

УДК 552.57 547.211:005

**НАДМОЛЕКУЛЯРНО-ПОРОВАЯ СТРУКТУРА И  
СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕЙ В КОМПЛЕКСЕ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ ПРОГНОЗА И ОЦЕНКИ МЕТАНОНОСНОСТИ  
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

**Кирюков В. В., Новикова В. Н.**

*(С.-Пб.ГГИ (ТУ) им Г.В. Плеханова, г. С.-Петербург, Россия)*

**Кущ О. А.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

**Новгородцева Л. А.**

*(УкрНИМИ, НАНУ, г. Донецк, Украина)*

*У статті розглянуто особливості надмолекулярної структури, порожнинного простору донецьких вугілля і сорбції вугільного метану в різних геостатичних умовах моделі навантаження і розвантаження вугільного пласта.*

*This article will give the features of supramolecular structure, cavernous space of Donetsk coal and coal methane sorption at the different geostatistical conditions of coal-bed load and unload model.*

На основе исследования надмолекулярной структуры ископаемых углей и их полостного пространства методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и метанонасыщения установлено действие основных геологических факторов, определяющих сорбционную способность углей ряда метаморфизма, предложены модели метановыделения из ненарушенных угольных агрегатов (массива) в процессе геостатической нагрузки и разгрузки [2, 3] (рис. 1, 2).

Структура витринита, главного компонента ископаемых углей, отражает особенности строения слагающих надмолекуляр-

ных агрегатов. Методом растровой электронной микроскопии **установлены:** тип структур витринизированного вещества - витринит с гомогенной, сферо-таблитчатой и овоидно-гроздьевидной структурой, с переходом, в последующих стадиях метаморфизма, в ламелли и фибриллы в кристаллитах антрацитов.

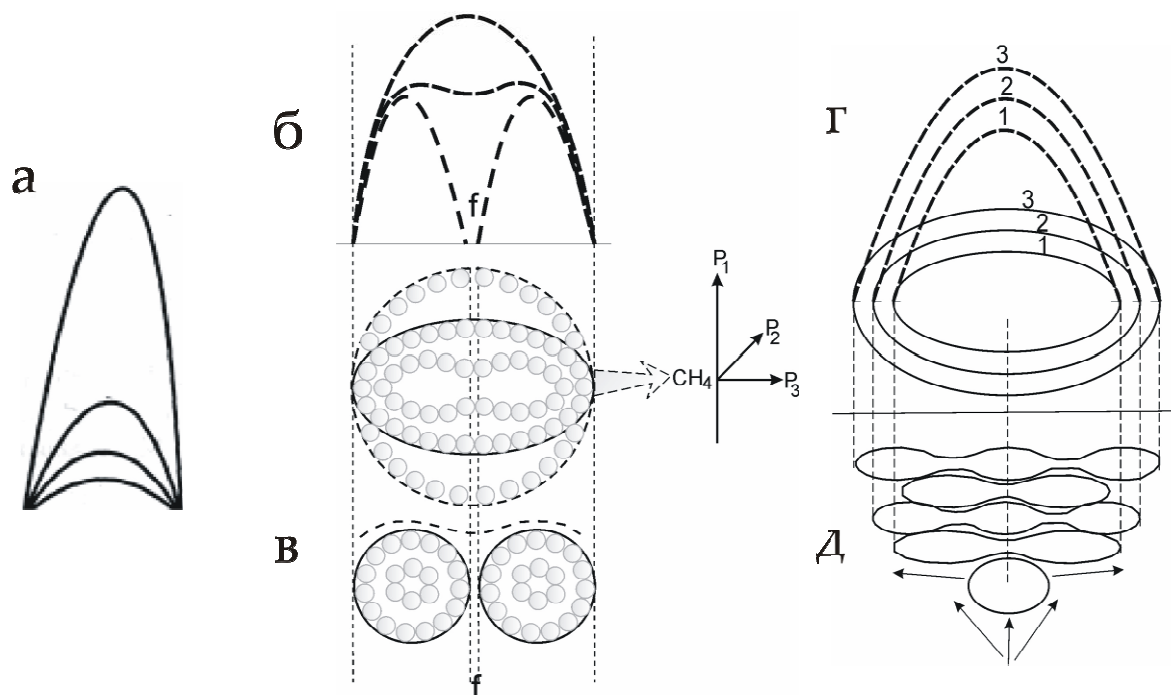


Рис. 1. Кинетическая модель развития полостного пространства поры при приложении (доинверсионный этап) и снятии (послеинверсионный этап) нагрузки в связи с сорбцией молекул метана ископаемым углем

Тип процесса, проходящего в полостном пространстве ископаемых углей: а – общая схема с обострением в сокращающемся объеме, б, в – с обострением в узкой области и разрывом поры; f (fracture – разрыв, разделение) – критическая величина (начало разрыва поры);  $P_1$  – давление вкрест наслоения;  $P_2$  и  $P_3$  – давление по наслоению; г – распределение и последовательное прохождение нагрузки: 1, 2, 3; д – последовательность развития системы пор и форма их локализации

Под надмолекулярной структурой витринитового вещества понимаются внутреннее строение, взаимнорасположение и характер взаимодействия структурно-вещественных компонентов, образующих уголь (физическое тело). С повышением стадии метаморфизма углей в них повышается степень упорядоченности

надмолекулярных организации. С переходом на более высокие микро- и макроуровни, влияние особенностей структуры на свойства угля проявляется опосредствованно, в скрытой форме.

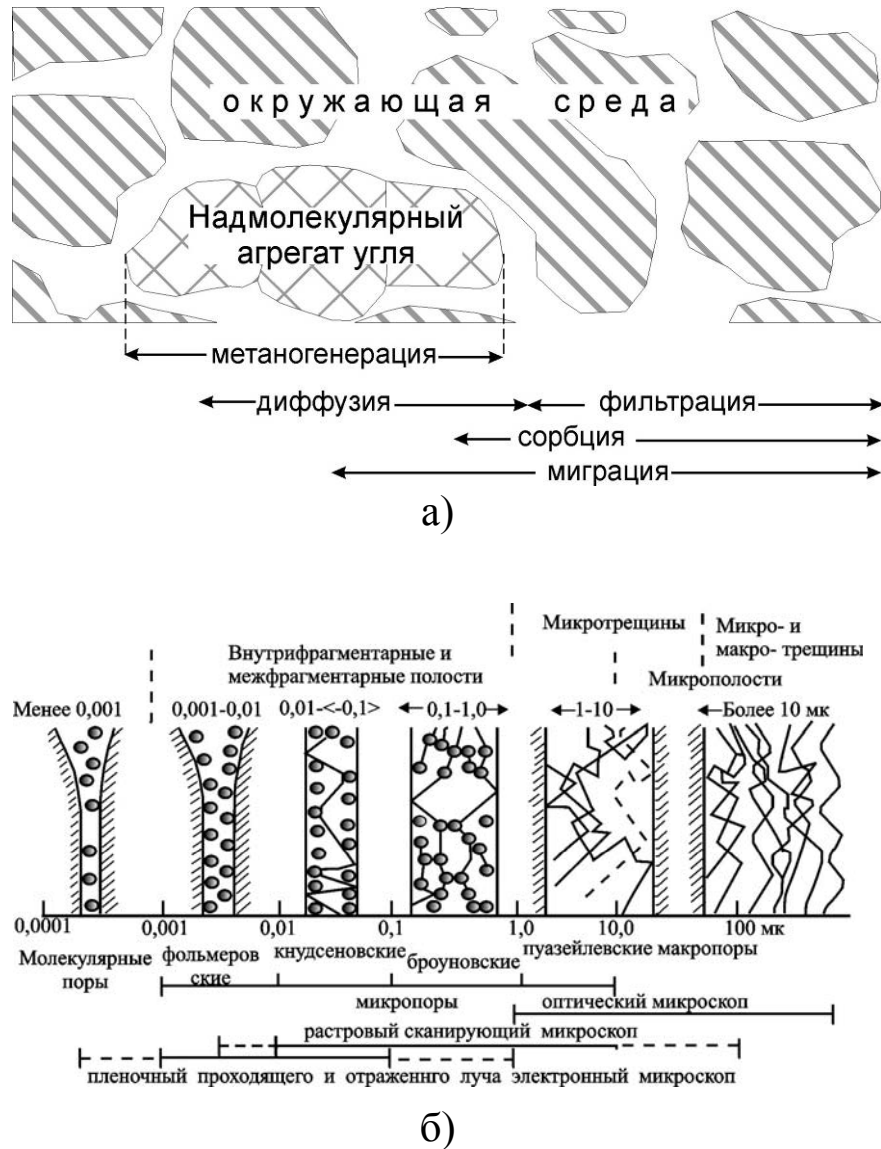


Рис. 2. Способы миграции угольного метана  
 а) Схема соотношения миграции метана в надмолекулярных агрегатах и окружающей среде образца угля  
 б) Методы оценки проницаемости и видов миграции метана в ископаемых углях (по А. Т. Айруни, В. В. Кирюкову)

Глобулярний тип надмолекулярної структури представлений в широкому діапазоні: від углей 2Г ( $C^{daf} = 78\%$ ) до Т ( $C^{daf} = 92\%$ ) і А (антрацитів  $C^{daf} > 92\%$ ), і характеризується округлими формами, найбільш виразливо проявленими на контактах агрегатів.

Сферолітова структура характеризується найбільш правильною формою поверхності, представленій поєднанням перетікаючих сфер. Призматически-таблицтатий тип компонентів представлений в углях 2Г-3Г. В углях середньої стадії метаморфізму 4Ж-5К-6ОС глобули деформовані, удлинені по наслоєнню. Для полуантрацитів і антрацитів, з вмістом більше 94,4 % вуглерода, характерна фібриллярна надмолекулярна організація.

Рентгеноструктурні дослідження методами широкого і малоуглового пучка ( $\gamma$ -полоса дифрактограмм) показали, що слабо метаморфизовані вуглі складені в основному аморфною масою, включаючою невеликі розсіяні структурно організовані елементи, розміри яких збільшуються в більш високотемпературованих углях. Метаморфізм на стадіях каменних углей обумовлює лише орієнтацію і трансформацію окремих агрегатів, але в антрацитах інтенсивно розвивається скачкообразна кристалізація, з'являються структурні елементи типу кристалітів. Встановлено зміну форм і розмірів порожнього простору в углях в залежності від їх стадії метаморфізму. Длиннопламенні вуглі. Пористість стадій 4Ж, 5К, 6ОС характеризується стиснутими удлинєними крупними порами, овальними часто кавернозними. Пори мають вивернуті окаймлення, орієнтовані по наслоєнню. Вуглі Т і антрацити (А)- одиночні удлинєні пори так же орієнтовані по наслоєнню. Наблюдаються гроздь пор по сколам. Вокруг окремих пор чітко виражені зони напруження.

В слабо метаморфизованих углях, починаючи від марки 1Д до середніх стадій 4Ж-5К, розміри пор збільшуються; на стадії 6ОС їх об'єм стабілізується; потім до стадій 7Т-8Т відбувається зменшення їх розмірів; але далі, в антрацитах 9А-10А розміри пор знову збільшуються, що свідчить про перебудову структури вугільного речовини на цій стадії. Згідно даних методу метанонасичення інтенсивність метаногенерації в ис-

копаемых углях также связана с их стадией метаморфизма. У пластов сложенных антрацитами стадий 9А-10А, обладающих повышенной пористостью, метанонасыщаемость и природная метаноносность одинаковы по величине, или метанонасыщаемость несколько выше, в чем отражается особое свойство углей начальных стадий антрацитообразования.

Структурообразование угля определяется условиями развития угленосной формации в ее доинверсионную и постинверсионную фазы. Надмолекулярно-поровое (сорбционное) пространство углей формируется в процессе агрегирования их вещества с отделением газовой фазы (угольного метана), ее диффузией в пределах надмолекулярных агрегатов и фильтрацией в угольном пласте.

Полостное пространство углей характеризуется системой размерности: макро-, микро- и надмолекулярного пространства; комплексом морфологических типов- поровое, межслоевое, трещинное; структурной локализацией- межагрегатное и внутриагрегатное; и дополнительно, по видам нарушения – дробления, деформирования. По данным РЭМ в витрините установлены несколько иерархических уровней развития порового пространства. Основные типы структур пористости: седиментационные - обломочных агрегатов; литогенетические, образующиеся при литогенезе; и литодинамические, образующиеся при тонком диспергировании и деформации углей в очагах ГДЯ и в процессах метаморфизма углей. При метаморфизме в процессе саморазвития угольного вещества образуются также формы полостей: нормально и послойно направленные полости-трещины, разобщение слоев в плоскости их залегания. Возникновение трещинных структурных форм отражает распределение деформаций в углях средней стадии метаморфизма (4Ж, 5К, 6ОС), а периодичность их распределения – симметрию этого распределения. Деформация угля представляет собой процесс перестройки или разрушения его агрегатов, процесс, реализующийся на надмолекулярном уровне.

Разработаны модели формирования пор при нелинейном развитии процесса образования структуры углей (витринита) и увеличении давления с палеоглубиной (дробление и закрытие пор

при доинверсионном погружении угленосной формации) и при снятии нагрузки в послеинверсионных движениях (формирование послойной поровости) (см. рис. 1). Обоснование общей теории этих процессов дано Е. Н. Князевой, С. П. Курдюмовым в «Основаниях синергетики» (2004). Тип развертывания нелинейного процесса развития это характеристика сохранения целостности поры или ее разделения на более мелкие поры, с изменением глубины главных геологических фаз метаногенерации, т.е. с изменением геостатического давления. Процессы с обострением в узкой области в условиях деформации и расчленения исходной поры с разбросом максимума давления по новообразованным порам (рис.1 б, в) свойственны условиям стабильного нарастания давления при достижении оптимальных параметров давления и температуры, т.е. для фазы максимальных глубин погружения угленосной толщи. В условиях давлений ниже критической величины процесс с обострением в сокращающемся объеме (поверхности) поры идет без расчленения поры. Процесс, проходящий в условиях отсутствия локализации при равном изменяющемся или постоянном давлении (рис. 1г, д), размер пор уменьшается в закрытых системах или поры «размазываются»; в открытых системах этот тип характерен для метаногенерации при снятии давления, т.е. при регрессивных движениях угленосной толщи. Таким образом, установлена связь режимов геологического движения с развитием полостного пространства в углях.

Процессы изменения давления неравновесные в отношении угля, в котором сорбция развивается непрерывно. Изменения величины сорбции метана в первичных порах вызывают как качественные, так и количественные (объем) изменения первичной структуры сорбционного пространства и образование нового уровня пористости (вторичных пор), формирующих вторичную структуру угля.

Структурные параметры полостного пространства отражают характер взаимодействия между сорбатом и сорбентом. В этом смысле роль структурных параметров в процессе сорбции должна быть расширена, и их необходимо рассматривать не только как параметры, связанные с геометрическими размерами пор сорбента, но и как составные элементы геологических факторов, харак-

теризующих наиболее оптимальные условия для сорбции метана на угле данной стадии метаморфизма в конкретных геологических условиях. Изменение внутренней структуры угля при метаморфизме сопровождается изменением его свойств в т.ч. сорбционной способности.

Агрегирование угля подразумевает образование надмолекулярных агрегатов сохранивших исходную структуру угля и одновременно образование деформированной окружающей среды [1]. Формы миграции метана представлены: 1) собственно молекулярной диффузией - внутри надмолекулярных агрегатов, 2) фильтрацией и свободным движением в межагрегатном пространстве (рис. 2 а, б). Свободный метан характерен для полостных (поровых и трещинных) емкостей в витрините однородного угля, в линзовидных и слоевых включениях витринита, а также для межслоевых и межфрагментарных первичных и вторичных полостей разгрузки при постинверсионных движениях угленосной формации. Сорбированный метан связан в основном с внутриагрегатными емкостями. Для молекулярных и внутримолекулярных форм емкостей характерна кластерная форма локализации метана. Сорбция и диффузия в угле происходит одновременно в несколько этапов: исходная метаногенерация - выделение радикалов  $\text{CH}_3$  из матрицы исходного угля и ее обрамления и образование молекулы  $\text{CH}_4$ ; сорбция метана – образование равновесной системы «сорбат (измененные угольная матрица и ее окаймление) – сорбент (молекулы метана)»; десорбция – разрушение системы «сорбат–сорбент»; фильтрация отделившегося газа - его перенос через окружающую пористую среду.

Методом метанонасыщения, определяющим количество свободного газа принимаемого пробами угля, подтверждена значительная доля сорбированного метана в общем (измеренном) газовыделении угольного пласта в горные выработки. Показатели лабораторных испытаний метаноемкости ископаемых углей не всегда соответствуют шахтным показателям метаносности. Как правило, для углей начальных стадий метаморфизма 1Д, 2Г-3Г показатели метанонасыщения превышают данные шахтных измерений, исключая зоны расщепляющихся угольных пластов. Для средней стадии метаморфизма 4Ж, 5К, 6ОС шахтные данные

превышают лабораторные данные метанонасыщения за счет трещинной проницаемости, т.к. идет подток газа по трещинам со всей площади угольного пласта. Для высокометаморфизованных углей 8Т, 9А, 10А соотношение метаноемкости и метаноносности неоднозначно в зависимости от структуры угольного пласта на данной стадии. При анализе результатов методом метанонасыщения, установлено изменение сорбционной метаноемкости углей различного генетического типа с увеличением их стадии метаморфизма. А также, подтверждено, что маловосстановленные угли от 1Д до 9А-10А на глубинах от 200 м и более 1000 м имеют повышенную метаноемкость.

Метан находится в угольных пластах и в угленосной толще в количестве и формах соответствующих стадиям метаморфизма угля. Залежи угольного метана представлены двумя основными типами: в угольных пластах и в угленосной толще, они составляют единую систему углеобразования и метаногенерации.

Повышенные концентрации угольного метана – отдельные микрозалежи в угольных пластах образуются при сочетании комплекса региональных и локальных геологических факторов: формационных, литологических, геолого-структурных.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Забигайло В. Е., Широков А. З. Проблемы геологии газов угольных месторождений.- К.: Наукова думка. 1972. 172 с.
2. Малышев Ю. Н., Трубецкой К. Н., Айруни А. Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. М. Изд. Академии горных наук. 2000. 519 с.
3. Минеев С. П., Прусова А. А., Корнилов М. Г. Активация десорбции метана в угольных пластах. Под ред. С. П. Минеева. Днепропетровск: «Вебер» (Днепропетровское отделение), 2007. 252 с.