

**УДК 550.83:622.83**

## **УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВНОСТИ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ**

**Иванов Л. А., Савченко А. В., Туманов В. В.,  
Трифонов А. С., Иванова Д. Л.**  
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*За основну умову прийнято відмінність фізичних властивостей порід, що обумовлена факторами тріщиноутворення, розкриття тріщин і змінення напруженого стану.*

*As the basic condition the difference in physical properties of rocks due to fracturing, opening of fractures and changes in stress state of rocks is taken.*

Добыча угля вблизи разрывных нарушений с амплитудой в десятки и сотни метров сопровождается проявлением опасных горно-геологических явлений, таких как выбросы пород, угля и газа. Трудная предсказуемость и не до конца понятная природа этих явлений влекут за собой многочисленные жертвы.

Значимая роль в формировании состояния массива горных пород принадлежит разрывным нарушениям. Учитывая новый взгляд на высокую активность разрывных нарушений не только в областях складчатости, но и на платформах, значимость данных нарушений становится еще большей. Это обстоятельство служит основанием для постановки вопроса об оценке современной геодинамической активности разрывных нарушений на шахтных полях Донбасса. Более узким вопросом, которому посвящена данная статья, является выяснение условий оценки указанной активности геофизическими методами.

В основе использования геофизических методов лежит дифференциация пород по физическим свойствам. Суждения о существенности и закономерном характере изменения физических свойств пород вытекают из представлений о современном проявлении активности разрывного нарушения. Поэтому решения рассматриваемого вопроса выполнялось на основе анализа литературных источников и собственных геофизических наблюдений.

Прямым признаком, указывающим на активность разрыва, служит скорость смещения блоков. Согласно работе [1] активным является разрыв, соответствующий одному из двух условий:

а) за четвертичный период геологического развития произошло относительное перемещение примыкающих блоков земной коры на 0,5 м и более;

б) относительные смещения блоков происходят со скоростями современных движений 5 мм/год и более.

По скорости смещения различаются также медленные (тектонический крип) и быстрые (сейсмогенные и импульсные) тектонические движения.

Активность разрыва является фактором, определяющим закономерное расположение локальных полей напряжений и деформаций, изменение которых сопровождается образованием трещин, а также их последующим закрытием и раскрытием. Открытая трещиноватость превращает отдельные участки разрывного нарушения в пути миграции и места скоплений флюидов. Низкая прочность трещиноватых пород способствует образованию на земной поверхности зон проявления экзогенных геологических процессов [2].

Поэтому активность разрыва может быть определена по ряду косвенных признаков: геоморфологическим, геофизическим, атмосферическим, гидрологическим, метеорологическим и др. Однако это отдельный вопрос, которому посвящены многочисленные публикации [3, 4].

Пространственное изменение физических свойств и напряженно-деформированного состояния разрывного нарушения следует из его зональной модели [5, 6]. В соответствии с этой моделью по вертикали постепенно сменяются пять зон, глубина кото-

рых зависит от геодинамических режимов и напряженного состояния литосферы. В плане от оси нарушения выделяются следующие зоны: а) интенсивной деформации и дробления пород; б) повышенной трещиноватости; в) незначительных вариаций напряженного состояния. В плане также выделяется область динамического влияния нарушения, ширина которой зависит главным образом от мощности слоя, вовлеченного в деформацию и длины разрывов.

Для разрывных нарушений любого типа и ранга выделяются три стадии формирования структуры разломной зоны [7]. Первая стадия характеризуется образованием широкой зоны распространения сравнительно мелких разнотипных опережающих разрывов, а также проявлением рассеянной и пространственно регулярной сейсмической активности. Для второй стадии характерна узкая зона распространения сравнительно крупных ответвляющихся нарушений и ярко выраженная дифференциация разломной зоны на два типа участков. Первый тип участков характеризуется сложной сетью сочленения ответвляющихся нарушений и проявлением сейсмической активности, второй тип – развитием обычно одного разрыва и проявлением криповых движений. На третьей стадии разлом выражен единственным магистральным сместителем, состоящим из изгибов и прямолинейных участков. К изгибам сместителя приурочены опережающие разрывы и сейсмическая активность, тогда как на его выровненных участках проявляются криповые движения.

Следовательно, внутренняя структура разломной зоны определяет пространственное распределение криповых и быстрых движений. Поэтому вполне правомочно детализацию и дифференциацию разломной зоны рассматривать как способ прогнозирования распространения участков с различной скоростью движения. Вопрос детализации геологического строения успешно решается геофизическими методами. Наиболее эффективными в этом отношении являются методы сейморазведки и электроразведки. Поэтому использование геофизических методов для выявления деталей строения разломной зоны представляет собой отдельное направление оценки геодинамической активности разрывного нарушения.

Активность разрыва, напряженно-деформированное состояние и физические свойства пород также изменяются во времени. Не вдаваясь в различные причины их возникновения, следует отметить главное по отношению к геофизическим наблюдениям: временное изменение активности представляет собой сумму наложенных периодик. Часть из них является наиболее контрастными и основными. В настоящее время наряду с длительными периодами активности (исчисляемыми сутками, месяцами, годами и более) современными техническими средствами установлен широкий спектр короткопериодных колебаний. Согласно работе [8] наиболее четко выделяются гармоники с длительностью периода от 30 до 60 минут. При этом максимальные горизонтальные деформации могут достигать 57 мм, вертикальные – 108 мм.

Таким образом, современная активность разрыва является фактором, определяющим закономерное пространственно-временное изменение напряженного состояния, трещинообразования и раскрытости трещин. Данные характеристики пород являются причиной существенного изменения упругих, электрических, плотностных и магнитных свойств, лежащих в основе использования геофизических методов разведки. Расположение участков и величина изменения физических свойств пород зависят от внутренней структуры разломной зоны. Изменение физических свойств пород во времени контролируется набором основных периодик.

В соответствии с закономерным изменением физических свойств пород в пространстве и во времени выделяются два направления использования геофизических методов разведки для оценки активности разрывных нарушений. Первое направление базируется на выявлении деталей внутренней структуры разломной зоны, обусловленной разрывообразованием. Второе направление заключается в мониторинге вариаций геофизических полей, обусловленных современным изменением напряженно-деформированного состояния пород.

Реализация указанных направлений подтверждается отдельными примерами, наиболее близкими к решению рассматриваемой задачи.

В инженерной геофизике, исследующей верхнюю часть разреза, изменение напряженного состояния пород определяется по зависимостям упругих свойств, акустической и электрической эмиссии от значений действующего напряжения в массиве. При качественном изучении напряженного состояния используется метод преломленных волн, вертикальное сейсмическое профилирование, сейсмическое просвечивание, измерение акустической и электромагнитной эмиссии. Количественная оценка напряжения в массиве пород определяется с помощью комплекса разночастотных сейсмоакустических методов с использованием зависимостей скоростей упругих волн от давления [9].

В методе сейсмической локации бокового обзора регистрируется пространственное изменение энергии рассеяния волн. Данная энергия зависит от открытой трещиноватости пород, картирование которой может быть использовано для изучения структуры разломной зоны, оценки современного напряженно-деформированного состояния пород и как следствие активности разрывного нарушения [10].

Поляризационная модификация метода преломленных волн позволяет оценить параметры поляризации главной поперечной волны, образующейся на верхней жесткой границе пласта. Данный метод дает возможность изучать напряженно-деформированное состояние отложений, следить за изменением обстановок сжатия и растяжения, определять границы тектонических блоков по изменению направлений поляризации поперечной волны. При этом считается, что частая смена напряженного состояния на сравнительно небольшом расстоянии свидетельствует о тектонической активности данного участка [11].

Устойчивая связь установлена между сейсмическими шумами с частотой колебаний от 0,7 до 1,4 Гц и латеральными неоднородностями новейшей структуры древней платформы [12]. Данную связь можно объяснить унаследованием новейшего структурного плана массива горных пород его современными деформациями (сейсмическими шумами). Следовательно, представляется возможным использование шумометрии как для детализации внутренней структуры разломной зоны, так и для изучения ее текущей активности.

Положительные результаты получены при использовании метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для изучения тектонических нарушений. Установлено, что минимумы электромагнитного излучения (ЭМИ) соответствуют зонам разрывных нарушений, максимумы – их блокам. Ширина участков с максимальными значениями ЭМИ соизмерима с размером тектонических блоков [13]. При этом максимумы ЭМИ объясняются повышенным напряженным состоянием тектонических блоков, минимумы – поглощающими свойствами, как правило, обводненных зон нарушений. Поэтому метод ЕИЭМПЗ используется для детализации разрывных нарушений. В подземных выработках данный метод используется для изучения деформаций массива горных пород [14, 15].

Структурно-геодинамическое картирование (СГДК) создано для оперативного выполнения геодинамических исследований. СГДК состоит из малоглубинных методов эманационной, газовой и электромагнитной съемки. Указанными методами исследуются приповерхностные отложения, в которых наиболее контрастно проявляются петрофизические эффекты, возникающие значительно глубже в коренных породах и обусловленные геодинамической активностью. Покровные отложения активно реагируют на наименьшие изменения коренных пород, образуя аномалии поля напряжений. Деформации покровных отложений способствуют изменению их эманационной способности, газопроницаемости и азимутальной анизотропии электропроводности, что соответственно фиксируется эманационной, газовой и электромагнитной съемкой [16, 17].

Результаты исследований, полученные в УкрНИМИ НАН Украины, подтверждают возможность использования геофизических методов для детализации разрывной тектоники и оценки напряженного состояния массива горных пород на шахтных полях Донбасса.

Установлено, что сейсмическое зондирование на глубину покровных отложений позволяет выявить перераспределение напряженного состояния, обусловленное подработкой углепородного массива и современными движениями разрывного нарушения. За счет перераспределения напряженного состояния энер-

гетический показатель низкоскоростных низкочастотных волн канальной природы в течение нескольких месяцев может увеличиваться и уменьшаться в два-три раза, а энергетический показатель высокочастотной составляющей рефрагированных волн – в четыре раза (рис. 1). Поэтому низкоскоростные низкочастотные волны канальной природы и высокочастотная составляющая рефрагированных волн могут использоваться для объективного и оперативного контроля текущего изменения напряженного состояния углепородного массива [18, 19].

По данным пассивной сейсморазведки выявлено распространение в массиве горных пород низкочастотных (от 10 до 12 Гц) сейсмических колебания с высокой энергией. Данные колебания образуются преимущественно в основной кровле в области очистного забоя и могут указывать на образование опасной геодинамической ситуации, в том числе и в зоне влияния разрывного нарушения [20].

Результаты исследования методом ЕИЭМПЗ показывают, что уменьшение плотности потока ЭМИ больше зависит не от амплитуды разрывного нарушения, а от степени трещиноватости пород и ширины зоны влияния нарушения. Также установлено, что на участке распространения разрывного нарушения образуются узкие аномалии ЭМИ (шириной 50-150 м, протяженностью более 500 м), разделенные фоновыми участками (размером от 100 до 500 м) и соответствующие трем категориям геодинамической активности [21, 22].

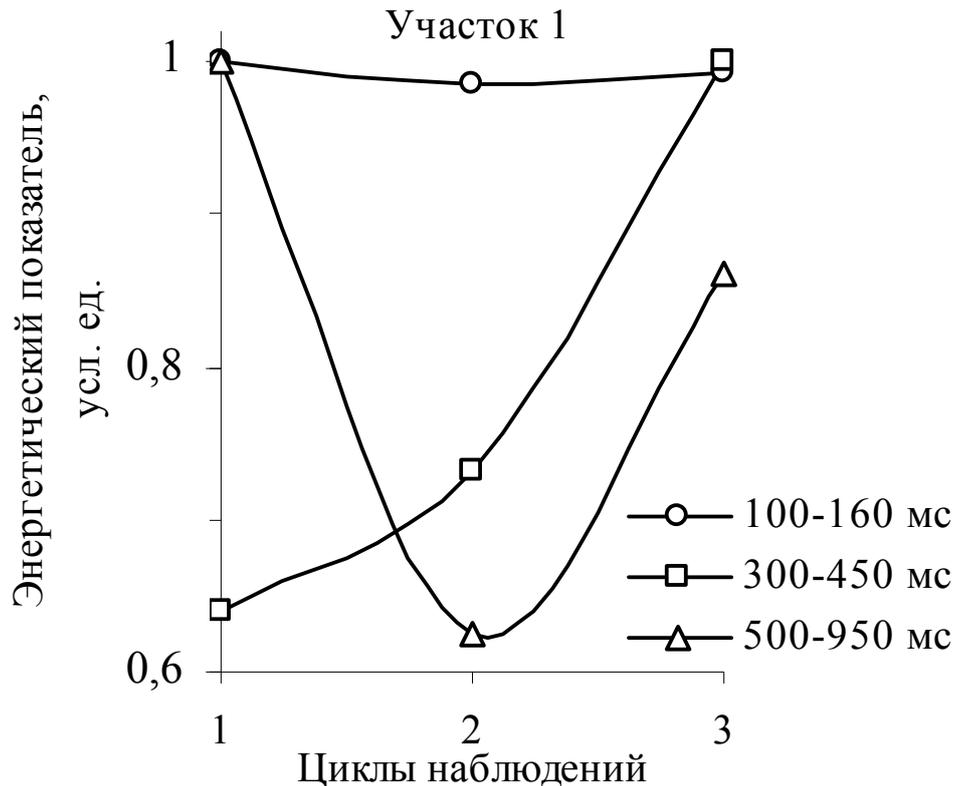


Рис. 1. Энергетический показатель сейсмических сигналов по трем циклам наблюдений на первом участке подработанного массива в зоне Котлинского надвига на шахтном поле ш/у “Покровское” в Красноармейском углепромышленном районе Донбасса: 1 цикл – 07.08.2012 г; 2 цикл – 26.09.2012 г; 3 цикл – 20.11.2012 г; 100-160 мс – временной интервал рефрагированных волн; 300-450 мс – временной интервал поверхностных волн; 500-950 мс – временной интервал низкоскоростных низкочастотных волн канальной природы

**Выводы.** В результате исследований установлено:

1. Изменение физических свойств пород, связанное с их трещинообразованием, раскрытием трещин и изменением напряженного состояния, обусловленное проявлением современной активности разрыва, является условием использования геофизических методов для оценки данной активности. Наиболее чувстви-

тельными к указанным изменениям пород являются методы сейсморазведки и электроразведки.

2. Закономерное изменение физических свойств пород внутри разломной зоны, а также с течением времени позволяет выделить два направления использования геофизических методов. Первое направление заключается в детализации и дифференциации внутренней структуры разломной зоны, второе направление – в выявлении периодических изменений геофизических полей в пределах этой зоны.

3. Отдельные примеры исследования подтверждают правомочность выделения указанных условий и направлений использования геофизических методов.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. РБ 019-01. Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных. Утверждена постановлением Госатомнадзора России от 28 декабря 2001 г. № 16. М. — 2001 [Электронный ресурс] / Режим доступа : [www/ URL http://libgost.ru/rb/66426\\_Tekst\\_RB\\_019\\_01\\_Ocenka\\_seiysmicheskoiy\\_opasnosti\\_uchastkov\\_razmesheniya\\_yaderno\\_i\\_radiacionno\\_opasnyh\\_ob\\_ektov\\_na\\_osnovanii\\_geodinamicheskikh\\_dannyh.html#i316323/](http://www/libgost.ru/rb/66426_Tekst_RB_019_01_Ocenka_seiysmicheskoiy_opasnosti_uchastkov_razmesheniya_yaderno_i_radiacionno_opasnyh_ob_ektov_na_osnovanii_geodinamicheskikh_dannyh.html#i316323/) 02.11.2012. — Загл. с экрана.
2. Тяпкин О. К. Использование тектонической информации в вопросах техногенно-экологической безопасности [Текст] / О. К. Тяпкин, Н. В. Кушинов, А. Л. Лозовой // Матеріали науково-технічної конференції “Основні напрями забезпечення безпеки населення та стійкості функціонування господарства України при загрозі виникнення природних та техногенних катастроф”. — Київ, 1997. — С. 64—66.
3. Гзовский М. В. Основы тектонофизики [Текст] / М. В. Гзовский. — М. : Наука, 1975. — 536 с.
4. Кофф Г. Тектонические разломы в сейсмоактивных областях и строительное проектирование [Текст] / Г. Кофф, О. Кабанцев, Р. Лобацкая // Проект. — 1995. — № 5-6. — С. 26—30.

5. Семинский К. Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект [Текст] / К. Ж. Семинский. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал “Гео”, 2003. — 243 с.
6. Семинский К. Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект [Текст] / К. Ж. Семинский, А. С. Гладков, О. В. Лунина, М. А. Тугарина. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, Филиал “Гео”, 2005. — 293 с.
7. Шерман С. И. Тектонофизические исследования в Институте земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи [Текст] / С. И. Шерман, К. Ж. Семинский // Геодинамика и тектонофизика. — 2010. — Т 1. — № 1. — С. 1—43.
8. Панжин, А. А. Исследование короткопериодных деформаций разломных зон верхней части земной коры с применением спутниковой геодезии [Электронный ресурс] / А. А. Панжин. — Екатеринбург, ИГД УрО РАН. 2002. — Режим доступа: [www/ http://igd.uran.ru/geomech/articles/paa\\_001/](http://igd.uran.ru/geomech/articles/paa_001/) 02.11.2012. — Загл. с экрана.
9. СП 11-105-97. “Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI . «Правила производства геофизических исследований” [Текст] / Госстрой России. — М. : Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС) Госстроя России, 2004. — 61 с.
10. Казморгеофизика. СЛБО [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/ http://geophysics.kz/kazmor/slbo.php/](http://geophysics.kz/kazmor/slbo.php/) 02.11.2012. — Загл. с экрана.
11. Амиров А. Н. Опыт применения вертикального сейсмического профилирования на поздних стадиях геологоразведочных работ в Татарстане [Текст] / А. Н. Амиров, Т. Н. Ишуев, Г. Н. Знатокова, А. К. Доронкин, Р. М. Минуллин, А. Т. Панарин // Геология нефти и газа. — 1999. № 5-6. — С. 21—29.
12. Трегуб А. И. Изучение сейсмических шумов в комплексе методов исследования тектоники древних платформ (на примере территории ВКМ) [Текст] / А. И. Трегуб, Р. А. Орлов // Вестник ВГУ, Серия : геология. — 2008. — № 5. — С. 176—180.

13. Соломатин В. Н. Опыт регистрации естественного импульсного электромагнитного поля при обследовании Ялтинского тоннеля [Текст] / В. Н. Соломатин, И. Н. Васильев, Ш. Р. Мاستов // Инженерная геология. — 1963. — № 5. — С. 93—96.
14. Белый И. С. Некоторые результаты применения метода наблюдения ЕИЭМПЗ в подземных сооружениях (в выработках шахт, метро, тоннелях) [Текст] / И. С. Белый, М. М. Довбнич, Г. Л. Кузина, Г. М. Стюас // Сб. науч. докл. — Донецк : УкрНИМИ. — 2004. — Ч. 1. — С. 161—164.
15. Белый И. С. Прогноз горно-геологических условий по результатам наблюдений ЕИЭМПЗ на шахте им. Сташкова [Текст] / И. С. Белый, В. И. Кушнир // Уголь Украины. — 1994. — № 9. — С. 36—38.
16. Селюков Е. И. Краткие очерки практической микрогеодинамики [Текст] / Е. И. Селюков, Л. Т. Стигнеева. — СПб. : Питер, 2010. — 176 с.
17. Тахтомиров Е. П. Новый метод выявления зон напряженного состояния в горном массиве [Текст] / Е. П. Тахтомиров, Б. С. Панов, В. И. Алехин, В. И. Купенко, С. Ю. Приходько, А. Я. Аноприенко // Донбас-2020 : наука і техніка – виробництву : матеріали III наук.-практ. конф. 30-31 травня 2006 р. м. Донецьк. — ДонНТУ, 2006. — 701 с.
18. Трифонов А. С. Исследование влияния напряженного состояния верхней части подрабатываемого массива на параметры сейсмических сигналов [Текст] / А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов, А. И. Архипенко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Вип. 4 / Під заг. ред. А. В. Анциферова. — Донецьк, 2009. — С. 61—70.
19. Antsyferov A. Changes of overburden stresses in time and their manifestations in seismic wave indices [text] / Antsyferov A., Trifonov A., Tumanov V., Ivanov L. / VII International scientific-practical conference “School Underground Mining” // Annual Scientific-Technical Collection “Mining of Mineral Deposits”. — Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. — P. 23—27.
20. Трифонов А. С. Сейсмические проявления геодинамических процессов над очистной выработкой [Текст] / А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов, Я. М. Юфа, А. И. Архипенко //

- Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Вип. 2. / Під заг. ред. А. В. Анциферова. — Донецьк, 2008. — С. 83—89.
21. Туманов В. В. Исследование аномальных зон подработанного массива горных пород комплексом наземных геофизических методов [Текст] / В. В. Туманов, А. И. Компанец, Е. В. Сухина, А. В. Савченко, Ю. В. Пакин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Вип. 3 / Під заг. ред. А. В. Анциферова. — Донецьк, УкрНДМІ, 2008. — С. 61—79.
22. Туманов В. В. Савченко А. В., Богак М. Ю., Шурховецкий С. А. Оценка геодинамического строения шахтных полей геофизическими методами [Текст] / В. В. Туманов, А. В. Савченко, М. Ю. Богак, С. А. Шурховецкий // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Вип. 1 / Під заг. ред. А. В. Анциферова. — Донецьк, УкрНДМІ, 2007. — С. 115—127.