

Академик НАН Украины,
д-р техн. наук, проф. А.Ф. Булат,
д-р геол. наук Л.И. Пимоненко,
канд. геол.-мин. наук К.А. Безручко,
инженеры А.В.Приходченко, Д.Н. Пимоненко
(ИГТМ НАН Украины)

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ГАЗОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Проаналізовані геологічні умови газоносності середнього карбону Західного Донбасу. В межах Лозовського району виділені найбільш перспективні інтервали і оцінена потенційна газонасиченість пісковиків. На підставі отриманих даних зроблено висновок про необхідність постановки геологічних робіт для вивчення можливості комплексної утилізації газів: з верхніх горизонтів (до 1000 м) азоту і з нижніх (1000 – 1800 м і більш) – метану.

PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT GAS-COAL DEPOSITS THE WESTERN DONBASS

The geological conditions of gas-bearing middle carbon Western Donbass are analysed. In limits area Lozovsk district the most perspective intervals are selected and the potential gas-saturation of sandstones is appraised. On the basis of the received data a conclusion is done about the necessity statement of geological works for studying an possibility of complex utilization gases: from upper horizons (to 1000 meter) of nitrogen and from lower (1000 – 1800 meter and more) – methane.

Высокие темпы роста спроса и цен на природный газ и значительные ресурсы метана угольных бассейнов Украины обуславливают актуальность и практическую направленность исследований в этом направлении. Возможность и экономическая целесообразность добычи метана из угольных пластов подтверждается результатами ежегодной добычи метана в США (53 млрд. м³/год), Канаде (1,4 млрд. м³/год), Австралии (1,3 млрд. м³/год). По предварительным подсчетам в Донбассе ресурсы метана могут составлять до 25 трлн. м³ [1].

Метаноносность угленосных отложений Донбасса колеблется в широких пределах, что зависит от геологических условий накопления, преобразования и сохранения газов, которые в различных районах существенно отличаются. Эти различия оказывают влияние на особенности добычи и утилизации метана и определяют задачи первоочередного этапа исследований.

В целом газогенерационные процессы проходят на всех этапах формирования и дальнейшего развития бассейна. В период погружения угленосных толщ, в процессе непрерывного уплотнения пород углеводороды, образовавшиеся в процессе метаморфизма органического вещества, выжимались из глинистых отложений и угольных пластов и вместе с водой заполняли поровое пространство песчаников, образуя в условиях наличия ловушек обширные газовые месторождения. В последующие периоды складкообразования и общего подъема Донецкого бассейна песчаники с запечатанными в них газами были выведены на дневную поверхность и денудированы, что обусловило интенсификацию процесса дегазации, который в условиях всестороннего сжатия протекал весьма

неравномерно из-за большой изменчивости газопроницаемости отдельных слоев, слагающих песчаники. По-видимому, процессы дегазации песчаников (как и генерации газов) идут непрерывно; они продолжаются и в настоящее время и их интенсивность зависит от термодинамических условий, количества и качественного состава органического вещества во вмещающих породах и петрографического состава углей.

Но геологическое развитие Западного Донбасса существенно отличается от остальной части бассейна [2]. Геоструктурный облик района определяется приуроченностью каменноугольных отложений к пологому северо-восточному склону Украинского щита. Для него не характерны мощные инверсионные и складкообразовательные движения. Складчатые дислокации проявляются в виде волнистого залегания пород, которое иногда переходит в мелкую пологую складчатость. Главным типом разрывных дислокаций являются сбросы со сдвиговой составляющей различного генезиса, что свидетельствует об отсутствии сильных сжимающих усилий, но активных сдвиговых. В результате в зонах влияния диагональных сбросов сформировались значительные по величине зоны дробления (до 50 м), вдоль продольных сбросов они существенно меньше (до 10 м) [3]. Параметры зон обусловили их различную газопроницаемость, а, следовательно, и способность дегазации массива.

Геотермические условия в пределах района нестабильны: в центральной части расположена температурная аномалия (до 45°C), вытянутая в северо-восточном направлении. Повышенные температуры могут способствовать процессам метаногенерации на этом участке.

В юго-западной части района залегают газовые малометаморфизованные угли, которые, к северо-востоку, на глубинах 600 – 800 м переходят в жирные. Согласно прогнозу, в крайней, северо-восточной части района, на глубине более 1200 м, возможен переход углей в марку К. На разведанных площадях (Г – Ж) выход летучих составляет 37 – 45 %, что в большой степени зависит от петрографического состава углей нижнего карбона. Прогнозная метаноносность углей составляет 10 – 20 м³/т.с.б.м.

По предварительным данным нижняя граница зоны газового выветривания погружается с юга на север-северо-запад от 100-200 до 500 – 600 м. По составу газы этой зоны преимущественно азотно-метановые. Наличие свободных газов подтверждается суфлярными выделениями на шахтах «Степная» и «Терновская», выбросом метана на окраине с. Коховки дебитом около 100 тыс. м³/сутки.

Наиболее мощным газогенерационным потенциалом обладают угли Петропавловского района Западного Донбасса. Петропавловский район сложен комплексом образований девонского (5 – 8 м), каменноугольного (2700 – 3000 м), (пермского (1- 44 м) триасово-юрского (от нескольких м на юге до 600 м на севере), палеогенового (45 – 80 м), неогенового (до 20 м) и четвертичного возраста (15 – 35 м), залегающих на породах докембрийского кристаллического фундамента.

Породы докембрийского возраста представлены выветренными биотитовыми гнейсами, гранодиоритами и кварцитами.

Девонские отложения (в южной части района) представлены маломощной толщей серых крупнозернистых аркозовых песчаников. И породы фундамента и девона могут служить коллекторами газа (по аналогии с месторождениями Днепровско - Донецкой впадины), особенно в зонах глубинных разломов. Возможно наличие стратиграфических ловушек.

Каменноугольные отложения несогласно перекрывают отложения девона и сложены всеми свитами нижнего и среднего отделов карбона (породы верхнего отдела вскрыты только одной скважиной, расположенной за северной границей района на Мечебилковском куполе). Общая мощность этих отложений 2700 – 3000 м. Литологический состав свит нижнего и среднего карбона существенно отличается (табл.1).

Таблица 1 - Литологическая характеристика отложений Западного Донбасса (Петропавловский район)

Отделы	Угли, %	Песчаники, %	Алевролиты и аргиллиты, %	Известняки, %
средний	0,05 – 1,8	16 - 65	30 – 80	0,2 – 2,6
нижний	0,1 – 3,0	17 - 30	2(C ₁ ¹) - 48	0,8 – 98

Для нижнего карбона характерно преобладание морских и болотных условий осадконакопления (карбонатные толщи нижнего карбона (C₁¹) могут служить газоматеринскими породами). Основной угленосной является свита C₁³, которая содержит около 60 пластов и пропластков угля, некоторые из них, наиболее выдержанные, обрабатываются шахтами района. Для отложений свиты характерны: невыдержанность угольных пластов, изменчивость состава и мощностей вмещающих пород по простиранию и в разрезе. При такой структуре для осадочной толщи характерно наличие субвертикальных нарушений (способствующих дегазации массива), присутствие незначительных по величине и мощности линз песчаников-коллекторов (определить параметры которых достаточно сложно). По характеру пористости возможно наличие гранулярных и, в меньшей мере, трещинных коллекторов, в известняках - кавернозных. Покрышки – неоднородные; для Западного Донбасса, в составе отложений, в основном, встречаются отдельные линзы известняка (мощностью до 0,6 м), которые не могут являться надежными газопорами. Поэтому здесь роль экранирующих горизонтов могут выполнять серии сближенных угольных пластов. В отложениях нижнего карбона должны преобладать ловушки литологического и структурного типов.

В отложениях среднего карбона содержится около 50 пластов и пропластков угля, но в районе пока не обрабатываются. В отличие от нижнего карбона, отложения среднего представлены мощными пачками разнообразных по вещественному составу, зернистости и физико-механическим свойствам песчаников, которые могут служить коллекторами метана (коэффициент открытой пористости 18 – 24%). Можно выделить интервалы: G₂– g₂; H₁ – H₄; H₅⁰ – I₁; K₁ – L₇²; M₄ – M₈. В этих отложениях будут доминировать гранулярные коллекторы; роль экранирующих горизонтов – выполнять известняки; преобладать ловушки ли-

тологического и структурного типов. В целом в разрезе литолого-фациальные условия благоприятны для формирования скоплений метана (особенно в песчаниках среднего карбона).

Особую роль в газоносности Западного Донбасса играет петрографический состав угольного вещества. Доказано, что наибольшим газогенерационным потенциалом характеризуются микрокомпоненты (МК) группы липтинита, меньшим – витринитовой группы и незначительным - инертинитовой группы; сорбционный потенциал наибольший у МК группы витринита. При определенных термобарических условиях фюзиниты могут неоднократно аккумулировать и отдавать свободные газы. На сорбционную способность влияет нарушенность углей. Наиболее хрупкими являются МК группы витринита, МК группы липтинита обладают большей вязкостью и, как следствие, меньшей нарушенностью.

Очевидно (табл. 2) существенное различие вещественно-петрографического состава углей нижнего и среднего карбона. В целом увеличение в составе угля липтинита (для марок Г – Ж) способствует увеличению газогенерации и сохранению метана (за счет меньшей нарушенности). Для углей среднего карбона увеличение в составе угля витринитовых МК и уменьшение инертинитовых будет способствовать увеличению общего объема свободных и сорбированных газов.

Таблица 2 - Вещественно-петрографический состав углей Западного Донбасса

Состав	Содержание в углях, %	
	нижний карбон	средний карбон
Гелифицированное вещество	46 – 68	62 – 96
Фюзенизированное вещество	16 – 37	2 – 15
Спорово-кутиновое вещество	13 – 29	1 – 13

Особый интерес представляют результаты опробования горных пород с целью определения качественных и количественных характеристик в десяти геологоразведочных скважинах на двух участках: поле шахты «Успеновская» и Александровско - Лозовской площади [4]. Всего была отобрана 41 проба (из них представительных 39) в интервале глубин 342 – 1905 м. Полученные результаты определения химического состава газов вмещающих пород столь интересны, что полностью приведены в табл. 3. В отличие от других районов Донбасса в составе газов основным компонентом вмещающих пород является азот. Различий в составе газов песчаников, алевролитов и аргиллитов нет. С увеличением глубины опробования в пробах увеличивается частота встречаемости тяжелых углеводородов. По составу газа опробованный интервал соответствует верхним частям зоны метаноазотных газов. Можно предположить: если в исследуемых породах газовая зональность существует, то верхняя граница зоны метановых газов залегает ниже глубин, на которых в настоящее время ведется разведка.

Для оценки количества газа в песчаниках был применён объемный метод. Максимальная потенциальная газонасыщенность песчаников представляет со-

бой произведение коэффициента эффективной пористости, выраженного в долях единицы, на давление газа в атмосферах, на соответствующей глубине.

С учетом введения поправок на температуру и сверхсжимаемость газа, максимальная потенциальная газонасыщенность V_{max} (m^3 газа/ m^3 породы) песчаников определяется по формуле:

$$V_{max} = \frac{k_{э.п.} \cdot P_n \cdot f \cdot \beta}{Z \cdot p_o},$$

где $k_{э.п.}$ – коэффициент эффективной пористости в долях единицы; P_n – давление газа на указанной глубине, в атмосферах; f – поправка на температуру, для приведения объема газа к стандартной температуре; Z – коэффициент сверхсжимаемости газа; β – коэффициент газонасыщения; p_o – нормальное давление воздуха (0,1 МПа).

Давление газа в углепородном массиве P_n (Па), как известно, составляет 80 - 90% от гидростатического [2] и определяется по формуле:

$$P_n = 0,85 \cdot \rho_e \cdot H \cdot g,$$

где ρ_e – плотность воды, равная 1000 кг/м^3 ; H – глубина залегания пласта песчаника, м; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Расчётное давление газа на глубине 500 м составит 4,17 МПа.

При среднем значении массовой влажности песчаников равной 3,5 %, средней объёмной плотности 2130 кг/м^3 и открытой пористости 20,5 %, степень заполнения пор влагой составляет 36,4 % (газом – 63,6 %), соответственно, коэффициент эффективной пористости песчаников, в среднем, равен 13 %. Рассматривая газонасыщенность песчаников, коэффициент относительной газонасыщенности, исходя из результатов определения химического состава газов в песчаниках, принимается равным 0,9 для азота, для метана – 0,1.

Поправка на температуру, для приведения объема газа к стандартной температуре рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{T_{cm.}}{T_{nl.}}$$

где $T_{cm.}$ – абсолютная температура при стандартных условиях (293 К);

$T_{nl.}$ – абсолютная пластовая температура, К.

Коэффициент сверхсжимаемости Z для метана определяется при помощи номограммы [5] по расчетным значениям приведенного псевдокритического давления (P_R) и приведенной псевдокритической температуре (T_R), которые рассчитываются по формулам:

$$P_R = \frac{P}{P_r} ;$$

$$T_R = \frac{T}{T_r},$$

где P_r и T_r – критическое давление и температура метана.

Для плотности метана по воздуху при температуре 20°C и давлению 760 мм рт. ст. критическое давление составляет 46,95 кгс/см², критическая температура 190,55 К. Для глубины 500 м пластовая температура составляет 306,5 К, приведенная псевдокритическая температура $T_R = 1,6$, приведенное псевдокритическое давления $P_R = 0,9$, коэффициент сверхсжимаемости $Z = 0,92$. Для азота коэффициент сверхсжимаемости определялся по номограмме [5] по значениям давления и температуры. Для указанных выше условий коэффициент Z для азота равен 1,01. Поправка на температуру $f = 0,956$.

Таким образом, максимальная потенциальная газонасыщенность песчаников для метана составит:

$$V_{\max(CH_4)} = \frac{0,13 \cdot 4,17 \text{ МПа} \cdot 0,956 \cdot 0,1}{0,92 \cdot 0,1 \text{ МПа}} = 0,56 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Максимальная потенциальная газонасыщенность песчаников для азота составит:

$$V_{\max(N_2)} = \frac{0,13 \cdot 4,17 \text{ МПа} \cdot 0,956 \cdot 0,9}{1,01 \cdot 0,1 \text{ МПа}} = 4,62 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Если считать, что в пределах Лозовского участка (в интервале глубин 400 - 1800 м) наиболее перспективными коллекторами газа могут служить только средне- и крупнозернистые песчаники в интервале $H_1 - J_1$ (220 м) и свите C_2^5 (190 м), то удельная метанонасыщенность составит 229,6 м³ / м².

В целом по Лозовскому району общие запасы угля составляют 8668 млн.т, из них 4051 – марки Д и 4617 – марки Г. При средней газоносности 10 м³/т.с.б.м. – количество метана в угольных пластах должно составить около 86,68 млн м³.

Необходимо отметить, что столь высокое содержание азота в пробах газа неслучайно. Газовая зональность в горных породах и несовпадение газовых зон угольных пластов и вмещающих их отложений отмечались и ранее. К.И. Багринцева и В.В. Шершуков [7], анализируя закономерности изменения газового состава углей и пород в Красноармейском районе, пришли к выводу, что вмещающие породы, даже вблизи угольных пластов, содержат газы, по соотношению метана и азота отличающиеся от газов угольных пластов.

Б.М. Зимаков [8] приводит данные, свидетельствующие о том, что газы, заключенные в горных породах, содержат 40 – 60 % азота значительно ниже зоны активного газообмена (1000 м и более). На несоответствие соотношений основных компонентов газов угольных пластов и вмещающих их пород указывал также В.Я. Орда [9].

В том, что условия формирования газового состава порового пространства пород отличаются от условий образования газовой зональности в угольных пластах, важную роль, по нашему мнению, играют коллекторные свойства гор-

ных пород. В районах развития низкометаморфизованных углей мощные пласты песчаников, обладающие хорошими коллекторными свойствами, в значительной мере водонасыщенны, и зона активного водообмена находится значительно глубже, чем в угольных пластах, обладающих пониженной газопроницаемостью и залегающих среди газонепроницаемых аргиллитов и алевролитов. На таких площадях углеводородные газы могут накапливаться в разного рода ловушках. Об этом свидетельствует анализ свободных газопроявлений [3, 10], суфлярные выделения газов [11, 12], результаты опробования на газоносность отложений свиты S_1^3 в южной зоне краевых дислокаций Днепровско - Донецкой впадины [3].

Принимая во внимание высокое содержание свободного азота N_2 , необходимо отметить, что соединения азота чрезвычайно широко используются в различных отраслях промышленности. Азот может быть использован для создания инертной среды при консервации взрывоопасных шахт, для тушения труднодоступных очагов возгорания, позволяя всего за несколько часов создать в аварийном участке инертную атмосферу, в которой процесс горения полностью прекращается. При использовании бесшахтных способов извлечения метана из угленосных месторождений, жидкий азот применяется в качестве реагента для искусственного стимулирования газоотдачи дегазируемых пластов. В химической промышленности свободный азот используется для производства аммиака, который затем перерабатывается в азотную кислоту, удобрения, взрывчатые вещества и т.д.

Это позволяет рассматривать следующие возможные варианты его утилизации:

- получение сжатого или сжиженного азота с их последующей реализацией;
- использование на угледобывающих предприятиях для пожаротушения;
- применение жидкого азота в качестве агента-пропанта (в смеси с диоксидом углерода и другими составляющими) при бесшахтной добыче метана [13].
- использование в качестве сырья для химической промышленности.

Таким образом, по Лозовскому району наиболее благоприятные геологические условия для добычи газа из углепородной толщи сложились на северо-востоке района. Перспективы промышленной метаносности здесь могут быть связаны с более глубокими горизонтами - в зоне метановых газов. На основании данных по составу газов пород среднего карбона (см. табл.3), на северо-востоке Западного Донбасса необходима постановка геологических работ для изучения возможности комплексной утилизации газов: с верхних горизонтов (до 1000 м) азота и с нижних (1000 – 1800м и более) метана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угленородный массив Донбасса как гетерогенная среда / А. Ф. Булат, Е. Л. Звягильский, В. В. Лукинов [и др.]. – К. : Наук.думка, 2008. – 412 с.
2. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Угольные бассейны и месторождения юга Европейской части СССР / Под ред. И.А. Кузнецова, В.В. Лапушина, М.Л. Левенштейна [и др.] – М.: Гос. научн.-техн. изд-во лит. по геол. и охране недр. – 1963.– Т. 1. – 1209 с.
3. Забигаило В.Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений. / Забигаило В.Е., Широков А.З.– К.: Наукова думка, 1972. – 172 с.
4. Козлов С.С. Газонасыщенность среднекарбонных пород Лозовского углепромышленного района / С.С. Козлов, Ю.Г. Свербихин // Геомеханика управления состоянием напряженного газонасыщенного массива. – К. : Наукова думка, 1985. – С. 43-46.
5. Коротаев Ю.П. Добыча, транспорт и подземное хранение газа / Ю.П.Коротаев // М.: Недра, 1984. –488 с.
6. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных скважин/ Под ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева.- М.: Недра, 1980.-301 с.
7. Багринцева К.И. Газоносность вмещающих пород и их значение в естественной дегазации угольных пластов / К.И.Багринцева, В.В.Шершуков // Уголь, 1960. - № 4. С. 36 – 38.
8. Зимаков Б.М. Нефтепроявления в Воркутском угленосном районе Печорского бассейна / Б.М. Зимаков, Ю.В. Степанов // Советская геология, 1965, №3. – С. 125 – 127.
9. Орда В.Я. Газоносность углей среднего карбона Донбасса и методика ее прогноза // Методы определения газоносности пластов и прогноза газообильности шахт. – М.: Госгортехиздат, 1962. - С. 75 – 88.
10. Широков А.З. Некоторые закономерности изменения пористости и газопроницаемости нижнекаменноугольных отложений Западного Донбасса /А.З. Широков, П.С. Исаев, И.Т. Кондратюк, В.Е. Забигаило // Геология и геохимия месторождений твердых горючих ископаемых, 1969. – № 1. – С. 14 – 21.
11. Тетеревенков В.В. Суфляры метана на шахтах Донбасса.– М.: Углетехиздат, 1952.– 48 с.
12. Фролов М.А. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах. / М.А. Фролов, А.И. Бобров. – М.: Недра, 1971.– 159 с.
13. Малышев Ю.Н. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – М. – Академия горн. наук, 2000. – 320 с.

УДК 662.87:66.093:621.387.143

Инж. С.Л. Давыдов
(ИГТМ НАН Украины)

ПАРОПЛАЗМЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ- ВОДА - УГОЛЬ

В роботі приведені результати розрахунків параметрів термодинаміки процесу пароплазмової переробки водовугільної дисперсної системи та складено матеріальний баланс цього процесу.

THE STEAM PLASMA CONVERSION OF WATER-DISPERSED CARBON

The work presented the calculation results of thermodynamic parameters of the process for steam plasma conversion of the water-coal dispersed system and compiled the material balance of this process.

Непрерывное удорожание на мировом рынке легких энергетических ресурсов нефти и газа, ограниченная их добыча и в то же время наличие значительного количества альтернативных источников энергии, в том числе низкосортных углей, отходов углеобогащения, загрязняющих окружающую среду, обуславливают актуальность процесса эффективной их переработки.

В мире 25% энергии производится из угля, запасов которого по многим прогнозам хватит, по меньшей мере, на несколько столетий и значение его как природного сырья возрастает. Однако при непосредственном сжигании угля