

УДК 665.7.032.56:620.3

## ОСОБЕННОСТИ НАНОМИНЕРАЛОГИИ УГЛЕЙ

А.Е. Воробьев Г.В. Лоцев

Рассмотрены вопросы современного эффективного использования углей на основании результатов исследования их макромолекулярной и надмолекулярной структуры в нанометрическом масштабном интервале.

*Ключевые слова:* уголь; надмолекулярное строение; наноструктура; микротекстура; микроскоп.

## FEATURES OF NANOMINERALOGY COALS

A.E. Vorobyev, G.V Lotsev

The problems of modern efficient use of coal on the basis of the research of results and their macromolecular and overmolecular structures in the nanometer scale interval are considered.

*Key words:* coal; overmolecular structure; nanostructure; microstructure; microscope.

В последние годы проблемы пространственного строения твердых горючих ископаемых (в том числе – угля) привлекают все более пристальное внимание, как горных инженеров-разработчиков, так и специалистов в области химии твердого тела [1]. Это связано, прежде всего, с возможностью решения целого ряда как общетеоретических вопросов современной химии (строение веществ в кристаллическом, аморфном и жидко-

кристаллическом состоянии, процессы формирования надмолекулярных образований, соединений включения и т. д.), так и множества актуальных прикладных задач (прогнозирование горных ударов, обоснование условий внезапных выбросов угля и газа, самовозгорание угольных пластов, различных экологических проблем и т. д.).

Изучение строения и принципов химической активности углей всего ряда метаморфизма невозможно без четких представлений о их макромолекулярном и надмолекулярном строении (рисунок 1) [1].

Только изучив и сформулировав основные этапы образования угольного вещества (макромолекула – надмолекула – макроскопическое твердое тело) можно не только решать задачи эффективной угледобычи, но и разрабатывать качественно новые технологии переработки угля и создавать различные угольные композиты с принципиально новыми свойствами.

Эффективное использование углей может быть достигнуто на основании фундаментальных результатов исследования их макромолекулярной и надмолекулярной структуры в нанометрическом масштабном интервале (нанокомпонентов, наноструктур и их нанопорового и микропорового пространства). Для этого необходимо знать детальное строение и изменчивость открытых и закрытых микропор и нанопор, а также характер изменения строения и величины их поверхности [2].

Уголь довольно сложен как по своему строению, так и по химическому составу [3, 4]. Кроме

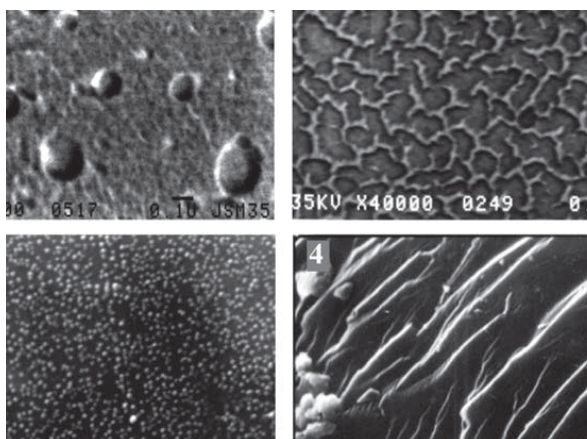


Рисунок 1 – Микроструктуры и надмолекулярные структуры донецких углей ( $\times 10000-60000$ ) [Кирюков]: 1 – система пор в гомогенном витрините (однородном); 2 – витринит призматически таблитчатый; 3 – витринит сферолитовый (овоидный); 4 – система трещин в витрините

этого, его сложность состоит и в многоуровневой гетерогенности, т. к. он содержит четко фиксируемые органическую и минеральную составляющие [1].

Органическое вещество угля обычно характеризуется сосуществованием различных конденсированных ароматических и алифатических структур, каждая из которых формирует зачастую довольно выраженные пакетные (кристаллитные) образования [1]. И, наконец, в углях широко представлены разнообразные органо-минеральные соединения, а также газообразная фаза (рисунок 2).



Рисунок 2 – Соотношение и связи твердой и жидкой фаз в агрегатном комплексе угля [2].

Зоны: 1 – фильтрации газов и жидкости,

2 – внутриагрегатной сорбции; 3 – диффузии газов

Конденсированные ароматические системы, располагаясь компланарно, образуют кристаллит угля [1]. Такие же пакеты образуют алифатические цепи. Эти ассоциаты являются первоначальными элементами сборки надмолекулярных структур и характеризуются следующими параметрами кристаллита: В – толщина; V – объем; S – удельная поверхность; Р – стабильность и др.

При этом все вещество угля обладает довольно развитой системой пор и трещин различного размера, формы и особенностей.

В ходе инструментальных аналитических исследований была установлена бинарная связь крупности диспергирования углей и реактивной способности угольного вещества, а также связь параметров поровости и разрушаемости угля, плотности и типа поверхностей разрушения (раскола – разлома) [2]. При этом возникают различные угольные наноагрегаты с фрактальным развитием их довольно сложно-сферической поверхности.

Оптические изображения поверхности образцов угля получали на измерительном комплексе высокого разрешения TOMSC [5]. Размеры регистрируемых участков составляли  $1070 \times 1070$  мкм<sup>2</sup> и  $550 \times 550$  мкм<sup>2</sup>.

Для исследования рельефа поверхности сколов образцов угля в субмикронном масштабе изме-

рений использовали атомный силовой микроскоп (АСМ) SMM-2000Т [5]. Этот прибор позволяет получать 3-х мерные топографические изображения площадок поверхности угля, с максимальным линейным размером  $40 \times 40$  мкм<sup>2</sup> с нанометровым разрешением.

В процессе инструментальных исследований было установлено, что для поверхностей разрушения угля марки ДГ весьма характерна террасно-ступенчатая структура (с высотой террас около 400 нм и их протяженностью около 3–4 мкм) [5]. А для поверхностей разрушения угля марки Ж более типична “бугристая” поверхность (со средним размером фрагментов около 1 мкм в латеральной плоскости и высотой от нескольких десятков нанометров до нескольких сотен нанометров) [5].

Для поверхностей сколов угля марки ОС оказалось характерно некоторое сочетание террасно-ступенчатой и бугристо-ямочной структур [5]. При этом высота террас составляет около 400 нм, а их протяженность – около 2 мкм.

Полученные данные показывают наличие нескольких масштабных уровней, характеризующих поверхности разрушения различных марок угля [5].

Кроме этого, наноструктура антрацита была исследована с помощью высокоразрешающего просвечивающего электронного микроскопа (HR TEM), рентгеновского диффрактометра и романовского спектрометра [6].

В инструментально исследованных антрацитах были установлены три основных элемента их структуры [6]:

- а) одиночные, изолированные слои (не всегда плоские) из сконденсированных ароматических колец;
- б) слои, сгруппированные в отдельные пакеты и штабеля (в среднем – от 3 до 7 слоев);
- в) атомы “аморфного угля”.

Во всех исследованных антрацитах, как оказалось, сосуществуют все три выделенных элемента их структуры. Однако, вместе с ростом степени метаморфизма, количество атомов “аморфного угля” уменьшается, а среднее количество слоев в пакетах возрастает от 3 до 7 [6]. Кроме того, толщина слоев изменяется от 1,8 нм (для семи-антрацитов) и до 4,8 нм (для мета-антрацитов).

#### Литература

1. Ковалев К.Е. Структурно-химические превращения ископаемых углей при их добыче и переработке: автореф... дис. д-ра хим. наук / К.Е. Ковалев. Ростов н/Д, 2000.
2. Кирюков В.В., Кусков В.Б., Незаметдинов А.Б., Новикова В.Н. Особенности углей для полу-

- чения суспензионного топлива по данным изучения их надмолекулярной структуры / В.В. Кирюков, В.Б. Кусков, А.Б. Незаметдинов, В.Н. Новикова // *Охрана и разведка недр*. 2010. № 12. С. 61–70.
3. *Воробьев А.Е., Лоцев Г.В.* Подземная разработка угольных месторождений: учеб. пособие / А.Е. Воробьев, Г.В. Лоцев. Ош, 2006. 178 с.
  4. *Воробьев А.Е., Дребенштедт К. и др.* Угольная промышленность Кыргызстана: перспективы ре-  
структуризации и развития / А.Е. Воробьев, К. Дребенштедт и др. М., 2010. 287 с.
  5. *Голоскоков С.И., Попов А.М.* Исследование поверхностной топографии образцов угля для прогноза пылевыведения при выемке угля на шахтах Кузбасса / С.И. Голоскоков, А.М. Попов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008. № 2. С. 230–235.
  6. *Наноструктура и микротекстура антрацитов* // <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2014/igg/antropova/library/article10.htm>.