

УДК 550.834:622.12

**В.А. Анциферов, канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник**

Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, г. Донецк, Украина,  
e-mail: ukrnimi@ukrnimi.donetsk.ua

## **О МЕТОДИКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГАЗОНОСНЫХ СТРУКТУР И УЧАСТКОВ ПОВЫШЕННЫХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ**

**V.A. Antsiferov, Cand. Sci. (Tech.),  
Senior Research Fellow**

Ukrainian Research and Design Institute of Mining Geology,  
Geomechanics and Surveying, Donetsk, Ukraine,  
e-mail: ukrnimi@ukrnimi.donetsk.ua

## **ON THE METHOD OF SEISMIC PREDICTION OF PROMISING GAS- BEARING STRUCTURES AND AREAS OF INCREASED GAS EMISSION**

В настоящей работе описана разработанная в УкрНИМИ НАН Украины методика проведения прогнозных сейсморазведочных работ по поиску перспективных газоносных структур для добычи метана, а также прогноза участков вероятных повышенных газовыделений. Приведены конкретные примеры, доказывающие эффективность и надежность её практического использования в условиях Донбасса.

**Ключевые слова:** *газоносные структуры, угленосные формации, добыча метана, сейсмический прогноз, участки повышенных газовыделений*

При изучении газоносности угленосных формаций Донецкого бассейна в последнее время начали применяться сейсморазведочные исследования, одной из основных задач которых является поиск перспективных газоносных структур для добычи метана как дополнительного ресурса энергетического сырья [1–3]. Кроме этого актуальна проблема прогноза вероятных участков повышенных газовыделений, которые являются негативным фактором, существенно снижающим эффективность и безопасность ведения горных работ. Однако в настоящее время основная проблема в данной области – недостаток методических разработок, обеспечивающих достаточную надежность и эффективность прогноза.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований физико-геологических условий формирования зон повышенной газоносности в угленосных отложениях Донбасса, их газогенерационных свойств, условий повышенного газовыделения легли в основу методики проведения прогнозных сейсморазведочных работ, описанию которой посвящена данная статья.

На рис. 1. представлена обобщенная схема проведения исследований. На первом этапе проводится сбор и анализ априорной информации о геологическом строении угленосного массива в зоне планируемых исследований и за ее пределами (соседние лавы, выше и ниже лежащие угольные пласты). По кадастрам, геологическим каталогам,

данным бурения и исследования свойств пород в скважинах собирается информация о типовых нарушениях и физико-механических свойствах угля и вмещающих пород на данном участке шахтного поля как в спокойном залегании, так и в зонах нарушений. Используются результаты ранее проводимых прогнозных геофизических исследований на соседних объектах.

Второй этап работ заключается в анализе и систематизации полученной информации с целью разработки обобщенной сейсмогеологической модели объекта исследований при наличии аномальных зон и без них. На основе анализа информации для аномальных зон оцениваются величины возможных отклонений акустических характеристик угольного пласта и вмещающих пород от значений на свободных участках.

На третьем этапе разрабатывается физико-математическая модель процесса распространения сейсмических волн, проводится математическое моделирование и анализ сейсмоакустического волнового поля с целью изучения структуры и характеристик колебательного процесса как для участков, свободных от аномалий, так и для зон вероятного скопления газа. Особое внимание уделяется сравнению характеристик отраженных сейсмических волн, проходящих через нарушенные и ненарушенные участки.

Четвертый этап предусматривает выбор технологии проведения натурных экспериментов.

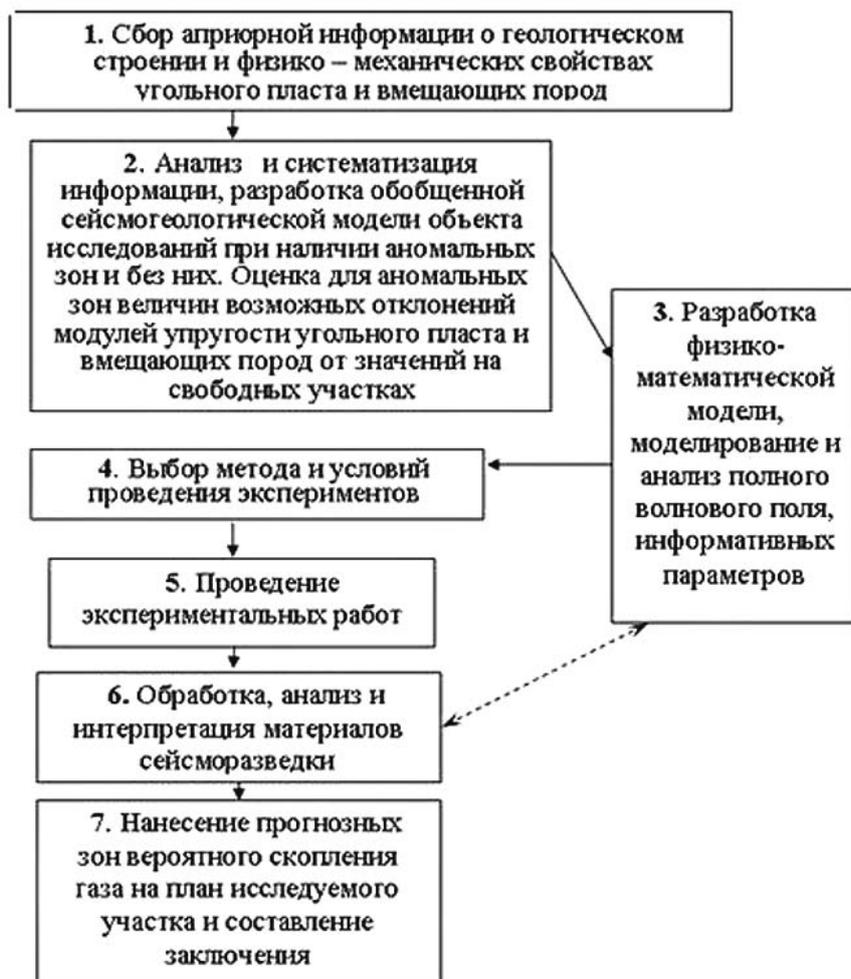


Рис. 1. Обобщенная схема проведения сейсморазведочных работ по прогнозу зон вероятного скопления метана

Основное внимание уделяется:

- выбору конкретной методики проведения наблюдений (метод отраженных волн, метод сейсмического просвечивания, локация впереди забоя и т.п.);
- выбору схем расположения пунктов возбуждения (ПВ) и сейсмоприемников (СП) для эффективной регистрации сейсмических колебаний;
- выбору шага дискретизации, длительности и величины временной задержки сейсмозаписей.

Пятый этап заключается в проведении сейсморазведочных работ.

На шестом этапе результаты подвергаются обработке, анализу и интерпретации. При этом, по мере получения дополнительных данных о строении горного массива проводятся циклы дополнительного моделирования с учетом полученной информации о реальном волновом поле и уточнения модели. В заключение, на основе проведенного анализа волнового поля предусматривается нанесение прогнозных зон вероятного скопления газа на план исследуемого участка и составление заключения.

В качестве примера использования данной методики рассмотрим прогнозные сейсмические эксперименты в пределах подготавливаемого к отработке угольного пласта  $m_3$  участка

„Кальмиусский Рудник“ поля шахты „Им. А.Ф. Засядько“, позволившие выявить значительные запасы метана.

Участок „Кальмиусский Рудник“ является естественным продолжением по падению полей шахт „Им. А.Ф. Засядько“ и „Им. Поченкова“, отрабатывающих угольные пласты свит  $C_2^7$ ,  $C_2^6$  и частично  $C_2^5$ . Находится он полностью в зоне метановых газов, верхняя граница которой стратиграфически расположена значительно выше угольного пласта  $m_3$  (залегающего на глубинах 1250–1650 м) и проходит на глубинах 150–250 м в пределах шахтных полей: ш. „Бутовская“ (150 м), ш. „Бутовка-Донецкая“ (150–250 м), а также в плоскости пласта  $m_3$  у его выходов по ш. „Им. Поченкова“ (100–150 м), по ш. „Им. Засядько“ (от 150 м до 450 м в районе Ветковской флексуры). Угольный пласт  $m_3$  имеет простое строение, средней мощности 1,5–1,7 м. Залегание пласта – пологое, марка углей – Ж. Углевмещающие породы представлены типичным для угленосных формаций Донбасса чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Кроме маркирующих пластов известняков и углей в разрезе углевмещающего массива горных пород выделяются мощные пачки песчаников, что предполагает достаточно бла-

гоприятные условия формирования отраженных волн на сейсмогеологических границах в интервале залегания угольного пласта  $m_3$ .

Горно-геологические условия на участке исследований весьма сложные, характеризуются высокой газоносностью углеводородных пород, выбросоопасностью угольных пластов и вмещающих пород. Зоны развития мелкоамплитудной тектонической нарушенности и повышенной трещиноватости горных пород являются потенциально опасными по повышенным газовыделениям в горные выработки, в том числе по внезапным выбросам угля и газа.

В результате проведенных в период детальной геологической разведки „Кальмиусского Рудника“ и доразведки смежных шахтных полей исследований, прогнозная метаноносность угольных пластов свиты  $C_2^7$  в интервале глубин 700–1600 м характеризуется как умеренная, переходящая в высокую.

Газоносность вмещающих пород низкая и, в среднем, не превышает  $0,3 \text{ м}^3/\text{т}$ . Имеются локальные скопления свободного газа, приуроченные к почвам и кровлям угольных пластов в трещиновато-поровых коллекторах, сопровождающих Григорьевский надвиг, Ветковскую флексуру, зоны вторичной складчатости. Значения газоносности пород здесь по различным скважинам колеблются от 2,3 до  $15,8 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Что касается непосредственно исследуемого угольного пласта  $m_3$ , то его метаноносность в западной части „Кальмиусского Рудника“ весьма высокая. В интервале глубин 1000–1700 м варьирует от 15,0 до  $28,6 \text{ м}^3/\text{т}$ . Повышенные значения газоносности отмечаются в песчаниках и частично алевролитах, приуроченных к кровле и почве угольных пластов.

Приведенный выше анализ геологической информации явился начальным этапом сейсморазведочных исследований. Перед постановкой полевых сейсморазведочных работ была разработана сейсмогеологическая модель (рис. 2) и проведено математическое моделирование. В основе лежит следующая исходная информация:

1. Исследуемый интервал геологического разреза угленосной толщи занимает по глубине более тысячи метров. Залегающие выше угольного пласта  $m_3$  угленосные отложения охватывают две эпигенетические зоны сводного петрофизического разреза бассейна [4, 5]. Средние мощности таковы: зона с углями марки

Ж – 600 м (нижняя часть разреза), зона с углями марки Г – 800 м (верхняя часть разреза).

2. Поскольку для каждой стадии эпигенеза характерны определенные значения физических свойств углеводородных пород, при моделировании приняты соответствующие значения скорости сейсмических волн [6], представленные в таблице.

3. Величина аномальных изменений упругих характеристик в зонах развития мелкоамплитудной тектоники и повышенной трещиноватости пород принимается условно 30 % фоновых [1,6]. Аномальные изменения упругих свойств характеризуются плавным переходом к фоновым значениям от центра к перифериям зон влияния.

4. Серии сближенных мелкоамплитудных дизъюнктивов рассматриваются как единые зоны повышенной трещиноватости пород, с аномальными значениями упругих характеристик и шириной на порядок больше, чем амплитуды крайних в этой серии нарушений.

Результаты численного моделирования свидетельствуют о том, что при изменении физико-механических свойств пород в зоне серий мелкоамплитудных нарушений наблюдается заметное (до 10%) ослабление амплитуды информативной волны, а изменение более 25% проявляется в разрыве её фронта.

Выбор конкретной методики полевых сейсморазведочных работ базировался на опыте аналогичных исследований, выполненных ранее на шахтных полях Донбасса [1–3,6].

Предварительно был проведен цикл опытных наблюдений по выбору параметров управляющих сигналов и уточнению схемы приема волн.

Для определения используемых при обработке результатов исследований параметров верхней части разреза (ВЧР), дополнительно выполнялись наблюдения по методу преломленных волн (МПВ).

В процессе проведения геофизических наблюдений пришлось оперативно корректировать схему наблюдений, согласуясь с ситуацией и характером регистрируемых волновых полей в конкретных сейсмогеологических условиях.

Работы проводились по восьми сейсмическим профилям общей протяженностью 9,2 км. Объем выполненных работ составил 503 физ. наблюдений, из них 459 методом общей глубинной точки (МОГТ) и 44 методом преломленных волн (МПВ).

Таблица

Средние значения скорости распространения сейсмических волн для различных литотипов пород

Марки углей	продольн/поперечн. волны	песчаник	алевролит	аргиллит	переслаивание песчаника, алевролита и аргиллита	переслаивание алевролита и аргиллита
Г (газовые)	$V_p$	3,60	3,30	3,10	3,33	3,20
	$V_s$	2,10	1,80	1,50	1,80	1,65
Ж (жирные)	$V_p$	3,90	3,50	3,20	3,53	3,35
	$V_s$	2,20	1,90	1,60	1,90	1,75

Наблюдения МОГТ были выполнены по фланговой системе наблюдений с выносом пунктов возбуждения на 240 м, шагом 10 м, интервалом 20 м. Длина расстановки сейсмоприемников равна 470 м, средняя кратность перекрытий – 12. Для полного закрытия профилей с максимально возможной для указанных параметров кратностью применялся разворот системы наблюдений на противоположный фланг, а также переход на центральное размещение пункта возбуждения.

В связи с ограниченной протяженностью профилей был принят вариант наблюдений с минимальным выносом ПВ 30 м и максимальным выносом 240 м.

В качестве источника колебаний использовались сейсмодвигатели СВ10–180, работавшие в режиме 8 накоплений с линейной частотой модуляции свип-сигналов в диапазоне 18 – 72 Гц. Время посылки равно 10 с, длина записи – 13 с, шаг дискретизации – 2 мс, длина полезной записи после корреляции – 3 с.

Для регистрации колебаний использовалась серийная 48-канальная станция „Прогресс-3N“, оборудованная блоком памяти для накопления сигналов от серии воздействий и коррелятором, позволяющим формировать из виброграмм аналоги импульсных

сейсмозаписей, которые используются для контроля информации непосредственно в процессе наблюдений.

На этапе предварительной обработки данных наблюдений был проведен анализ волнового поля по всем профилям наблюдений, выделены преобладающие типы волн и рассчитаны их скоростные и частотные характеристики, а также выбраны параметры программ подавления регулярных помех и программ выделения полезных информативных волн. Были рассчитаны предварительные суммы ОГТ с перебором скорости суммирования и параметров частотного фильтра. Далее временные разрезы ОГТ рассматривались совместно с имеющейся геологической информацией: разрезами скважин, геологическими разрезами, планами горных работ по пласту  $m_3$  и отработанному вышележащему пласту  $n_1$ . На этом этапе оценивалась эффективность подавления волн-помех и выделения полезных отраженных волн, выбирались окончательные параметры обработки.

На этапе обработки сейсмозаписи по всем профилям наблюдений были просуммированы по общим глубинным точкам. Полученные временные разрезы по профилям наблюдений были пересчитаны в глубинные (рис. 2).

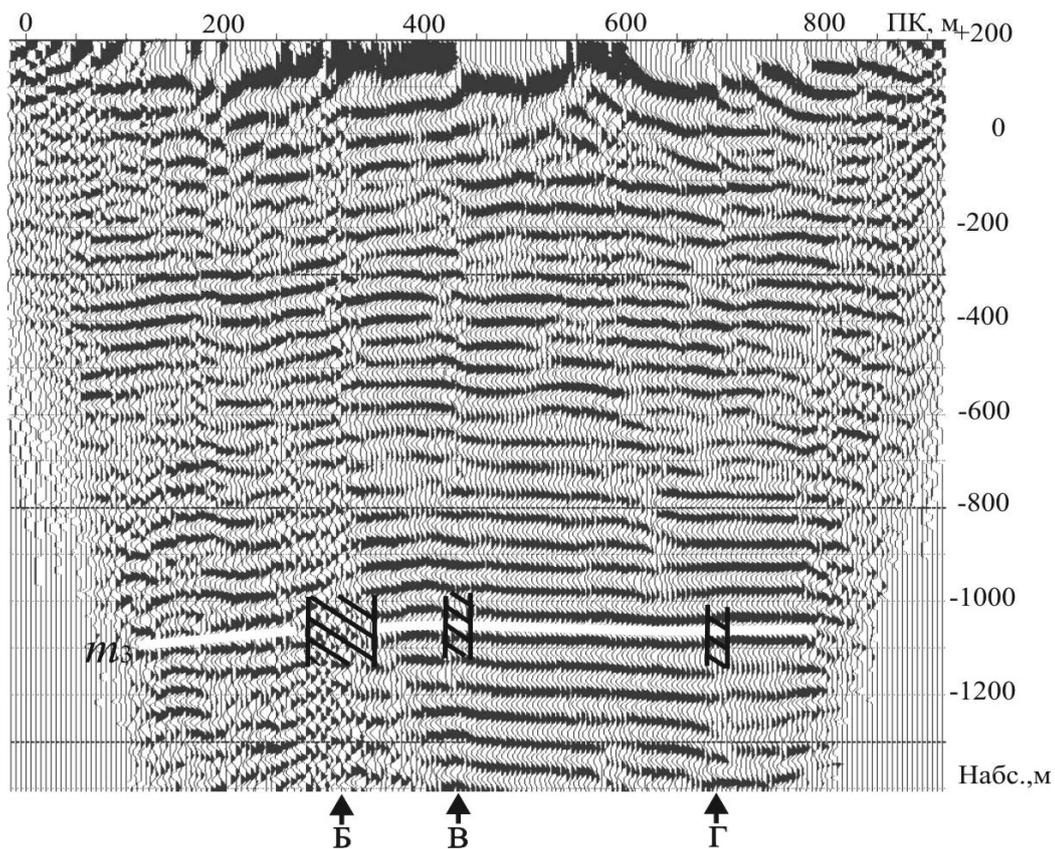


Рис. 2. Глубинный сейсмический разрез по профилю 4 на участке „Кальмиусский Рудник“ поля шахты „Им. А.Ф. Засядько“: Б, В, Г – аномальные зоны

На разрезах можно выделить три серии отраженных волн. Анализ геологических колонок по скважи-

нам, расположенным вблизи профилей сейсмозаписи, на расстояниях от 20 до 200 м, позволил при-

вязать эти отражения к определенным литолого-стратиграфическим границам.

Первая серия отраженных волн наблюдается на глубинных разрезах по всем профилям наблюдений на абсолютных высотных отметках от -250 м, до -450 м. В этом интервале глубин наблюдается три, иногда два, видимых периода сейсмических колебаний с длиной волны 50–70 м. Вторая серия отраженных волн наблюдается в интервале абсолютных отметок от -500 м до -800 м. Она включает до четырех–пяти видимых периодов с длиной волны 90–110 м. Интенсивные устойчивые волны сформировались, вероятно, в результате синфазного сложения волн, отраженных от серии параллельных границ, залегающих по разрезу с интервалом около половины длины волны.

Третья, наиболее информативная, серия отражений сравнима по интенсивности со второй и включает до пяти видимых периодов с длиной волны 80–100 м, которые прослеживаются на абсолютных отметках от -850 до -1250 м.

Эти отражения привязываются к толще сланцев и песчаников в интервале залегания угольного пла-

ста  $m_3$ . С их помощью выделяются аномальные зоны, связанные с изменением условий залегания литологических границ на уровне угольного пласта  $m_3$  (рис. 2).

Результаты прогноза потенциально опасных по повышенным газовыделениям участков приведены на фрагменте западной части шахтного поля с результатами исследований по профилям 2 и 4 (рис. 3). Этот участок выбран потому, что по угольному пласту  $m_3$  на уровне сейсмического профиля 4 пройдена подготовительная горная выработка, позволившая оценить достоверность сейсморазведочного прогноза.

На глубинном сейсмическом разрезе по профилю 2 выделяются четыре аномальные зоны – А, Б, В и Г (рис. 3). Аномальная зона А соответствует началу перегиба и погружения угленосной толщи, включающей пласт  $m_3$ , приурочена к Ветковской структуре и сопровождается мелкоамплитудной тектонической нарушенностью. В пределах аномальной зоны Б прогнозировалась, связанная с мелкоамплитудной тектоникой, повышенная трещиноватость углепородного массива.

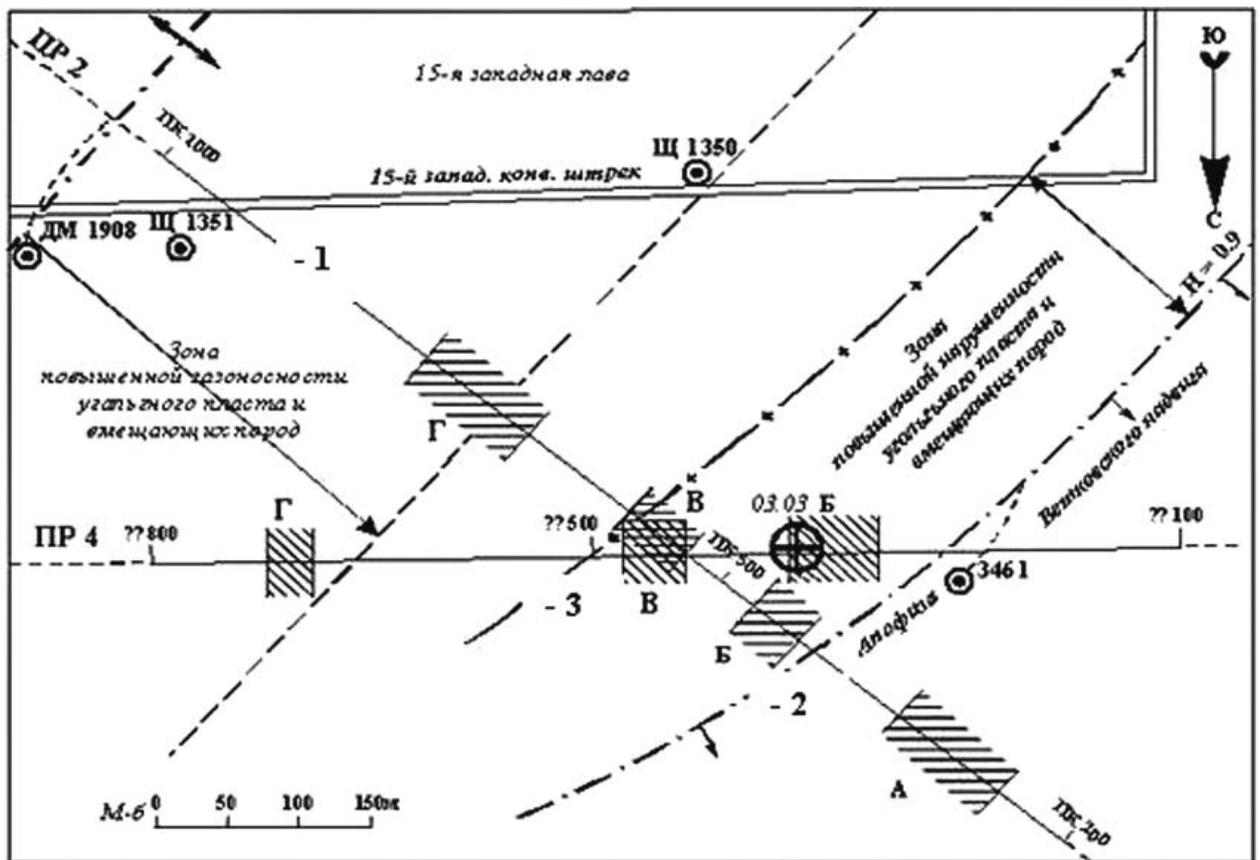


Рис. 3. Результаты сейсмических исследований на уровне угольного пласта  $m_3$  шх. „Им. А.Ф. Засядько“ (фрагмент западной части участка исследований):

- 1 – положение сейсмического профиля ОГТ на уровне пласта  $m_3$ ;
- 2 – аномальные зоны по данным сейсморазведки (А, Б, В, Г);
- 3 – надвиг;
- 4 – шарнир антиклинальной складки;
- 5 – место выброса угля и газа

Аномальная зона В также связана с мелкоамплитудной тектонической нарушенностью, сопровождающейся повышенной трещиноватостью горных пород. В пределах аномальной зоны Г отмечается локальный перегиб угленосной толщи, либо изменение литологического состава вмещающих пород, сопровождающееся резким изменением мощности отражающих песчаников или появлением новых пластов.

На глубинном сейсмическом разрезе по профилю 4 выделяются аномальные зоны Б, В и Г. Аномальные зоны Б и В являются продолжением аномальных зон (соответственно Б и В), выделенных на профиле 2 и интерпретируемых как зоны, связанные с мелкоамплитудной тектоникой повышенной трещиноватостью пород. В пределах аномальной зоны Г (продолжение зоны Г на профиле 2) отмечается локальный перегиб угленосной толщи.

Следует отметить, что точность определения аномальных зон по сейсмическим данным на таких глубинах зависит от длины волны и составляет порядка 40 м, а также от точности привязки проекции расположения геофизических профилей на уровень пласта  $m_3$ .

В зоне профиля 4 по угольному пласту  $m_3$  была пройдена горная выработка, геологическая документация которой показала хорошую сходимость прогнозных и фактических данных. Это позволяет надеяться на такую же достоверность прогнозов и по другим профилям наблюдений и, в первую очередь, по профилю 2, по которому установлены аномальные зоны, являющиеся продолжением аномальных зон по профилю 4. Следует особо отметить произошедший в аномальной зоне Б (профиль 4) выброс угля и газа, что подтверждает несомненную эффективность предварительного опережающего сейсморазведочного прогноза.

Таким образом, в настоящей работе описана разработанная в УкрНИМИ НАН Украины методика проведения прогнозных сейсморазведочных работ по поиску перспективных газоносных структур для добычи метана, а также прогноза участков вероятных повышенных газовыделений. Приведены конкретные примеры, доказывающие эффективность и надежность её практического использования в условиях Донбасса.

Результаты данной статьи могут быть использованы специалистами в области шахтной и наземной сейсморазведки для разработки и усовершенствования методик сейсмического прогноза зон вероятного скопления метана, а также обводненных участков углелепородного массива.

#### Список литературы / References

1. Анциферов А.В. Сейсмическая разведка углепородных массивов / Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Анциферов В.А. – Донецк: Вебер (Донецкий филиал), 2008. – 204 с.  
*Antsiferov A.V. Seismic prospecting of coal-bearing massifs / Antsiferov A.V., Tirkel M.G., Antsiferov V.A. – Donetsk: Veber (Donetsk branch), 2008. – 204 p.*

2. Тиркель М.Г. Изучение газоносности угленосной толщи / Тиркель М.Г., Анциферов В.А., Глухов А.А. – Донецк: Вебер (Донецкий филиал), 2008. – 301 с.

*Tirkel M.G. Study of gas presence in a coal-bearing stratum / Tirkel M.G., Antsiferov V.A., Glukhov A.A. – Donetsk: Veber (Donetsk branch), 2008. – 301 p.*

3. Анциферов В.А. Сейсмический прогноз участков возможных повышенных газовыделений в горные выработки / Анциферов В.А. // Проблемы гірського тиску – Донецьк: ДонНТУ. – 2005. – № 13. – С. 86–101.

*Antsiferov V.A. Seismic prospecting of zones with probable increased gas emission into mine workings / Antsiferov V.A. // Problemy hyrskogo tysku – Donetsk: DonNTU. – 2005. – No.13. – P. 86–101.*

4. *Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород / Под ред. Г.А. Иванова. – М.: Недра, 1975. – 256 с.*

*Metamorphism of coal and epigenesis of bearing strata / edited by G.A. Ivanova. – M.: Nedra, 1975. – 256 p.*

5. Гречухин В.В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами / Гречухин В.В. – М.: Недра, 1980. – 360 с.

*Grechukhin V.V. Study of coal-bearing formations by means of geophysic methods / Grechukhin V.V. – M.: Nedra, 1980. – 360 p.*

6. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / Анциферов А.В. – Донецк: ООО „Алан“, 2002. – 312 с.

*Antsiferov A.V. Theory and practice of mine seismic prospecting / Antsiferov A.V. – Donetsk: ООО „Alan“, 2002. – 312 p.*

У цій роботі описано розроблену в УкрНДМІ НАН України методику проведення прогнозних сейсморозвідувальних робіт з пошуку перспективних газоносних структур для видобування метану, а також прогнозу ділянок ймовірних підвищених газовиділень. Наведено конкретні приклади, що доводять ефективність і надійність її практичного використання в умовах Донбасу.

**Ключові слова:** газоносні структури, вугленосні формації, видобуток метану, сейсмічне прогнозування, ділянки підвищених газовиділень

The paper describes procedure developed by the UkrNIMI Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine for conducting predictive seismic exploration for promising gas-bearing structures for methane production as well as prediction of areas of probable increased gas emission. Specific examples are given proving efficiency and reliability of its practical use in conditions of Donbass.

**Keywords:** gas-bearing structures, coal formation, methane production, seismic exploration, areas of increased gas emission

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук І.О. Садовенком. Дата надходження рукопису 25.03.11