

УДК 551.243 : 550.837.2 (477.63)

Грицай Е.Ю., Цибульская Н.В., Волков А.Г.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЕИЭМПЗ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ТЕКТониКИ КРИВБАССА

Изложены результаты изучения возможности использования метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для выявления и прогнозирования положения непогашенных приповерхностных горных выработок, трассирования разломов, зон трещиноватости горных пород, обводненных тектонических нарушений – как факторов, влияющих на безопасное ведение горных работ. Показано, что метод позволяет регистрировать особенности естественного импульсного электромагнитного поля объекта исследований, по которым с большой долей вероятности можно определять механизм генерации этого поля – пьезоэффект или трещинообразование – то есть фиксировать участки напряженного состояния горного массива, положение «живущего» разлома, а также его ориентировку и обводненность, наличие в горном массиве зон разуплотнения и пустот.

Высокую эффективность и мобильность при выявлении и прогнозировании положения непогашенных приповерхностных (в интервале глубин от поверхности до 300-400 м) выработок, трассировании разломов, зон трещиноватости, обводненных тектонических нарушений – как факторов, влияющих на безопасное ведение горных работ, показал метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Высокая эффективность метода обусловлена регистрацией электромагнитного поля с использованием аппаратуры нового поколения – микропроцессорного индикатора (МИЭМП-4/1), который предназначен для изучения в лабораторных и полевых условиях импульсного электромагнитного поля естественного и технического происхождения.

Существование связи между процессом механического (пластично-хрупкого) разрушения горных пород и возникновением при этом импульсов электромагнитного излучения (ЭМИ) служит методологической основой применения метода ЕИЭМПЗ для оценки деформированного состояния горного массива [5, 6]. Предпринимались также попытки на основе изучения эмиссии ЭМИ при трещинообразовании горных пород прогнозировать землетрясения, разрушение горных пород в подземных выработках, исследовать взрывы [9].

Предыдущими исследованиями [10] было установлено, что разрушение кристаллического материала вызывает эмиссию электронов, ионов, нейтральных атомов и молекул, видимых фотонов и радиоволн.

Было также выявлено [9], что перед локальным внутренним разрушением участков блока горной породы наблюдаются значимые изменения пространственного распределения акустической эмиссии, скорости распространения и амплитуды ультразвуковых упругих волн, электросопротивления, собственной электризации и электромагнитной эмиссии, классифицируемые как предвестники разрушения. Перечисленные механоэлектрические явления связаны с прямым преобразованием механической энергии в энергию электромагнитного поля.

Результаты ранее выполненных исследований [10] показали также, что амплитуды ЭМИ независимы от характера трещины растяжения или скалывания и относятся только ко всей площади трещины. Амплитуда импульса ЭМИ увеличивается столько времени, сколько продолжает расти трещина. Новые атомные связи разрываются, и их вклад добавляется к ЭМИ. Таким образом, вклад пропорционален количеству разорванных атомных связей. Это обуславливает нарастание ЭМИ.

Результаты экспериментов, проведенных в подготовительных выработках шахт [6], показали, что существует функциональная связь потенциала естественного электрического поля и механических напряжений в массиве. Указанная связь наблюдается не только для горных пород, обладающих пьезоэффектом и диэлектрическими свойствами, но и для других горных пород и руд. Характерная особенность этого механоэлектрического явления заключается в том, что вектор напряженности поля сохраняет свою величину и направление длительное время при отсутствии изменений в напряженном состоянии массива.

Опыт приложения метода ЕИЭМПЗ к решению рассматриваемых здесь задач изложен в работе [6]. Разработан ряд методических рекомендаций по использованию метода для решения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач на угольных месторождениях Донбасса. Наблюдения в условиях непогашенных горных выработок показали достаточно высокую эффективность применения метода для прогноза их состояния.

По результатам теоретических и экспериментальных работ, можно сделать следующие выводы и рекомендации:

- слоистость как особенность текстуры горных пород Криворожского бассейна, присутствие кварца в их составе, являются благоприятными факторами возникновения электромагнитного излучения при деформации пород;
- векторы напряженности поля сохраняют свою величину и направление длительное время при отсутствии изменений в напряженном состоянии массива, что позволяет использовать разнонаправленные антенны прибора для их изучения;
- разрывообразование, разрушение кристаллической решетки минералов сопровождается излучением электромагнитных импульсов;
- интенсивность разрушения кристаллической решетки минералов, определенных объемов горных пород определяет количество им-

пульсов электромагнитного излучения, их амплитуду, суммарную энергию;

– чем выше степень обводненности разломной зоны, тем выше поглощение наблюдаемого естественного импульсного электромагнитного поля Земли («провалы» графиков ЭМИ); на этих участках можно ожидать вывалы больших объемов горных пород, сопровождающиеся оседанием дневной поверхности, что фиксировалось [6];

– электромагнитное излучение слабой интенсивности, которое наблюдается при разрушении горных пород и минералов, можно регистрировать с помощью аппаратуры нового поколения (прибор МИЭМП-4/1);

– возможности работы прибора в низкочастотной области электромагнитного излучения позволяют фиксировать сигнал, поступающий с глубины нескольких сот метров.

С целью выявления названных зависимостей для условий горных предприятий Криворожского бассейна нами были проведены целенаправленные экспериментальные работы, предварительная апробация метода и испытания прибора МИЭМП-4/1 [4]. Вначале исследования проводились на опытном полигоне, для которого разломная тектоника была выявлена с использованием комплекса геологических и геофизических методов. Результаты показали эффективную работу испытанной аппаратуры по выявлению активных разломов и их ориентировки. Даже с учетом одного показателя – амплитуды сигнала – было четко зафиксировано положение активного разлома в кристаллическом фундаменте. Несовпадение (наличие-отсутствие, слабая выраженность) максимумов импульса по осям X, Y, Z указывает на зависимость особенностей фиксации естественного импульсного электромагнитного поля от взаимной ориентировки активного разлома и антенн прибора, то есть позволяет определять такую важную характеристику разлома как его простирание. Если разлом обводнен, непосредственно над ним происходит поглощение электромагнитного сигнала, максимум усложняется, раздваивается, посередине образуется минимум, что подтвердило ранее полученные выводы [6]. Электромагнитное излучение «живущего» разлома (трещины) поглощается (уменьшается его амплитуда) водой, присутствующей в трещинной зоне.

Вторым полигоном испытаний был участок над туннелем, расположенным на глубине 10 м. Профили наблюдений располагались перпендикулярно его простиранию. В зоне расположения туннеля зарегистрированная средняя амплитуда сигнала имела значение, в несколько раз превышающее значение зарегистрированных сигналов в других точках профилей за пределами туннеля. Этим было установлено, что по крайней мере один из параметров электромагнитного поля – средняя амплитуда импульса, его повышенные значения – является критерием определения положения подземных пустот, не заполненных водой.

Анализ результатов опытов показал эффективность использования низкочастотной (0-1 кГц) области для выделения разломных зон с регистрацией сигналов, поступающих с глубины до 300-400 м. Диапазон 1-2 кГц регистрирует сигналы от тех же источников, но с меньшей глубины – первые десятки метров. В обводненных зонах сигналы в этих интервалах частот интенсивно гасятся. В средне- и высокочастотной области (диапазоны 2-7 кГц и 7-50 кГц) фиксируется «микросдвиговое» излучение, возникающее при незначительной по амплитуде, но обширной приповерхностной деформации в горном массиве, в том числе при техногенном механическом воздействии. Поглощение высокочастотной части спектра электромагнитного излучения в обводненных зонах не выявлено. Во всех случаях импульсное электромагнитное излучение связано с «живущими» разломными, трещинными зонами, микросдвигами в горной породе.

Кроме двух полигонов, описываемый метод прошел всестороннюю апробацию на действующих рудниках Криворожского бассейна [1-3]. На основе предварительно разработанных методических приемов, устанавливающих связи между параметрами регистрируемых сигналов методов ЕИЭМПЗ и РАП (резонансно-акустическое профилирование) и характером деформированности горного массива, обводненности отдельных зон, были проведены исследования прибортовых частей Первомайского карьера Северного ГОКа [7]. Целью работы было прогнозирование положения зон разуплотнения и геомеханического состояния горного массива, непогашенных приповерхностных горных выработок, выявление живущих разломов и трассирование обводненных тектонических нарушений как факторов, влияющих на степень нарушенности и состояние горного массива.

Была выполнена компьютерная обработка полученных данных, графические порейсовые построения, площадная интерпретация, созданы объемные 3D-модели массивов, выполнен их анализ совместно с имеющимися горно-геологическими материалами, результатами ранее проведенных работ. На основе этого были выделены участки с наиболее проявленной нарушенностью горного массива, предрасположенные к возникновению деформационных процессов, локализованных в зонах влияния «Главного нарушения» в северо-восточном борту Первомайского карьера и «Юго-западного нарушения» в его юго-западном борту. Было выявлено трехъярусное в геомеханическом отношении строение массива. Каждый ярус характеризуется своей особенностью проявления трещиноватости, блочности, ориентировкой и степенью ослабленности геомеханических контактов. Установлены две крупные фильтрационные зоны, в западном борту карьера в оси 59200 и в южном борту в оси 53200. Был сделан вывод о том, что степень нарушенности осадочного чехла возрастает к юго-восточной прибортовой части карьера.

Еще одним примером эффективного применения метода ЕИЭМПЗ являются результаты геофизических работ, выполненных с целью обос-

нования выбора участков под отвалы вскрышных пород для карьеров №3 и №4, которыми разрабатываются Петровское и Артемовское месторождения магнетитовых кварцитов Центрального ГОКа. В процессе работы проводилось выявление активных разломов, зон трещиноватости в кристаллическом массиве, ослабленных зон в осадочном чехле, трассирование обводненных тектонических нарушений, прогнозирование положения зон разуплотнения, как факторов, влияющих на устойчивость горного массива и развитие оползневых явлений. Изучался характер пространственного распределения степени обводненности горного массива Петровского месторождения по данным высокочастотного диапазона ЕИЭМПЗ (5-50 кГц). Было выявлено, что заметно обводненными являются северо-восточная и восточная части изученной территории (до 10000 и более имп./сек). Максимальная степень обводненности горных пород отмечена в верховьях восточной балки. Отмечена также тенденция к обводнению трещин субмеридионального направления.

На десятках полученных карт Петровского месторождения уверенно вырисовываются разломы северо-западного простирания. Разломные зоны глубинного и приповерхностного заложения в кристаллическом фундаменте отчетливо выражены практически во всех диапазонах ЭМИ. Соответственно, к ним приурочены зоны нарушений в осадочном чехле. Максимальные деформации чехла отмечаются вдоль балки Лисовая, в большей степени в ее тальвеговой части.

Подобные карты построены для Ореховского участка работ, где были также выделены разрывные нарушения в кристаллическом фундаменте, в осадочном чехле, оценена степень обводненности горного массива и даны прогнозные оценки возникновения оползневых явлений при формировании отвалов вскрышных пород.

В целом для территорий развития отвалов карьеров № 3 и № 4, выявлены следующие особенности строения.

Петровское месторождение (карьер №3).

Вдоль северного контура будущего отвала аномальных зон не выявлено, в зонах возможного нарушения кристаллического фундамента движения блоков не наблюдается. Аномалии в диапазоне частот 1-2 кГц, обнаруженные для тальвегов крупных балок, свидетельствуют о нарушении осадочного чехла в этих зонах. Установлено, что на склонах балок происходят микроамплитудные сдвиговые процессы (отдельные максимумы интенсивностью более 3000 ЭМИ, имп./сек в диапазоне частот 2-5 кГц). Кристаллический фундамент в западной части участка работ характеризуется относительно низкой трещиноватостью: по результатам площадной интерпретации данных ЕИЭМПЗ по всем каналам (X, Y, Z) в низкочастотном диапазоне 1-2 кГц (как по амплитуде так и по интенсивности ЭМИ) отсутствуют выраженные аномальные зоны. Отмечаются лишь отдельные «живущие» трещины, приуроченные к диагональному разлому северо-восточного простирания. Характер графиков ЭМИ в пределах участка крупного ответвления восточной балки

(низкочастотная область аномалий 0-1 кГц, на которую накладывается высокочастотная аномалия в диапазоне 5-50 кГц) однозначно указывает на интенсивную обводненность здесь горного массива. Установленное большое поле приповерхностных микросдвиговых деформаций, локализованное в восточной части изученной территории, предположительно, имеет техногенное происхождение (фиксирует работу железнодорожного транспорта).

Артемовское месторождение (карьер №4).

В восточном обрамлении отвалов № 2 и 3 в бортовых участках низовьев балок Александро-Марьевская и Осиповская выявлены активные трещины в кристаллическом фундаменте как глубокого, так и приповерхностного заложения, имеющие северо-западное простирание. В участке пикетов 39-42 по большим амплитудным максимумам ЭМИ зафиксированы деформации осадочного чехла. Обводнение горного массива установлено в пойменной части балки Осиповская. В западном обрамлении отвалов № 2 и №3 были обнаружены признаки деформации кристаллического фундамента: в отдельных точках амплитуда сигнала достигала 500 мВ. В участках отвержков указанных выше балок выявлены деформации осадочного чехла, которые можно рассматривать как зоны формирования оползней.

С использованием метода ЕИЭМПЗ с участием авторов на протяжении нескольких лет проводились также успешные масштабные работы с целью изучения и предотвращения техногенных катастроф в пределах природно и техногенно ослабленных зон месторождений и отвалов Глееватского карьера Центрального ГОКа и карьера Ингулецкого ГОКа [1, 3, 8].

Таким образом, прибор МИЭМП-1/4 позволяет регистрировать особенности естественного импульсного электромагнитного поля объекта исследований, по которым с большой долей вероятности можно определить механизм генерации этого поля – пьезоэффект или трещинообразование. Используя эти данные, можно фиксировать участки напряженного состояния горного массива, положение «живущего» разлома, его ориентировку и обводненность, наличие в горном массиве зон разуплотнения и пустот.

ЛИТЕРАТУРА

3. *Ахкозов Ю.Л., Грицай Е.Ю. Опыт использования метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли в картировании активизированных современными тектоническими движениями разломов при прогнозе оползневых явлений в Кривбассе / Известия отделения наук о Земле и природных ресурсов. Геология // Уфа: Изд. АН Республики Башкортостан, 2009. – №14. – С. 91-95.*

2. *Ахкозов Ю.Л., Чистяков Е.П., Чуприй С.В. Изменение физико-механических свойств осадочных пород над разломами кристаллического фундамента как фактор устойчивости отвалов / Горная геология, геомеханика и маркшейдерия. Сборник научных докладов // Донецк: УкрНИИМИ НАН Украины. – 2004. – С. 62-66.*

4. **Ахкозов Ю.Л., Грицай Е.Ю., Чепурной В.И., Близнюков Д.В.** Результаты применения метода ЕИЭМПЗ по прогнозу и предупреждению оползневых явлений в горном отводе Ингулецкого ГОКа / Научное обеспечение совершенствования методов производства открытых и подземных горных работ. Сборник научных трудов Научно-исследовательского горнорудного института // Кривой Рог: НИГРИ, 2009.– С. 156-163.

1. **Ахкозов Ю.Л., Чепурной В.И., Кулиш С.А., Чистяков Е.П.** О возможности аппаратуры СИЭМПЗ в организации мониторинга оползневых явлений в отвалах, обнаружения подземных пустот и обводненных зон в горном массиве / Научное обеспечение развития горнорудных предприятий на современном этапе. Сборник научных трудов Научно-исследовательского горнорудного института // Кривой Рог: НИГРИ, 2006.– С. 128-136.

5. **Бахова Н.И.** Явления электризации горных пород при механическом нагружении // Геофизический журнал.– 2006.– № 4.– С. 121-126.

6. **Белых И.С., Довбнич М.М., Кузина Г.П. и др.** Результаты применения метода наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для анализа состояния грунтового массива в сфере взаимодействия с подземными сооружениями // Науковий вісник Національного гірничого університету (Дніпропетровськ).– 2004.– №9.

7. **Грицай Е.Ю., Цибульская Н.В.** Оценка состояния горного массива Первомайского месторождения, интенсивно подработанного шахтными выработками / Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості». Кривий Ріг, 25-28 травня 2011 р. // Кривий Ріг: Видавничий центр Криворізького технічного університету, 2011.– С. 119-120.

8. **Грицай Е.Ю., Цибульская Н.В., Волков А.Г.** Прогнозирование техногенных нарушений горного массива северной части Ингулецкого карьера методом ЕИЭМПЗ / Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. Кривий Ріг, 22-24 листопада 2012 р. // Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2012.– С. 93-96.

9. **Соболев Г.А., Семерчан А.А., Салов Б.Г. и др.** Предвестники разрушения большого образца горной породы // Физика земли.– 1982.– № 8.– С. 29-43.

10. **Frid V., Rabinovitch A., Bahat D.** Fracture induced electromagnetic radiation // Journal of Physics. D: Applied physics.– 2003.– №36.– P. 1620-1628.

ГРИЦАЙ О.Ю., ЦИБУЛЬСКА Н.В., ВОЛКОВ О.Г. Використання методу ПІЕМПЗ при вивченні природної й техногенної тектоніки Кривбасу.

РЕЗЮМЕ. Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) використовувався для вивчення масивів гірських порід дослідних об'єктів і діючих гірничодобувних підприємств Криворізького басейну. Високу ефективність показало використання низько-частотної (0-1 кГц) області випромінювань для виділення зон розломів з реєстрацією сигналів, що надходять з глибини до 300-400 м. В діапазоні 1-2 кГц реєструються сигнали від тих же об'єктів але з меншою глибини – декілька десятків метрів. В обводнених зонах сигнали в цих

інтервалах частот інтенсивно гасяться. В середньо- та високочастотній областях (діапазони 2-7 кГц і 7-50 кГц) фіксуються «мікроссувні» електромагнітні випромінювання, які виникають при незначних за амплітудою, але значних за площею приповерхневих деформаціях гірничих масивів, в тому числі тих, що виникають при техногенному механічному впливі. Поглинання високочастотної частини спектру електромагнітного випромінювання в обводнених зонах не виявлене. В усіх випадках імпульсне електромагнітне випромінювання пов'язане з «живими» розломами, мікроссувами, зонами тріщинуватості гірських порід.

Ключові слова: Криворізький басейн, природна й техногенна тектоніка, п'єзоефект, електромагнітне випромінювання, метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ).

ГРИЦАЙ Е.Ю., ЦИБУЛЬСКАЯ Н.В., ВОЛКОВ А.Г. Применение метода ЕИЭМПЗ при изучении природной и техногенной тектоники Кривбасса.

РЕЗЮМЕ. Метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИМПЗ) применялся для изучения массивов горных пород опытных объектов и действующих горнодобывающих предприятий Криворожского бассейна. Высокую эффективность показало использование низкочастотной (0-1 кГц) области излучений для выделения зон разломов с регистрацией сигналов, поступающих с глубины до 300-400 м. В диапазоне 1-2 кГц регистрируются сигналы от тех же объектов, но с меньшей глубины – несколько десятков метров. В обводненных зонах сигналы в этих интервалах частот интенсивно гасятся. В средне- и высокочастотной областях (диапазоны 2-7 кГц и 7-50 кГц) фиксируются «микросдвиговые» электромагнитные излучения, возникающие при незначительных по амплитуде, но значительных по площади приповерхностных деформациях горных массивов, в том числе при техногенном механическом воздействии. Поглощение высокочастотной части спектра электромагнитного излучения в обводненных зонах не выявлено. Во всех случаях импульсное электромагнитное излучение связано с «живущими» разломами, микросдвигами, зонами трещиноватости горных пород.

Ключевые слова: Криворожский бассейн, природная и техногенная тектоника, пьезоэффект, электромагнитное излучение, метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).

GRYTSAY O. YU., TSYBULSKA N.V., VOLKOV O.G. Application of Method of Natural Impulsive Electromagnetic Field of the Earth when studying natural and technogene tectonic of Kryvbas.

SUMMARY. The Method of Natural Impulsive Electromagnetic Field of the Earth has been used for studying rock massifs of pilot facilities and existing operations in the Kryvyi Rih basin. The use of low-frequency (0-1 kgz) emitting area has shown high efficiency for determining faulting zones with registration of signal coming from the depth of up to 300-400 m. Signals from the same entities have been recorded within the range of 1-2 kgz but they

come from shallower depth of about several tens of meters. Signals fade within these frequency intervals at the watered zones. In the medium and high frequency areas (within the range of 2-7 kgz and 7-50 kgz) minute movement electromagnetic emissions are recorded that appear at slight amplitude but at important areas of subsurface rock massifs deformations including technogene mechanical influence. Absorption of high-frequency part of the spectrum of electromagnetic emission at watered zones has not been detected. Unexceptionally impulsive electromagnetic emission is connected with "living" faults, microshifts, zones of rocks jointing.

Key words: *the Kryvyi Rih basin, natural and technogene tectonics, piezoeffect, electromagnetic emission, Method of Natural Impulsive Electromagnetic Field of the Earth.*

*Надійшла до редакції 1 березня 2012 р.
Представив до публікації професор О.В.Плотников.*