

Предлагаемая Система управления ресурсами Киотского протокола как механизм реализации стратегии интеграции Украины в Киотское пространство позволит создать и обеспечить эффективные механизмы управления климатическим ресурсом, которые будут привязаны к повышению эффективности инвестиционной системы в сфере энергосбережения и энергоэффективности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Country analysis briefs. - official energy statistics from the u.s. government // <http://www.eia.doe.gov>
2. Regional indicators: european union (eu) // <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/euro.html>.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року та подальшу перспективу.
4. Соловей Ю.В. Киото на пороге России // - М.: ИГ «Юрист», 2003. – 320 с.
5. Про національний план заходів з реалізації положень кіотського протоколу до Рамкової конвенції оон про зміну клімату // [http://menr.gov.ua/img/5\\_1117009950\\_planklim.doc](http://menr.gov.ua/img/5_1117009950_planklim.doc).

УДК 622.324.5:622.33

Академик РАН К.Н.Трубецкой,  
д-р техн. наук В.В.Гурьянов  
(ИПКОН РАН)

### **О РАЗВИТИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАНА ИЗ ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

У статті показані нові представлення про генезис вугільного метану, результати дослідження природи системи «вугільний метан» і форм присутності метану в вугіллі, механізми його десорбції й міграції у вугільному пласті. Дано коротку характеристику проекту по ресурсах розробки вугільного метану в програмі фундаментальних досліджень Російської Академії Наук. Представлено обґрунтування необхідності розробки спеціальних досліджень за участю українських і російських учених.

### **ABOUT DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL INVESTIGATIONS ON A PROBLEM OF METHANE EXTRACTION FROM GAS-BEARING COAL FIELDS**

In article new representations about genesis of coal methane, research results of the nature of «coal-methane» system and forms of a methane presence in a coal, its mechanism of desorption and migration in coal seams are stated. The brief characteristic of the project on resources of coal methane development in the program of fundamental investigations of the Russian Academy of Science is given. The substantiation of necessity of the specified researches development with participation of Ukraine and Russia scientists is submitted.

Анализ имеющегося отечественного и зарубежного опыта извлечения метана из угольных месторождений, проводимых научных исследований по этим вопросам и их результатов показал, что в условиях нашей страны с ее громадными ресурсами угольного метана, их недостаточной разведанностью, большим разнообразием горногеологических условий разрабатываемых и выявленных метанугольных месторождений, различными геологическими характеристиками газоносных угольных пластов, их физико-механическими и коллекторскими свойствами решение таких задач может и должно осуществляться на основе разработки и реализации специальной научно-



технической программы, предусматривающей, в том числе, проведение комплекса фундаментальных исследований по ряду недостаточно изученных вопросов.

К числу таких вопросов, по нашему мнению, следует отнести следующие.

1. Развитие представлений о генезисе угольного метана и формировании метаноугольных месторождений.

2. Изучение природы системы «уголь - метан» и формы существования метана в угле, условий и закономерностей десорбции и выделения метана из угольного вещества.

3. Исследование механизма деструкции системы «уголь - метан - вода» и закономерности миграции десорбционного газа в угольном пласте.

4. Развитие научных основ разработки скважинных способов извлечения метана из угольных месторождений.

5. Разработку геомеханических основ повышения эффективности освоения метаноугольных месторождений и предотвращения возможных негативных последствий извлечения флюидов из горного массива.

■ Наиболее распространенные представления о генезисе метана угольных месторождений заключаются в том, что его образование непосредственно связано с процессами метаморфизма угольного вещества, которое в концентрированном виде слагает угольные пласты и пропластки, при этом образующийся газ полностью сорбируется углем. Вместе с тем в последние годы появились публикации с иными взглядами на происхождение угольного метана и формирование метаноугольных месторождений. Общеизвестен факт, что при внезапных выбросах угля и газа количество метана, выделяющегося из выброшенного угля значительно, иногда на порядок, превышает природную метаносность выбросоопасных пластов и не может быть объяснено выделением десорбированного газа. В работе [1] обосновывается точка зрения, что дополнительное газовыделение при внезапном выбросе можно объяснить образованием метана из появившихся при разрушении угля свободных метильных групп.

Авторы работы [2] на основе ранее сформулированной ими механохимической концепции выбросоопасности угольных пластов считают, что источником «лишнего» метана при внезапных выбросах являются процессы механохимической деструкции межатомных связей твердого углеводорода органической массы угля с генерацией газовой фазы на отдельных участках угольных пластов, в так называемых «выбросоопасных зонах», с аномально высокой дефектностью межатомных связей, возникшей под воздействием сил тектонической природы. Они выдвигают предположение, что внезапные и обыкновенные метановыделения имеют единую механохимическую природу, а их источником является алифатическая составляющая угольного вещества, деструктирующаяся вследствие релаксации напряжений с генерацией метана в области разгрузки угольного пласта, а не обусловлены истечением «готового» газа, накопленного в сорбционном объеме органической массы угля в течение геологической истории пласта.

Авторы работы [3] на основе анализа исследований американских и индийских ученых излагают принципиально иное предположение о процессах и



механизме образования угольного метана. Указанные исследования показали, что процесс термического крекинга (при метаморфизме углей) протекает слишком медленно, чтобы на его основе объяснить количество образовавшегося газа. Проведенные исследования позволили выдвинуть гипотезу об образовании метана угольных месторождений путем термического катализа на металлических катализаторах и на соединениях некоторых металлов (ванадий, железо, кобальт, никель).

Большой научный интерес и практическое значение имеют исследования нетрадиционных метаноугольных месторождений и их участков, характеризующихся весьма высокой газоносностью угольных пластов и вмещающих пород, их повышенной газопроницаемостью, высокой плотностью ресурсов сосредоточенного в них угольного метана и рядом других специфических признаков [4].

Исследованиями, выполненными сотрудниками Ростовского государственного университета в 1994-2004 гг. по Государственной научно-технической программе «Недра России», показана большая роль в формировании газовой составляющей угольных месторождений потоков глубинных мантийно-коровых флюидов и процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей при воздействии на них не только собственных, аутигенных, но и привнесенных из глубин мантийных и внутрикоровых флюидов. Выявление современной унаследованной флюидной активности на угольных месторождениях имеет существенное значение для выяснения условий их формирования, поиска новых залежей, охраны окружающей среды и обеспечения безопасности при добыче угля.

Изложенное подтверждает необходимость развития исследований по совершенствованию представлений о генезисе угольного метана и формировании метаноугольных месторождений.

■ На основе результатов большого комплекса теоретических, лабораторных и шахтных исследований особенностей и механизма возникновения газодинамических явлений в угольных шахтах, принципов активного изменения газодинамического состояния системы «уголь - метан», определяющих опасность внезапных выбросов угля и газа, был установлен ряд новых параметров этого явления на молекулярном и надмолекулярном уровне. Впервые описан теоретически и подтвержден экспериментально характер взаимодействия газа и угольного вещества с образованием твердых газоугольных растворов, зарегистрированный как научное открытие [5, 6].

С помощью новых, созданных в ИПКОН РАН, методов микроструктурных исследований газонасыщенного угольного вещества установлены формы связи метана с углем, определены закономерности трансформации микро- и макроструктуры газоносных углей в зависимости от степени метаморфизма угля, горного и газового давлений. Установлена закономерность изменения энергетических барьеров при диффузии метана в межмолекулярном пространстве угольного вещества [7].

К сожалению, следует отметить существенное замедление в последние годы фундаментальных исследований по указанным вопросам.



В частности, не получили должного развития теоретические и экспериментальные исследования по установлению форм существования метана в угольном веществе (в свободном, адсорбированном и абсорбированном состоянии) и их пропорций в зависимости от геологических и петрографических характеристик угольных пластов, глубины залегания и ряда других факторов, оказывающих существенное влияние на степень газоотдачи пластов угля.

В работе [8] представлены уточненные данные о распределении метана по формам существования в углях средних стадий метаморфизма на глубинах свыше 800 м, ранее обоснованные в работе [6] (табл. 1).

Таблица 1

| Локализация метана в угле                                                                                                                                        | Форма существования метана    | Количество метана, % |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. Внутри макропор, микротрещин и других дефектов сплошности угля в природных условиях                                                                           | Свободный                     | 2-12                 |
| 2. На угольных поверхностях природных пор и дефектов сплошности, межблочных промежутках (включая объемное заполнение переходных пор и макроскопических дефектов) | Адсорбированный               | 8-16                 |
| 3. В межмолекулярном пространстве угольного вещества                                                                                                             | Твердый углеметановый раствор | 70-85                |
| 4. В дефектах ароматических слоев кристаллитов                                                                                                                   | Химически сорбированный метан | 1-2                  |
| 5. Внутри клатратоподобных структур                                                                                                                              | Твердый раствор внедрения     | 1-3                  |

Авторы работы [9] считают, что «более вероятно участие метана в составе метастабильно изменяющегося угля в виде сорбированной и молекулярно-связанной форм». Ими предложена следующая предварительная оценка распределения форм метана в донецких углях основных групп метаморфизма (табл. 2).

Таблица 2

| Форма нахождения метана в углях | Группы стадий метаморфизма |             |        |
|---------------------------------|----------------------------|-------------|--------|
|                                 | 2Г-3Г                      | 4Ж, 5К, 6ОС | 7Т-10А |
| Свободный                       | 20-30                      | 5-10        | 5-15   |
| Адсорбированный                 | 15-25                      | 25-45       | 15-30  |
| Абсорбированный                 | 10-20                      | 48-15       | 10-20  |
| Клатратный                      | 30-20                      | 10-20       | 5-10   |
| Молекулярно-связанный           | 5-15                       | 15-30       | 20-40  |

Знание распределения форм существования метана в угле конкретных месторождений имеет не только научное, но и большое практическое значение в связи с тем, что структура системы «уголь - метан» определяет прочность связей ее элементов в угольном веществе, следовательно, и выбор способа ее деструкции при решении вопросов дегазации угольных пластов и извлечения содержащегося в них метана. Это объясняется тем, что энергия активации



разрушения этих связей изменяется в широком диапазоне величин. Так, энергия активации разрыва Ван-дер-ваальсовых сил ( $E_{\text{вв}}$ ) равна примерно 8 кДж/моль, водородных связей ( $E_{\text{н}}$ ) – 16-40 кДж/моль, а энергия диссоциации межатомных связей внутри молекул угольного вещества ( $E_{\text{м}}$ ) составляет 240-320 кДж/моль [10]. Исследованиями В.А.Бобина (ИГКОН РАН) [7,10] установлено, что в условиях длительного всестороннего сжатия матрицы (скелета) угольного вещества, когда реализуются условия плотной упаковки молекул сорбата (метана) в микропорах, их взаимодействие с угольным веществом характеризуется взаимным отталкиванием. При разгрузке угольных пластов от горного давления за счет накопленной в микропоре потенциальной энергии межмолекулярного отталкивания молекул сорбата происходит разрыв межатомных связей в структуре угольного вещества.

Исследования наноконпонентов и наноструктур ископаемых углей находятся в начальной стадии. Их развитие и использование полученных результатов будет способствовать решению вопросов интенсификации извлечения угольного метана.

■ В целях реализации некоторых научно-технических направлений решения проблемы извлечения метана из угольных месторождений для промышленного использования в ИГКОН РАН сформирован проект «Механизм оценки и повышения эффективности использования ресурсов метана угленосных отложений России за счет техногенного преобразования газонасыщенных углеводородных толщ» на 2006-2008 годы, включенный в программу фундаментальных исследований ОНЗ-3 «Техногенное преобразование недр Земли: развитие теоретических основ эффективного использования и сохранения георесурсов». Научный руководитель проекта академик К.Н. Трубецкой, ответственный исполнитель – докт. техн. наук, проф. В.В. Гурьянов.

Цель исследований: разработка научных основ интенсификации извлечения метана из газонасыщенных угольных месторождений.

Задачи исследований:

1. Оценка ресурсов угольного и шахтного метана России.
2. Научное обоснование доступности ресурсов угольного метана для их промышленного освоения.
3. Разработка перспективных геотехнологических процессов промышленного извлечения метана из угольных месторождений.
4. Разработка направлений интенсификации извлечения метана из угольных месторождений за счет регулирования напряженно-деформированного состояния газонасыщенного углепородного массива.

Проект состоит из двух разделов: 1. Анализ ресурсного потенциала метанугольных месторождений России и обоснование доступности его промышленного освоения; 2. Обоснование и разработка перспективных геотехнологических процессов извлечения метана из угольных месторождений на основе техногенного регулирования геомеханического состояния углепородного массива.

Основные ожидаемые результаты исследований:

1. Оценка ресурсов метана газонасыщенных угольных месторождений России.
2. Систематизация способов извлечения метана из угольных месторождений.



3. Научно обоснованные направления расширения ресурсной базы угольного и шахтного метана.

4. Методы и критерии оценки доступности (инвестиционной привлекательности) ресурсов метана угольных месторождений для их промышленного освоения.

5. Методические положения технико-экономической оценки доступности ресурсов угольного метана для их эффективного использования.

6. Методика исследований усадки угольных пластов при извлечении из них флюидов и ее влияния на разуплотнение вмещающего породугольного массива.

7. Теоретическое обоснование способов повышения газопроницаемости метанонасыщенных угольных пластов и слоев горных пород на основе регулирования их напряженно-деформированного состояния.

8. Методы прогнозирования изменения газопроницаемости угольных пластов и вмещающих пород в зависимости от применяемых способов управления геомеханическим состоянием углепородного массива.

Реализация проекта позволит:

- расширить ресурсную базу угольного и шахтного метана;
- обеспечить более точное прогнозирование газоотдачи угольных пластов, что будет способствовать повышению эффективности дегазации угольных шахт, промышленной добычи угольного и шахтного метана и снижению выбросов метана в атмосферу земли;

- увеличить инвестиционную привлекательность развития промышленной добычи угольного и шахтного метана на основе применения научно-обоснованных методов технико-экономической оценки доступности их ресурсов;

- повысить объемы промышленного извлечения метана из угольных месторождений и рентабельность этих работ за счет применения более эффективных геотехнологических процессов, основанных на использовании принципиально новых способов увеличения газопроницаемости и газоотдачи угольных пластов в результате техногенного изменения их напряженно-деформированного состояния.

Изложенные направления развития фундаментальных исследований по актуальным вопросам извлечения метана из угольных месторождений, насколько нам известно, представляют определенный интерес и для ученых Украины, не говоря о том, что ряд исследований ранее проводились нами совместно. Исходя из этого и учитывая, что Россия и Украина являются членами Международного партнерства по использованию нетрадиционных ресурсов метана, мы считаем целесообразным объединение усилий наших специалистов по решению некоторых из указанных вопросов.

В частности, имеет смысл проработать предложение о формировании и разработке международных проектов по проведению совместных фундаментальных исследований по следующим актуальным темам:

- исследование и разработка методов определения форм связи метана с угольным веществом и их влияния на газоотдающую способность углей различных стадий метаморфизма;

- разработка научных основ интенсификации газоотдачи угольных пластов на основе регулирования их напряженно-деформированного состояния при



дегазации шахт и промышленном освоении ресурсов метана угольных месторождений.

Объединение усилий ученых и специалистов наших стран, несомненно, позволит ускорить разработку эффективных технологий извлечения метана из газоносных угольных месторождений России и Украины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинникова О.Н. Условия образования угля при разрушении. – М. Горный информационно-аналитический бюллетень, МГТУ. №5, 2001. – С. 95-99.
2. Фролков Г.Д., Фролков А.Г. К вопросу о генезисе угольного метана. Уголь, №12, 2005. – С. 25-27.
3. Крейнин В.В., Сильверстов Л.К. К вопросу о происхождении метана угольных месторождений и способах его добычи: новая информация. Уголь, №7, 2004. – С. 52-55.
4. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., Майский Ю.Г., Труфанов А.В. Углеводородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. – Ростов-на-Дону: изд-во РГУ, 2004. – 272с.
5. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничным газом на больших глубинах. – М.: Недра, 1981. – 335с.
6. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. – М.: Наука, 1987. – 310с.
7. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. Ротапринт ИПКОН АН СССР. – М., 1987. – 135с.
8. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519с.
9. Кирюков В.В., Куц О.А., Новикова В.Н. Наноструктуры ископаемых углей – генераторы и коллекторы метана. Межведомственный сборник научных трудов. Геотехническая механика, вып. 53, Днепрпетровск, ИГТМ НАН Украины, 2005. – С. 65-72.
10. Бобин В.А. О свойствах каменного угля как природного наноматериала. Горный журнал, №4. 2005. – С. 27-30.

**УДК 622.831:537.86**

Д.т.н. А. Д. Алексеев, к.ф.м.-н. В. А. Васильковский,  
асп. Н.А. Калугина (ИФГП НАН Украины)

#### **ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ И КИНЕТИКА ДЕСОРБЦИИ МЕТАНА ИЗ УГЛЯ**

Теоретично обґрунтовано новий метод аналізу кінетики десорбції метану з кам'яного вугілля. Застосування цього методу щодо трактування результатів експерименту дозволяє з'ясувати фазовий стан і, відповідно, механізми виходу газу (дифузія, фільтрація або їх суперпозиція).

#### **PHASE STATES AND KINETIC DESORPTION OF METHANE FROM COAL**

The new method of the analysis of kinetics of desorption of methane from coal is proved theoretically. Application of this method at treatment of results of experiment allows to find out the mechanism of an output of gas (diffusion, a filtration or their superposition).

Обзор литературы [1-5] показывает, что до сих пор идет дискуссия о механизмах десорбции и фазовых состояниях газа в углях. Считается, что в них, как и в других пористых материалах, возможны процессы фильтрации и диффузии, однако такое предположение не получило до сих пор убедительного экспериментального обоснования.