

# ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УЧАСТКОВ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ДОБЫЧИ УГОЛЬНОГО МЕТАНА КАК САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДОНБАССА

УДК 622.537.8

А.А. Тараник, ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ» (Донецк, Украина),  
alex\_taranik@mail.ru

**Вопрос природы углеводородных газов, а также техническая заинтересованность в поиске долговременной добычи метана обстоятельно решаются с помощью геохимических исследований, получивших широкое распространение, в том числе в горной и нефтегазовой промышленности. В статье представлены результаты геохимических исследований углерода угля, метана и углекислого газа угольных шахт Донбасса. Исследования позволяют сделать вывод о возможной природе образования углеводородных газов и формировании участков долговременной добычи метана как самостоятельного источника энергии.**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ГЕОХИМИЯ, ПРОГНОЗ, ДОБЫЧА, УГОЛЬНЫЙ МЕТАН, КРИТЕРИИ, ИЗОТОП УГЛЕРОДА.

Рациональное использование природных ресурсов является неотъемлемой частью как экономической, так и энергетической независимости любой страны. На фоне разработки традиционных ресурсов нефти и газа необходимо уделять особое внимание поиску и разработке альтернативных источников энергии, одним из которых может служить шахтный газ, выступая попутным, а в некоторых случаях и самостоятельным сырьем при разработке угольных месторождений.

После первого нефтяного кризиса в 1973 г. на метан угольных месторождений как самостоятельное полезное ископаемое в мире обратили пристальное внимание. В США эти работы поощрялись путем скидков в налогах и кредитах. По данным Национального нефтяного совета и Американского института газа, в США запасы метана до глубины 1 км составляют до 14 трлн м<sup>3</sup>. По данным Агентства окружающей среды США, каждый год из угольных пластов большой мощности с метаноносностью

8,2–19,2 м<sup>3</sup>/т добывается и утилизируется около 40 млрд м<sup>3</sup> метана. В основном районе добычи и утилизации метана Сан-Хуан (штаты Колорадо и Нью-Мексико) пробурено свыше 18 тыс. геолого-разведывательных и около 7 тыс. эксплуатационных скважин. Из-за различий в метаноносности отдельных участков 10 % этих скважин дают 60 % добычи метана. Себестоимость добываемого метана дороже природного газа, однако с учетом скидков и организационно-производственных мероприятий, предусмотренных законодательством США, добыча метана из угольных месторождений вполне рентабельна.

В целом в мире широко ведутся работы по добыче и утилизации: в ФРГ метановые ресурсы составляют 3,0–4,0 трлн м<sup>3</sup>, в Англии – 1,9–2,8 трлн м<sup>3</sup>, в Польше – 1,6–2,0 трлн м<sup>3</sup>, в Чехии – 1,1–1,5 трлн м<sup>3</sup>, в Китае – 25,0–30,0 трлн м<sup>3</sup>, в Австралии – 6,0 трлн м<sup>3</sup> и т. д.

В Донбассе сконцентрированы колоссальные запасы углеводородных газов в угольных пластах. Несмотря на огромные потери

(более 90 %) метана в ходе геологического развития, Донбасс является одним из наибольших газозольных бассейнов Европы. По подсчетам специалистов, запасы углеводородных газов в Донбассе на глубинах до 3 км составляют 12,0–25,0 трлн м<sup>3</sup>.

Задача оценки качества накопленных в горном массиве углеводородных газов и источников их образования имеет большое значение при выборе перспективных участков долговременной добычи углеводородов. Перечисленные задачи успешно могут быть решены геохимическими методами, базирующимися на изучении изотопных отношений углерода в угле, углекислом газе и метане.

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

При рассмотрении источника генерации глубинного и новообразующегося метана автор исследовал пространственно-временную локализацию и пути миграции метана глубинного происхождения методами изотопного анализа.

В природе углерод представлен тремя изотопами: <sup>12</sup>C, <sup>13</sup>C и <sup>14</sup>C. Пер-

Taranik A.A., YUZHNIIGIPROGAZ PJSC (Donetsk, Ukraine), alex\_taranik@mail.ru

### Geochemical characteristics of fields for the production of coal bed methanes an independent source of energy illustrated by Donbass field

The issue of hydrocarbon gas nature, as well as the technical interest in the search for long-term methane production, is thoroughly resolved through geochemical studies that have become widespread, including in the mining and oil and gas industries.

The article presents the results of geochemical studies of the carbon from coal, methane and carbon dioxide of the Donbass coal mines. The studies allow drawing a conclusion about the possible nature of the formation of hydrocarbon gases and the formation of long-term methane production fields as an independent source of energy.

**KEY WORDS:** GEOCHEMISTRY, FORECAST, PRODUCTION, COAL BED METHANE, CRITERIA, CARBON ISOTOPE.

вые два – стабильные, их общий объем составляет  $^{12}\text{C}$  – 98,89 % и  $^{13}\text{C}$  – 1,11 %. Изотоп  $^{14}\text{C}$  – нестабильный и образуется при распаде нестабильного изотопа азота  $^{14}\text{N}$ .

Для анализа изотопного состава углерода угля, метана и углекислого газа используется PDB – международный стандарт, название которого происходит от белемнитов из формации Peedee в Южной Каролине (США). Белемниты были выбраны в качестве стандарта по причине однородности изотопного состава. По этому стандарту  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0,0112372$ . Смещение изотопного состава углерода относительно международного стандарта PDB ( $\delta^{13}\text{C}$ ) определяется по формуле:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}} - 1 \right] 1000, \text{‰}.$$

Изотопные исследования, проведенные во многих странах мира, показали следующее. Рассеянный углерод, встречающийся в ультраосновных и основных породах мантии, имеет характерный диапазон значений  $\delta^{13}\text{C}$  от –22 до –27 ‰. Углеводородные газы характеризуются значительным диапазоном колебаний изотопного состава углерода. Самыми тяжелыми по изотопному составу углерода являются газы, связанные с магматической деятельностью ( $\delta^{13}\text{C} = -10...-30 \text{‰}$ ), а самыми легкими – газы биохимического

генезиса ( $\delta^{13}\text{C} = -50...-80 \text{‰}$ ). Газы нефтегазовых месторождений занимают промежуточное положение ( $\delta^{13}\text{C} = -30...-50 \text{‰}$ ). Метан однозначно считается абиогенным при  $\delta^{13}\text{C} \geq -20 \text{‰}$ .

Метан в условиях магматического расплава имеет такой же изотопный состав, что и исходный графитный углерод ( $\delta^{13}\text{C} = -3,2...-12,8 \text{‰}$ ), а по мере удаления из области высоких температур за счет обмена с  $\text{CO}_2$  обогащается легким изотопом до значений, установленных в вулканических газах и термальных источниках ( $\delta^{13}\text{C} = -23 \text{‰}$ ).

Как правило, эти процессы необратимы и происходят в открытых системах, например  $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ . В сложных горно-геологических условиях процессы миграции затрудняют распознавание газоматеринского источника, что является препятствием для создания адекватной генетической модели высокогазоносных участков углепородного массива. Модель источников и механизмов образования углеводородных газов в осадочных породах, предложенная Э.М. Галимовым, позволяет увязать изотопную характеристику газа со степенью преобразования органического вещества.

Согласно предложенной модели в зависимости от характера накопления газа для любого органического вещества возможна область значений изотопного состава углерода метана и отража-

тельной способности витринита ( $\delta^{13}\text{C} - R_0$ ), ограниченная линиями  $\delta^{13}\text{C} = 8,6 \log R_0 - 28 \text{‰}$  и  $\delta^{13}\text{C} = 8,6 \log R_0 - 32,8 \text{‰}$ . Эти линии отвечают двум предельным случаям, когда выделенный газ является суммарным продуктом газообразования на всех предыдущих стадиях метаморфизма и в углепородном массиве присутствует газ, отвечающий только текущей стадии преобразования органического вещества, а весь ранее генерированный газ был утрачен (рис. 1).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выяснения генезиса и путей миграции углеводородных газов автором исследованы зоны влияния крупных тектонических структур при разработке шахт Донбасса (шахты им. А.Ф. Засядько, им. М.И. Калинина, «Краснолиманская», «Красноармейская-Западная № 1»).

Химический состав газов определялся на хроматографе ЛХМ-8МД.

Определение изотопного состава углерода угля и метана производилось на масспектрометре МИ-1201В.

На шахте им. А.Ф. Засядько были отобраны и проанализированы пробы рудничного газа на пласте  $m_3$ , в зоне влияния Ветковского надвига, и пласте  $I_1$ , на участке перехода мелкоамплитудного нарушения. Исследуемый участок 13-й восточной лавы пласта  $I_1$

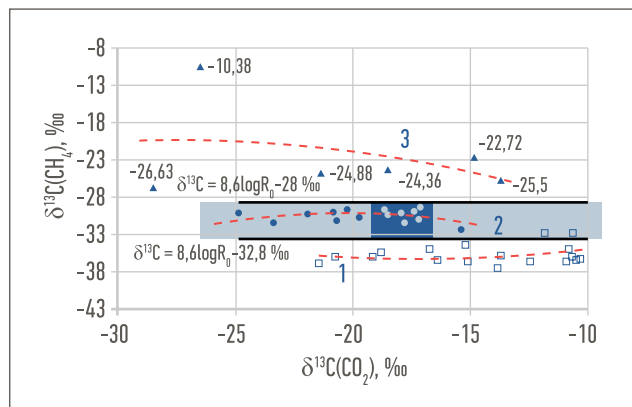


Рис. 1. Соотношение изотопного состава углерода  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  на шахтах Донецко–Макеевского и Красноармейского районов (красные пунктирные линии – линии тренда)

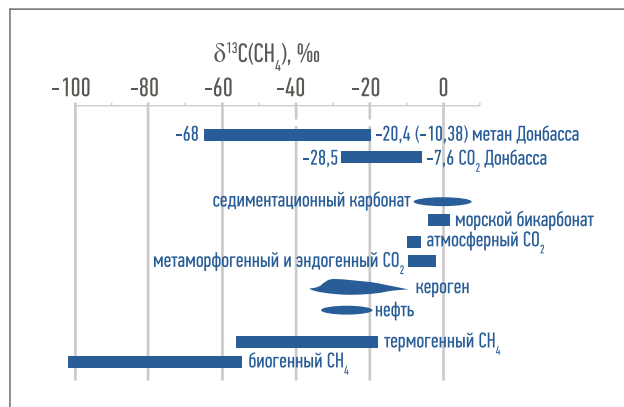


Рис. 2. Изотопный состав углерода в изучаемых пробах

характеризуется высоким содержанием тяжелых углеводородов (до 8,6 %), водорода (0,14 %), гелия (0,113 %). На участке 17-го западного конвейерного штрека пласта  $m_3$  химический состав не изучался. При приближении к тектоническим нарушениям выявлена тенденция утяжеления углерода  $\text{CH}_4$  от  $-42,5$  до  $-24,36$  ‰ на пласте  $m_3$ , и от  $-31,48$  до  $-29,8$  ‰ на пласте  $l_1$ , соответственно.

На шахте «Красноармейская–Западная № 1» отобраны две пробы газа из угольного пласта  $d_4$  в зоне влияния Глубокоярского сброса. Исследуемый газ представлен метаном (95,06 %) с небольшими примесями азота (4,57 %) и углекислого газа (0,3 %). Изотопные анализы метана показали одни из наименьших значений:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -42,43$  ‰ в изучаемых газах. Среди проанализированных проб такой легкий изотопный состав углерода метана ( $-42,5$  ‰) обнаружен еще в двух пробах из пласта  $m_3$  шахты им. А.Ф. Засядько.

Отбор проб рудничного газа на шахте им. М.И. Калинина осуществлялся из угольного пласта  $h_{10}$  в зоне влияния апофизы «Надвиг № 1». Масспектрометрический анализ показывает самое интенсивное обогащение изотопом  $^{13}\text{C}$  метана в пробе К-5 ( $-10,38$  ‰). В пробе К-1  $\delta^{13}\text{C} = -26,63$  ‰, что является типичным для термогенных газов. Проба К-5 попадает за

пределы всех генетических полей газов и, по-видимому, характеризует газ, сформировавшийся при ультравысоких степенях дозревания органического вещества (более  $500^\circ\text{C}$ ), или же эндогенный газ. По мнению автора, выявленное изотопное значение указывает на подток эндогенных газов. Химический состав не изучался.

По мере приближения 11-го северного конвейерного штрека пл.  $k_3$  шахты «Краснолиманский» к зоне Глубокоярского сброса содержание этана изменяется от 0,28 до 0,88 %, пропана – от 0 до 0,36 %, что в сумме намного ниже, чем на шахте им. А.Ф. Засядько. Содержание гелия изменяется от 0,05 до 0,189 %, что, безусловно, объясняется миграционными процессами по крупным тектоническим нарушениям.

Изотопный состав углерода  $\text{CH}_4$  рудничных газов шахты «Краснолиманская» изменяется в пределах от  $-34,51$  до  $-37,58$  ‰, характеризуясь меньшим разбросом значений, чем метан угольных пластов марки Ж шахты им. А.Ф. Засядько, четко фиксируя границу меньшей метаморфизации (Г).

Изотопный состав углерода метана газов Донбасса располагается в диапазоне от  $-68$  до  $-25$  ‰. Изучаемый газ полностью попадает в интервал величин газов термогенного и биогенного генезиса (рис. 2), за исключением пробы К-5 ( $-10,38$  ‰) шахты

им. М.И. Калинина. Полученный изотопный состав свидетельствует о присутствии газа эндогенного происхождения.

Используя полученные результаты и модель, предложенную Э.М. Галимовым, изученные пробы на рис. 1 разделяются на те, в которых  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) < \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$  (тренд 3) и те, в которых  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$  тяжелее или равно значению  $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$  (тренд 2 – для шахт им. А.Ф. Засядько и «Щегловская–Глубокая» и тренд 1 – для шахты «Краснолиманская»).

Среднее значение  $^{13}\text{C}$  между этими группами результатов проходит по  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) = -28,8$  ‰. Это свидетельствует о разной генетической принадлежности метана этих трех групп.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе пиролиза угля изотопный состав углерода изменяется следующим образом:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}} < \delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) < \delta^{13}\text{C}_{\text{уголь}} \ll \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ . Соответственно, пробы первой и второй групп (тренды 1 и 2) представлены метаном и углекислым газом, сгенерированным в процессе пиролиза и термогенного разложения органического вещества углей марок «Г», «Г-Ж». Для шахт Красноармейского района (тренд 1), значение  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$  указывает на относительно легкий изотопный состав углерода метана ( $-36,86$  ‰) по сравнению с углеродом материнской органики

(–24 ‰). Это указывает на преобразование в углепородном массиве газов биогенного генезиса.

Более тяжелые значения углерода метана и углекислого газа, представленные на тренде 2, обусловлены генерацией газов из углей более высокой степенью метаморфизма. Область, отвечающая двум предельным случаям газообразования  $\delta^{13}\text{C} = -28,8...-33,6 \text{ ‰}$ , определяет граничные условия выделения метана из углей марок «Ж–К». Проанализированные пробы попадают в поле метана, выделенного из керогена 3-го типа в процессе декарбоксиляции угля. Такой кероген образуется из остатков высших растений, формирующих большинство угольных месторождений Донбасса.

Исключения составляют пробы с наиболее тяжелым изотопным составом углерода метана и углекислого газа (тренд 3). Характерной особенностью этих проб является приуроченность к апофизе

№ 4 Ветковского надвига на шахте им. А.Ф. Засядько и «Надвигу № 1» шахты им. М.И. Калинина.

Согласно предложенной модели зависимости изотопного состава углерода  $\text{CH}_4$  от степени преобразования исходного органического вещества ( $\delta^{13}\text{C} - R_0$ ) полученный метан не мог быть образован в процессе метаморфизма угля. Метан с изотопным значением углерода от –26,63 до –10,38 ‰ имеет термогенный и, не исключено, эндогенный генезис.

Таким образом, критерием, определяющим миграцию генетически чужеродных газов в углепородный массив Донбасса из глубинных источников, формирующих участки долговременной добычи метана как самостоятельного источника энергии, является значение  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) = -28,8 \text{ ‰}$ .

#### ВЫВОДЫ

1. В углепородном массиве Донбасса присутствуют газы разных

генетических типов, характеризующихся разными изотопными значениями углерода метана и углекислого газа.

2. В зонах влияния крупных тектонических нарушений преобладает чужеродный газ, предопределяющий формирование зон газонасыщения. Этот газ характеризуется более тяжелыми изотопными значениями метана и углекислого газа.

3. Изотопным критерием миграции чужеродного газа выступает предельный случай  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) = 8,6 \log R_0 - 28 \text{ ‰}$  газогенерации из органического вещества.

4. Результаты геохимических и геофизических исследований, выполненных на угольных месторождениях Донбасса, могут быть использованы на других месторождениях как прогнозные показатели участков долговременной добычи метана как самостоятельного источника энергии. ■



группа компаний  
**ГОРОДСКОЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗ**

# Консультант №1 в России\*

\*1-е место в рейтинге  
«Консалтинг в области организации производства».  
По данным «Эксперт РА» (2004–2010, 2012 гг.)

**УСЛУГИ  
СЛУЖБАМ  
ГЛАВНОГО  
ИНЖЕНЕРА**

**Экспертиза  
промышленной  
безопасности**

**Энергоаудит**

**Специальная  
оценка условий  
труда**

**Проектирование**

**Экологический  
аудит**

на правах рекламы

Работаем с предприятиями ПАО «Газпром» с 1998 года



Входит в GCE Group («ДжиСиИ Групп»).  
Международный консультант по организации производства

Санкт-Петербург: +7 (812) 334 5984 Москва: +7 (499) 176 8772  
[www.gce.ru](http://www.gce.ru)