

Е.В. Ульянова, В.А. Васильковский, О.Н. Малинникова

# ВЛИЯНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЯ ШАХТЫ «КРАСНОЛИМАНСКАЯ»\*

**Аннотация.** Выполнены сорбционные и спектроскопические исследования, которые показали увеличение содержания летучих веществ и улучшение сорбционных свойств угля пласта I3 шахты Краснолиманская накануне выброса. Предположено, что именно указанные факторы создают условия для возникновения последующего газодинамического явления. Показано, что разрушение угля во время выброса сопровождается уменьшением сорбционной метаноёмкости, содержанием летучих веществ и изменением структуры. Результаты исследования дают основание полагать, что зона пласта перед выбросом, характеризуется повышенной концентрацией метана и летучих веществ в угольном веществе. Формирование в пласте области с увеличенной долей  $V^{daf}$  и насыщенной метаном дает основание предполагать, что метаморфизация этой части пласта происходила в других термодинамических условиях. Показано, что повреждения угля во время выброса приводят к уменьшению объема метана в микроблоках угля. С использованием современных возможностей спектроскопии ЯМР возможно установить не только качественные изменения в углеродсодержащих материалах, находящихся под воздействием различных факторов, но и количественно оценить закономерности распределения атомов углерода между функциональными группами при изучении структурно-функциональных преобразований.

**Ключевые слова:** микроблоки, десорбция метана, выброс угля, ядерный магнитный резонанс  $^{13}\text{C}$ , структура угля.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-46-55

## Введение

В условиях горного производства угольные пласты подвергаются механическому разрушению. В отличие от других твердых тел разрушение углей имеет свои особенности, которые связаны с неоднородностью и дефектностью угольного вещества, а также с действием в горном массиве неравнокомпонентных сжимающих напряжений. В связи с необходимостью и неизбежностью разработки газоносных угольных пластов глубокого залегания и роста нагрузок на лаву при выемке угля все более актуальной становится проблема обеспечения безопасного ведения горных работ. В шахтах

Донбасса работы осуществляются в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях, так в 17% шахт отрабатываются пласты уже на глубинах 1000—1400 м. Почти 90% действующих шахт относятся к газовым, а 60% — к опасным по проявлению газодинамических явлениях (ГДЯ), что предопределяет высокую аварийность и травматичность работ на угледобывающих предприятиях.

Считается, что разрушение происходит вследствие изменения напряженного состояния пласта и провоцируется подвиганием забоя выработки [1—2]. Однако в силу объективных причин структурные и сорбционные свойства угля,

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00584-а.

сформировавшиеся в пласте к моменту выброса, до сих пор являются предметом дискуссий среди ученых. Так, практика показывает, что имеющихся знаний о свойствах системы уголь-метан недостаточно для того, чтобы обеспечить достоверный прогноз объема и интенсивности выделений газа или дать точный расчет изменения загазованности шахтной выработки, а также причин возникновения ГДЯ. Повышение достоверности прогнозов требует выявления закономерностей газовой и сорбционной кинетики, которые включают в себя информацию о фазовых состояниях и распределении метана в ископаемых углях, о характере трансформаций механизмов движения метана на различных стадиях десорбции из угля, о структурных особенностях выбросоопасных зон.

В основе физики сорбционных процессов в углях лежит блоковая модель, согласно которой каменный уголь представляет собой совокупность мельчайших образований — микроблоков, свободный объем между которыми составляет объем открытых пор и трещин [3—5]. Микроблоки, размер которых очень мал, распределены по всему объему гранул и через систему трещин и открытых пор сообщаются с поверхностью угля. В такой модели диффузия метана происходит из микроблоков, средний размер которых не зависит от размера гранулы угля. Микроблоки малы, но их большая суммарная поверхность может обеспечить диффузионный газовый поток достаточной интенсивности. Метан в свободном и адсорбированном состояниях содержится в открытых порах угля, в абсорбированном состоянии он растворен в теле микроблоков.

Как было показано ранее [2, 4], воздействие на угольный пласт горно-геологических условий обуславливает необратимые изменения в структуре угля. Вследствие этого можно ожидать соот-

ветствующих изменений газоносности и параметров эмиссии метана из угля, который был выброшен из пласта в результате ГДЯ. В литературных источниках содержится небольшое количество экспериментального материала, связанного с изучением структуры и сорбционных свойств углей, склонных к внезапному разрушению. Поэтому любые новые опытные данные будут всегда полезны, так как могут дать дополнительную информацию о природе образования выбросоопасных участков в пласте.

Цель работы — получение информации об особенностях структуры и сорбционных свойств угля в зонах пласта, склонных к внезапному разрушению.

### **Методики экспериментов и обсуждение результатов**

Исследования кинетики выхода метана из каменных углей проводили методом десорбции в вакуумированный сосуд известного объема. Точность метода определяется точностью измерения объема сосуда, его термостатирования и измерения давления газа, собранного в сосуде. Этот метод свободен от влияния влажности воздуха и позволяет проводить измерения процесса десорбции длительное время. На рис. 1 представлена схема установки, которая использовалась для изучения кинетики десорбции метана из угля.

Установка состоит из металлического контейнера 1 с образцом угля. Посредством вентиля 2 контейнер сообщается с накопительным сосудом 3. Контейнер и накопительный сосуд сообщаются через вентиль 4 с вакуумным насосом 5. Контейнер с углем и накопительный сосуд находятся в термостате 6, изготовленном из пенопласта. Изменение давления газа в сосуде 3 регистрируется датчиком давления 7 и соответствующий сигнал поступает в блок памяти компьютера 8.

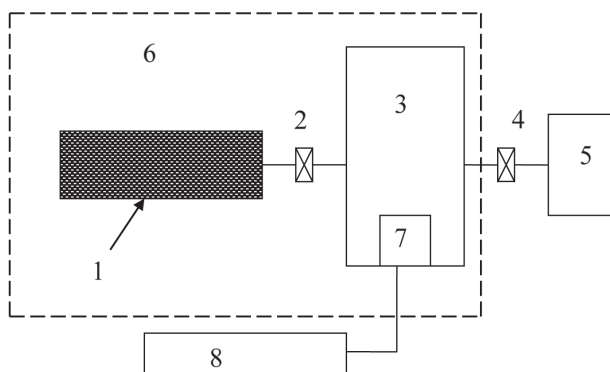


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для регистрации хода десорбции метана из угля  
 Fig. 1. Experimental plant for recording of methane desorption from coal

Нами изучалась кинетика десорбции метана из угля шахты «Краснолиманская» Донецкого бассейна. Для первого этапа исследований использовались образцы углей, которые были отобраны из выброса, произошедшего 23.05.2008 г. на пласте  $I_3$ . Отобранный из ГДЯ уголь рассеян на ситах, и начальная серия исследований выполнялась на образцах фракций 0,2–0,25; 0,05–0,1; 0,06–0,08 мм и так называемая «бешенная мука» (<0,05 мм). Чтобы выяснить, как меняется кинетика выхода метана из углей претерпевших изменения в естественных условиях (до и после выброса), были приготовлены образцы угля фракции 0,2–0,25 мм, отобранные из выброшенного угля, из поверхностного слоя ниши выброса и из спокойной области пласта. Перед насыщением метаном все образцы углей сушили при температуре 373 К. Качество высушивания контролировалось анализом формы линии спектра ЯМР  $H^1$  по методике, описанной в работе [5].

Предварительно вакуумированные контейнеры с образцами подключали к баллону с сжатым метаном и выдерживали образцы в метановой атмосфере от 1 до 8 суток (в зависимости от размера гранул угля). По истечению выбранного времени, контейнер отсоединялся от баллона и сжатый газ из свободного

объема контейнера сбрасывался в атмосферу. Через 10 с контейнер с насыщенным метаном образцом угля через вентиль 2 подсоединялся к накопительному сосуду 3, который был предварительно вакуумирован насосом 5.

В дальнейшем, при закрытом вентиле 4 и открытом вентиле 2 производилась десорбция метана из угля в накопительный сосуд 3. Объем контейнера, масса угля, а также объем накопительного сосуда подбирались так, чтобы давление  $P_{nc}$  метана, десорбированного из угля в сосуд 3, не превышало  $\approx 30$  кПа. Таким способом мы сводим к минимуму влияние давления газа в накопительном сосуде на ход десорбции. Система накопительный сосуд — вакуумметр выполняет здесь функцию измерительного зонда. И чем больше его объем, тем меньше его влияние на ход десорбции. Контрольные измерения показали, что дополнительное вакуумирование сосуда 3 приводит к увеличению выделения метана из угля не более, чем на 1%. В ходе десорбции изменение давления газа  $P_{nc}$  в сосуде 3 ежесекундно регистрировалось датчиком давления 7 и соответствующий сигнал поступал в блок памяти компьютера 8. Чувствительность датчика давления с аналогово-цифровым преобразователем была менее 1 Па. Информация о ходе изменения давле-

ния  $P_{HC}(t)$  газа в сосуде 3 в последующем используется для компьютерной оптимизации параметров интерполяционной функции имеющей наименьшее среднеквадратичное отклонение от множества экспериментальных точек. Для интерполяции использовалась функция вида

$$P_{HC}(t) = a \left( 1 - (1 + bt)^{-0.5} \right) + c \left( 1 - \exp(-t/d) \right)$$

которая, как показывают исследования [6], обеспечивает наилучшее приближение при описании хода десорбции газов. При десорбции метаноемкость и текущее содержание метана в угле  $Q_{угля}(t)$  могут быть рассчитаны с помощью формул

$$Q_{угля}^{max} = P_{HC}^{max} \cdot V_{HC} / P_0 \cdot m_{угля}$$

$$Q_{угля}(t) = \left( P_{HC}^{max} - P_{HC}(t) \right) \cdot V_{HC} / P_0 \cdot m_{угля}$$

где  $P_{HC}^{max}$  — давление в накопительном сосуде после завершения десорбции;  $P_0$  — нормальное атмосферное давление;  $V_{HC}$  — объем накопительного сосуда;  $a$  — масса угля.

В процессе подготовки и проведения экспериментов выполнялись условия:

- насыщение всех образцов метаном производилось при одинаковом давлении сжатого газа — 5 МПа;

- регистрация десорбции прекращалась после того, как изменение давления газа в накопительном сосуде было меньше 200 Па за сутки.

Масса каждого образца угля составляла 20 г; объем  $V_{HC}$  накопительного сосуда был равен 1750 см<sup>3</sup>. Как показано в работе [7], в ходе десорбции происходит трансформация механизма выделения газа. Еще во время подготовки к измерениям, когда мы производим сброс избыточного давления в камере насыщения, происходит эвакуация метана из открытых пор и трещин угля (начальная фаза). Заключительная фаза отличается большой продолжительностью и слабой интенсивностью выделения газа. В этой фазе диффузионный процесс становится ведущим, а источником выделяемого газа служит угольное вещество микроблоков угля и, возможные в них закрытые поры. Между начальной и заключительной фазами десорбции метана из угля имеет место продолжительная переходная фаза, в которой происходит смена ведущей роли механизмов выхода метана — от фильтрации к диффузии. Учитывая реализуемые в наших опытах условия подготовки к измерениям, можно заключить, что регистрация десорбции в нашем случае начинается только с переходной фазы. В течение первых

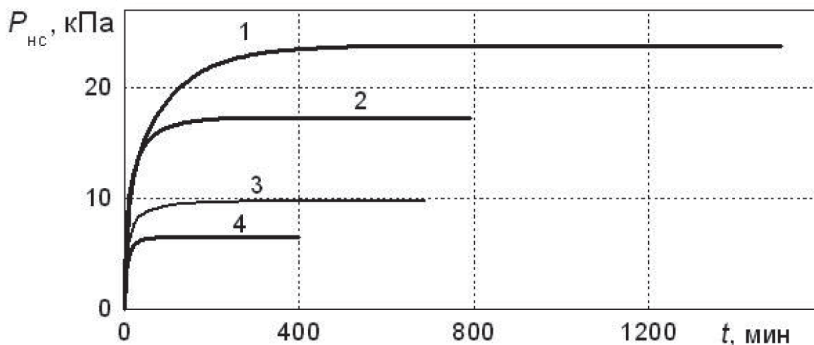


Рис. 2. Характер кинетики десорбции метана из угля, выброшенного в результате ГДЯ, в гранулах размером: 1 — 0,2±0,25 мм; 2 — 0,05±0,1 мм; 3 — 0,06±0,08 мм; 4 — <0,05 мм

Fig. 2. Kinetics of methane desorption from coal after outburst due to gas-dynamic phenomenon, grain sizes: 1 — 0,2±0,25 mm; 2 — 0,05±0,1 mm; 3 — 0,06±0,08 mm; 4 — <0,05 mm

**Петрографические составляющие образцов углей из спокойной области и выброса**

**Petrographic components of coal sampled in a dead zone and in an outburst area**

	Размер фракции, мм	$V^{daf}$ , %
Спокойная область	Средняя	31,9
	0,20–0,16	31,39
	0,08–0,06	28,81
	0,06–0,05	25,37
	< 0,05	22,46
Выброс	Средняя	40,74
	0,20–0,16	34,65
	0,08–0,06	34,51
	0,06–0,05	32,8
	< 0,05	30,97
Из ниши выброса	0,20–0,16	36,83

Примечание: Петрографический состав угля пласта  $I_3$  ш. Краснолиманская сделан в ИГТМ НАНУ (г. Днепр).

минут этой фазы влияние фильтрационных процессов на кинетику десорбции может быть еще достаточно сильным. Иными словами, значительный вклад в поток газа в самом начале регистрируемой десорбции обусловлен не завершенным еще процессом фильтрации газа транспортными каналами (открытыми порами и трещинами).

На рис. 2 показаны изменение давления  $P_{nc}$  в накопительном сосуде в ходе десорбции метана из «выброшенного» угля различных фракций. Видно, что с уменьшением размера фракции газоемкость выброшенного угля уменьшается.

Если сравнить содержание летучих веществ в образцах, отобранных из спокойной области, с аналогичным показателем образцов из выброшенного угля и из ниши выброса (смотреть таблицу) видно, что уменьшение значений  $V^{daf}$ , зависит не только от размера фракций. Эти значения значительно отличаются между собой, если сравнивать образцы,

отобранные из спокойной области, выброса и ниши выброса (предположительного остаток выбросоопасной зоны).

То есть, значение  $V^{daf}$  в выброшенном угле и в выбросоопасной зоне больше, чем в угле из спокойной зоны. Эти данные кажутся не столь очевидным и требуют дополнительной проверки. В литературе уже имеются данные о результатах исследований влияния разрушающих напряжений на кинетику десорбции метана из угля. Так в работах [8, 9] обнаружено, что уголь, который был предварительно подвергнут объемному неравнокомпонентному сжатию, имел более низкую метаноемкость. Этот результат, на первый взгляд, не согласуется с полученным увеличением доли  $V^{daf}$ . Для того чтобы выявить, как в действительности изменяется кинетика десорбции метана из не поврежденных и выброшенных углей, изучалась кинетика десорбции метана из угля в накопительный сосуд.

На рис. 3 показано изменение объема метана в накопительном сосуде при десорбции метана из трех образцов угля, отобранных из выброса, из поверхностного слоя ниши выброса и из спокойной области угольного пласта. Видно, что объем  $Q$  десорбированного метана из угля 2 (выброс) больше, чем из спокойной области (1), но меньше объема метана из угля 3 (уголь из ниши выброса).

Результаты, относящиеся к образцу 3, являются ключом для логически последовательной обоснованной интерпретации данных десорбционных исследований. Для этого достаточно предположить, что выброс был спровоцирован повышенным содержанием летучих веществ в некоторой области (выбросоопасной зоне) угольного пласта. На это косвенно указывает большее, по сравнению со спокойной областью (уголь 1), значение  $V^{daf}$  в образцах угля 3, которые отобраны в поверхностном слое ниши, образованной выбросом. В выброшенном

угле 2 его структура и петрография претерпевают изменения под действием разрушающих напряжений. Характер изменений при выбросе, по-видимому, такой же, как и в опытах по неравнокомпонентному сжатию. На это указывает тот факт, что и в том и в другом случае метаноёмкость угля уменьшалась.

Анализ петрографических составляющих образцов показал, что содержание витринита в выброшенном угле при уменьшении фракции от 0,25 до 0,06 мм почти не меняется и составляет 82–84%, а для образцов фракций < 0,05 падает до 66%. Содержание инертинита с уменьшением фракции увеличивается от 4% (фракция 0,2–0,25 мм) до 13% (0,06–0,08 мм) и составляет 33% для фракции < 0,05 мм. Содержание лейптинита с уменьшением фракции угля уменьшается от 12 до 5% и равно нулю во фракциях угля < 0,05. Сравнение данных петрографии и сорбционных экспериментов показывает корреляцию между содержанием витринита и лейптинита и метаноёмкостью образцов, отобранных из выброшенного угля. При сравнении петрографических разностей из выброса и спокойной области хорошо заметны различия в содержании витри-

нита, инертинита и лейптинита с изменением фракций. В образцах фракции 0,2–0,16 мм выброшенного угля содержится немного больше витринита, количество лейптинита увеличилось в два раза, а инертинита уменьшилось в четыре раза. Поэтому, можно предположить, что для низкометаморфизированных углей, таких как уголь шахты «Краснолиманская», их сорбирующая ёмкость формируется углеводородной составляющей витринита и лейптинита. Доля летучих веществ с уменьшением размера угольных частиц уменьшается как в образцах из спокойной области, так и из зоны выброса. Однако количество  $V^{daf}$  (алифатических веществ), в случае выброшенного угля, больше даже для фракции 0,05 (30,97%), тогда как для спокойной области той же фракции его значение составило 22,46%. Этим можно объяснить большую газоёмкость выброшенного угля.

Количество летучих веществ в угле из ниши выброса и из выброса составляет 35,6–36,8%, тогда как в угле спокойной области  $V^{daf} = 31,9\%$ . Для понимания отличий в структуре углей, имеющих одинаковую долю летучих, но разную склонность к выбросам, уголь шахты «Красно-

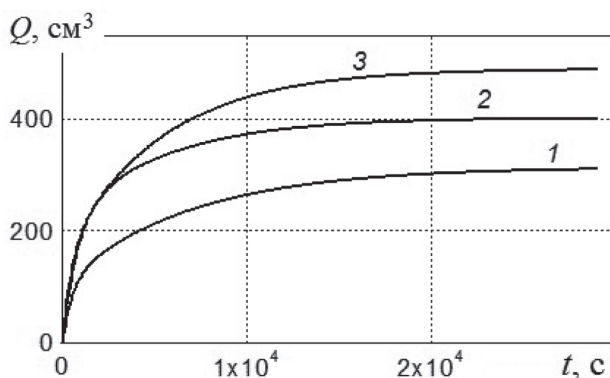


Рис. 3. Изменение объема метана в накопительном сосуде в процессе его десорбции из угля, отобранного: из спокойной области — 1, из выброса — 2 и из приповерхностного слоя в нише выброса — 3

Fig. 3. Change in methane volume in accumulating vessel during desorption from coal sampled in: dead zone—1, outburst area—2 and subsurface layer in outburst niche—3

лиманская» сравнивался с невыбросоопасным углем пласта  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова ( $V^{daf} = 35,6\%$ ). Доля летучих веществ примерно равная 35% характеризует эти угли, как угли марки Г. Для исследований был использован метод ЯМР  $^{13}\text{C}$  высокого разрешения с применением методики кросс-поляризации CP/MAS. Методика измерений с использованием метода ЯМР  $^{13}\text{C}$  описана в работе [10]. Сравнительные спектры ЯМР  $^{13}\text{C}$  углей шахт «Краснолиманская» и им. Е.Т. Абакумова представлены на рис. 4.

Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  угля шахты им. Е.Т. Абакумова (линия 1) имеет четкий максимум большой интенсивности в области  $\delta = 35\text{--}40$  ppm, который возникает при наличии в структуре упорядоченных повторяющихся функциональных групп  $-\text{CH}_2-$  (углерод в состоянии  $\text{sp}^2$ -гибридизации). Такие группы отвечают за формирование жесткой (прочной) структуры угольной матрицы, поэтому уголь пласта  $m_3$  этой шахты не склонен к выбросам.

В спектре угля шахты «Краснолиманская» (линия 2) интенсивность миниму-

ма в этой области снижена и нет четко выраженного пика, что свидетельствует о более разупорядоченной структуре, зато четко обозначился пик в области  $\delta = 25\text{--}30$  ppm, что вызвано наличием  $-\text{CH}_3-$  групп (углерод в состоянии  $\text{sp}^3$ -гибридизации). Уменьшение интенсивности описанных выше максимумов на линии 3 свидетельствует о разрушении этих групп во время выброса.

Расчет интенсивностей сигналов ЯМР спектров углей марки Г из выбросоопасной области (ниша выброса), из зоны выброса пласта  $l_3$  шахты «Краснолиманская» и невыбросоопасного угля из пласта  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова показан на рис. 5.

На линии 1 показаны изменения содержания  $-\text{C}=\text{CH}-$  групп (изменения количества водорода, входящего в состав ароматических фрагментов и сопряженных цепочек в состоянии  $\text{sp}^2$ -гибридизации). Линия 2 демонстрирует изменение количества групп  $-\text{CH}_2-$ , а линия 3 — групп  $-\text{CH}_3-$  в угле. Представленное сопоставление интенсивностей параметров ЯМР  $^{13}\text{C}$  выбросоопасных и невыб-

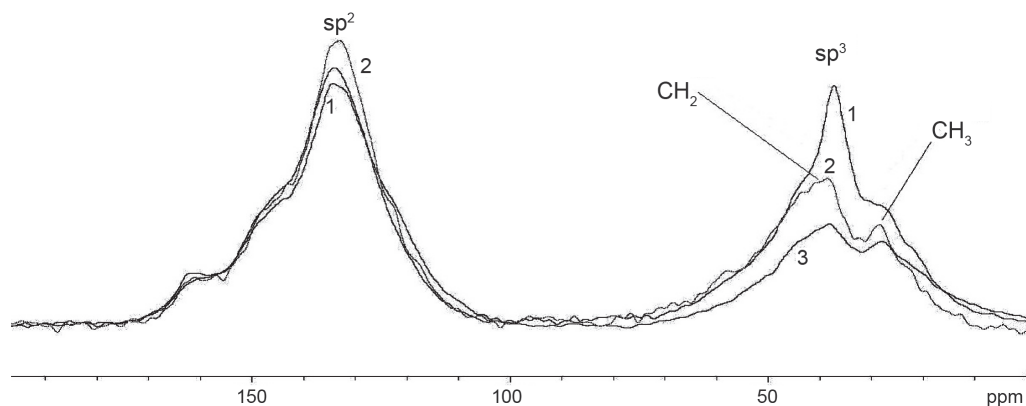


Рис. 4. Спектры ЯМР  $^{13}\text{C}$  CP/MAS углей марки Г: 1 — шахта им. Е.Т. Абакумова,  $V^{daf} = 35,6\%$ ; 2—3 — шахта «Краснолиманская»,  $l_3$ ,  $V^{daf} = 35,8\%$ : 2 — выбросоопасная зона (ниша выброса), фракция 0,2...0,25 мм; 3 — выброс, фракция 0,05 мм. Химические сдвиги  $\delta$  указаны относительно сигнала тетраметилсилана в миллионных долях — млн $^{-1}$  — partspermillion

Fig. 4.  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR spectra of gas coal: 1—Abakumov Mine,  $V^{daf} = 35,6\%$ ; 2—3 —Krasnolimanskaya Mine,  $l_3$ ,  $V^{daf} = 35,8\%$ : 2—outburst-hazardous zone (outburst niche), 0.2...0.25 mm; 3—outburst, fraction of 0.05 mm. Chemical shifts  $\delta$  are given relative to tetra methylsilane in parts per million—mln $^{-1}$

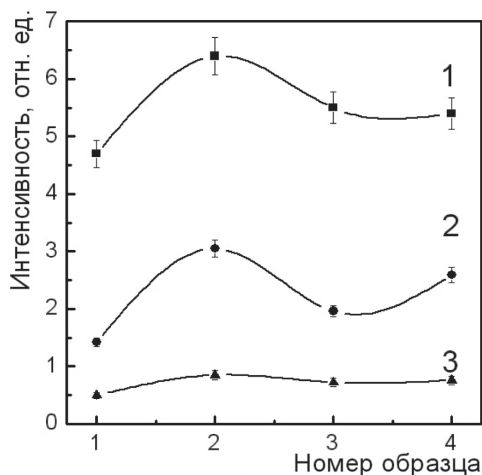


Рис. 5. Изменение параметров ЯМР спектров углей марки Г под действием ГДЯ. № образцов: 1 – ш. им. Е.Т. Абакумова; 2–4 – ш. «Краснолиманская»: 2 – ниша выброса, 3 – выброс (фракция <0,05 мм), 4 – выброс (фракция 0,2 мм). Линия 1 – значение  $I_{sp}^2$ ; линия 2 – значение  $I_{sp}^2/I_{CH_2}^2$ ; линия 3 –  $I_{CH_3}/I_{CH_2}$

Fig. 5. Change in NMR spectra in gas coal under effect of gas-dynamic phenomenon. No. of samples: 1–Abakumov Mine; 2–4 –Krasnolimanskaya Mine: 2–outburst niche, 3–outburst (fraction of < 0.05 mm), 4–outburst (fraction of 0.2 mm), Line 1–value  $I_{sp}^2$ ; line 2 – value  $I_{sp}^2/I_{CH_2}^2$ ; line 3 –  $I_{CH_3}/I_{CH_2}$

росоопасных образцов показывает, что наибольшее значение трех исследуемых параметров принадлежит образцам выбросоопасной зоны (№ 2). В выброшенном угле с уменьшением фракции эти значения уменьшаются и минимальное значение приходится на невыбросоопасный уголь, обладающий самой упорядоченной структурой.

Так как выброс на шахте «Краснолиманская» был непредсказуемым, не было возможности отобрать пробы непосредственно перед выбросом, однако образцы, отобранные из ниши выброса, имеют значение летучих веществ равное 35,8% (напомним, что спокойная часть пласта имеет летучие 31,9%). А так как даже после разрушения угля выбросом летучие выброшенного угля составляют 40–35% (см. таблицу), подтверждается наш вывод, сделанный в статье [9] об увеличении содержания алифатических компонент (то есть летучих) – угольной «бахромы» – в виде коротких сопряженных цепочек и повышенного содер-

жания  $-CH_3-$  групп в выбросоопасной зоне пласта. Такие зоны стабильны лишь при определенном критическом внешнем давлении. При снятии давления (во время разработки пласта) в таких метастабильных участках существует высокий риск развития выброса, что и произошло на шахте «Краснолиманская».

### Выводы

Исследования дают основание полагать, что зона пласта перед выбросом, характеризуется повышенной концентрацией метана и летучих веществ в угольном веществе. Эти факторы, по-видимому, создают условия для возникновения газодинамических явлений. Формирование в пласте области с увеличенной долей  $V^{daf}$  и насыщенной метаном дает основание предполагать, что метаморфизация этой части пласта происходила в других термодинамических условиях. Показано, что повреждения угля во время выброса приводят к уменьшению объема метана в микроблоках угля.

Современные возможности спектроскопии ЯМР  $^{13}\text{C}$  позволяют установить не только качественные изменения в углеродсодержащих материалах, находящихся под воздействием различных

факторов, но и количественно оценить закономерности распределения атомов углерода между функциональными группами при изучении структурно-функциональных преобразований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Б. М., Фейт Г. Н., Яновская М. Ф. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов. — М.: Наука, 1979. — 195 с.
2. Алексеев А. Д. Физика угля и горных процессов. — К.: Наукова думка, 2010. — 424 с.
3. Алексеев А. Д., Васильковский В. А., Шаждо Я. В. О распределении метана в угле / Физико-технические проблемы горного производства: сборник научных трудов. Вып. 10. — Донецк: Ин-т физики горных процессов НАН Украины, 2007. — С. 29–38.
4. Алексеев А. Д., Ревва В. Н., Рязанцев Н. А. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. — К.: Наукова думка, 1989. — 168 с.
5. Алексеев А. Д., Зайденварг В. У., Синолицкий В. В., Ульянова Е. В. Радиофизика в угольной промышленности. — М.: Недра, 1992. — 183 с.
6. Васильковский В. А., Ульянова Е. В. Некоторые аспекты интерпретации кинетики десорбции метана из каменного угля / Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 9 — Донецк: Ин-т физики горных процессов НАН Украины, 2006. — С. 56–61.
7. Васильковский В. А. Количество метана на поверхности угля / Горноспасательное дело: сборник научных трудов. — Донецк: НИИГД, 2011. — С. 45–52.
8. Алексеев А. Д., Ульянова Е. В., Васильковский В. А., Дегтярь С. Е. Влияние нарушенности угольного пласта на кинетику выхода метана // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — ОВ 7. — С. 54–65.
9. Васильковский В. А., Рева В. Н., Молодецкий А. В. Влияние уровня шарового тензора на физико-механические свойства углей при их разрушении в объемном поле сжимающих напряжений / Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов. Вып. 91. — Днепрпетровск, 2010. — С. 128–140.
10. Алексеев А. Д., Ульянова Е. В., Трачевский В. В., Зимина С. В.  $^{13}\text{C}$  ЯМР ископаемых углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — ОВ 7. — С. 66–75. **ПИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ульянова Екатерина Васильевна<sup>1</sup> — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: ekaterina-ulyanova@yandex.ru,  
Васильковский Всеволод Алексеевич — доктор технических наук, зав. отделом, e-mail: v.vasilkovskiy@inbox.ru,  
Институт физики горных процессов НАН Украины (ИФГП НАН Украины),  
Малинникова Ольга Николаевна<sup>1</sup> — доктор технических наук, зав. лабораторией, e-mail: olga\_malinnikova@mail.ru,  
<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 11, pp. 46–55.

## Effect of gas-dynamic phenomena on adsorption properties of coal in Krasnolimanskaya Mine

Ulyanova E.V.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, e-mail, ekaterina-ulyanova@yandex.ru,  
Vasilkovskiy V.A., Doktor of Technical Sciences, Head of Department, Institute for Physics of Mining Processes National Academy Sciences of Ukraine (IPMP NAS of Ukraine), 49600, Dnepr, Ukraine, e-mail: v.vasilkovskiy@inbox.ru,

Malinnikova O.N.<sup>1</sup>, Doktor of Technical Sciences, Head of Laboratory,  
e-mail: olga\_malinnikova@mail.ru,

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources  
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

**Abstract.** The implemented sorption and spectroscopic research in coal seam 13 in Krasnolimanskaya Mine shows that volatile yield of coal increases and adsorption properties improve before an outburst. It is supposed that the mentioned factors create conditions for a gas-dynamic phenomenon. Methane adsorption capacity and volatile yield decrease in coal under an outburst, and coal structure changes. The research findings afford ground for an assumption that a zone with the increased concentrations of methane and volatile matter forms in a coal seam before an outburst. Formation of such zone with the higher Vdaf and methane content makes it possible to suggest that metamorphization of this coal seam portion took place under different thermodynamic conditions. The article shows that damage of coal under an outburst results in the decrease of methane content in coal microblocks. Using the nuclear magnetic resonance spectroscopy, it is possible to assess qualitative changes in carbon-bearing materials subjected to influence of different factors and to evaluate quantitatively distributions of carbon atoms in functional groups during analysis of structural–functional transformations.

**Key words:** microblocks, methane desorption, coal outburst, <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance, coal structure.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-46-55

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 16-05-00584-a.

## REFERENCES

1. Ivanov B. M., Feyt G. N., Yanovskaya M. F. *Mekhanicheskie i fiziko-khimicheskie svoystva ugley vybrosoopasnykh plastov* [Mechanical and physicochemical properties of outburst-hazardous coal], Moscow, Nauka, 1979, 195 p.
2. Alekseev A. D. *Fizika uglya i gornyykh protsessov* [Physics of coal and mine processes], Kiev, Naukova dumka, 2010, 424 p.
3. Alekseev A. D., Vasil'kovskiy V. A., Shazhko Ya. V. O raspredelenii metana v ugle [Methane distribution in coal], *Fiziko-tekhnicheskie problemy gornogo proizvodstva*: Collection of scientific papers. Issue 10. Donetsk, 2007, pp. 29–38.
4. Alekseev A. D., Reva V. N., Ryazantsev N. A. *Razrushenie gornyykh porod v ob'emnom pole szhimayushchikh napryazheniy* [Rock failure in three-dimensional compressive stress field], Kiev, Naukova dumka, 1989, 168 p.
5. Alekseev A. D., Zaydenvarg V. U., Sinolitskiy V. V., Ul'yanova E. V. *Radiofizika v ugol'noy promyshlennosti* [Radio physics in coal industry], Moscow, Nedra, 1992, 183 p.
6. Vasil'kovskiy V. A., Ul'yanova E. V. Nekotorye aspekty interpretatsii kinetiki desorptsii metana iz kamenogo uglya [Some aspects of interpreting kinetics of methane desorption from coal], *Fiziko-tekhnicheskie problemy gornogo proizvodstva*: Collection of scientific papers. Issue 9. Donetsk, 2006, pp. 56–61.
7. Vasil'kovskiy V. A. Kolichestvo metana na poverkhnosti uglya [Quantity of methane on coal surface], *Gornospasatel'noe delo*, Collection of scientific papers. Donetsk, NIIGD, 2011, pp. 45–52.
8. Alekseev A. D., Ul'yanova E. V., Vasil'kovskiy V. A., Degtyar' S. E. Vliyanie narushennosti ugol'nogo plasta na kinetiku vykhoda metana [Influence of coal seam damage on methane release kinetics], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008. Special edition 7, pp. 54–65. [In Russ].
9. Vasil'kovskiy V. A., Reva V. N., Molodetskiy A. V. Vliyanie urovnya sharovogo tenzora na fiziko-mekhanicheskie svoystva ugley pri ikh razrushenii v ob'emnom pole szhimayushchikh napryazheniy [Influence of spherical tensor level on physical and mechanical properties of coal under failure in three-dimensional field of compressive stresses]. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, Collection of scientific papers. Issue 91. Dnepropetrovsk, 2010, pp. 128–140.
10. Alekseev A. D., Ul'yanova E. V., Trachevskiy V. V., Zimina S. V. <sup>13</sup>C YAMR iskopaemykh ugley [<sup>13</sup>C NMR of fossil coal], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008. Special edition 7, pp. 66–75. [In Russ].

