

Применение сейсморазведки при решении проблемы добычи метана угленосных формаций

© А. В. Анциферов, В. А. Анциферов, М. Г. Тиркель,
А. А. Майборода, А. А. Глухов, 2010

Украинский государственный научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики и маркшейдерского дела, Донецк, Украина

Поступила 22 июля 2008 г.

Представлено членом редколлегии В. П. Коболевым

Проаналізовано проблеми видобування метану вугленосних формацій, пов'язані зі своєрідністю його колекторів у вугленосних товщах. Наведено обґрунтування необхідності включення у геологорозвідувальний процес сейсморозвідувальних методів для визначення оптимальних місць закладання газодобувних свердловин, що підтверджено конкретним прикладом результатів досліджень.

Problems of coal bed methane production related to peculiarity of its reservoirs in coal measure sequences are analyzed. Grounds for necessity of inclusion into geological survey of seismic exploration methods to determine optimal locations of gas producers are given that are confirmed by case studies of survey results.

Газоносность угленосных формаций в настоящее время — одна из актуальных проблем научных исследований в области природопользования. Это обуславливается такими важными для народного хозяйства факторами, как обеспечение энергетической независимости Украины, предусматривающее включение в производство нетрадиционных энергоресурсов, мощнейшим резервом которых является метан угленосных формаций; необходимость сокращения выбросов метана в атмосферу и соответственно решение вопросов улучшения экологии окружающей среды; повышение безопасности проведения горных работ при эксплуатации угольных шахт.

Общие запасы метана, сохранившегося до настоящего времени в украинской части Донбасса, оцениваются по различным источникам от 12,0 до 25,0 трлн м³. Промышленные запасы до глубины 1800 м составляют от 0,7 до 0,75 трлн м³ [Анциферов и др., 2004]. Следовательно, есть все основания рассматривать Донецкий бассейн не только как угольный, но и как крупный газоносный регион.

Промышленная добыча метана с достижением экономического эффекта возможна при решении следующих основных проблем:

- разработка и внедрение специализированных технологий дегазации газоносных структур Донецкого бассейна;
- определение и разведка наиболее перспективных газоносных площадей и структур в угольном бассейне для постановки первоочередных эксплуатационных работ.

Необходимость решения первой проблемы обусловлена тем, что добыча метана с использованием традиционных технологий, применяемых в газовой промышленности, практически невозможна из-за особенностей связи его с углистым веществом. Основное количество метана содержат угольные пласты и рассеянное углистое вещество в породах, в которых он находится в сорбированном виде и в виде стабильного углеметанового твердого вещества. Часть свободного, доступного к добыче метана в газоносных структурах угольных месторождений мала и не превышает 5,0—15,0 % общих его запасов [Этингер, 1966].

Содержание углистого материала в угленосных отложениях является специфической чертой, существенно отличающей их от пород газовых месторождений. Поэтому, в отличие от газовых месторождений, представленных только одним (гранулярным или трещинно-поровым) типом коллектора, угленосные толщи характеризуются двумя разными типами коллекторов. Один из них — емкость порового (порово-трещинного) пространства пород, приближающая их к коллекторам газовых месторождений. Второй тип — это сорбционная емкость углей и углистых включений в породах.

С первым типом коллектора связана газоносность вмещающих пород, прежде всего песчаников, в которых содержится большая часть метана в виде свободного газа и метан растворенный в поровой воде. Величина газоносности толщ с породами этого типа коллектора непосредственно зависит от их общего емкостного порового пространства.

Второй тип (сорбционная емкость) непосредственно связан с газогенерирующим органическим веществом, сконцентрированным в угольных пластах или углистых включениях во вмещающих породах. Чем выше содержание органического вещества в породах и степень его метаморфизма, тем значительнее влияние этого коллектора на общую величину газоносности.

Следовательно, газоносность угленосных толщ определяется суммарной емкостью двух типов коллекторов: порового пространства пород и сорбционной способности органического вещества. Таким образом, в отличие от газовых месторождений, где газ находится в одной фазе (свободной), а в зоне газовой контакта в двух (свободной и водорастворенной), специфичностью угленосных формаций является то, что газ здесь находится в трехфазном состоянии: в виде водорастворенного, свободного и сорбированного органическим (углистым) веществом. Причем для угленосных толщ характерно, что с увеличением степени катагенеза пород гранулярные коллекторские свойства пород ухудшаются за счет снижения пористости, а сорбционные свойства углистого вещества увеличиваются. В результате общая величина газоносности пород не только не уменьшается, но даже возрастает. Поэтому благодаря наличию в угленосных формациях двух типов коллекторов непосредственная взаимосвязь газоносности пород с каким-либо одним его свойством (на-

пример, таким важнейшим, как пористость) не проявляется, так как постоянно накладывается влияние газогенерирующего органического вещества [Майборода, Анциферов, 2007].

В целом газоносность Донбасса есть функция непрерывных многофакторных процессов, происходящих в течение всей геологической истории бассейна — от первичных условий седиментации до вторичных, постдиагенетических преобразований пород под воздействием катагенеза включительно, с учетом структурно-тектонического строения конкретных угленосных толщ.

Говоря о проблеме добычи метана угленосных формаций, следует констатировать, что в настоящее время Украина в этом отношении отстает от высокоразвитых стран мира, например Соединенных Штатов Америки, где ежегодно его добыча достигает уровня 35,0—40,0 млрд м³, что составляет почти половину объемов газа, потребляемого нашей страной [Анциферов и др., 2007]. В Украине отсутствует технология добычи метана, находящегося в сорбированном состоянии, сказывается и несовершенство буровой техники (для примера, в США проходка скважины глубиной 1000 м не превышает 4—5 суток) [Лукинов, 2000] и, на наш взгляд, недостаточное внимание с практической точки зрения к этой проблеме в целом. Последнее очевидно обуславливается и тем, что экономически эффективная добыча даже свободного метана угольных месторождений нуждается в усовершенствовании методологии уверенного выявления наиболее оптимальных газоносных структур в границах перспективных площадей и мест обоснованного заложения дорогостоящих дегазационных скважин.

В последние годы проведен значительный объем исследований в области выяснения горно-геологических условий формирования скоплений свободного метана угленосных формаций, тектонических и техногенных факторов, способствующих их образованию, типизации его месторождений по комплексу этих условий, установлению наиболее перспективных для его добычи площадей и структур. В этом плане особого внимания заслуживают публикации В. В. Лукинова, а также Л. И. Пимоненко, О. А. Куца, А. А. Голубева, С. Ю. Приходченко и др.

Известно, что наиболее перспективными для формирования скоплений метана являются высокопористые песчаники с хороши-

ми коллекторскими свойствами гранулярного типа. Однако в породах низкой стадии катагенеза, характеризующихся повышенными значениями пористости и проницаемости, газ находится значительно чаще в водорастворенном состоянии, чем в свободном. Кроме того, песчаники Донбасса имеют огромное площадное распространение, значительные мощности и их газонасыщенность в пределах перспективных площадей далеко не равнозначна и зависит не только от гранулярных свойств и показателей пористости, но и от многих других факторов (структурно-литологических, тектонических, техногенных и т. д.).

Главным фактором, благоприятным для формирования скоплений метана свободной фазы является наличие трещинно-поровых (а не чисто гранулярных) коллекторов как угольных пластов, так и вмещающих пород, прежде всего в песчаниках. Так, при опробовании тектонически нарушенных пластов доля газа, находящегося в свободной фазе, существенно возрастает до 20—30 %, а иногда и до 40—50 % и более [Анциферов и др., 2006]. Кроме тектонической трещиноватости, существенную роль в формировании скоплений газа играет техногенная трещиноватость, связанная с подработкой горного массива. Вопросы образования техногенных скоплений метана достаточно освещены в работах [Лукинов, 2006; 2007].

Таким образом, в настоящее время разработаны теоретические основы формирования скоплений свободного метана в угленосных формациях. Геологической разведке вполне по силам достоверное выявление газоносных структур на перспективных площадях. Однако для практического решения вопросов промышленной добычи метана необходимо главное — обоснованное и однозначное выявление наиболее оптимальных мест заложения экономически эффективных газодобывающих скважин с достижением максимального дебита, т. е. выявление в газоносных структурах участков развития трещинно-поровых коллекторов метана или локальных зон тектонической и техногенной трещиноватости. Это важнейшая проблема, особенно учитывая несовершенство отечественной буровой техники и соответственно большие затраты на бурение, а также относительно небольшие запасы свободного метана. Решение этой проблемы невозможно методами геологической разведки без существенного увеличения количества дорогостоящих скважин, часть которых

окажутся непродуктивными и добыча газа будет экономически нерентабельной.

Поэтому в последние годы одним из приоритетных направлений научной деятельности УкрНИМИ НАН Украины являются исследования в области изучения газоносности угленосных формаций и разработки геофизических, прежде всего сейсморазведочных, методик определения участков наиболее оптимального заложения дегазационных и метанодобывающих скважин [Тиркель и др., 2004; Анциферов, 2005а; 2005б; Анциферов и др., 2008].

Методика сейсморазведочных исследований, включающая: анализ априорной информации об объекте исследований, обоснование системы наблюдений, методику полевых работ, обработку сейсмической информации, интерпретацию материалов, обработку материалов МОГТ по методу просвечивания отраженными волнами (метод "псевдопросвечивания"), описание используемых алгоритмов обработки и программных средств — детально описана в книге [Анциферов и др., 2008], подготовленной специалистами УкрНИМИ НАН Украины.

Выбор методики исследований и интерпретация материалов их результатов базируются на использовании математического моделирования и теоретического анализа особенностей процесса распространения сейсмических колебаний в угленосной толще. При проведении теоретических исследований используются как обобщенные модели, так и модели конкретных геологических разрезов участков проведения реальных экспериментов. В частности, в УкрНИМИ НАН Украины были разработаны обобщенные сейсмогеологические модели угленосных толщ, характерных для условий Донбасса, включающие различные типы тектонических нарушений, как выходящих под покровные отложения, так и затухающих в массиве горных пород (сбросовых, надвиговых структур, мелкоамплитудных дизъюнктивов и антиклинальных куполовидных структур), с учетом закономерностей изменения физико-механических свойств среды в зоне аномалии, связанных с повышенной трещиноватостью пород, реальных усредненных скоростных характеристик пород исследуемых интервалов петрофизического разреза и глубин залегания разведываемых угольных пластов [Анциферов и др., 2008].

Анализ результатов исследований позволил сделать вывод о возможности обнаруже-

ния таких зон методами наземной сейсморазведки на волнах, отраженных от мощных пластов песчаника, путем анализа амплитудных и скоростных характеристик соответствующих волновых пакетов [Анциферов, 2005а; 2005б]. В ходе анализа было проведено более 100 расчетов, в которых использовались модели с различной глубиной залегания зоны вероятного скопления метана (моделировались как зоны повышенной трещиноватости) и различными характеристиками аномальной зоны. Результаты расчетов обобщены в таблице. В качестве информативного параметра используется величина $\Delta M \times l$, которая характеризует степень влияния нарушения на сигнал, где ΔM — степень изменения коэффициентов Ламе в аномалии по отношению к ее значениям на ненарушенных участках, l — размер аномалии по доминирующему направлению пересечения ее сейсмическими лучами.

На основании анализа изменения амплитудных и частотных характеристик (см. таблицу) сделать вывод о том, что глубина расположения аномалии не оказывает какого-либо существенного влияния на возможность ее описания в рамках предлагаемого подхода. С другой стороны, и амплитудная, и частотная характеристики отраженных волн существенно зависят от изменения параметров аномалии.

Результаты расчетов показывают принципиальную возможность выявления зон вероятного скопления метана, связанных с трещинно-поровыми его коллекторами, сейсмическим методом. При этом степень изменения значений упругих констант в зоне аномалии больше 15 % обуславливает отклонение амплитудных и частотных характеристик отраженного сигнала (20 и 5 % соответственно), что может быть зафиксировано современными методами наблюдений и служить основой для разработки прогнозных критериев.

Для иллюстрации результатов сейсморазведочных исследований, проведенных при решении рассматриваемой проблемы, приводим один из характерных примеров.

Одной из перспективных структур для реализации добычи свободного метана является Первомайский купол, приуроченный к замочно-сводчатой части Первомайской антиклинали. Газопроявления связаны с особенностями его тектонического строения. Поверхность метановой зоны располагается на глубине 150—200 м. Ниже контура горных работ (320 м в центре Первомайского купола) газоносность угля составляет 20 м³/т с. б. м. (тонн сухой беззольной массы) и больше. Сорбционная метаноемкость угля при давлении 50 атм подтверждает высокую газоносность, полученную по буровым скважинам. По дан-

Зависимость отклонения амплитудных и частотных характеристик отраженных волн, рассчитанная для различных моделей

Глубина залегания	Количество расчетов	ΔM , %	$\Delta M \times l$, м × %	Уменьшение амплитуды, %	Уменьшение частоты, %
200	11	15	300	15—25	5
200	9	30	600	35—60	5—10
200	10	60	1200	50—75	10—15
300	9	15	300	10—20	до 5
300	10	30	600	15—20	5—7
300	10	60	1200	35—55	5—10
350	9	15	300	10—20	до 5
350	10	30	600	15—20	5—7
350	8	60	1200	25—40	5—10
400	11	15	300	10—22	до 5
400	9	30	600	15—20	до 5
400	11	60	1200	25—35	до 5

ным горных работ максимальная метанообильность приурочена к купольной части структуры, а также наблюдается вблизи тектонических нарушений и особенно вблизи Алмазного надвига и составляет более 40 м³/т с. д. (тонн суточной добычи). Во время проходки горных работ отмечались многочисленные суфляры, в основном из песчаников алмазной (С₂⁶) и каменной (С₂⁵) свит на глубине более 700 м.

При проведении геологоразведочных работ в буровых скважинах отмечались газопроявления, связанные главным образом с зонами нарушений в песчаниках (Сокологоровские надвиги I и II, Алмазный надвиг, зоны мелкоамплитудной нарушенности).

Сейсморазведочные исследования здесь проведены для уточнения структурных особенностей строения массива горных пород, трассирования Алмазного и Сокологоровско-

го надвига, ветви Коммунарского надвига, их апофиз, а также других тектонических нарушений и выявления приуроченных к ним участков повышенной трещиноватости и газоносности пород. По результатам работ планировалось установить распределение перспективных зон повышенной газоносности для наиболее обоснованного и оптимального заложения газодобывающих скважин. На участке сейсмических исследований на момент проведения работ было заложено две опытно-промышленные буровые скважины с проектной глубиной 1400 и 1480 м, по которым предполагалось получить исходный объем информации о физико-химических свойствах пород и угля, газоносности и газонасыщенности пластов-коллекторов.

Сейсморазведочные работы были проведены по восьми профилям методом отраженных волн в модификации МОГТ (рис. 1).

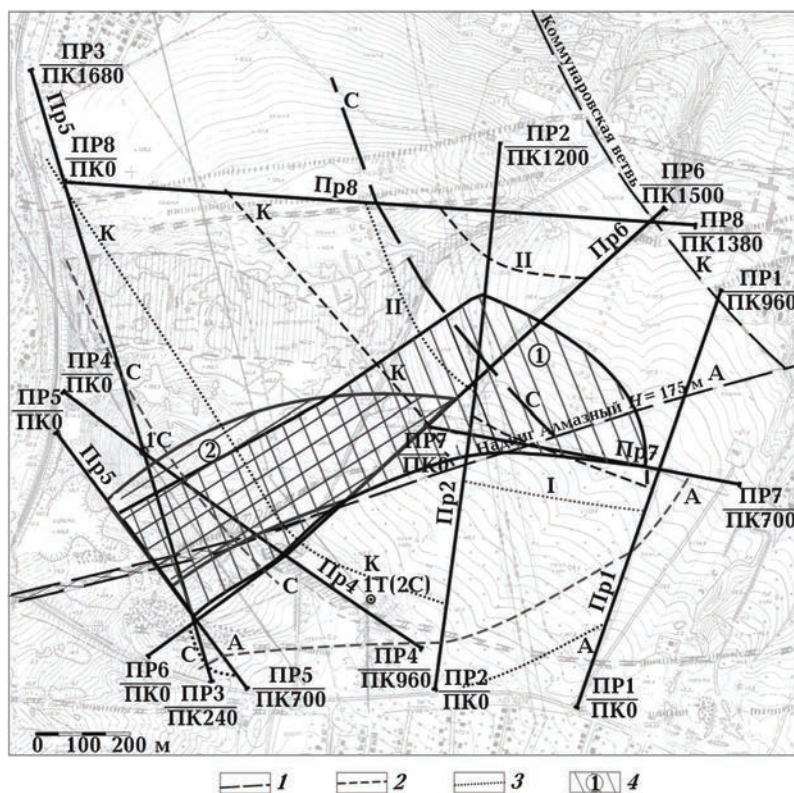


Рис. 1. Схема сейсмических профилей и расположение зон повышенной газоносности на участке Первомайского купола: 1 — выход под покровные отложения надвига по данным геологоразведки, 2, 3 — положение надвига по данным сейсморазведки (2 — на глубине 400 м, 3 — на глубине 1000 м); 4 — зоны повышенной газоносности по данным сейсморазведки.

Полученные глубинные сейсмические разрезы ОГТ несут информацию об условиях залегания горных пород до глубины порядка 1400 м. На рис. 2 представлены глубинный сейсмический разрез по профилю 3 и геологический разрез через Первомайский купол. Сложное геологическое строение массива горных пород, пологие тектонические нарушения, изменение углов падения пластов приводит к осложнению волновой картины. В верхней части разреза (первые 200 м) низкая частота сейсмических колебаний не позволила в полной мере провести детальную стратиграфическую привязку отражающих границ. В первых вступлениях прослеживаются интенсивные волны, заломленные по кровле пород карбона. На отрезках ОГТ они представлены первыми двумя-тремя фазами и при интерпретации не учитывались. За ними очень близко по времени прослеживаются отраженные волны, связанные с песчано-глинистой толщей карбона, в которой мощные пласты песчаников являются, очевидно, основными сейсмическими границами и маркирующими горизонтами.

При обработке сейсморазведочных материалов был применен метод "псевдопросвечивания", результаты которых показаны на

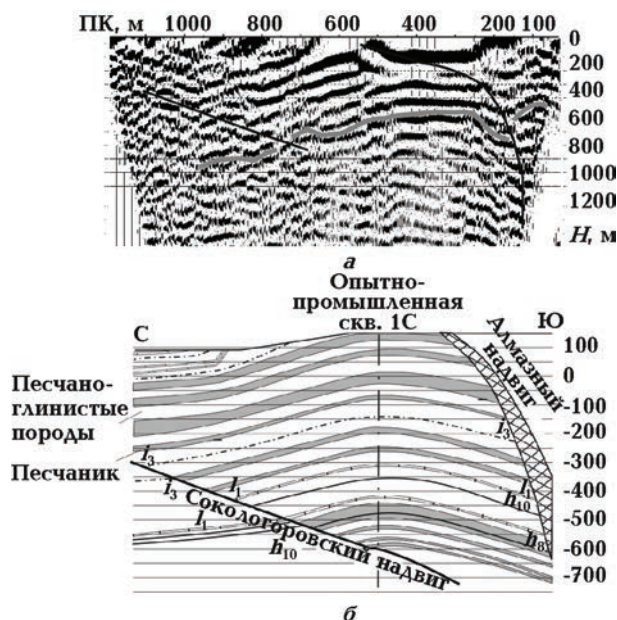


Рис. 2. Результаты сейсморазведки зон повышенной газоносности: а — глубинный сейсмический разрез по профилю 3, б — геологический разрез через Первомайский купол.

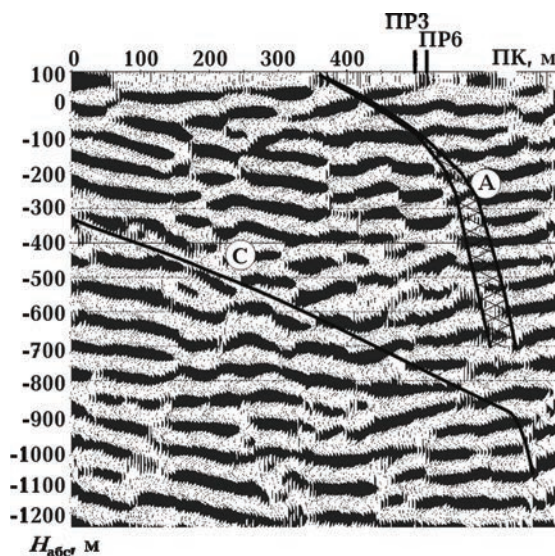


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез по профилю 5.

примере данных по профилю 5 (рис. 3, 4). Выделенный после стандартной обработки отражающий горизонт, соответствующий кровле терригенной толщи пород карбона, считается линией, на которой располагаются "мнимые" пункты возбуждения, а контур поверхности — линией, на которой расположены сейсмодиагностики. Отражающая граница (кровля песчаников) находится на глубине от 600 до 700 м и представляет собой ломаную линию. "Мнимые" пункты возбуждения расположены на ней неравномерно. Пункты приема располагались с шагом 10 м.

Обработка методом "псевдопросвечивания" проводилась по графу обработки, при этом в качестве исходных сейсмограмм использовались сейсмограммы ОГТ. Исходные сейсмограммы обрабатывались без фильтрации на "открытом" канале. Были выбраны два скоростных окна: 3500—4500 и 2500—3200 м/с. В этих скоростных окнах рассчитывались кинематические, динамические и спектральные параметры волнового поля.

Полученная для первого скоростного окна карта распределения максимума модуля амплитуды по разрезу сейсмического профиля 5 представлена на рис. 4. Можно убедиться, что в пределах участка повышенной трещиноватости в зоне влияния тектонического нарушения А (см. рис. 3) значение этой характеристики уменьшается в несколько раз по сравнению с зоной влияния залегающего полого тектонического нарушения С. Зона вли-

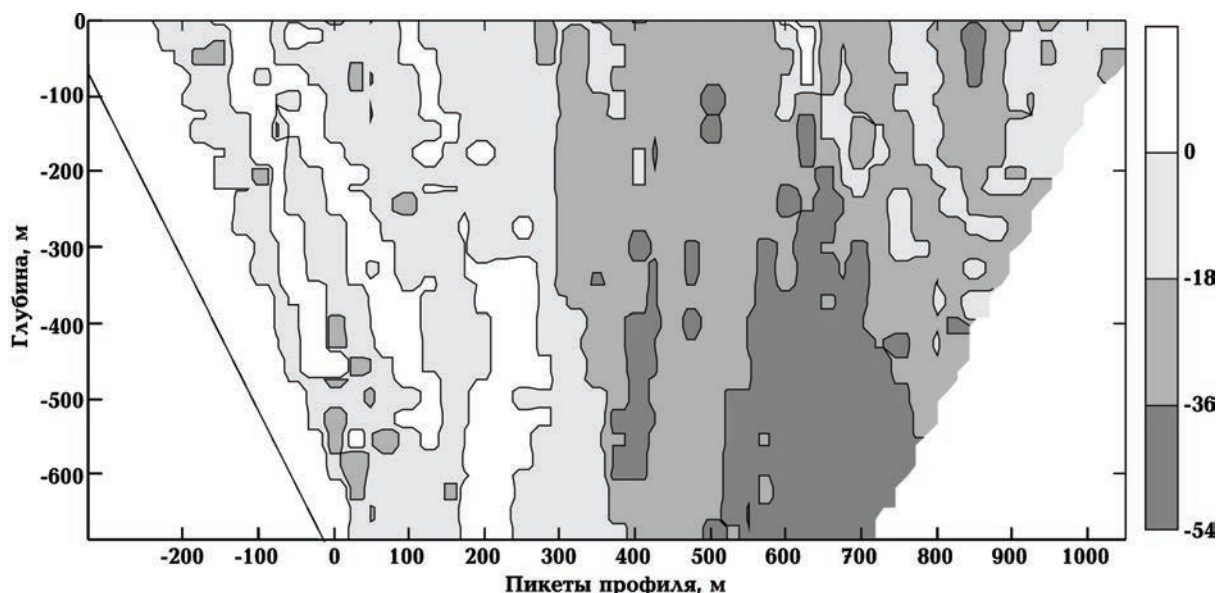


Рис. 4. Распределение максимума модуля амплитуды.

яния нарушения А прослеживается с глубины 700 м до глубины 200 м и имеет практически вертикальное падение (ПК 500—750 профиля 5). Частота сигнала и скорость распространения упругих волн по разрезу профиля 5 изменяются в небольших пределах. На вышеупомянутом участке повышенной трещиноватости несколько увеличивается ширина спектра сигнала.

В целом в результате обработки и интерпретации сейсморазведочных данных уточнены местоположение Алмазного, Сокологоровского, Коммунарковского надвигов, их апофиз. Кроме этого, выявлены и другие дизъюнктивы. Нарушения протрассированы до глубины 1200—1500 м. Результаты комплексной интерпретации сейсмических и геологических материалов представлены на фрагменте геологической карты (см. рис. 1), где показаны положения тектонических нарушений на глубинах их выходов под покровные отложения $H_{абс} = -400$ и $H_{абс} = -1000$ м, а также выделены зоны распространения складчатых структур антиклинального типа в интервалах глубин $H_{абс} = - (300—500)$ и $H_{абс} = - (900—1200)$ м.

Результаты сейсморазведочных исследований показали:

- Алмазный надвиг с глубины $H_{абс} = - (100—250)$ м резко изменяет угол падения на крутой. Он имеет широкую зону влияния и перекрывает выход под наносы тектоническому нарушению I, а также отсекает распростра-

нение Коммунарковского и Сокологоровского надвигов на юго-восток;

- Коммунарковский надвиг с глубины $H_{абс} = - (350—450)$ м резко изменяет угол падения с пологого на крутой (до $70—80^\circ$), имеет широкую зону влияния (до 30—50 м), сопровождается ответвлениями и апофизами и перекрывает выход под покровные отложения тектоническим нарушениям I и II;

- Сокологоровский надвиг имеет пологий угол падения до глубины $H_{абс} = - (700—800)$ м, а затем резко изменяет угол падения на крутой. Он сопровождается апофизами и ответвлениями выше и ниже плоскости смещения.

На всех сейсмических разрезах наблюдаются складчатые структуры антиклинального типа, которые находятся в разных интервалах глубин. Можно выделить две зоны распространения таких структур (см. рис. 1).

Зона 1 расположена в центре участка исследований и простирается с юго-запада на северо-восток. Она выделяется на глубине $H_{абс} = - (300—500)$ м в виде антиклинальной складки, которая с глубины $H_{абс} = - (500—600)$ м выполаживается. Массив горных пород в этой зоне интенсивно разбит тектоническими нарушениями и в верхней части разреза перекрывается Алмазным, Сокологоровским и Коммунарковским надвигами, которые обозначены на рис. 1 как А, С и К. В районе профиля 1 зона перекрывается с востока Алмазным надвигом, а с запада — нарушением I.

Зона 2 выделяется на глубине $H_{abc} = - (900 - 1200)$ м в виде антиклинальной складки, которая с глубины $H_{abc} = - 1200$ м выполаживается и переходит в синклинальную структуру. Ее контуры частично совпадают с расположением зоны 1. В границах зоны, кроме основных тектонических структур, иная тектоническая нарушенность проявляется слабо. Только в районе профиля 4 тектоника развита в значительной мере. Сверху зона 2 перекрыта Коммунарским и Сокологорским надвигами.

Анализ и обобщение полученной информации позволили сделать следующие выводы по определению участков наиболее рационального размещения матадодобывающих скважин.

1. Наиболее высокая газоносность углепородного массива находится в границах пересечения выделенных аномальных зон 1 и 2. При этом наиболее перспективным участком является область, где эти зоны перекрываются и выделяются складчатые структуры антиклинального типа, разбитые мелкоамплитудной тектоникой и перекрытые в верхней части разреза залегающими полого Сокологорским, Коммунарским и Алмазным надвигами.

2. Также перспективны приуроченные к зоне влияния Алмазного надвига участки повышенной трещиноватости и раздробленности массива горных пород на глубине от $H_{abc} = - 400$ до $H_{abc} = - 1000$ м. Они находятся в южной части участка ниже линии перехода угла падения Алмазного надвига с пологого на крутой на глубине $H_{abc} = - 400$ м.

Места заложения опытно-промышленных скважин по добыче метана на участке исследований были определены до начала сейсмических работ по геологическим данным и никаких корректировок по результатам сейсморазведки сделано не было. По-видимому, из-за этого при бурении скважины 2С (расположенной за пределами выделенных зон повышенной трещиноватости пород по сейсмическим данным) никаких значительных газопроявлений не произошло, и проходка скважины была остановлена. При бурении скважины 1С, расположенной практически на границе зоны повышенной трещиноватости пород по сейсмическим данным, наблюдались существенные газовыделения.

Следовательно, для практического решения проблемы экономически целесообразной добычи метана угленосных формаций необходимо включение в комплекс геологоразведочных работ современных, опережающих бурение, геофизических методов. Наиболее перспективными в этом плане представляются сейсморазведочные методы, разрешаемая способность которых позволяет выявить на значительных глубинах локальные зоны повышенной трещиноватости массива горных пород, к которым приурочены скопления метана. Целесообразность такого подхода к решению проблемы подчеркивается и тем (о чем говорилось выше), что в настоящее время в Украине речь идет о возможности добычи угольного метана, находящегося только в свободной фазе, запасы которого и площади распространения перспективных газоносных структур ограничены.

Список литературы

- Анциферов В.А. Комплексные геолого- и сейсморазведочные исследования перспективных газоносных структур // Уголь Украины. — 2005а. — № 2. — С. 41—43.
- Анциферов В.А. Сейсмический прогноз участков возможных повышенных газовыделений в горные выработки // Проблемы гірського тиску. — Донецьк: ДонНТУ, 2005б. — № 13. — С. 86—101.
- Анциферов А.В., Голубев А.А., Анциферов В.А. Горно-геологические условия зон, перспективных для добычи метана // Межведомств. сб. науч. тр. Геотехн. механика. — Днепропетровск, 2006. — Вып. 67. — С. 83—87.
- Анциферов А.В., Голубев А.А., Майборода А.А. Методические особенности выделения перспективных площадей для добычи метана угольных месторождений // Зб. наук. праць УкрНДМІ НАН України. — 2007. — № 1. — С. 7—20.
- Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Анциферов В.А. Сейсмическая разведка углепородных массивов. — Донецк: Вебер, 2008. — 203 с.
- Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Хохлов М.Т., Привалов В.А., Голубев А.А., Майборода А.А., Анциферов В.А. Газоносность угольных месторождений Донбасса. — Киев: Наук. думка, 2004. — 232 с.

- Лукинов В. В. Геологические и технические условия добычи метана на угольных месторождениях бассейна Блэк-Уорриор // Межведомств. сб. науч. тр. Геотехн. механика. — Киев; Днепропетровск, 2000. — Вып. 17. — С. 11—15.
- Лукинов В. В. Горно-геологические условия образования скоплений свободного метана на угольных месторождениях // Наук. вісн. НДУ. — 2007. — № 4. — С. 55—59.
- Лукинов В. В. Метан закрытых шахт — проблемы и решения // Межведомств. сб. науч. тр. Геотехн. механика. — Днепропетровск, 2006. — Вып. 67. — С. 55—67.
- Майборога А. А., Анциферов В. А. Газогенерирующее рассеянное органическое вещество и его распределение в угленосных формациях Донбасса // Зб. наук. праць УкрНДМІ НАН України. — 2007. — № 1. — С. 21—38.
- Тиркель М. Г., Майборога А. А., Компанец А. И., Сухина Е. В. Наземная сейсморазведка тектонической нарушенности шахтных полей // Сб. тр. УкрНИМИ. Ч. 1. — Донецк: Технический центр, 2004. — С. 261—268.
- Эттингер И. Л. Газоемкость ископаемых углей. — Москва: Недра, 1966. — 219 с.