

УДК 550.837.21:624.19

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МЕТОДОВ ЕИЭМПЗ И РАП ДЛЯ УСЛОВИЙ ПОДРАБОТАННОГО ГОРНОГО МАССИВА КРИВБАССА ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

**Ахкозов Ю. Л., Грицай Е. Ю., Семенюк В. А., Зуйков И. В.,
Цыбульская Н. В.**

(ГП «НИГРИ», г. Кривой Рог, Украина)

Наведені результати досліджень методами ПЕМПЗ та РАП розламної тектоніки масиву гірських порід, що розробляються підземним засобом в Кривбасі, доведена їх ефективність в попередженні аварійних ситуацій на гірничих об'єктах.

Shows the results of research of tectonics by methods EIEMPZ and RAP of the rock mass, which is extracting by underground way in Krivbass, showing their effectiveness in preventing accidents at mining sites.

Геомеханическое состояние массива горных пород определяется как природными, так и техногенными факторами. Природные факторы определяются особенностями геологического строения горного массива, их изменениями в неотектонический этап. Техногенные факторы определяют изменение инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей горного массива в настоящее время. Оценка состояния, степени нарушения горного массива, интенсивно подработанного масштабной добычей железных руд, вероятности проявления техногенных геомеханических явлений и нарушений относится к актуальнейшей проблеме Кривбасса. В этих условиях, наряду с традиционными методами исследований, важное значение приобретает

внедрение новых методологических подходов и аппаратурного обеспечения исследований.

С целью повышения достоверности оценки геомеханического состояния горного массива начиная с 2007 г. ДП «НИГРИ» для исследований использует метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Это эффективный и мобильный метод выявления и прогнозирования положения (по опыту работ в интервале глубин от поверхности до 300-400 м) напряженных участков горного массива, зон трещиноватости, обводненных тектонических нарушений, трассирования «живущих» разломов кристаллического фундамента и ослабленных зон осадочного чехла, как факторов, влияющих на безопасную эксплуатацию промышленных объектов.

Методологической основой применения метода ЕИЭМПЗ для оценки деформированного состояния горного массива служит существование связи между процессом механического (пластично-хрупкого) разрушения горных пород и возникновением при этом импульсов электромагнитного излучения [1-4]. При этом кварцсодержащие горные породы Кривбасса являются благоприятным фактором возникновения электромагнитного излучения при их деформации;

Опыт работ в Кривбассе на основе данного метода показал, что он позволяет регистрировать особенности естественного импульсного электромагнитного поля на каком-либо участке, по которому с большой долей вероятности можно определять механизм генерации этого поля - пьезоэффект, трещинообразование, то есть фиксировать участки напряженного состояния горного массива, положение «живущего» разлома, а также его ориентировку и обводненность. В целом во всех случаях импульсное электромагнитное излучение связано с микросдвиговыми деформациями, в частности с «живущими» разломными, трещинными зонами.

В 2010 г. по заданию (договору) с ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» были выполнены комплексные исследования шахтного поля ШУ им. Кирова. Главной целью работы была оценка степени нарушенного состояния горного массива и выявление пустот под участком городской автодороги и на основании этих

исходных данных определить возможности дальнейшей её эксплуатации. Площадная интерпретация результатов съемки методом ЕИЭМПЗ, выполненной на указанном участке, дала следующие результаты (рис. 1).

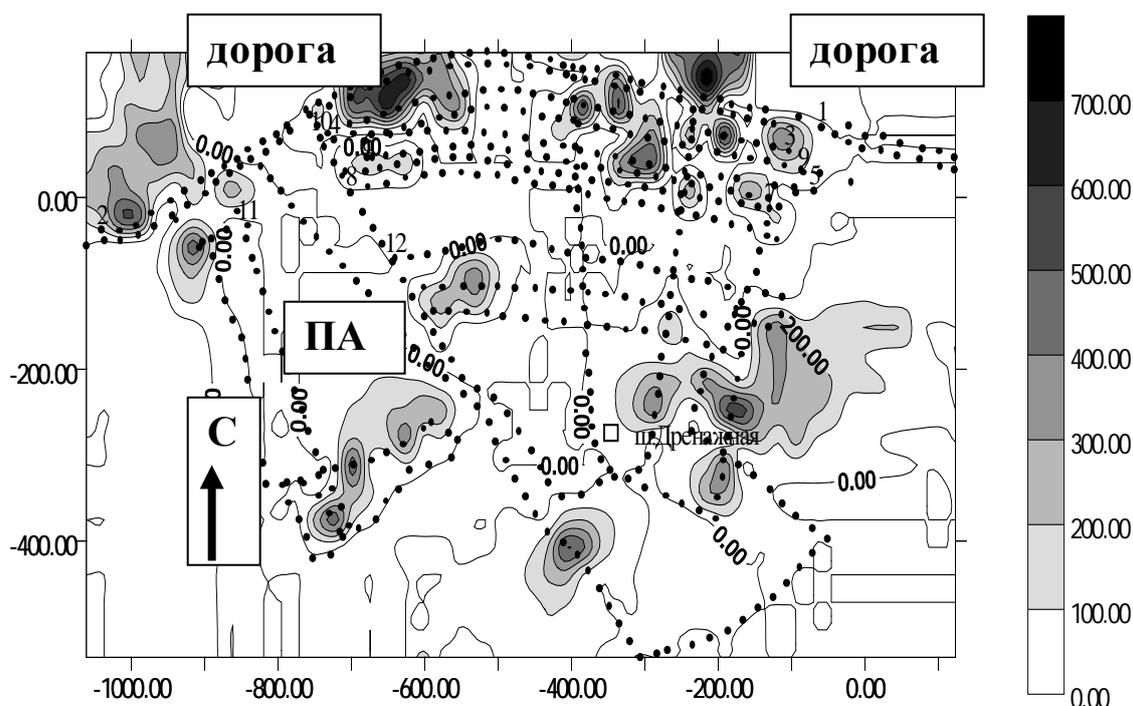


Рис. 1. Интерпретация результатов исследований методом ЕИЭМПЗ (частота 0-1 кГц, в изолиниях интенсивности сигнала). ПА – «Придамбовая» аномалия

В области 0-1 кГц, связанной с деформациями в первые сотни метров, по амплитуде (и по суммарной энергии импульсов) выделяются две крупные группы аномалий, расположенные в придорожной части. Они тяготеют к краевым частям массива, находящиеся на границах с выработанным пространством. Еще одна группа аномалий выделена с южной стороны дамбы, перегораживающей балку Ковальскую. Первая группа аномалий (придорожная) попадает в область глубинного разуплотнения горного массива, выделенного также по данным гравиметрии. «Придамбовая» группа аномалий связана с крупным разломом, вытянутым в северо-западном направлении, объединяющим её с западной придорожной группой аномалий. Несколько аномальных участков выделяется также в районе шахты «Дренажная».

Перечисленные аномальные участки является, с точки зрения деформации массива, наиболее активным в настоящее время.

Таким образом, интерпретация результатов съемки методом ЕИЭМПЗ в области частот 0-1 кГц, отражающих процессы разрушения кристаллического массива на глубинах в первые сотни метров, выявляет тенденцию локализации аномалий в определенных участках исследованной территории. Эти участки нарушенности массива связаны с современным уровнем подработки залегающей толщи шахтами «Родина» и «Артем-1», а также с разрывными нарушениями.

Две заверочные скважины, пробуренные в пределах придорожных аномалий, подтвердили приведенную интерпретацию данных ЕИЭМПЗ. Бурением было установлено, что выделенные по данным метода естественного импульсного электромагнитного поля Земля аномалии, представляют собой нарушенный горный массив, характеризующийся высокой степенью трещиноватости, тенденцией увеличения с глубиной степени трещиноватости и изменения её от мелкой к крупной, напряженное в настоящее время состоянии горного массива и деформацию его в режиме крипа.

Поскольку глубина подработки горного массива на указанном объекте достигла 700-900 м, исследования методом ЕИЭМПЗ были дополнены методом резонансного акустического профилирования (РАП). По совокупности таких параметров, как производительность, информативность, разрешающая способность и себестоимость, метод РАП не имеет аналогов среди традиционных методов поисковой и разведочной геофизики. РАП позволяет высокоэффективно решать инженерно-геологические, гидрогеологические, геомеханические проблемы горнодобывающей промышленности [5-8].

Метод РАП обеспечивает изучение геологического разреза до глубины 2000 м в модификации аппаратуры «РАП-Плюс» с разрешением не менее 2,5 % от глубины исследования. Программное обеспечение позволяет оперативно осуществлять контроль качества полевой информации, экспресс-обработку данных, визуализацию результатов исследований на мониторе компьютера в виде цветотеневых разрезов, отражающих характер неодно-

родности изучаемой геологической среды, графический вывод результатов наблюдений. Метод использует для получения информации собственное акустическое поле Земли, а именно – поле акустического резонанса, возникающее в толщах горных пород под влиянием различных внешних факторов. Внешними факторами являются источники сейсмической активности земной коры, механические колебания, возникающие в результате напряжений горного массива. Под влиянием вышеперечисленных внешних факторов в слоистой толще образуются поперечные упругие колебания, возникающие только в твердых 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. Такими границами являются в первую очередь поверхности ослабленного механического контакта в массиве горных пород. Чем слабее контакт – тем большая возможность взаимного перемещения контактирующих слоев, и, следовательно, больше амплитуда возникающих собственных колебаний. В результате поверхностные волны локализуют энергию возмущений, созданных на поверхности, в сравнительно узком слое. Именно это свойство поверхностных волн приводит к резонансным явлениям.

Возможно искусственное усиление амплитуды собственных колебаний, возникающих в толще горных пород, путем возбуждения широкого спектра акустических колебаний в датчике акустических колебаний, при этом мощность источника возбуждения не имеет особого значения. При совпадении частот естественных акустических колебаний толщи горных пород с частотами колебаний, наведенных в акустический датчик, в датчике на этих частотах возникают резонансные колебания, проявляющиеся в увеличении амплитуд колебаний на этих частотах. Записав и проанализировав суммарный акустический сигнал, можно вычислить его спектральные характеристики и выделить резонансные частоты

Таким образом, метод РАП дает информацию о геомеханических свойствах исследуемого объекта, обусловленных его структурой (слоистостью, трещиноватостью), участками повы-

шенной расслоенности пород, зонами тектонических нарушений, в целом зонами ослабленного механического контакта. Они могут быть выделены на геомеханических РАП-разрезах по повышенной насыщенности интенсивности цветовой гаммы.

Бывает полезным проводить отдельную интерпретацию результатов вычисления полной и локальной компонент спектра акустических сигналов, так как локальная составляющая более детально выделяет характеристики расслоения геомеханического разреза. Визуализация массивов данных по геомеханическим срезам выполняется в программе «Golden Software Surfer».

В результате выполнения работ по вычислению 3-D массивов появляется возможность получить объемную картину распределения геомеханической прочности и выполнить секущие срезы в любых направлениях в наиболее интересных местах геологического разреза. По настоящему простой и доступной эта технология (применительно к методу РАП) стала с появлением программы «Voxler» компании Golden Software.

Основные принципы интерпретации результатов исследований методом РАП следующие:

- зоны пониженной и повышенной механической прочности пород в методе РАП соответствуют повышенным и пониженным значениям спектров акустических сигналов;
- повышенные значения спектров акустических сигналов отображаются более интенсивной цветовой гаммой;
- чем ниже механическая прочность выделяемых поверхностей ослабленного механического контакта, тем более интенсивным цветом они отображаются на цветотеневых геомеханических РАП-разрезах.

Положение и пространственное распределение основных, наиболее интенсивных зон понижения механических свойств пород исследованного участка приведено на 3D массивах, построенных по результатам РАП-измерений (рис. 2). Сравнение карт аномальных зон, выделенных по данным ЕИЭМПЗ (рис. 1) и РАП (рис. 2), показывает практически полную идентичность пространственного их распределения.

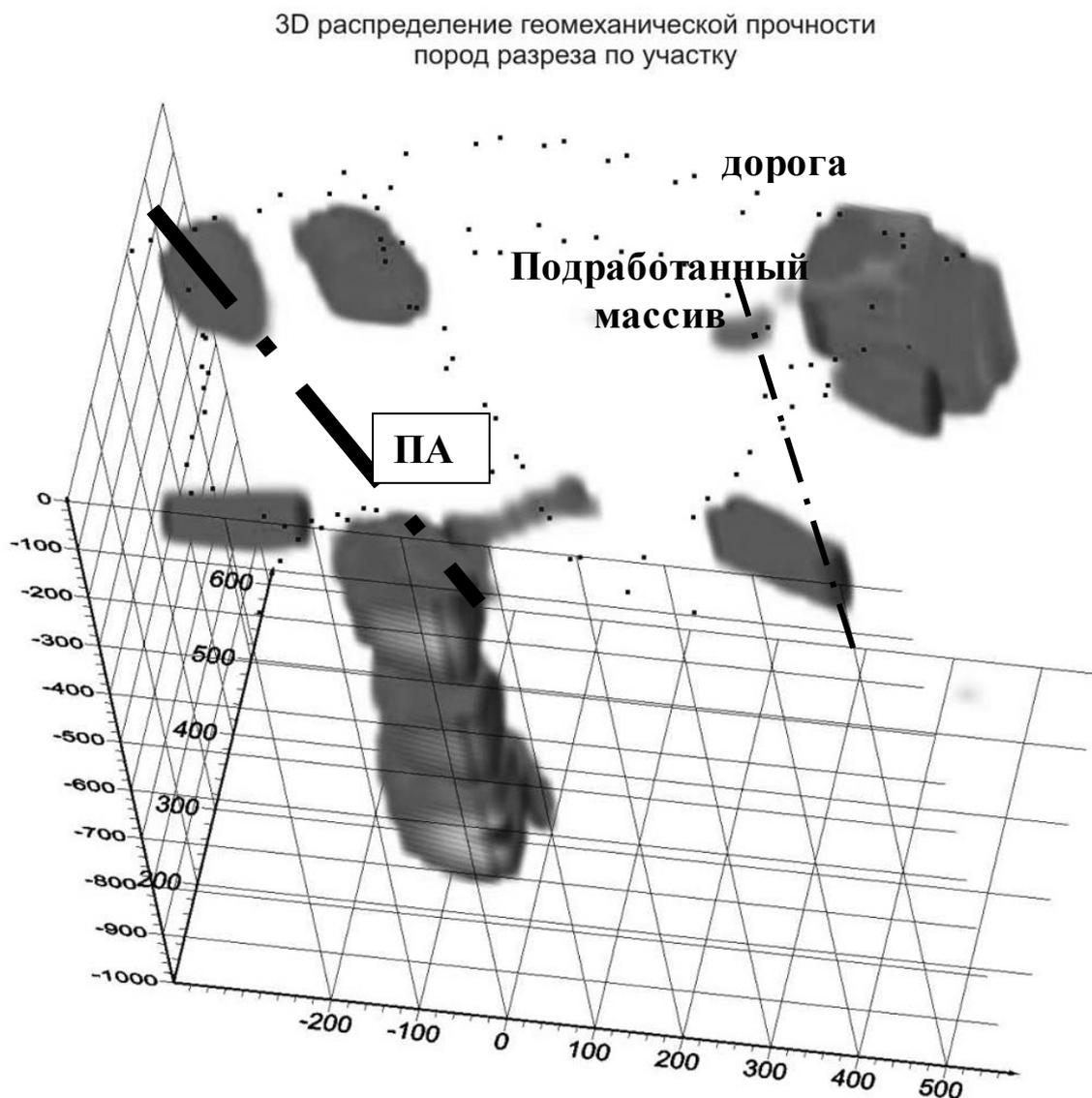


Рис. 2. Объемное распределение участков геомеханически ослабленной прочности пород исследованного участка. ПА – «Придамбовая» аномалия

Это крупные и интенсивные три аномалии вдоль автодороги, две из которых связаны с подработкой горного массива шахтой «Родина» и в 500 м южнее автодороги аномалии шахты «Дренажной» и «Придамбовая» аномалия. Последняя связана с подработкой массива горными работами шахты «Артем-1» на глубинах 700-800 м. Метод РАП выявил глубину распространения этих аномалий (рис. 2). Как видно из рис. 2 до глубины 700 м сохраняется только «Придамбовая» аномалия. Причем для последней интенсивность акустического сигнала с глубиной увеличивается.

Следует подчеркнуть, что на вертикальных геомеханических разрезах здесь выделяются вертикальные зоны повышения амплитуд спектров акустических сигналов, отвечающих ослабленным геомеханическим контактам в массиве, которые фиксируют серию разломов, ограничивающих западный борт балки Ковальской. Непосредственно на отрезке профиля, пересекающего «Придамбутовую» аномалию, четко выделяются три узкие вертикальные зоны, отвечающие разломам (глубоким трещинам), оконтуривающим формирующуюся зону деформации над выработанным пространством. На горизонтальной (на дневную поверхность) и вертикальной проекциях локальной компоненты спектра акустического сигнала также отражаются участки максимальных деформационных процессов, локализованных до глубины 300 м, кроме «Придамбутовой» аномалии. Последняя аномалия распространена до глубины 700 м, занимая при этом вертикальное положение и имея практически цилиндрическую форму. Поскольку метод РАП фиксирует живущие ослабленные геомеханические контакты, был сделан вывод, что «Придамбутовая» аномалия представляет собой развивающуюся (по состоянию на октябрь 2010 г.) зону обрушения над выработанным пространством. Были выданы соответствующие рекомендации по безопасной эксплуатации участка. В феврале 2011 г. деформационные процессы в указанной зоне вышли на дневную поверхность.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Бахов Н.И. Явления электризации горных пород при механическом нагружении: Сб. науч. тр. / Институт геофизики НАН Украины. – Киев, 2006. – С. 60–68.
2. Довбнич М.М., Белых И.С., Кузина Г.И., Стовас Г.М. Некоторые аспекты применения метода наблюдения естественного импульсивного электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ) для решения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач: Сб. науч. тр. / ГО УкрГГРИ – г. Днепрпетровск, 2006.

3. Соболев Г.А., Семерчан А.А., Салов Б.Г. и др. Предвестники разрушения большого образца горной породы // Физика Земли. – 1982. – № 8. – С. 112 – 119.
4. Frid V., Rabinovitch A. and Bahat D. Fracture induced electromagnetic radiation // Journal of Physics D: Applied Physics J. Phys. D: Appl. Phys 36 (2003) 1620 – 1628.
5. Бауков Ю.Н., Данилов В.Н. Физические основы резонансного метода контроля расслоения горных выработок // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1988. – № 1. – С. 31 – 38.
6. Гликман А.Г. Упругие волны в слоистых средах: Сб. науч. тр. / ВНИИГ. – Л.: ВНИИГ, 1986. – С. 93 – 106.
7. Спектральные методы определения строения горного массива / Под ред. В.Д. Страхова // М.: Изд. Дом «Грааль», 2001. – 276 с.
8. Zuykov I. Resonance Acoustical Profiling System And Method of using same // UNITED STATES PATENT № 6,199,0.16B, 2001.