие в наблюдаемом массиве мощности и геологическое строение подработанной толщи разнородных пород осадочного чехла и кристаллического фундамента не позволяют прогнозировать во времени выходы зон обрушения на земную поверхность [5].

Учитывая высокую степень опасности обрушения на исследуемом техническом сооружении НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет» проводит методом регистрации комплекса параметров ЕИЭМПЗ и РАП системные геофизические наблюдения и оценку состояния породного массива над отработанной железорудной залежью.

Обработка результатов измерений позволила выявить в наблюдаемом породном массиве 9 аномальных зон с различной степенью дезинтеграции, являющихся индикатором устойчивости массива над отработанной железорудной залежью.

Проводимые наблюдения показали, что аномальные зоны по профилю дороги представлены в виде столбообразных зон нарушений шириной 25-50 м с куполообразной верхней границей, которая находится по профилю дороги на глубине 120 м от поверхности наблюдений, а на остальной территории над отработанной железорудной залежью данный показатель равен 200-240 м.

Данное обстоятельство может быть объяснено тем, что внутри и на границах структурных элементов массива над отработанной железорудной залежью силы связи существенно отличаются. Применяя метод синергетического подхода к вопросу деформирования горных пород, следует исходить из того, что они должны рассматриваться как открытые, сильнонеравновесные в локальных зонах концентрации напряжений системы, в которых протекают неравновесные локальные структурные преобразования. Последние развиваются на разных масштабных уровнях и отличаются по характеру, энергии, протяженности в объеме, скорости протекания.

Полученные результаты мониторинга массивов горных пород методами ЕИЭМПЗ и РАП позволяют сделать вывод, что наблюдаемые массивы представляют многогранговую иерархическую структуру. Это проявляется в том, что в структурах элементов массивов горных пород существуют связи, обусловленные не только связывающими элементами структуры внутри определенной зоны дезинтеграции, но и с силами действующих на контактах с другими зонами дезинтеграции.

В исследуемых массивах зоны дезинтеграции разделены по глубине тектоническими нарушениями. Исключение представляет верхняя зона дезинтеграции массивов. Данная зона дезинтеграции находится ближе к поверхности и на развитие микротрещин и расслоений в ней существенно влияют подземные воды.

До проведения НИГРИ ГВУЗ «КНУ» системных наблюдений методами ЕИЭМПЗ и РАП и оценки состояния породного массива в зоне влияния подземных горных работ предполагалось, что данный массив горных пород квазиоднороден и развитие процесса его дезинтеграции будет проходить монотонно стабильно. Проводимые наблюдения и анализ полученных результатов показали, что процессы дезинтеграции происходят локально как в верхней части массива, так и в нижележащих зонах.

Данные положения позволили уточнить применительно к структурно и текстурно сложным породным массивам в зоне влияния подземных горных работ критерии опасности для оценки безопасной эксплуатации объектов, находящихся в зоне влияния подземных горных работ.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Выполненные исследования показали, что изложенная комплексная система наблюдения методами ЕИЭМПЗ и РАП является эффективной и информативной применительно к изучению строения и оценки состояния породного горного массива в зоне влияния подземных горных работ.

Использование настоящей системы в рамках обеспечения безопасности эксплуатации объектов различного назначения позволяет, применительно к исследуемому породному массиву, экспрессно решать следующие инженерно - геомеханические задачи:

изучать с земной поверхности по возмущению природного электромагнитного и акустического поля характер распределения напряженного состояния массивов горных пород, вызван-

ного как природными, так и техногенными факторами;

оперативно осуществлять прогнозирование природных и техногенных геодинамических явлений;

определять с земной поверхности динамику или режим необратимых деформаций в породном массиве;

качественно и количественно оценивать уровень геотехнологической безопасности породного массива относительно объектов, попадающих в зону риска, обусловленного наличием выработанного пространства представленного отработанным подземным способом железорудными залежами.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении более детального определения глубинности геодинамических процессов, происходящих в породном массиве в зоне влияния подземных горных работ.

#### *Список литературы*

1. Сдвижение горных пород и земной поверхности на рудных месторождениях. **И.А. Кузнецов, А.Г. Акимов, В.И. Кузьмин** и др. М: Недра, -1971.-224с.
2. **И.Ш. Коган** «Самоорганизация горной породы вокруг неоднородностей», издательство ЮжКаз ЦНТИ, 1985.
3. Явление электризации горных пород при механическом нагружении. **Н.И. Бахов**, Институт геофизики НАМ Украины.-Киев, Украина, 2006.
4. Некоторые аспекты применения метода наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ) для решения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач. - **М.М. Довбнич, И.С. Белых, Г.И. Кузина, Г.С. Стовас**, ДО УкрГГРИ - г. Днепропетровск, Украина, 2006.
5. Исследование и прогноз характера процесса сдвижения с районированием подрабатываемых территорий при отработке глубоких горизонтов шахт Кривбасса на предмет использования в народном хозяйстве. Отчет о НИР /ГНПП «МЭГГИ», рук. Сазонов А.В., -Кривой Рог, 1995 г. -94 с.
6. Исследование аномальных зон подработанного массива горных работ комплексом наземных геофизических методов. **В.В. Туманов, А.И. Компанец, Е.В. , Е.В. Сухина, А.В. Савченко**, научные труды УкрНИМИ НАНУ, №3, 2008. - С.61-79.
7. Комплексные исследования развития и взаимодействия опасных геологических процессов. Строительство и техногенная безопасность, выпуск 15-16. - С.255-259.
8. Геофизическая идентификация водопроницаемости геодинамических зон угленосной толщи в связи с ликвидацией шахт, научные труды УкрНИМИ НАНУ, выпуск 13 (178), 2011 г., с.140-146.
9. **Adam, J., Reuther, C.-D.** (2000) Cristal dynamics and active fault mechanics during subduction erosion; application of frictional wedge analysis on to the North Chilean forearc. Tectonophysics 321(3): 297-325.
10. **Adriasola, A.C., Thomson, S.N., Brix, M.R., Herve, F., Stockhert, B.** (2006) Postmagmatic cooling and late Cenozoic denudation of the North Patagonian Batholith in the Los Lagos region of Chile, 41°-42°15'S. International Journal of Earth Sciences 95(3): 504-528.
11. **Alvarez-Marron, J., McClay, K.R., Harambour, S., Rojas, L., Skarmeta, J.** (1993) Geometry and evolution of the frontal part of the Magallanes foreland thrust and fold belt (Vicuna area), Tierra del Fuego, southern Chile. AAPG Bulletin 77(11): 1904-1921.
12. **Assumpcao, M.** (1992) The regional interpolate stress field in South America. Journal of Geophysical Research, 97, No. B8: 11889-11903.
13. **Bahat, D., Rabinovitch, A., Frid, V.** (2005) Tensile fracturing in rocks; tectonofractographic and electromagnetic radiation methods, 569 pp.
14. **Bangs, N.L., Cande, S.C.** (1997) Episodic development of a convergent margin inferred from structures and processes along the southern Chile margin. Tectonics 16(3): 489-503.
15. **Beck, M.E., Burmester, R.F., Steele, B.C.** (1998) Paleomagnetism of probably remagnetized late Mesozoic volcanic rocks near Lago Verde, Aisen, Southern Chile. Revista Geologica de Chile 25(2): 153-163.
16. **Bott, M.H.P., Waghorn, G.D., Whittaker, A.** (1989) Plate boundary forces at subduction zones and trench-arc compression. Tectonophysics 170: 1-15.

Рукопис подано до редакції 11.02.14