

Т. А. Василенко, д-р техн. наук, старший научный сотрудник,
заведующий отделом, tvasilenko@mail.ru,
В. Г. Гринёв, д-р техн. наук, профессор, директор, grinevv@ukr.net,
А. Н. Молчанов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник,
заместитель директора, molchanov@nas.gov.ua,
Д. А. Пономаренко, аспирант
(Институт физики горных процессов НАН Украины)

ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Описаны особенности угольного метана. Экспериментально показано на примере нескольких углей разной степени метаноносности, что метаноносность угольных пластов в значительной мере связана со структурными параметрами, характеризующими свойства угольного вещества.

Ключевые слова: *ископаемый уголь, метан угольных пластов, ядерный магнитный резонанс (ЯМР), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), микроструктура угля.*

Введение. Природный газ в недрах Земли локализован либо в традиционных месторождениях (газовые ловушки), либо в “нетрадиционных”, к которым относятся газовые гидраты, газ глубоких горизонтов, низкопроницаемых коллекторов, сланцевый газ и газ угольных пластов. Повышенный интерес к “нетрадиционным” источникам газа диктуется необходимостью улучшения топливного баланса страны. Немаловажно также и то, что заблаговременное извлечение метана из угольных пластов способствует безопасной добыче второго полезного ископаемого этих месторождений – угля.

Тонна угля по разным оценкам может содержать до 1 300 м³ метана, при этом средняя газоносность угля в пласте составляет около 30–40 м³ метана на тонну добываемого угля. К настоящему времени сложилось представление о том, что метан в угле в зависимости от локализации находится в нескольких фазовых состояниях [12]: в свободном, адсорбированном

и абсорбированном (твердый раствор). Распределение метана по этим фазовым состояниям в угле не постоянно и зависит от структуры угольного вещества. Один из вариантов распределения метана по формам существования в ископаемом угле в зависимости от его локализации (в процентном отношении от общего количества) приведен в работе [8]:

- свободный – внутри макропор, микротрещин и других дефектов сплошности угля в природных условиях – 2–12 %;
- адсорбированный – на угольных поверхностях природных пор и дефектов сплошности, межблочных промежутках (включая объемное заполнение переходных пор и макроскопических дефектов) – 8–16 %;
- твердый углеметановый раствор – в межмолекулярном пространстве угольного вещества – 70–85 %;
- химически сорбированный метан – в дефектах ароматических слоев кристаллитов – 1–2 %;

– твердый раствор внедрения – внутри клатратоподобных структур – 1–3 %.

Наиболее дискуссионным в данном распределении является количество метана, находящегося в твердом растворе, или о включении в это количество части метана, находящегося в закрытой пористости. По данным работы [2], основное количество метана (60–70 %) находится в закрытых порах. Правильная оценка содержания метана в разных фазовых состояниях необходима для обеспечения достоверности теоретических исследований кинетики выделения метана из угля. На практике распределение метана по фазовым состояниям в угле с достаточной точностью может быть определено физическими методами исследования [2], например методом ЯМР широких линий.

Распределение метана по угольной матрице подчинено определенным закономерностям. На основании результатов исследования углей методами трансмиссионной электронной микроскопии высокого разрешения, ЯМР высокого разрешения и других современных методов с помощью компьютерного моделирования удается визуализировать распределение газов в структуре угля [14, 16]. На рис. 1

[14] показано расположение молекул метана на сорбционных центрах в макромолекуле угля.

В стабильном нетронутым угольном пласте газ и уголь находятся в равновесном состоянии. При разработке угольного пласта или при проведении специальных мероприятий при его дегазации равновесное состояние нарушается и начинается процесс газовыделения. Этот процесс растянут на продолжительное время и для разных углей протекает по-разному. В процессе газовыделения из пласта задействовано всё многообразие структурных элементов угольного вещества и макромасштабная структура угольного пласта, включая сформированную при техногенном воздействии систему трещин.

Извлечь газ из неразгруженного массива можно только после изменения его состояния путем проведения специальных мероприятий, выбор которых определяется горно-геологическими условиями и свойствами угольного вещества, слагающего пласт. Как известно, высокогазные угольные месторождения отличаются от традиционных месторождений природного газа сильной сорбционной связью метана с угольным веществом и

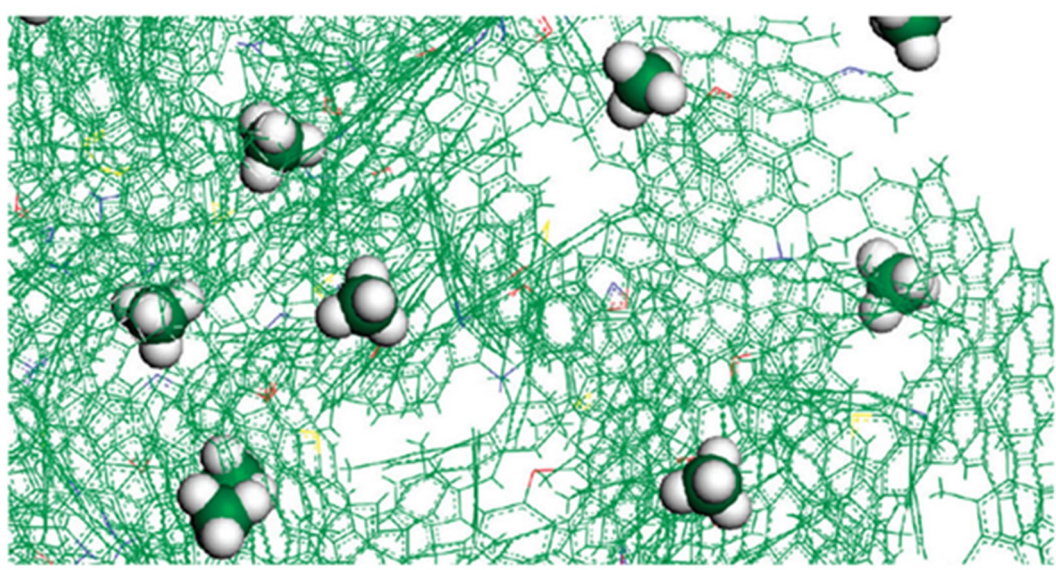


Рис. 1. Молекулы метана на сорбционных центрах угля [14]

низкой газопроницаемостью угольных пластов, существенно затрудняющих промышленное освоение ресурсов угольного метана [10]. Значительное влияние на газопроницаемость угольного пласта напряженного состояния многократно подтверждено экспериментально. В частности в зоне опорного давления разрабатываемого угольного пласта газопроницаемость угольного массива может уменьшаться в десятки и сотни раз [1]. Поэтому внимание многих ученых и специалистов угольной промышленности сосредоточено на исследованиях, посвященных вопросам стимулирования газоотдачи угольных пластов.

Разработано большое количество различных технических предложений по интенсификации газоотдачи метаносных угольных пластов, основывающихся на применении различных методов техногенного воздействия на угольный пласт (гидравлических, механических, физико-химических, микробиологических и т. д.) [9]. Раскрытие в породно-угольном массиве трещин и макропор и появление эксплуатационных трещин с образованием системы газопроводящих каналов нарушают состояние динамического равновесия системы уголь-метан в пластах, вызывая десорбцию метана из угля. Выбор соответствующего типа воздействия и его интенсивность производится на основании результатов предварительно проводящихся исследований угольного вещества конкретного пласта.

К тому же, в практической деятельности необходимо учитывать тот факт, что уголь это метаморфическая горная порода, а степень метаморфизма любого угля устанавливается с довольно широкими допусками, что требует для каждого конкретного угля уточнения его состава и структурных особенностей. Как следует из работы [6], один и тот же пласт на разных его участках могут слагать угли разных марок. Так, например, в пласте h_6' (h_7) шахты им. А. А. Скочинского присутствуют угли марок ГЖ, Ж, К, ОС и Т! Безусловно, при отработке любого

пласта осуществляется текущий лабораторный контроль добываемого угля, в результате которого определяется и его марка (степень метаморфизма), и частично химический состав, особенно примеси, и коллекторские свойства, которые могут характеризовать в некотором смысле и пористо-трещиноватую структуру. Но особой точности определения отдельных параметров образца угля от такого анализа, как правило, не требуется. Для получения детальной информации о структурных особенностях отобранного из пласта угля необходимо проведение достаточно сложных и трудоёмких исследований с привлечением сложного научного оборудования.

Целью этого исследования было установление закономерностей изменения микроструктуры и магнитных свойств, в том числе пористости и процессов массопереноса, углей разной степени метаморфизма, влияющих на интенсивность газоотдачи газосодержащих угольных пластов.

Для изучения вопроса о количестве и фазовом состоянии метана в угле, а также процесса его десорбции, нами используется метод ЯМР на ядрах ЯМР 1H . По-разному локализованные ядра водорода вносят различный вклад в суммарный спектр, который для влажных газонасыщенных образцов имеет сложную форму и может быть представлен суперпозицией нескольких линий [2]. Эти линии сформированы большими группами атомов водорода, находящимися в сходных условиях. В таком представлении параметры выделенных линий (ширина, амплитуда, площадь под линией поглощения) могут быть использованы для анализа состояния и определения количества внедренного в образец водородосодержащего флюида, в частности метана.

После записи спектров ЯМР 1H газонасыщенного угля и обработки полученной последовательности спектров по методике, приведенной в работе [3], определяются параметры соответствующих линий поглощения ЯМР 1H . Используя полученную зависимость амплитуды спектральной

ной линии (или площади под первообразной), мы можем оценить количество метана, локализованного в различных состояниях, поскольку оба эти параметра спектральной линии связаны с количеством резонирующих ядер.

Такое исследование было проведено на образцах углей марки К (шахта им. А. А. Скочинского, восточная лава, пласт h'_6 “Смоляниновский”, гор. 1 230 м). Произведя математическую обработку всех составляющих спектров ЯМР 1H , мы оценили содержание метана в каждой из определяемых фаз. Результаты расчета для исследуемого образца представлены на рис. 2. Там же для сравнения дана потеря массы исследуемого образца при десорбции метана, определяемая весовым методом (кривая 4). Как видим, наблюдается хорошая корреляция расчетных и экспериментальных данных.

Таким образом, имея экспериментально полученную зависимость изменения со временем параметров линии ЯМР метана, внедренного в структуру угольного вещества, можно оценить кинетику десорбции метана из данного угля. Это позволяет

применить данные расчеты для оценки исходного количества метана в угольном пласте. Такая информация необходима при планировании горных работ и непосредственно при проведении разработки угольных пластов.

Нами было также проведено исследование, выполненное с привлечением нескольких физических методов и направленное на выявление зависимости количества метана от степени метаморфизма и глубины залегания угля. Для проверки существования такой зависимости угли для исследований отбирали с разной метаносностью и глубиной залегания от 200 до 1 000 м на шахтопластах начальной стадии метаморфизма. Перспективность комплексного подхода к изучению газоносных углей показана в работе [11]. В табл. 1 приведены характеристики исследуемых углей.

Представленные ниже результаты получены с использованием ЭПР. Определение общей поверхности проводилось многоточечным методом Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) на приборе Autosorb-1 фирмы Quantachrome Instruments.

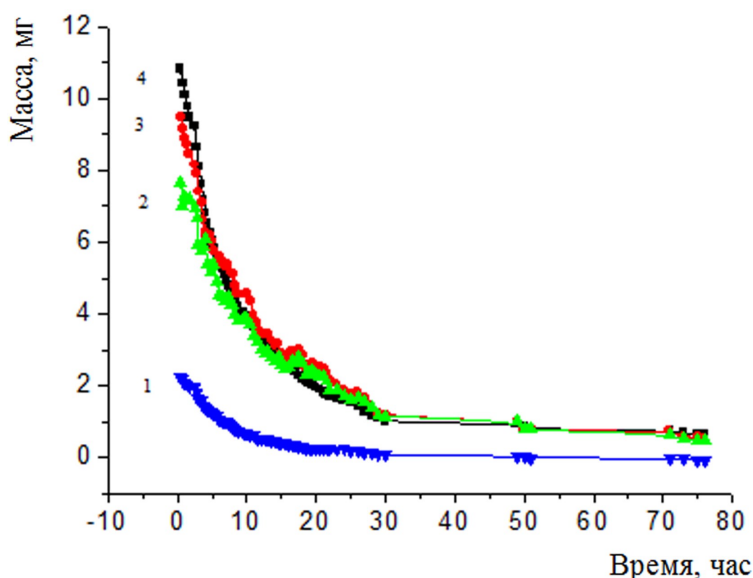


Рис. 2. Изменение масс метана, содержащегося в образце в разных фазах при десорбции:
 1 – масса метана в закрытых порах и твердом растворе; 2 – масса метана в трещинах и открытых порах; 3 – общая масса метана по данным ЯМР; 4 – масса метана, определяемая весовым способом

Таблица 1. Исходные параметры исследованных ископаемых углей

Шахта, пласт	Характеристики угля						
	выход летучих, %	зольность, %	сера, %	влага, %	марка угля	глубина, м	Q , м ³ /т
“Кураховская”, l_2' k_8	42,9	13,6	5,57	7,3	ДГ	713	0
	44,4	13,5	3,45	12,5		370	0
“Украина”, k_8	45,2	11,1	4,1	5,0		570	0
“Россия”, l_1	42,1	11,5	4,3	6,9	Г	470	6,0
“Новгородовская”, l_1	42,1	7,1	3,85	2,3		195	3,6
“Октябрьский рудник”, k_8	40,4	7,8	3,9	3,2		995	15–23
“Лидиевка”, k_6	40,2	14,8	4,3	7,1		319	5–15
“Бутовская”, n_1	39,6	6,3	2,27	2,0		1060	10–20
“Южно-Донбасская”, C_{10}^{2H} C_{11}^2	38,9	2,4	1,5	5,0		480	10
	37,7	2,6	1,2	5,0		220	0,01
Им. Е. Т. Абакумова, m_3	35,6	6,8	1,5	5,0		855	5–10

Первая работа по ЭПР измерениям на карбонизированных твердых телах была выполнена Инграмом с сотрудниками более полувека назад [13]. Исследования в этом направлении, но уже на ископаемых углях, продолжил академик АН УССР А. А. Галкин с учениками [5].

Детальный анализ спектров ЭПР в углях показывает, что природа парамагнитных центров в них обусловлена наличием оборванных углеродных связей [15]. При этом ЭПР спектры образцов состоят из нескольких (чаще двух) резонансных линий, которые имеют преимущественно лоренцеву форму с близкими g -факторами ($g \cong 2,0024 - 2,0032$), но значительно отличающимися ширинами $\Delta H = (g\mu_B T_2)^{-1} \hbar$ (μ_B – магнетон Бора, T_2 – время жизни спинового состояния). Причина этого связана как с наличием пор разного размера и неоднородностью сорбционных свойств образцов, так и с изменением их локальной структуры в ходе метаморфизма. В наших исследованиях величина ΔH изменяется в зависимости от марки угля и предьстории образцов в пределах от 0,3 до 100 Гс и более. Частичное исключение составляют образцы углей марок Г и Д

(табл. 2), где одна из линий имеет гауссову форму за счет неоднородного вклада в ширину линии. Видно, что парамагнитные свойства углей разных марок значительно отличаются.

С ростом V^{daf} наблюдается постепенное изменение параметров спектров ЭПР от антрацитов к молодым углям. Это наглядно видно для исследованных нами углей из табл. 2, где показан вклад линий разной ширины в общую интенсивность спектра (I_2/I_{sum}) в образцах угля.

Фактически с ростом V^{daf} изменяется не только локальная структура углей, но и их способность к реализации обратимых процессов сорбции-десорбции кислорода, метана и других газов.

Кинетика реакции этих составляющих спектра на внешнее воздействие (насыщение кислородом) дает информацию о свойствах угольного вещества и пласта в целом [4]. Например, значения природной газоносности углей близки к значениям их предельной сорбционной способности (α , м³/т). Показатель α основан на оценке интенсивности “кислородного эффекта”, связанного с системами сопряжения в молекулярной структуре угля [7].

Таблица 2. Характеристики ЭПР спектров образцов углей разных марок

Параметр	Марка угля					
	А	ОС	К	Ж	Г	Д
$V^{daf}, \text{wt } \%$	4,8	21,4	27	30	35,1	42
$\Delta H_1, \text{Гс}$	105	4	5,4	5,2	6,5	5,7
$\Delta H_2, \text{Гс}$	10	1,4	0,7	0,8	2	3
I_2/I_{sum}	$\approx 0,01$	0,07	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	0,02	0,03

Здесь ΔH_i – ширины компонентов спектра, I_2 – интегральная интенсивность узкой компоненты соответствующего спектра, I_{sum} – общая интенсивность спектра.

На рис. 3 показано кинетику изменения ширины спектральных линий (составляющих спектра ЭПР) в процессе сорбции кислорода (а) и десорбции метана (б) для образца антрацита.

Результаты экспериментов по определению общей поверхности углей обрабатывались программным обеспечением прибора Autosorb-1. Площадь сорбционной поверхности рассчитывалась по многоточечному методу БЭТ, используя известное уравнение

$$\frac{1}{\left(\frac{P_0}{P} - 1\right)} = \frac{1}{W_m \cdot C} + \frac{C-1}{W_m \cdot C} \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right),$$

где W_m – вес адсорбированного вещества, образующего покрывающий всю поверхность монослой, C – константа БЭТ, относящаяся к энергии адсорбции при первом адсорбированном слое, P/P_0 – относительное давление азота в процессе эксперимента (где P_0 практически равно атмосферному давлению).

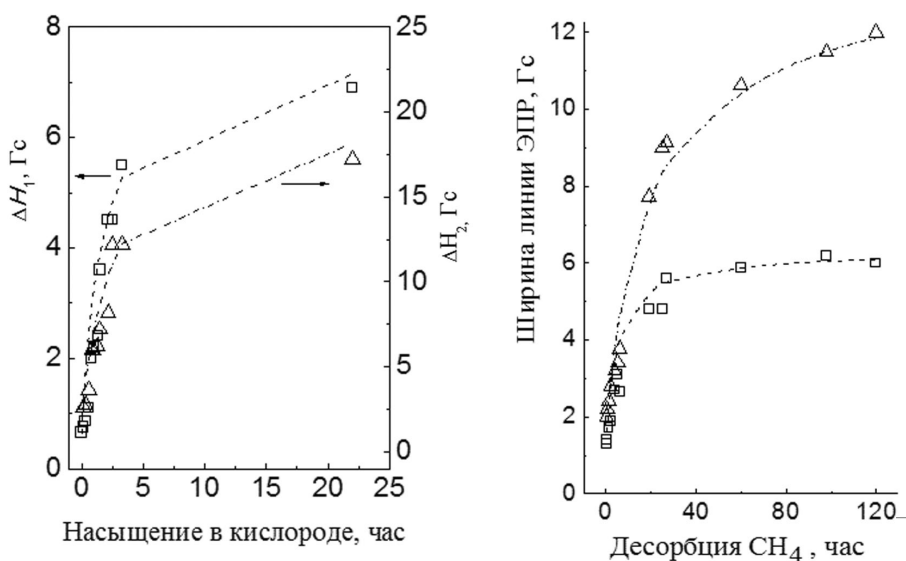


Рис. 3. Эволюция ширины линий в спектре ЭПР в процессе сорбции кислорода (а) и десорбции метана (б) для образца антрацита (эксперимент по сорбции кислорода проводился на заранее откачанном образце)

—□— расчет ΔH_1 , —△— расчет ΔH_2

Измерения проведены на образцах, предварительно подготовленных путем дегазации для очистки поверхности пор от влаги и других веществ, экранирующих поверхность. Для этого ячейка с образцом вакуумировалась в специальной станции дегазации с одновременным нагревом до 100 °С.

Результаты ЭПР и сорбционных исследований приведены в табл. 3 и на рис. 4.

Проведенные исследования показали существование обратной зависимости величины сорбционной поверхности образцов угля от метаносности (рис. 4а, б). В пластах, где угли обладают максимально развитой сорбционной поверхностью (шахты “Кураховская” и “Украина”), практически отсутствует метан при максимальном содержании воды. Можно предположить, что сорбционные центры поровой поверхности этих углей имеют другую природу. Они хорошо удерживают генетическую воду, но метан, сопутствующий процессу преобразования углей, уходит.

Иными словами, коллекторский объем углей шахт “Кураховская” и “Украина” не способствует удержанию метана. С уменьшением количества летучих веществ от 42 до 35 % значение S понижается до пределов 1–2 м²/г. Как видно из

характера представленных на рис. 4а–в зависимостей, величина S не связана с метаносностью, возрастающей в некоторых углях на порядок.

Полученные результаты показывают, что повышенное содержание воды коррелирует с площадью сорбционной поверхности. В то же время максимальное значение предельной сорбционной способности для углей шахт “Лидиевка”, “Октябрьский рудник”, “Бутовская”, им. Е. Т. Абакумова коррелирует с наличием в этих углях наибольшей (10–20 м³/т) метаносности. Особенно показателен параметр α , отражающий сорбционную способность угля (рис. 4з). Он определяется делокализованными π – электронами всех сопряженных связей в структуре вещества. Из представленных изометаморфных проб этот показатель минимален для угля шахт “Украина” и “Кураховская” и максимален для шахт “Лидиевка”, “Октябрьский рудник”, “Бутовская”, им. Е. Т. Абакумова. Особенно это характерно по всем параметрам для шахты “Октябрьский рудник”, метаносность которого доходит до 23 м³/т. Это означает, что коллекторский объем, содержащий метан в угле, определяется не только порами (открытыми и закрытыми), но и самой угольной структурой.

Таблица 3. Общая сорбционная поверхность образцов угля

Шахта, пласт	Сорбционная поверхность, S , м ² /г			
	1 съёмка	2 съёмка	3 съёмка	Среднее значение
“Кураховская”; l_2'	5,725	5,726	4,015	5,155
“Кураховская”; k_8	4,130	4,956	5,406	4,831
“Украина”; k_8	3,713	4,017	3,438	3,723
“Россия”; l_1	0,402	2,697	1,641	2,169
“Новгородовская”; l_1	2,375	1,575	3,768	2,573
“Октябрьский рудник”; k_8	0,917	0,506	1,109	0,844
“Лидиевка”; k_6	1,672	1,788	1,256	1,572
“Южно-Донбасская”; C_{10}^{2H}	1,056	1,004	1,830	1,297
“Южно-Донбасская”; C_{11}^2	0,306	0,613	0,535	0,485
Им. Е. Т. Абакумова, m_3	2,753	1,500	–	2,126

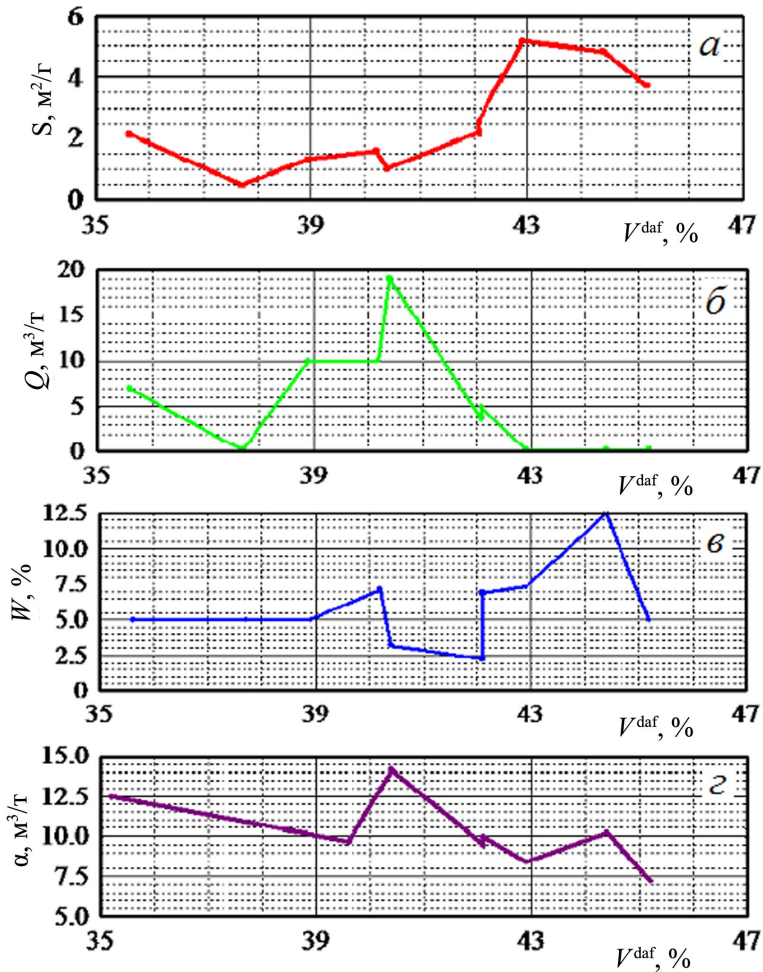


Рис. 4. Зависимость от содержания летучих веществ V^{daf} в исследованных углях: площади сорбционной поверхности S – а; метаноносности Q – б; содержания воды W – в; значения предельной сорбционной способности α – г

Выводы. Экспериментально показано, что содержание метана в угольном пласте, наряду с другими факторами, в значительной мере определяется свойствами структуры угольного вещества угля, слагающего пласт. Спектроскопические методы исследования (ЯМР, ЭПР и др.), используемые нами, дают достаточно полную информацию о состоянии и свойствах угольного вещества и содержащегося в нём метана. Наличие такой достоверной информации является надежной основой для планирования специальных мероприятий, направленных на увеличение газо-

отдачи угольного пласта. Использование спектроскопических методов исследования, наряду с другими физическими методами исследования, будет полезным при изучении свойств и других коллекторов “нетрадиционного” метана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айруни А. Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. – М.: Наука, 1987. – 310 с.
2. Алексеев А. Д. Физика угля и горных процессов монография; Ин-т физики горных процессов НАН Украины. – К.: Наукова думка, 2010. – 423 с.

3. Алексеев А. Д., Завражин В. В., Меляков А. Д. и др. Аппроксимация экспериментальных спектров ЯМР ^1H углей//Физика и техника высоких давлений. – 2002. – Т. 12. – № 1. – С. 71–78.

4. Бурчак О. В. Парамагнітні властивості кам'яного вугілля як показники стану речовини//Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць/Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2010. – Вып. 88. – С. 40–45.

5. Галкин А. А., Кичигин Д. А. Исследование парамагнитного резонанса в каменных углях Донецкого бассейна//Химия и технология топлив и масел. – 1958. – № 7. – С. 8–14.

6. Каталог метаноносности и выбросоопасности основных угольных пластов Донецкого и Львовско-Волынского угольных бассейнов в границах действующих шахт/МУП СССР, МВССО УССР, ПО “Укруглегеология”, Донецкий политехнический институт/Под ред. А. М. Брижанева, Б. С. Панова. – Донецк, 1990. – 117 с.

7. Лукинов В. В., Гончаренко В. А., Бурчак А. В. Перспективы определения сорбционных свойств угля методом электронного парамагнитного резонанса//Уголь Украины. – 2001. – № 6. – С. 44–46.

8. Мальшев Ю. Н., Трубецкой К. Н., Айруни А. Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519 с.

9. Сластунов С. В. Заблаговременная дегазация и добыча метана из угольных месторождений. – М.: МГУ, 1996. – 442 с.

10. Трубецкой К. Н., Стариков А. В., Гурьянов В. В. Добыча метана угольных пластов – перспективное направление комплексного освоения георесурсов угленосных отложений//Уголь. – 2001. – № 6. – С. 36–38.

11. Ульянова Е. В., Молчанов А. Н., Гринёв В. Г. и др. Возможности комплексного исследования структуры и метаноносности углей Донбасса//Горноспасательное дело: Сб. науч. трудов НИИГД “Респиратор”. – Донецк, 2013. – Вып. 50. – С. 34–43.

12. Эттингер И. П. Растворы метана в угольных пластах//Химия твердого топлива. – 1984. – № 4. – С. 32–34.

13. Ingram D. J. E., Tapley J. G., Jackson R. et al. Paramagnetic resonance in carbonaceous solids//Nature. – 1954. – Vol. 174. – № 4434. – P. 797–798.

14. Narkiewicz M. R., Mathews J. P. Visual Representation of Carbon Dioxide Adsorption in

a Low-Volatile Bituminous Coal Molecular Model//Energy and Fuels. – 2009. – Vol. 23. – Issue 10. – P. 5236–5246.

15. Pilawa B., Pusz S., Krzesińska M. et al. Application of electron paramagnetic resonance spectroscopy to examination of carbonized coal blends//International Journal of Coal Geology. – 2009. – Vol. 77. – Iss. 3–4. – P. 372–376.

16. Tambach T. J., Mathews J. P., van Bergen F. Molecular Exchange of CH_4 and CO_2 in Coal: Enhanced Coalbed Methane on a Nanoscale//Energy and Fuels. – 2009. – Vol. 23. – Issue 10. – P. 4845–4847.

REFERENCES

1. Airuny A. T. Prediction and prevention of gas-dynamic phenomena in the coal mines. – Moskva: Nauka, 1987. – 310 p. (In Russian).

2. Alexeev A. D. Physics of Coal and Mining Processes: monograph; Institute for Physics of mining processes of NAS of Ukraine. – Kiev: Naukova dumka, 2010. – 423 p. (In Russian).

3. Alexeev A. D., Zavrzhin V. V., Melyakov A. D. et al. Approximation of the ^1H NMR experimental spectra for coals//High Pressure Physics and Technics. – 2002. – Vol. 12. – № 1. – P. 71–78. (In Russian).

4. Burchak O. V. Paramagnetic properties of coal as indicators of the substance state//Geotechnical Mechanics: Mizhvid. J. of Collected Scientific Papers/MSP Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2010. – Vol. 88. – P. 40–45. (In Ukrainian).

5. Galkin A. A., Kichigin D. A. The study of paramagnetic resonance in the Donets Basin coals//Chemistry and Technology of Fuels and oils. – 1958. – № 7. – P. 8–14. (In Russian).

6. Catalog of methane and methane outburst main coal seams of the Donetsk and Lvov-Volyn coal basins within the boundaries of existing mines/MUP USSR MHSSE USSR, PA “Ukruglegeologiya”, Donetsk Polytechnic Institute; Ed. A. M. Brizhanava, B. S. Panova. – Donetsk, 1990. – 117 p. (In Russian).

7. Lukinov V. V., Goncharenko V. A., Burchak A. V. Prospects for determining the sorption properties of coal by electron paramagnetic resonance//Coal Ukraine. – 2001. – № 6. – P. 44–46. (In Russian).

8. Malyshev Yu. N., Troubetzkoy K. N., Airuny A. T. Fundamental applied methods for solving problems of coalbed methane. – Moscow: Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 2000. – 519 p. (In Russian).

9. *Slastunov S. V.* Advance degassing and extraction of methane from coal deposits. – *Moskva: MGGU*, 1996. – 442 p. (In Russian).

10. *Troubetzkoy K. N., Starikov A. V., Gur'yanov V. V.* Mining of coal bed methane – a promising direction georesources integrated development of coal-bearing deposits//*Ugol*. – 2001. – № 6. – P. 36–38. (In Russian).

11. *Ulyanova E. V., Molchanov A. N., Griniov V. G.* et al. Opportunities comprehensive study of the structure and methane Donbass coal//*Hornospasat. delo: Sat. scientific. works NIIGD "Respirator"*. – Donetsk, 2013. – Iss. 50. – P. 34–43. (In Russian).

12. *Ettinger I. P.* Solutions of coalbed methane//*Solid fuel chemistry*. – 1984. – № 4. – P. 32–34. (In Russian).

13. *Ingram D. J. E., Tapley J. G., Jackson R.* et al. Paramagnetic resonance in carbonaceous

solids//*Nature*. – 1954. – Vol. 174. – № 4434. – P. 797–798.

14. *Narkiewicz M. R., Mathews J. P.* Visual Representation of Carbon Dioxide Adsorption in a Low-Volatile Bituminous Coal Molecular Model. *Energy and Fuels*. – 2009. – Vol. 23. – Issue 10. – P. 5236–5246.

15. *Pilawa B., Pusz S., Krzesińska M.* et al. Application of electron paramagnetic resonance spectroscopy to examination of carbonized coal blends//*International Journal of Coal Geology*. – 2009. – Vol. 77. – Iss. 3–4. – P. 372–376.

16. *Tambach T. J., Mathews J. P., van Bergen F.* Molecular Exchange of CH₄ and CO₂ in Coal: Enhanced Coalbed Methane on a Nanoscale//*Energy and Fuels*. – 2009. – Vol. 23. – Issue 10. – P. 4845–4847.

Рукопис отримано 17.11.2014.

Т. А. Василенко, В. Г. Грінюв, О. М. Молчанов, Д. О. Пономаренко, Інститут фізики гірничих процесів НАН України (ІФГП НАН України), molchanov@nas.gov.ua

ВПЛИВ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ І СТРУКТУРНИХ ФАКТОРІВ НА ВМІСТ МЕТАНУ У ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ

Описано особливості вугільного метану. Експериментально показано на прикладі деяких вуглів різного ступеня метаносності, що метаносність вугільних пластів значною мірою пов'язана зі структурними параметрами, котрі характеризують властивості вугільної речовини.

Ключові слова: викопне вугілля, метан вугільних пластів, ЯМР, ЕПР, мікроструктура вугілля.

T. A. Vasilenko, V. G. Grinev, A. N. Molchanov, D. A. Ponomarenko, Institute for Physics of Mining Processes of the NAS of Ukraine, R. Luxembourg str. 72, Donetsk 83114, Ukraine
INFLUENCE OF GEOLOGICAL AND STRUCTURAL FACTORS ON THE CONTENT OF METHANE IN COAL SEAMS

Peculiarities of coalbed methane are described. It is known that natural gas in the bowels of the earth is localized either in traditional fields (gas trap), or “non-traditional”, which include gas hydrates, gas deep horizons, low-permeability reservoirs, shale gas and coal seams gas. Ton of coal according to various estimates can contain up to 1300 cubic meters of methane, with the average gas content of coal in the reservoir is about 30–40 cubic meters of methane per ton of coal mined. The increased interest in “non-traditional” sources of gas is dictated by the need to improve the country's fuel balance.

Objective of this study was to determine the patterns of changes in the microstructure and magnetic properties, including porosity and mass transfer processes, coal varying degrees of metamorphism affecting the intensity of the gas recovery gas-bearing coal seams. To examine the quantity and phase state of methane in coal, as well as the process of methane desorption, method NMR 1H was used. Important results on the sorption capacity of coal obtained using ESR spectroscopy. Determination of the total surface area was performed multipoint BET method.

It is experimentally shown by the example of several coal varying degrees of methane that coalbed methane is largely related to the structural parameters characterizing the properties of coal. It was shown that the methane content in the coal, along with other factors, is largely determined by the structure of the carbon material properties of coal making up the formation.

Keywords: fossil coal, coalbed methane, NMR, ESR, microstructure of coal.