

УДК 550.834:622.12

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ДЛЯ ПРОГНОЗА НАРУШЕННОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧЕНИЯ

Тиркель М. Г., Селяков Б. И., Компанец А. И., Базеева Р. П.  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Показана можливість пошуку порушення шахтного пласта з використанням тривалості сейсмічного імпульсу.*

*Possibility of hunting mine seam discontinuity using seismic wavelet duration is shown.*

В угледобывающей промышленности, как ни в какой другой сфере производства, рентабельность, технология, эффективность и безопасность труда зависят от геологических условий разработки месторождений. Это предопределяется разнообразием и изменчивостью горно-геологических условий и вытекающими из них осложнениями при ведении эксплуатационных горных работ и состоянием техники безопасности.

В последние годы в связи с повышением глубины разработки и осложнением горно-геологических условий добычи угля, обусловленного отработкой участков угольных пластов с наличием разного типа геологических нарушений, внезапная встреча которых резко снижает эффективность и безопасность ведения добычных работ, возникла необходимость в детальной и надежной информации об условиях залегания угольного пласта и вмещающих пород, наличия и характера геологических нарушений, их типов и параметров в массиве горных пород.

Повышение достоверности и надежности прогноза геологической нарушенности углепородного массива и зон, опасных по

выделению метана, возможно при использовании геофизических методов. Масштабное изучение зон геологической нарушенности, а также исследование их физических характеристик средствами геофизики, позволит значительно повысить безопасность и эффективность разработки угольных месторождений на основе использования геофизических методов прогнозирования горно-геологических условий отработки угольных пластов.

Анализ и оценка разрешающей способности методов шахтной геофизики показывает, что даже наиболее эффективные методики нуждаются в безотлагательном последующем развитии и обобщении. Главным направлением исследований является разработка критериев определения типа и параметров нарушений, что позволит разделять аномалии разной природы и получать прогнозную информацию с необходимой для угледобывающей промышленности детальностью.

При трассировании и оконтуривании разрывных нарушений, подсеченных горными работами, используется оценка изменения кинематических, динамических и спектральных параметров проходящих сейсмических волн [1 – 3]. При этом предполагается, что лучи просвечивания проходят как через область нарушения, так и через «чистый», ненарушенный участок. Однако, в случае распространения разрывного нарушения вдоль всего профиля исследования, то есть когда все или большая часть сейсмических лучей проходят только через разрывное нарушение, выявление его обычными методами обработки и интерпретации [4] зачастую проблематично. На рис. 1 приведен план горных работ по лаве 1049 шахты «Днепровская». Указанными методами нарушение было выявлено частично. Однако, при ведении горных работ зафиксированы многочисленные разрывные нарушения по всей длине лавы. Из этого следует, что необходим дополнительный способ обработки результатов сейсморазведки.

Идея предлагаемого способа заключается в использовании того факта, что глубина проникновения в отражающий слой преломленной волны превышает амплитуду разрывных нарушений.

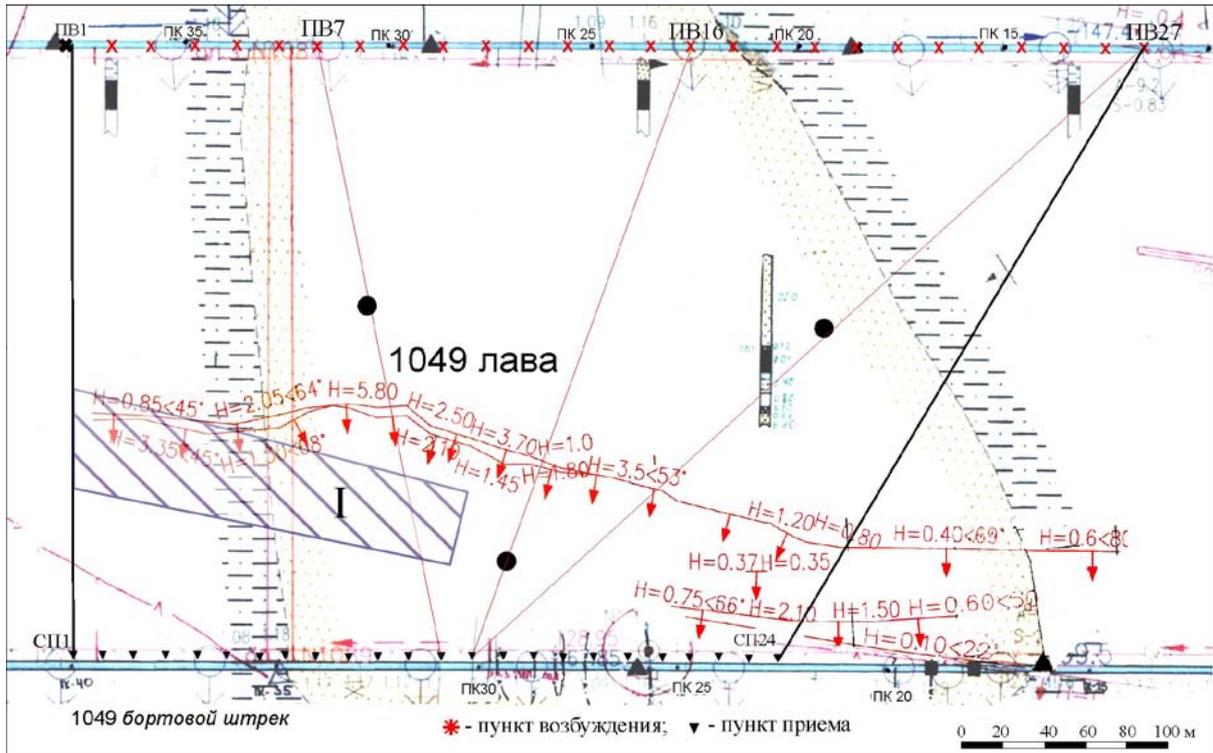


Рис. 1. План горных работ по лаве 1049 шахты «Днепровская». Знаком ● обозначено положение нарушения, рассчитанное предлагаемым способом, I - зона распространения тектонической нарушения с амплитудой смещения выше мощности пласта по геофизическим данным

При используемых в шахтной сейсморазведке частотах 50-200 Гц и соответствующих длинах волны – от 10 м и выше сейсмический импульс практически не “чувствует” мелкие и средние тектонические нарушения. Типичный одиночный импульс преломленной волны представлен на рис. 2 а.

Если имеются две преломляющие границы, расположенные по обе стороны от угольного пласта и расстояние от которых до пласта не сильно отличается, преломленные волны интерферируют, и длительность сигнала увеличивается (рис. 2 б). Зная геометрию залегания угольного пласта и длительность исходного сейсмического импульса (который практически совпадает с импульсом 2 а) можно оценить длительность интерференционного импульса 2 б.

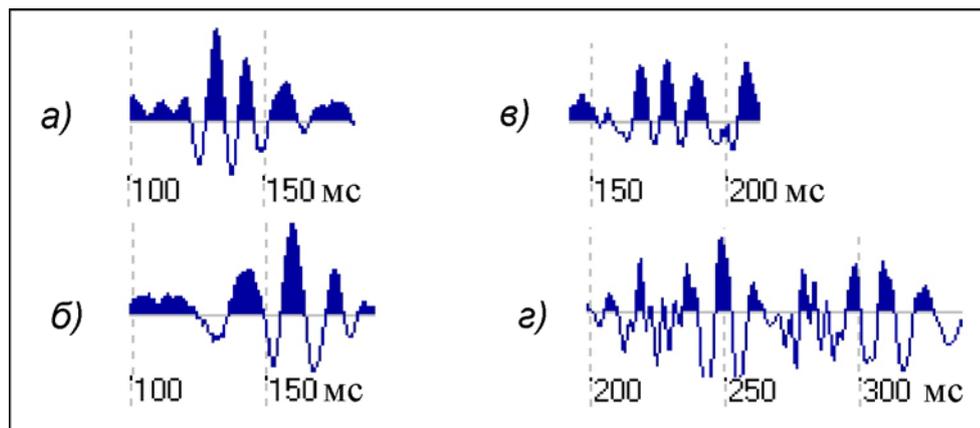


Рис. 2. Примеры сейсмических импульсов: *а* – одиночный импульс; *б* - интерференция двух импульсов, преломленных на верхней и нижней отражающих границах; *в* - интерференция трех преломленных импульсов; *г* - хаотичный импульс, присущий многочисленным нарушениям

Теперь рассмотрим регистрируемый сигнал при наличии нарушения (рис. 3).

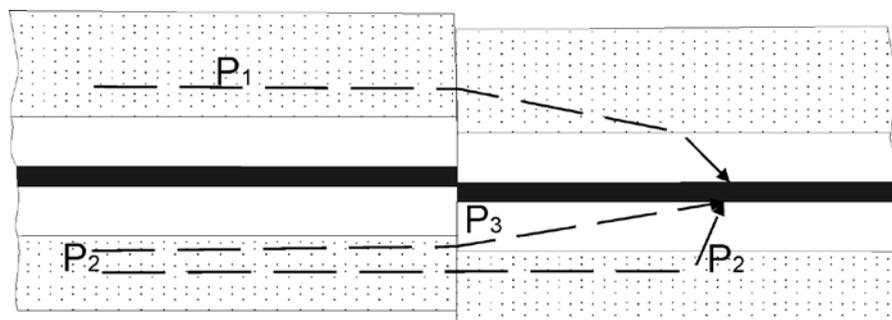


Рис. 3. Распространение сейсмических волн при наличии нарушения

Поскольку залегание угольного пласта и вмещающих пород весьма неоднородно ограничимся приближенным рассмотрением при помощи геометрической акустики. В рассматриваемой геометрии преломленная волна  $P_1$  (рис. 3), распространяющаяся в верхнем отражающем слое практически не “чувствует” нарушение (будет в дальнейшем распространяться как обычная преломленная волна  $P$ , поскольку попадает в ту же среду) и регистри-

руемый сигнал будет аналогичным представленному на рис. 2 а. Распространение преломленной волны невозможно в слое, в котором отношение мощности слоя к длине волны меньше 0.2 (т.е. глубина проникновения преломленной волны в слой, больше величины смещения нарушения). Другими словами, преломленная волна, распространяющаяся в нижнем отражающем слое  $P_2$ , разделяется границей на две волны. В нижней части слоя  $P_2$  волна будет продолжать двигаться как преломленная волна  $P_2$  и даст увеличение длительности импульса так же как и на рис. 2 б. В верхней части слоя  $P_2$  преломленная волна  $P_2$  превратится в прямую волну  $P_3$  со скоростью, присущей вешележащей среде. Поскольку в этом слое скорость значительно ниже скорости в отражающем горизонте, то регистрируемый импульс будет значительно длиннее, чем на рис. 2 б (см. рис. 2 в) за счет интерференции трех волн. Таким образом, длительность регистрируемого импульса свидетельствует о наличии нарушения. Если удастся выявить момент вступления  $t$  верхней части нижней головной волны, то легко рассчитать расстояние до нарушения.

Одним из способов выделения момента вступления волны  $P_3$  может быть следующий: записывается форма и длительность исходного сейсмического импульса недалеко от пункта возбуждения, создается «маска» этого импульса, нормируется по началу выделенного пакета волн на сейсмотрассе а затем последовательно вычитается из пакета до проявления волны  $P_3$ .

При известном  $t$  расстояние  $x$  от пункта приема до нарушения по линии пункт возбуждения – пункт приема можно вычислить по формуле:

$$x = \left( t - \frac{S}{V_k} \right) / \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_k} \right) = \frac{V_1 \cdot (t \cdot V_k - S)}{V_k - V_1}$$

где  $S$  – расстояние по трассе, м;

$V_k$  – кажущаяся скорость преломленной  $P$  волны, м/с;

$V_1$  – скорость прямой  $P_3$  волны, м/с.

К сожалению, рассчитать расстояние до нарушения возможно только при единичном нарушении, однако, если сигнал длителен (длиннее, чем на рис. 2 б) и хаотичен (рис. 2 з) это свидетельствует о наличии множественных нарушений.

К, примеру, при исследовании на наличие нарушения в лаве 1049 шахты «Днепровская» (рис. 1) сигналы типа 2 в приходили из пунктов возбуждения 7, 16 и 27 к сейсмоприемникам 13, 14 и 14 соответственно. Знаком ● отмечены расчетные точки положения нарушения. Все остальные сигналы были типа 2 з, что свидетельствует о наличии неоднократных нарушений. Если аппроксимировать полученные точки положения нарушения прямой линией, то её положение приблизительно совпадет с положением нарушений.

На поле лавы 1086 той же шахты (рис. 4) этим методом выделен сектор, очерченный прямыми линиями, где наблюдается нарушение, и его рассчитанное положение.

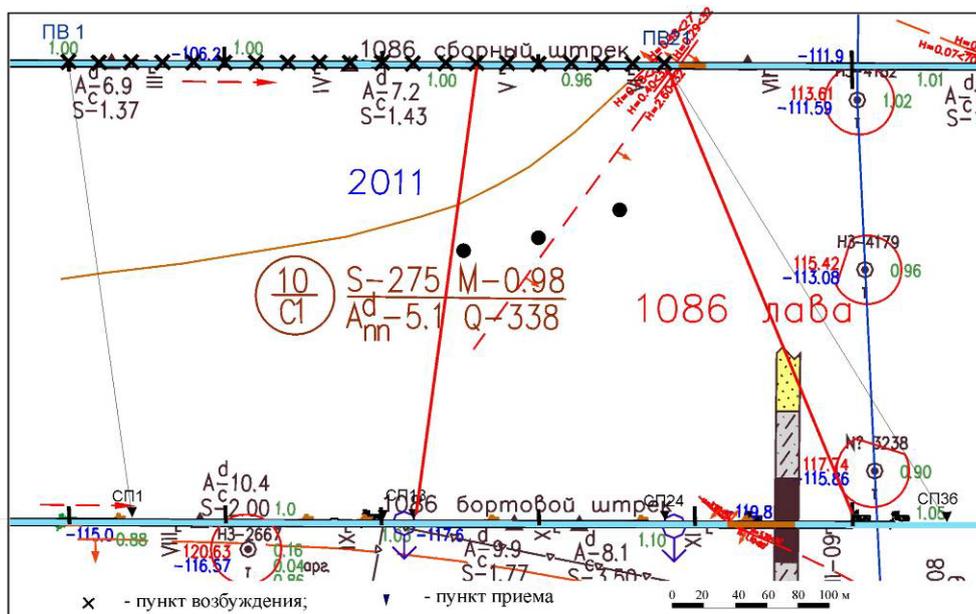


Рис. 4. Результаты расчетов предлагаемым методом положения нарушения на поле лавы 1086

На рис. 5 приведены результаты отработки угольного пласта в 113-й лаве шахты «Должанская-Капитальная», совпадающие с геофизическим прогнозом при стандартной обработке данных. Для этой же лавы (рис. 6) без расчетов простой визуальный анализ сейсмограмм на основе предлагаемого метода позволяет указать область наличия геологических нарушений.

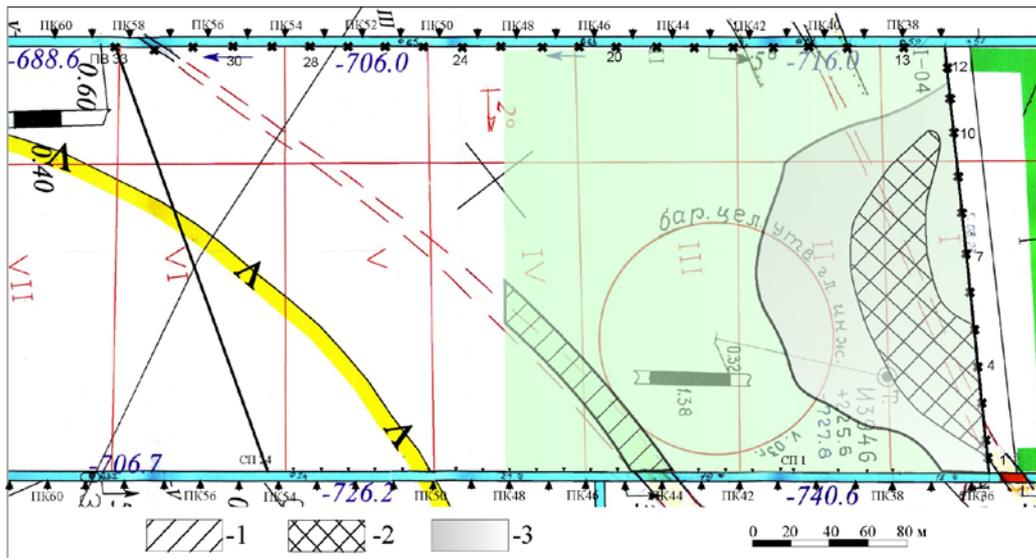


Рис. 5. Результаты обработки угольного пласта в 113-й лаве шахты «Должанская-Капитальная»: 1 - частичный размыв угольного пласта; 2 - зона ослабленных трещиноватых пород и угля при максимальном расщеплении пласта; 3 - расщепление пласта

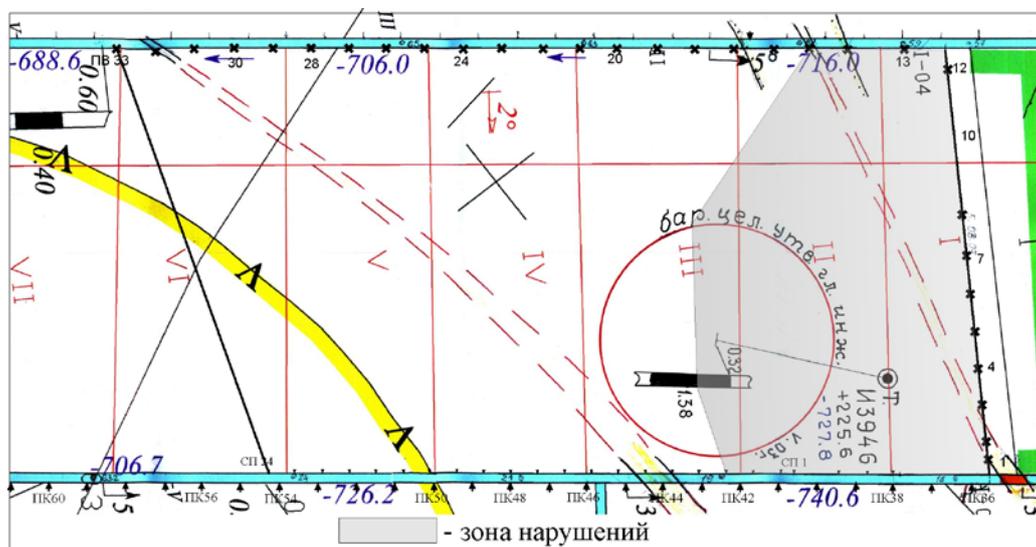


Рис. 6. Зона нарушений в плане лавы 113 шахты «Должанская-Капитальная» по визуальному анализу сейсмограмм на основе предлагаемого метода

На рис. 7 и рис. 8 сравниваются результаты обработки данных в 18-й западной лаве шахты им. А. Ф. Засядько стандартными методами и предложенным способом.

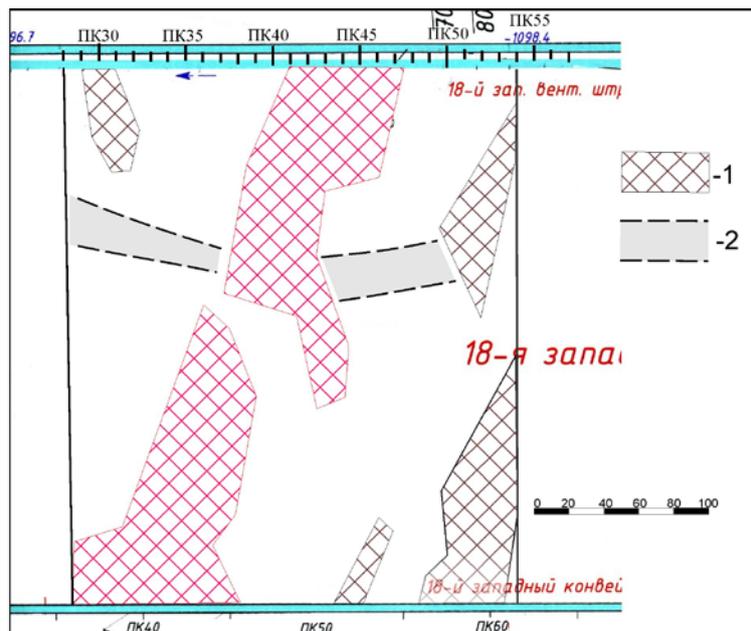


Рис. 7. Результаты сейсморазведочных работ в 18-й западной лаве шахты им. А. Ф. Засядько: 1 – зона тектонической нарушенности; 2 – изменение физических свойств углевмещающего массива

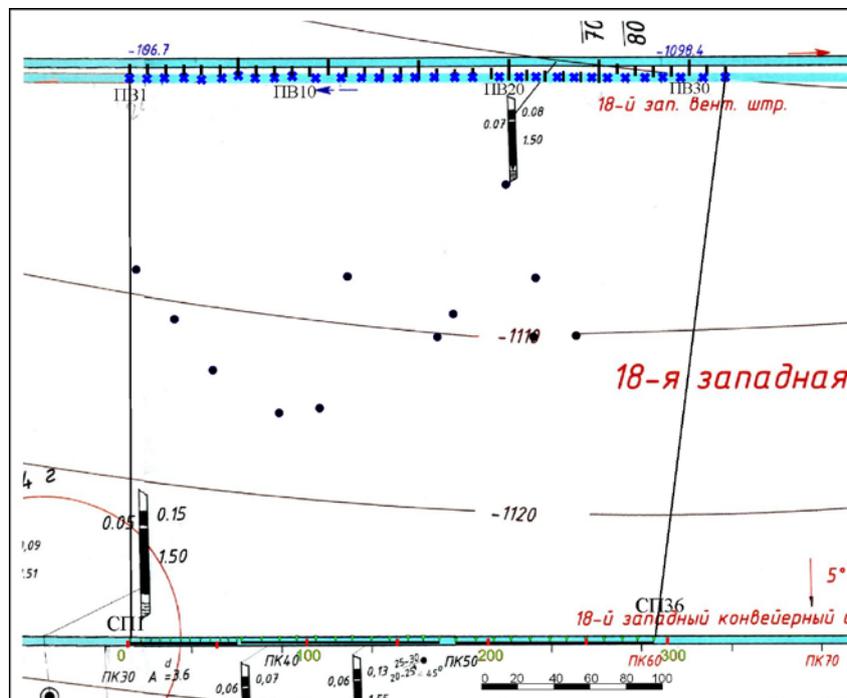


Рис. 8. Положение нарушения (знак●) в 18-й западной лаве шахты им. А. Ф. Засядько, рассчитанное предложенным способом

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенный метод обработки сейсмических данных может быть дополнением к уже существующим а, в некоторых случаях, единственным методом, позволяющим получить необходимые данные о наличии тектонических нарушений углепородного массива при подземной отработке угольных пластов.

Комплексная обработка и интерпретация материалов шахтных геофизических работ различными методами, позволит повысить точность и достоверность применяемых методов прогноза, а также избежать неоднозначности интерпретации полученных результатов. Использование материалов геофизического прогноза позволит уменьшить непроизводительные затраты при проходке горных выработок, а также повысить безопасность ведения горных работ в результате заблаговременного применения мероприятий при подходе к зонам тектонической нарушенности.

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Тиркель М.Г., Глухов А.А. Теоретическое обоснование нового способа описания аномалий при сейсмическом прогнозе строения горного массива // Зб. наукових праць “Проблеми гірського тиску”. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – № 11. – С.29 – 41.
2. Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Компанец А.И. Применение шахтной сейсморазведки для прогноза малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов // Науковий вісник Національного гірничого університету, № 11, Дніпропетровськ, 2007. С. 56 – 62.
3. Азаров Н.Я., Тиркель М.Г., Компанец А.И., Анциферов А.В. Использование амплитудно-частотных характеристик упругих волн для прогноза геологических неоднородностей угольных пластов // Зб. наукових праць “Проблеми гірського тиску”. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – № 16. – С. 5 – 25.
4. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: ООО “Алан”, 2003. – 311 с.