

¹Л.И. Пимоненко, ¹А.А. Каргаполов, ²Д.П. Гуня, ³В.К. Свистун

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА ЗОН СКОПЛЕНИЙ МЕТАНА (НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ ИМ. А.Ф. ЗАСЯДЬКО)

На основе компьютерной технологии в опытном порядке выделены зоны скопления метана структурного типа в области залегания угольного пласта m_3 и песчаника $m_4Sm_4^1$ на шахте им. А.Ф. Засядько и прилегающем участке “Кальмиусский рудник”. Результаты анализа построенных карт и сопоставление их с данными бурения свидетельствуют об эффективности применения комплекса геолого-геофизических методов для прогноза зон скопления метана на угольных шахтах Донбасса.

Ключевые слова: метан, песчаник, тренд-анализ, геофизическое исследование скважин, гравиразведка.

В Украине существует серьезная проблема по обеспечению жидким и газообразным топливом. В то же время наша страна обладает большими собственными запасами углей различных марок. Балансовые запасы углей Украины составляют 41–42 млрд т (без учета запасов, которые оценены как перспективные, но недостаточно разведанные). Из этих запасов 31–32 млрд т представляют свободные участки, часть которых подготовлена к строительству новых и развитию действующих шахт. Освоение угольных месторождений Донбасса связано с прогнозированием горно-геологических условий, среди которых одно из ведущих мест занимает газоносность разрабатываемого углепородного массива. Распределение газов в массиве неравномерное и контролируется, в основном, малоамплитудной складчатостью и особенностями литолого-фациального состава отложений. Применение на шахтных полях геофизических исследований в комплексе с геологическими позволит более обоснованно планировать работы по дегазации и извлечению метана из песчаников угленосных толщ, что имеет социальное и экономическое значение [2, 5, 6].

Прогноз аномальных зон скопления метана в углепородном массиве может осуществляться на стадии геолого-разведочных работ при помощи разработанных в Институте геотехнической механики НАН Украины геолого-геофизических методов [3–5, 8]. Подход к прогнозированию базируется на предположении, что эти объекты прямо или косвенно отражены в структуре элементов геологической структуры (малоамплитудная нарушенность) и физических полях (литологический состав отложений).

Для анализа малоамплитудной складчатости и генетически связанной с ней нарушенности применяется метод тренд-анализа поверхности, что позволяет путем снятия регионального фона выявлять локальные складки, осложняющие склоны

крупных складок. Опыт и расчеты показали [3], что с учетом точности расчета и построения карт (± 5 м), а также строения крупной складки, в пределах которой находится исследуемый объект, для описания реальной поверхности пластов в Донбассе достаточными являются полиномы I или II степени. При увеличении степени полинома построенные карты будут отражать не реальные, а фантомные складки, обусловленные сложностью аппроксимирующей поверхности.

Для скопления свободного метана наиболее благоприятны пласты песчаников, в песчаниках – места пересечения стречневых участков палеопотоков с антиклинальными локальными структурами. В стречневых участках палеопотоков русловые песчаники характеризуются максимальной газоемкостью (при повышенных значениях пористости), в антиклинальных локальных структурах формируются трещиноватые зоны, улучшающие фильтрацию газа [1]. Для прогноза таких зон перспективно применение современного комплекса методов разведочной геофизики, которая на угольных месторождениях представлена довольно обширным комплексом современных полевых (грави-, магнито-, сейсмо- и электроразведкой) и скважинных методов [4, 5]. Полученная с их помощью информация дает возможность построить (на основе применения современных компьютерных технологий обработки и интерпретации по площади и разрезам исследуемой углепородной толщи) карты соответствующих геофизических полей, на которых с использованием данных тренд-анализа выделяют локальные участки повышенной газоносности в углепородном массиве.

На примере поля шахты им. А.Ф. Засядько и прилегающего участка доразведки “Кальмиусский рудник” рассмотрим применение предлагаемого геолого-геофизического метода прогноза зон скопления метана. Здесь в структурном, основном, классе локальных скопления метана [8] на-

блюдаются положительные локальные складки, которые содержат большие объемы свободного газа, мигрирующего из угольных пластов во вмещающие породы-коллекторы, перекрытые газонепроницаемыми породами.

Одним из наиболее перспективных для формирования зон скопления свободного метана (ЗСМ) по литолого-стратиграфическим условиям на шахте является интервал между угольным пластом m_3 и известняком M_5 . Расположенный выше отрабатываемого угольного пласта m_3 на расстоянии порядка 20 м пласт песчаника $m_4Sm_4^1$ мощностью от 35 до 50 м перекрыт пластом известняка M_5 (мощностью до 1,7 м). Песчаник – достаточно хороший коллектор, а практически непроницаемый известняк представляет собой покрывку.

Для зон скопления свободного метана в песчаниках наиболее благоприятны места пересечения стречневых участков палеопотоков (характеризуются коэффициентом относительной мощности песчаника – $K_{о.м.п.}$) с антиклинальными локальными структурами. В стречневых участках русловые песчаники отличаются максимальной газоёмкостью при повышенных значениях пористости, в пределах антиклинальных локальных структур формируются трещиноватые зоны, повышающие фильтрацию газа [1].

С помощью разработанной компьютерной технологии прогнозирования локальных ЗСМ [4] построен комплект карт, характеризующих строение углепородного массива в интервале m_3 – M_5 .

Построение выполнено по подошве угольного пласта m_3 , так как угольные пласты являются основным объектом изучения и по геологическим и геофизическим данным выделяются наиболее точно. В базу данных вводятся координаты устьев скважин с их номерами; отметки почвы пласта с учетом альтитуды; мощности песчаника $m_4Sm_4^1$ и коэффициенты относительной мощности ($K_{о.м.п.}$) песчаника $m_4Sm_4^1$, рассчитанные по исходным геолого-геофизическим разрезам скважин. По этим данным построены карты: гипсометрии и локальных структур, угольного пласта m_3 , изопакит и $K_{о.м.п.}$ песчаника $m_4Sm_4^1$, необходимые для анализа тектонических и литолого-стратиграфических условий скопления метана и возможности прогнозирования ЗСМ.

Поверхность пласта представляет собой моноклинал, наклоненную на север и осложненную локальными неоднородностями. При таком сравнительно простом строении пласта условная аппроксимирующая поверхность (полином I степени) позволяет с достаточной точностью выделить эти неоднородности.

На рис. 1 представлена совмещенная карта гипсометрии угольного пласта m_3 и локальных структур, построенных по его подошве (аппроксимирующая поверхность – полином I степени).

Гипсометрия пласта отражает ступенеобразную форму его поверхности, которая осложнена локальными складками с амплитудами, достигающими 50–65 м. На западе шахтного поля распо-

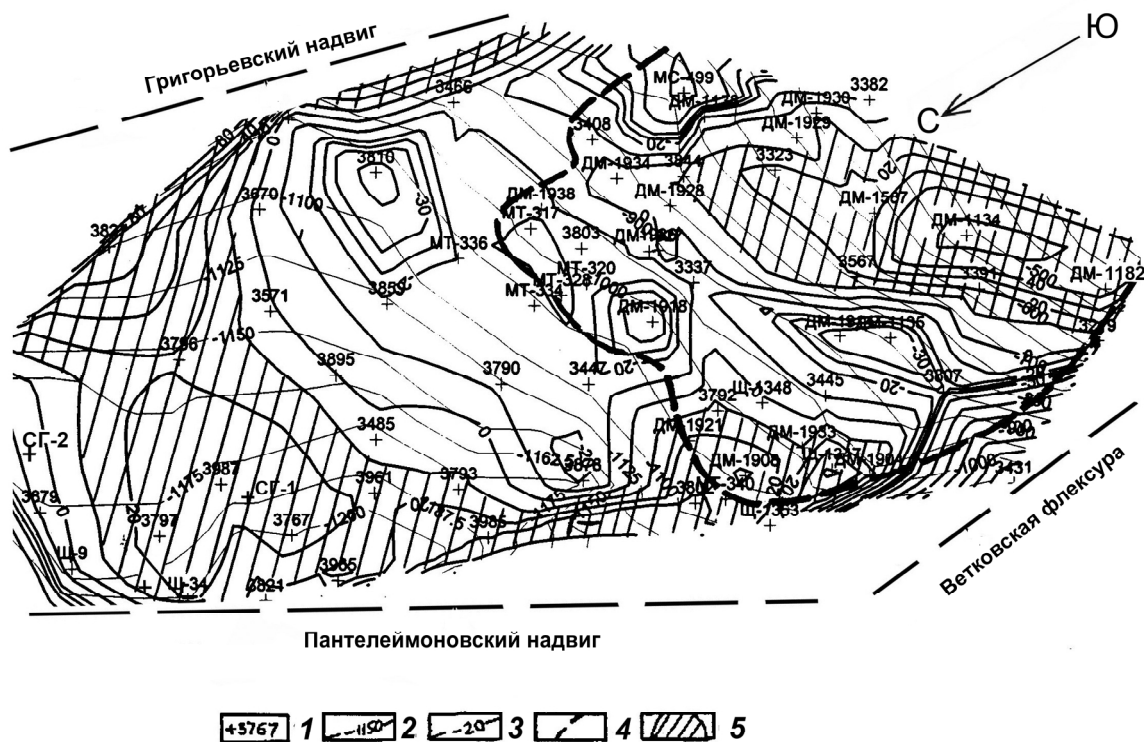


Рис. 1. Совмещенная карта гипсометрии угольного пласта m_3 и локальных структур на поле шахты им. А.Ф. Засядько и прилегающем участке “Кальмиусский рудник”: 1 – скважина и её номер; 2 – изолиния гипсометрии пласта m_3 , м; 3 – изолиния локальных структур, м; 4 – граница отработанного пространства по пласту m_3 ; 5 – антиклинальные локальные структуры

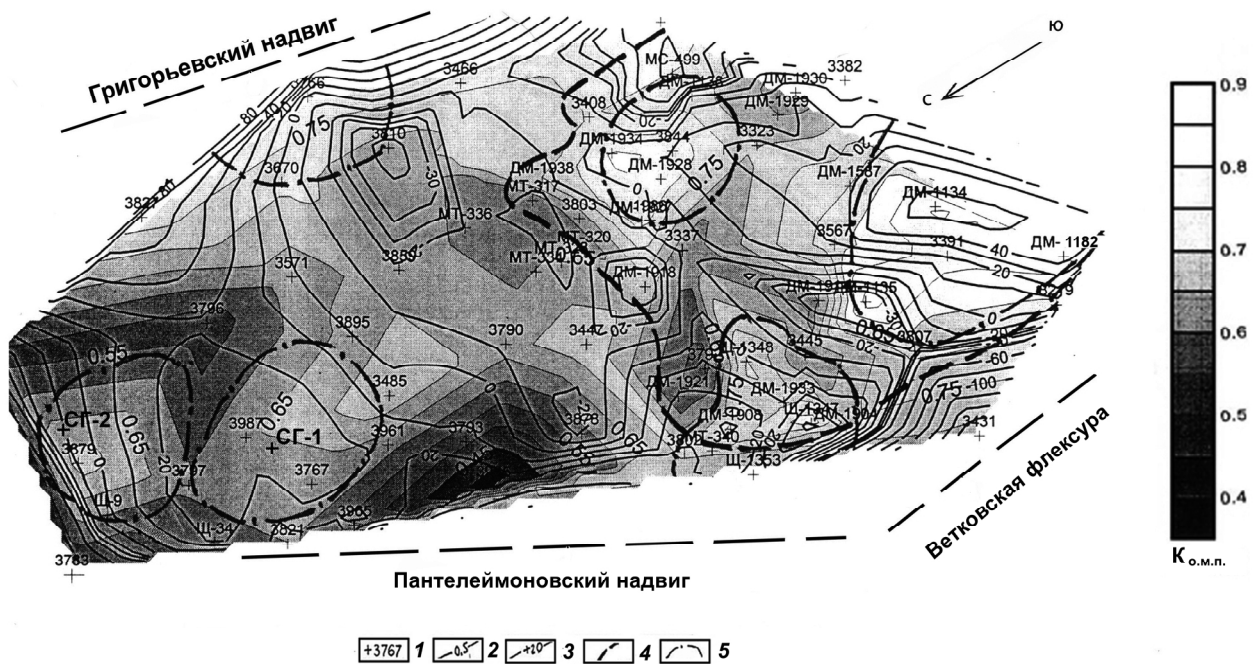


Рис. 2. Совмещенная карта коэффициента $K_{о.м.п.}$ песчаника $m_4Sm_4^1$ и локальных структур по угольному пласту m_3 на поле шахты им. А.Ф. Засядько и прилегающем участке “Кальмиусский рудник”: 1 – скважина и её номер; 2 – изолиния $K_{о.м.п.}$; 3 – изолиния локальных структур; 4 – граница оработанного пространства по пласту m_3 ; 5 – прогнозные зоны скопления метана

ложена антиклинальная складка амплитудой 50 м, ось которой субпараллельна Ветковскому надвигу (в лежачем крыле). В центральной части шахтного поля выделяются три складки (две антиклинальные и синклиальная, расположенная между ними), простираение их осей близкое к широтному. Амплитуды выделенных складок и их ширина примерно одинаковы. В осевой части складок наблюдаются небольшие куполообразные структуры, расположенные в районе скв. 3987 (20 м), ДМ-1134 (50 м), ДМ-1904 (40 м), ДМ-1908 (30 м). Такие структуры могут быть наиболее перспективными ловушками для формирования ЗСМ.

Проведенными работами [9] установлено, что на поле шахты им. А.Ф. Засядько вторичные складки (локальные структуры), осложняющие тектонику полей шахты, относятся к складкам продольного изгиба. Такие структуры образуются под действием сжимающих усилий и характеризуются пространственным сохранением параметров структур – до 700 м. Это обстоятельство позволяет перенести амплитуды и конфигурацию складок, построенных в пределах одного пласта, на другие пласты и рассматривать скопления метана в определенном объеме угле вмещающей толщи, ограниченном нулевой отметкой положительных локальных структур.

По данным геолого-разведочных скважин построена карта изопакит песчаника, в соответствии с которой на исследуемой площади мощность его уменьшается по падению пласта от 50 до 35 м. На фоне общего уменьшения отмечаются участки

локального изменения, пространственно не связанные с локальными структурами. Для выделения участков с максимальными в пределах поля шахты мощностями песчаников рассчитывался коэффициент $K_{о.м.п.}$. По полученным данным построена карта $K_{о.м.п.}$ (рис. 2). Значения этого показателя в пределах поля изменяются от 0,35 до 0,95, и, на наш взгляд, определенных закономерностей в их распределении нет. Максимальные значения на юге (скв. 1134 и ДМ-1928) и западе (скв. ДМ-1908, ДМ-1348 и Щ-1347) пространственно соответствуют локальным антиклинальным складкам. Повышенное значение $K_{о.м.п.}$ (0,65) на севере в районе скв. 3879 (одно пластопересечение) приурочено к синклиальной складке. Пониженные значения $K_{о.м.п.}$ в центральной части (скв. 3792 и МТ-336) и на западе (скв. 3965) характеризуют мощность песчаников на крыльях складок, на севере (скв. 3765 и 3796) – в седловидном изгибе антиклинали.

Исходя из того что наиболее благоприятными зонами для скопления газа могут быть участки антиклинальных локальных структур, которым соответствуют максимальные значения $K_{о.м.п.}$, на рис. 2 такие зоны выделены и сопоставлены с известными данными о газопроявлениях в скважинах. В южной зоне, где высокие значения $K_{о.м.п.}$ отвечают антиклинальным структурам (скв. ДМ-1928), отмечалось повышенное выделение метана, а вблизи Ветковского надвига (на западе) при ведении горных работ неоднократно регистрировались суфляры, выбросы угля и газа.

В итоге на основе анализа комплекта карт, построенных с помощью разработанной компьютерной технологии, в области залегания угольного пласта m_3 и песчаника $m_4Sm_4^1$ на шахте им. А.Ф. Засядько и прилегающем участке “Кальмиусский рудник” выделены шесть прогнозных зон скопления метана (рис. 2): три – в условиях отработанных и три – неотработанных частей пласта m_3 .

Достоверность такого прогноза оценивалась по наличию газопроявлений в геолого-разведочных скважинах и горных выработках, а также отмеченных газодинамических явлений (выбросы угля и газа, суфляры и т. п.) в отработанной части пласта m_3 . Результаты сопоставлений показали удовлетворительную сходимость прогноза ЗСМ и фактических газопроявлений.

Однако ни одна из построенных карт не отражает трещиноватости массива – фактора, играющего существенную роль в структурных ловушках. С целью дополнения геологических данных были привлечены результаты гравиметрических исследований, выполненных Днепропетровской геофизической экспедицией.

Общей парадигмой интерпретации гравиметрических исследований является вероятностная логическая связь между участками скопления метана в угленосной толще и незначительными по интенсивности гравитационными минимумами,

ограничивающими зоны повышенных градиентов и пространственно приуроченными к участкам локальных поднятий осадочного чехла. Поэтому основной задачей гравиразведочных работ было выделение и прослеживание зон разуплотнения. По данным исследований, зоны разуплотнения при мощности 50–100 м фиксируются в гравитационном поле слабыми минимумами интенсивностью до 0,5 мГал. Для решения поставленной задачи была проведена высокоточная гравиметрическая съемка М 1 : 5 000 с пересечением изоаномал гравиметрической карты 0,05 мГал. Оптимальная сеть наблюдений для уверенного выявления зон разуплотнения разных направлений простирания и формы – квадратная, но с учетом очень сложных условий местности съемка выполнена по сети 100×20м вкост основного простирания геологических структур и рельефа земной поверхности. Точность площадной съемки с учетом привязки к государственному уровню составила $\pm 0,11/0,03$ мГал. При проведении широкого комплекса геофизических (включая сейсморазведку) и атмогеохимических измерений были использованы профили гравиметрических исследований.

Трещиноватость углепородного массива характеризует карта $\Delta g_{\text{ост}}$, построенная ПО “Днепрогеофизика” (рис. 3). Сопоставление карты гравитационных аномалий со структурой шахтного поля

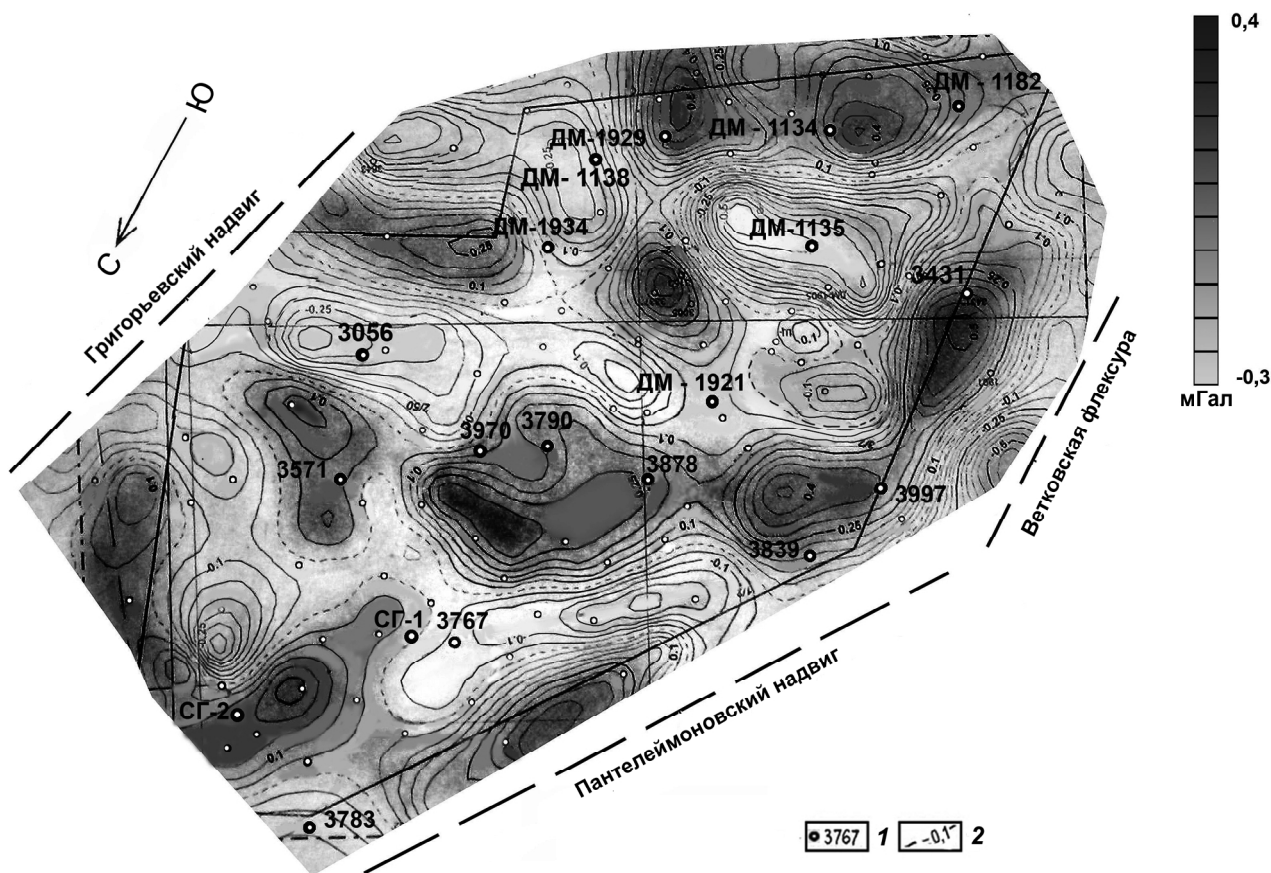


Рис. 3. Карта гравитационных аномалий ($\Delta g_{\text{ост}}$): 1 – скважина и её номер; 2 – изолинии $\Delta g_{\text{ост}}$

показало, что в общем гравитационные аномалии приближенно отражают структуру осадочных отложений. К главным морфообразовательным элементам гравитационного поля относятся:

- зона интенсивного градиента, дугообразно пересекающая площадь исследований с юго-западного угла почти до северо-восточного; наиболее высокоинтенсивный градиент (0,5 мГал/200 м) зафиксирован на северном окончании ответвления Пантелеймоновского надвига; в целом вся зона отвечает Ветковский флексуры со смещением относительно приведенного на геологической карте положения на северо-запад, которое объясняется падением пластов в этом направлении под углом 70°;
- наблюдается общий рост гравитационного поля в юго-восточном направлении от 23 до 29 мГал; при этом отдельные максимумы интенсивностью 0,5 мГал и выше зафиксированы в районе скважин с. Яковлевка с эпицентром в районе г. Макеевка;

В остаточном гравитационном поле более ярко подчеркиваются следующие элементы:

- Ветковская флексура (Пантелеймоновский надвиг) уверенно прослеживается по четкой градиентной зоне шириной 250 м;
- к востоку от этой региональной зоны можно предположить трассирование оперяющих и сопровождающих Ветковскую флексуру разрывных нарушений (система Пантелеймоновский – Октябрьский надвиги).
- локальные гравитационные минимумы на востоке участка сопровождают упомянутую выше региональную гравитационную ступень, отвечающую Ветковской флексуры; природа таких минимумов, вероятно, связана с наличием разуплотнений в осадочном чехле; совпадение последних с локальными поднятиями – один из критериев прогноза газоносности;
- локальные узкие градиентные зоны остаточного гравитационного поля, которые отделяют локальные минимумы, при совпадении с локальными поднятиями в осадочном чехле также могут служить одним из критериев прогноза.

В центральной части поля прослеживается субширотная гравитационная ступень (отрицательные значения – скв. 1921 и 3056, положительные – скв. 3970, 3878), которая, по нашему мнению, связана с субширотным (правым) сдвигом, фиксируемым в осадочных отложениях совмещением периклинальных частей синклинальной и антиклинальной складок и вызвавшим образование Пантелеймоновского и Октябрьского надвигов [7]. Изгиб положительных максимумов (скв. 3839, 3997, 3431) совпадает с местом пересечения Ветковской флексуры с Пантелеймоновским надви-

гом. В целом положительные аномалии совпадают с антиклинальными складками (скв. ДМ-1182, ДМ-1134), отрицательные – с синклинальными складками (скв. ДМ-1138, ДМ-1135).

Детальнее рассмотрим северную часть исследуемого участка. На карте локальных структур (см. рис. 1) четко выделяется субширотная двувершинная антиклинальная складка; на карте $\Delta g_{\text{ост}}$ две положительные диагональные аномалии разделены отрицательной (см. рис. 3). Антиклинальные складки, как правило, на картах выделяются положительными значениями, но установлено несколько факторов, способствующих появлению гравитационных минимумов, один из которых – разуплотнение пород в сводах складок, связанное с интенсивной трещиноватостью. Исходя из этого, можно предположить, что величины $\Delta g_{\text{ост}}$ отражают чередование участков различной степени разуплотненности (трещиноватости) в пределах антиклинальной складки, что подтверждается данными бурения.

Так, в скв. СГ-1 перебурено около 500 м отложений повышенной трещиноватости. Это выразилось в повышении скорости проходки и частичных кратковременных поглощениях промывочной жидкости. При проведении пластопересечений в открытом стволе из трёх горизонтов получены расчетные значения газопритоков от 155 до 1400 м³/сут.

В скв. СГ-2 перебурено около 150 м отложений повышенной трещиноватости. При проведении пластоиспытаний в открытом стволе ни один из горизонтов газа не дал.

Пересекаемые отложения песчаников, которые подверглись пластоиспытаниям в обоих скважинах, имеют пористость от 3,2 до 7,4 %.

На основании изложенного можно сделать вывод, что углепородный массив в месте бурения скв. СГ-1 более трещиноватый, чем в месте бурения скв. СГ-2.

Таким образом, для выделения в песчаных коллекторах наиболее перспективных участков скопления метана, эффективно комплексное применение современных компьютерных технологий и результатов интерпретации методов разведочной геофизики. Применение рассматриваемого комплекса геолого-геофизических методов позволило выделить зоны скопления метана структурного типа в области залегания угольного пласта m_3 и песчаника $m_4Sm_4^1$ на шахте им. А.Ф. Засядько и прилегающем участке “Кальмиусский рудник”. Анализ полученных результатов и сопоставление их с данными бурения свидетельствуют об эффективности применения комплекса геолого-геофизических методов для прогноза зон скопления метана на угольных шахтах Донбасса.

1. *Безручко К.А.* Оценка пористости горных пород в локальных антиклинальных структурах / Безручко К.А. – Дніпропетровськ: Ін-т геотехн. механіки, 2008. – 369 с. – (Геотехнічна механіка: Міжвідомч. зб. наук. праць ІГТМ НАН України; Вип.80). – С. 77–83.
2. *Булат А.Ф.* Концепция комплексной дегазации углепородного массива для условий шахты им. А.Ф. Засядько / Булат А.Ф. – Дніпропетровськ: Ін-т геотехн. механіки, 2002. – 208 с. – (Геотехнічна механіка: Міжвідомч. зб. наук. праць ІГТМ НАН України; Вип. 37). – С. 10–17.
3. *Гончаренко В.А.* Геофизическая оценка параметров коллекторов-песчаников в зонах скопления метана на шахтах Донбасса / [Гончаренко В.А., Герасименко Т.В., Свистун В.К., Бендик И.Н.]. – Дніпропетровськ: Ін-т геотехнічної механіки, 2006. – 374 с. – (Геотехнічна механіка) (Міжвідомчий зб. наук. пр. ІГТМ НАН України; вип.67). – С. 224–229.
4. *Гончаренко В.А.* Разработка основ компьютерной технологии прогнозирования зон скопления метана на угольных месторождениях / Гончаренко В.А.; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова. – Дніпропетровськ: Ін-т геотехнічної механіки, 2002. – 317 с. – (Геотехнічна механіка: Міжвідомчий зб. наук. праць. ІГТМ НАН України; вип. 56). – Бібліогр.: С. 51–57.
5. *Гончаренко В.А.* Перспективы комплексного геолого-геофизического прогноза зон скопления метана на угольных месторождениях Донбасса / [Гончаренко В.А., Герасименко Т.В., Свистун В.К.] // *Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту.* – 2007. – № 4. – С. 73–76.
6. *Звягильский Е.Л.* О выборе оптимальных точек заложения поверхностных дегазационных скважин / [Звягильский Е.Л., Ефремов И.А., Бобрышев В.В.]. – Дніпропетровськ: Ін-т геотехн. механіки, 2004. – 374 с. – (Геотехнічна механіка: Міжвідомчий зб. наук. праць ІГТМ НАН України; вип. 49). – С. 30–40.
7. *Лукинов В.В.* Кинкбанды и листрические надвиги – новые типы малоамплитудных дислокаций в Донбассе / [Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Барановский В.И., Гуня Д.П.] // *Уголь Украины.* – 2012. – № 12. – С. 36–38.
8. *Лукинов В.В.* Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / Лукинов В.В. – Киев: *Наук. думка*, 2008. – 350 с.
9. *Пимоненко Л.И.* Природа мелкой складчатости на шахте им. А.Ф. Засядько / [Пимоненко Л.И., Гончаренко В.А., Гуня Д.П.]; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова. – Дніпропетровськ: Ін-т геотехнічної механіки, 2005. – 308 с. – (Геотехнічна механіка: Міжвідомчий зб. наук. праць ІГТМ НАН України; вип. 56). – Бібліогр.: С. 51–57.

¹ *Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепрпетровск, Украина*

Поступила в редакцию 13.06.2012 г.

² *ПАО “Шахта им. А.Ф. Засядько”, Донецк, Украина*

³ *ДГЭ “Днепрогеофизика”, Днепрпетровск, Украина*

Л.И. Пимоненко, А.А. Каргаполов, Д.П. Гуня, В.К. Свистун

РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ЗОН СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ (НА ПРИКЛАДІ ШАХТИ ІМ. О.Ф. ЗАСЯДЬКА)

На основі комп'ютерної технології у межах досвіду виділені зони скупчення метану структурного типу в межах залягання вугільного пласта m_3 і пісковика $m_4Sm_4^1$ на шахті ім. О.Ф. Засядька і прилеглий ділянці “Кальміуський руднік”. Результати аналізу побудованих карт і зіставлення їх з даними буріння свідчать про ефективність застосування комплексу геолого-геофізичних методів для прогнозу зон скупчення метану на вугільних шахтах Донбасу.

Ключові слова: метан, пісковик, тренд-аналіз, геофізичне дослідження свердловин, гравірозвідка.

L.I. Pimonenko, A.A. Kargapolov, D.P. Gunya, V.K. Svistun

RESULTS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL METHOD APPLICATION FOR PROGNOSIS OF METHANE ACCUMULATIONS ZONES (ON THE EXAMPLE OF A.F. ZASYAD'KO MINE)

On the basis of a computer technology zones of methane accumulation of structural class are distinguished in the area of m_3 coalbed and $m_4Sm_4^1$ sandstone on Zasyad'ko mine adherent area of “The Kal'miuss mine”. The results of maps analysis and their comparison with the drilling data indicate the efficiency of complex geological and geophysical methods application for the prognosis of methane accumulation zones on the coal mines of Donbas.

Keywords: methane, sandstone, trend-analysis, geophysical research of mining holes, gravitational exploration.