

УДК 550.8:553.04

## ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЯ ПРОЦЕССОВ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ФЛЮИДИЗАЦИИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

© 2013 г. В.Н. Труфанов, И.В. Рыбин, А.В. Труфанов, М.И. Гамов

*Труфанов Вячеслав Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: trufanov\_v37@mail.ru.*

*Trufanov Vyacheslav Nikolaevich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, e-mail: trufanov\_v37@mail.ru.*

*Рыбин Илья Валерьевич – аспирант, инженер, кафедра месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: iliaribin@mail.ru.*

*Rybin Ilya Valerievich – Post-Graduate Student, Engineer, Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, e-mail: iliaribin@mail.ru.*

*Труфанов Алексей Вячеславович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: SMAF2007@mail.ru.*

*Trufanov Aleksey Vyacheslavovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, e-mail: SMAF2007@mail.ru.*

*Гамов Михаил Иванович – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: kpirgu@mail.ru.*

*Gamov Mikhail Ivanovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Head of Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, e-mail: kpirgu@mail.ru.*

*Рассматриваются основные аспекты проблемы углеводородной флюидизации ископаемых углей с позиций молекулярной термобарогеохимии. На примере Восточного Донбасса показаны геолого-структурные, минералого-петрографические и физико-химические факторы, определяющие процессы флюидогенной трансформации углей, их роль в возникновении опасных газодинамических явлений в угольных шахтах, в формировании рудоносных зон и аномальных скоплений угольного метана.*

**Ключевые слова:** угольные месторождения, термобарогеохимия, флюидизация, элементы-примеси, фазовые переходы.

*The main aspects of the problem of hydrocarbon fluidization of coal are considered in the article from the point of view of molecular thermobarogeochemistry. The example of East Donbas shows geological-structural, mineralogical, petrography and physic-chemical factors that determine the processes of fluid genetic coal transformation their role in the occurrence of hazardous gas-dynamic phenomena in coal mines, in the formation of ore-bearing zones and abnormal accumulations of coal bed methane.*

**Keywords:** coal deposits, thermobarogeochemistry, fluid transformation, impurity elements, phase transitions.

К 70-м годам XX в. были разработаны базовые методы экспериментальных исследований и основные теоретические положения нового направления в системе наук о Земле – термобарогеохимии [1], изучающей флюидные включения и роль их динамических систем в формировании осадочно-метаморфогенных, рудных и нефтегазоносных минерагенических провинций. Развитие этого направления, в том числе в Ростовском госуниверситете (Южном федеральном), на базе региональных геодинамических реконструкций и результатов исследований природных систем «минерал-порода-флюид» и флюидных включений в минералах, впервые позволило создать адекватные генетические модели образования различных месторождений полезных ископаемых, объединить в единой флюидодинамической концепции основные закономерности их генезиса и эпигенетических преобразований [2 – 5].

Вместе с тем важнейшим видам твердых полезных ископаемых – углям, горючим сланцам и другим, исследователями разрабатываемой проблемы внимания уделялось недостаточно, вопросам флюидогенного преобразования углей посвящены лишь отдельные работы [6].

Современные представления о генезисе ископаемых углей до сих пор базируются на концепции оторфенения растительных остатков и последующего преобразования торфа в уголь при диагенезе, катагенезе и метаморфизме [7]. Учением о каустобиолитах практически не используются идеи метасоматоза и флюидизации, которые играют большую роль в петрогенезе и рудообразовании [8]. В геохимии ископаемых углей и металлогении угольных бассейнов не учитываются новые данные о закономерностях глубинной дегазации Земли, решающей роли водород-углеводородных газов и процессов их окисления при метаморфизме пород и петрорудогенезе на разных глубинах [5]. Из рассмотрения геологов-угольщиков (как, впрочем, и геологов-рудников) практически выпала вся ключевая для углепетрогенезиса проблема регионального воздействия потоков восстановленных и в разной степени окисленных эндогенных флюидов на углевещающие толщи и пласты углей.

Эндогенное науглероживание пород и флюидогенное преобразование углей проявляются как фундаментальная закономерность петрогенезиса угольных бассейнов авлакогенного типа. Естественно, что с этими процессами следует связывать не только особенности петрологии и металлогении угленосных бассейнов, но и закономерности формирования углегазовых месторождений как возможных альтернативных источников углеводородных газов, а также разнообразные случаи возникновения в угольных шахтах пожаров и опасных газодинамических явлений, среди которых наиболее сложными и недостаточно изученными являются внезапные выбросы угля, пород и газа.

Таким образом, не вызывает сомнения, что исследование процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей представляет большой теоретический и практический интерес. В этой связи авторами в течение последних 10 лет были проведены комплексные геолого-структурные, минералого-петрографические, термобарогеохимические и экспериментальные исследования флюидоактивных зон в углепородных масси-

вах Восточного Донбасса, Кузбасса и других регионов России, осуществлено геотехнологическое прогнозирование флюидизированных зон, наиболее перспективных для превентивной добычи угольного метана и селективного извлечения ценных элементов-примесей [6, 9]. Результаты этих исследований обобщены в настоящем сообщении.

Классическим полигоном для проведения отмеченных исследований является Донецкий угольный бассейн, где широко развиты ископаемые угли различных степеней метаморфизации, подверженные локальным процессам углеводородной флюидизации в зонах тектонических нарушений и участках проявления магматической и гидротермальной деятельности. Поэтому основной объем фактического полевого и экспериментального материала был получен на угольных месторождениях Донбасса, что не ограничивает распространение выявленных закономерностей на другие угольные регионы с учетом специфики последних.

В геотектоническом плане Донбасс является типичным авлакогеном, сформировавшимся как один из элементов гигантского линейного Карпинского, включающего систему сближенных глубинных разломов земной коры, которые прослеживаются вдоль герцинид южного Тянь-Шаня, Мангышлака, севернее Ставропольского поднятия через Восточный Донбасс, Днепровско-Донецкую впадину и далее на запад.

По простираюнию пояса сильно менялись режимы осадконакопления, угле- и нефтеобразования, минерагения высокоуглеродистых угленосных формаций (золото-мышьяковая, полиметаллическая минерализация, проявления нерудной кварцевой, флюоритовой и других стадий минералогенеза). Имеются многочисленные проявления дайкового магматизма основного и среднего субщелочного состава.

Не вызывает сомнения, что глубинные разломы северо-западного простираюния служили транспортными каналами для мантийных и внутрикоровых флюидов, а поперечные субмеридиональные тектонические нарушения и оперяющие их зоны мелкой трещиноватости являлись распределяющими каналами и обуславливали широкое развитие процессов углеводородной флюидизации угольных пластов и вмещающих пород.

Прямые следствия этих процессов проявляются, прежде всего, в температурном режиме метаморфизма углей. Приведены данные по температурам образования метаморфического ряда углей (таблица), и зависимость этой температуры от глубины погружения угольных пластов, а также данные термобарогеохимических исследований (рис. 1).

Отчетливо видно, что в ряду углей Б<sub>1</sub>-Г<sub>2</sub> эти данные совпадают, но уже с углей Ж-К происходит их существенное «раздвоение», свидетельствующее о дополнительном энергомассопереносе в систему «уголь-флюид».

Влияние процессов флюидизации прослеживается и на графиках изменения основных технологических свойств углей (рис. 2). Из этих графиков хорошо видно, что их прямолинейный характер выдерживается только до углей Ж-К, а далее они осложняются экстремальными значениями, не совпадающими с теоретическими данными.

Термодинамические параметры образования углей разных степеней метаморфизма [10]

Степень метаморфизации угля	Марка угля	Глубина образования, м	Давление, бар	Температура, °С
Бурый уголь	B <sub>1</sub>	1000–1500	250–300	50–80
	B <sub>2</sub>	1500–2000	300–500	80–100
Каменный уголь	Д	2000–2500	500–600	100–125
	Г	2500–3000	600–750	125–150
	Ж	3000–3500	750–875	150–175
	К	3500–4000	875–1000	175–200
	ОС	4000–4500	1000–1125	200–250
	Т	4500–5000	1125–1250	250–300
Антрацит	A <sub>1</sub>	5000–5500	1250–1400	300–350
	A <sub>5</sub>	5500–6000	1400–1500	350–400
	A <sub>10</sub>	6000–7000	1500–2000	400–450

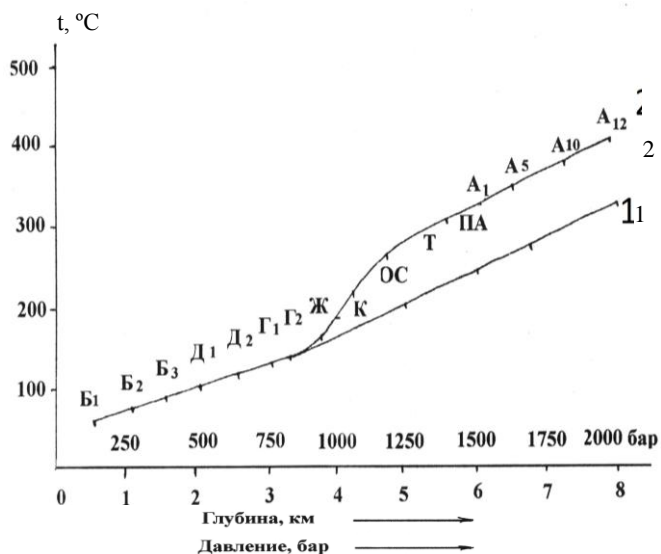


Рис. 1. P-T-диаграмма метаморфического ряда углей Донбасса: 1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментальные данные термобарогеохимии

Причина этого – интенсивное развитие процессов флюидизации, прямым доказательством которых является присутствие флюидных включений в углях, установленных нами с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 3).

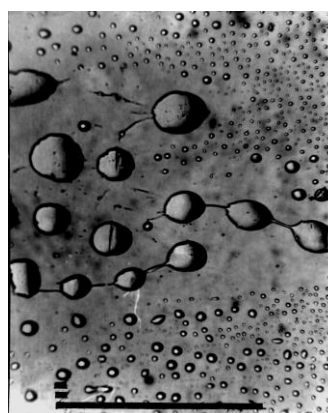


Рис. 3. Расшнурованные флюидные включения в угле из зоны флюидизации. Маркер 100 мкм

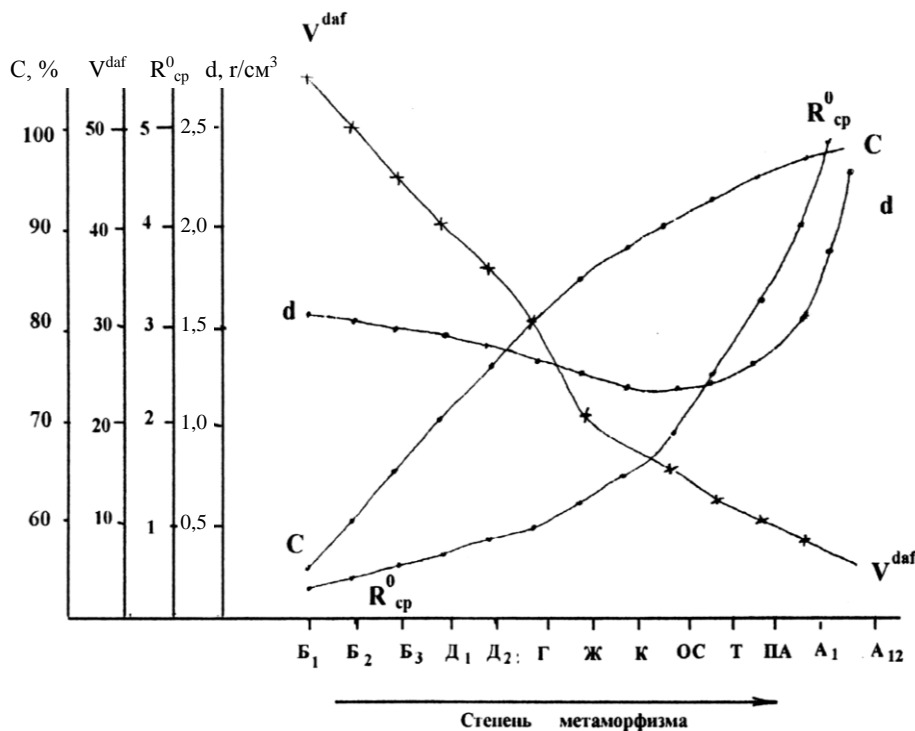


Рис. 2. Графики изменения содержания C<sub>орг</sub>, выхода летучих V<sup>daf</sup>, отражательной способности витринита R<sup>0</sup><sub>сп</sub> и плотности углей d в ряду метаморфизма

Результаты флюидизации обнаруживаются и по данным вакуумной декриптометрии углей и вмещающих пород, согласно которым флюидоактивность углей увеличивается в 3–5 раз, а природная газоносность достигает 60–80 м<sup>3</sup>/т угля (рис. 4).

В составе флюидов обнаруживаются высокие содержания CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, предельных и непредельных углеводородов, а в самих зонах флюидизации – аномальные концентрации титана, вольфрама, ртути, германия, меди, цинка, свинца и других элементов-примесей.

Мультипликативные отношения концентраций эпигенетических и аутигенных элементов-примесей в спокойных и измененных флюидизированных углях существенно различаются:

- в спокойном угле  $K=(Cu \cdot Pb \cdot Zn \cdot Ti \cdot W \cdot Hg)/(Mn \cdot Ba \cdot Ge \cdot V \cdot Ga)=0,5$ ;
  - во флюидизированном угле  $K=24,7$ ;
  - в зоне бронирования  $K=104,6$ ;
  - в «бешеной муке» из зоны выброса  $K=112,5$ ;
- т.е. увеличивается более чем в 200 раз.

Эти и другие аналогичные факты, несомненно, свидетельствуют о привносе в зону флюидизации ряда промышленно ценных рудообразующих элементов-примесей, селективное извлечение которых может представлять значительный практический интерес. Так, например, на Краснодонском месторождении выявленные зоны флюидизации имеют мощность до 150–200 м, протяженность – 2–3 км, что соизмеримо с параметрами рудных тел гидротермальных месторождений. Кроме того, в них сосредоточено до 20 % ресурсов угольного метана, которые оцениваются для этого месторождения порядка 5,5 млрд м<sup>3</sup> [11].

Анализ геолого-структурных, минералого-петрографических и термобарогеохимических особенностей формирования ископаемых углей Донбасса и других угольных бассейнов показывает, что процессы регионального метаморфизма угольных пластов и углевлещающих пород неоднократно сопровождались явлениями их углеводородной флюидизации, обусловленными фильтрацией сложных по составу паро-водно-газовых растворов по зонам тектонических нарушений при высоких перепадах термодинамических параметров. В общем случае эти явления играли значительную роль в геохимической специализации угольных пластов, в неоднородной карбонизации органического вещества и перекристаллизации вмещающих пород, в развитии зон минерализации и участков, обогащенных CH<sub>4</sub> и рудными компонентами. В зонах флюидизации широкое развитие получают кварц-углеродистые метасоматиты, представленные лититами, кварцолитами, силекситами и окварцованными песчаниками. Вакуумная декриптометрия этих пород обнаруживает несколько стадий гидротермального литогенеза в интервалах температур

80–150, 160–200, 220–250 и 420–500 °С с высокими F-показателями флюидоактивности, достигающими 350–400 усл. ед. (рис. 5).

При определенных геодинамических условиях (в так называемых «структурных ловушках») имели место локальные процессы интенсивного преобразования угольного вещества и углевлещающих пород по типу гидротермально-метасоматического их изменения, что вызывало существенную трансформацию практически всех свойств углей и приводило в конечном итоге к формированию метанообильных и выбро-

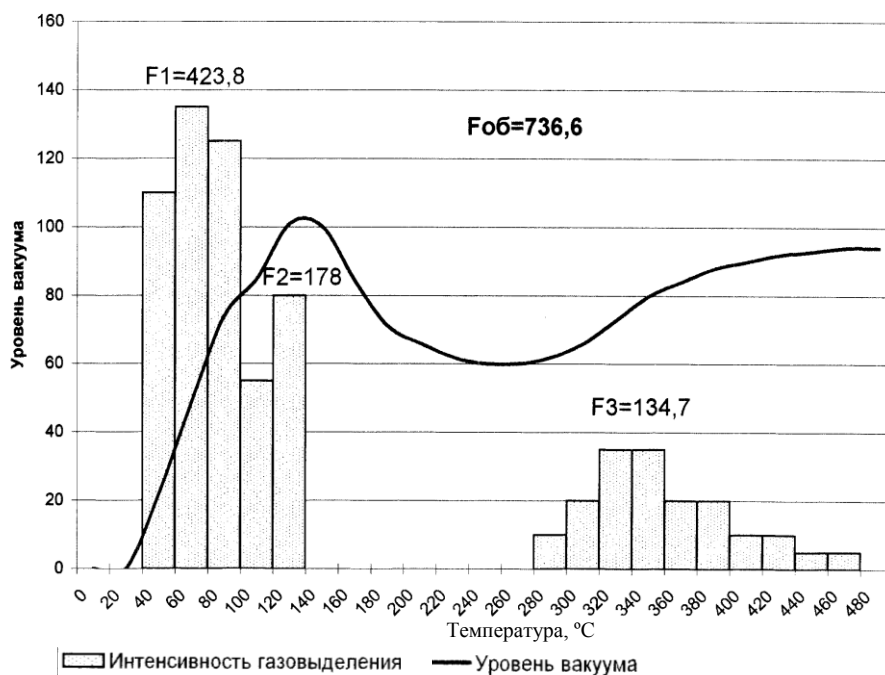


Рис. 4. Типовая вакуумная декриптограмма флюидизированного угля (скважина 9191, глубина 126,5–126,6 м, 0,5–0,25 мм, 50 мг)

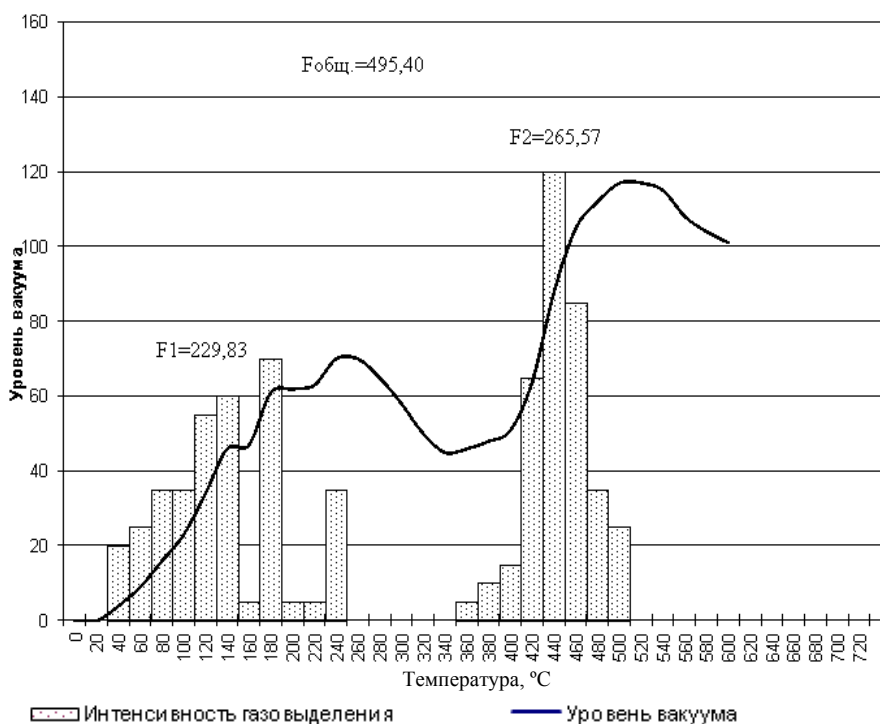


Рис. 5. Типовая вакуумная декриптограмма кварц-углеродистого метасоматита из зоны флюидизации Краснодонского месторождения (№ 12д метасоматит, 0,50, 25 мм, 100 мг)

соопасных зон (очагов) в угольных пластах. С этим связано зональное распределение внезапных выбросов угля, пород и газа при отработке угольных месторождений практически на всех угольных бассейнах России и в других регионах.

Природа и физико-химические параметры флюидов, вызывавших развитие отмеченных процессов флюидизации, метасоматоза и преобразования угольного вещества, остаются в настоящее время недостаточно изученными. Согласно полученным результатам термобарогеохимических исследований, на уровне современных глубин разработки угольных месторождений температура растворов изменялась от 350–400 до 250–300 °С, а давление находилось в пределах от 150–200 до 50–60 МПа, что не исключает возможности существования более высоких или аномально низких температур и давлений в участках развития разнонаправленных стрессовых нагрузок [12, 13].

Несмотря на то, что отмеченные явления флюидизации углей имеют разноплановый характер и неодинаковы в разных типах углей, они свидетельствуют о существовании двух противоположных тенденций фазовых переходов на молекулярном и надмолекулярном уровнях, возникающих в системах «уголь–флюид» при повышенных РТ-параметрах. Одна из этих тенденций выражается в стабилизации, упрочнении, повышении степени упорядоченности структуры угля, вторая – в ее разрушении, разупорядоченности, дезинтеграции. Первая тенденция проявляется в науглероживании углей, понижении индекса Рога, в изменении структуры рентгеновских и инфракрасных спектров, свидетельствующих об образовании графитоподобных кристаллитов и упорядоченных надмолекулярных блоков, в увеличении роли взрывных эффектов на вакуумных декриптограммах флюидизированных углей.

Вторая тенденция экспериментально проявляется в резком увеличении интенсивности газовой выделения в измененных углях, их диспергации и разбухании, гидрогенизации, экстракции элементов-примесей, существенном изменении состава летучих, выделяющихся при нагревании проб в сторону увеличения содержания водорода, этилена, этана, СО, СО<sub>2</sub> и других компонентов.

Очевидно, что возникновение отмеченных разнонаправленных процессов в системах «уголь–флюид» обусловлено, во-первых, гетерогенной структурой самого угля и, во-вторых, воздействием углеводородных газов, взаимодействующих с разными блоками угольного вещества при термобароградиентных условиях.

Как известно [10, 14], в строении угля участвуют относительно упорядоченные полиядерные участки (ароматические кольца) и разветвленные цепи сконденсированных (полимеризованных) и неупорядоченных (аморфизованных) молекул органических соединений предельного и непредельного ряда. В надмолекулярной структуре угля доминируют микроглобулярные (в каменных углях) или фибриллярные (в антрацитах) фрагменты, упакованные в кольца и слои с определенной периодичностью их расположения. При воздействии на такую гетерогенную структуру углеводородно-водным флюидом при повышенных РТ-параметрах возникает сложная цепь процессов физи-

ческой сорбции, диффузии, хемосорбции, поверхностной и объемной когезии, химического взаимодействия компонентов флюида с полиядерными и упорядоченными и разветвленными менее упорядоченными участками угольного вещества.

Результатом физической сорбции и диффузии газов в межмолекулярные пространства является разбухание угля и увеличение его газонасыщенности. При этом вполне вероятно образование твердогазовых растворов в участках повышенных стрессовых нагрузок (зона «бронирования»). При снятии внешних нагрузок или в условиях резких перепадов РТ-параметров (дросселирование флюида) избыточная энергия сорбированного газа высвобождается за счет дезинтеграции угольного вещества.

Хемосорбция и химическое взаимодействие приводят к расщеплению молекул углеводородного газа с последующим внедрением свободного углерода (науглероживание) в конденсированные кольца структуры, обуславливая повышение степени ее упорядоченности и периодичности.

Освобождающийся водород вступает в реакции гидрогенизации с разветвленными цепями и аморфизованными блоками угольного вещества, способствуя «вымыванию» наиболее подвижных компонентов и экстракции элементов-примесей. Появление на «выходе» дросселирующего флюида метана, этилена, этана, СО, СО<sub>2</sub> и легких фракций битумоидов свидетельствует о возможных реакциях конверсии и поликонденсации продуктов этих реакций.

Одним из наиболее значимых результатов флюидизации углей при воздействии на них углеводородно-водных флюидов является существенное изменение динамики газовой выделения, приобретающей ярко выраженный взрывной характер, что отчетливо фиксируется на вакуумных декриптограммах флюидизированных проб угля. Микровзрывные процессы, по видимому, связаны с декрипацией флюидных включений, образующихся при консервации микропорций газовой смеси перекристаллизованными участками структуры угольного вещества [15].

Приведенные результаты по термобарогеохимии процессов углеводородной флюидизации углей дают возможность наметить некоторые способы направленного изменения их технологических свойств:

- при достаточно длительном воздействии углеводородными флюидами на угли марок «ОС» и «Т» в результате процессов частичной гидрогенизации и увеличения содержания поровых флюидов можно повысить значения R<sub>J</sub> и улучшить спекаемость угольного вещества, обеспечив тем самым улучшение коксующести угля;

- так как в процессе флюидизации углей наблюдается обогащение флюида водородом и легколетучими углеводородами, этот процесс может быть применен для разработки замкнутых технологических схем гидрогенизации и термического растворения углей низких ступеней углефикации;

- интенсивное науглероживание углей высоких степеней метаморфизма под воздействием флюидов обеспечивает возможность получения высокоуглеродистых продуктов при относительно низких РТ-параметрах по сравнению с известными способами;

– для углей, содержащих повышенные количества ценных элементов-примесей, метод углеводородной флюидизации может быть успешно применен с целью селективной их экстракции в промышленных масштабах.

На основании результатов проведенных экспериментальных работ может быть высказан ряд новых положений о природе явлений внезапных выбросов угля и газа из угольных пластов и вмещающих пород при проходке горных выработок [9].

В угольных пластах, в естественных условиях, постоянно осуществляется транспорт углеводородно-водных флюидов, приобретающих режим дросселирования в зонах тектонических нарушений. Дренаж таких флюидов обусловлен естественной дегазацией глубокозалегающих угольных пластов, а также поступлением глубинных (мантийных) газов. В условиях дросселирования флюидов в участках тектонической нарушенности угольных пластов в структурных ловушках происходит процесс углеводородной флюидизации углей по схеме, описанной выше. При этом в результате перекристаллизации угольного вещества, существования локальных перепадов давления и температуры, а также протекания гетерофазных реакций значительная часть углеводородных флюидов капсулируется в виде газовой-жидких микровключений, находящихся в сильно сжатом состоянии при давлениях до 100–150 МПа и более. Эти включения установлены прямыми наблюдениями углей методами электронной микроскопии и фрактографии. Доказательством существования таких включений, содержащих надкритические углеводородные флюиды, являются также многочисленные случаи их обнаружения в кварцевых и кальцитовых прожилках, обычных для многих угольных пластов Донбасса [5]. Косвенным свидетельством их присутствия в угольных пластах являются аномально высокие содержания газов в некоторых пробах углей, а также дискретный взрывообразный характер вакуумных декриптограмм.

В случае достижения некоторых критических значений содержания и размеров таких специфических флюидных включений и в условиях прохождения подземных горных выработок создаются предпосылки для внезапного выброса угля и газа по схеме цепной реакции, так как взрыв одного флюидного включения инициирует практически мгновенное разрушение прилегающих зон угольного вещества. Этим, в частности, можно объяснить образование в зоне выброса тонкодисперсного угля – «бешеной муки», механизм происхождения которой до сих пор остается дискуссионным.

Особое значение в формировании и развязывании внезапных выбросов имеет зона «бронирования», ограничивающая камеру выброса с флюидизированным углем от остальной части угольного пласта, хотя механизм ее образования выяснен недостаточно. По-видимому, эта своеобразная зона «автолизии», перекристаллизации и науглероживания угольного вещества возникает на термодинамическом барьере (передовом фронте) взаимодействия флюидов с углями и вмещающими породами.

Установлено нами, а также А.Н. Сукачевым [16], что в составе углеводородных газов, находящихся в виде включений в выбросоопасных углях, нередко

присутствует ацетилен. При достаточно высоких концентрациях этого газа (или его производных) возможно образование жидких ацетиленовых включений, которые являются потенциально взрывоопасными, так как сжиженный ацетилен взрывается от самых незначительных механических воздействий с выделением большого количества тепла. Появление ацетилена в угольных пластах может быть вызвано реакциями конверсии, протекающими в системе «уголь-флюид» при высоких перепадах термодинамических параметров. Он может генерироваться также при механохимических и плазмохимических реакциях, возникающих при мгновенном раскрытии трещин в напряженно-деформированном угольном массиве.

Таким образом, рассмотренная термобарогеохимическая модель флюидогенного преобразования углей может служить основой для разработки новых методов прогнозирования выбросоопасных свойств углей и направленного изменения технологических свойств твердых горючих ископаемых. Вместе с тем приведенные выше выводы и практические следствия не могут считаться завершенными в отношении теоретического и прикладного применения закономерностей, которые могут быть выявлены в результате дальнейшего развития экспериментальных работ по термобарогеохимии процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей.

Необходима постановка специальных исследований, направленных на установление фундаментальных причин и факторов регионального метаморфизма и флюидогенного преобразования углеродистого вещества в земной коре, что имеет прямое отношение к проблеме происхождения нефти и горючих газов.

Весьма актуальными и перспективными представляются также исследования и модельные эксперименты, позволяющие выявить и оценить масштабы привноса-выноса рудогенных элементов-примесей в углях и углевмещающих породах при мощном развитии явлений углеводородной флюидизации органического вещества. Результаты таких работ могут привести к принципиально новым выводам о металлогенической специализации угольных бассейнов и генезисе сопряженных с ними рудных месторождений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Соглашение 14.А18.21.1256.*

#### Литература

1. *Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.* Термобарогеохимия. М., 1979. 272 с.
2. *Абукова Л.А.* Основные типы флюидных систем осадочных нефтегазоносных бассейнов // Геология нефти и газа. 1997. № 1. С. 25 – 29.
3. *Дмитриевский А.Н.* Фундамент новых технологий нефтегазодобывающей промышленности // Вестн. РАН. 1997. Т. 67, № 10. С. 893 – 904.
4. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрорудогенезе, соле- и нефтеобразовании. М., 2001. 206 с.
5. *Труфанов В.Н.* Минералообразующие флюиды рудных месторождений Большого Кавказа. Ростов н/Д, 1979. 272 с.
6. *Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., Майский Ю.Г., Труфанов А.В.* Углеводородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. Ростов н/Д, 2004. 272 с.

7. Егоров А.И. Глобальная эволюция торфоугленакопления (палеозой). Ростов н/Д, 1992. 275 с.
8. Иванкин П.Ф., Труфанов В.Н. Об углеводородной флюидизации ископаемых углей // Докл. АН СССР. 1987. Т. 292, № 5. С. 1214 – 1216.
9. Труфанов В.Н., Лосев Н.Ф., Гамов М.И., Рылов В.Г., Славгородский Н.И., Труфанов А.В. Моделирование процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей. Ростов н/Д, 1995. 48 с.
10. Штах Э., Маковски М.Т., Тейхмюллер М. Петрология углей. М., 1978. 560 с.
11. Труфанов В.Н., Труфанов И.В. Основные итоги и перспективы развития работ по проблеме угольного метана Восточного Донбасса // Разведка и охрана недр. 2006. № 11. С. 67 – 72.
12. Зинчук А.А., Калюжский В.А., Щирица А.С. Флюидный режим гидротермального минералообразования Донбасса. Киев, 1983. 270 с.
13. Майский Ю.Г., Труфанов И.В. Термобарогеохимические условия формирования Краснодонского метаноугольного месторождения (Восточный Донбасс) // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2008. № 2. С. 113 – 117.
14. Батраков Н.Ф. Физическая модель системы «уголь-газ». Ростов н/Д, 1993. 24 с.
15. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Дудкевич Л.К., Майский Ю.Г., Труфанов А.В. Основы прикладной термобарогеохимии. Ростов н/Д, 2008. 280 с.
16. Сукачев А.Н. Метастабильные углеродосодержащие комплексы и выбросоопасность шахт // Тез. 8-го угольного совещания. Ростов н/Д, 1986. С. 318 – 319.

*Поступила в редакцию*

*24 декабря 2012 г.*