

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ УГЛЕЙ ВЫБРОСООПАСНЫХ ПЛАСТОВ

В.Н.ЗАХАРОВ, *д-р техн. наук, директор, vnzakharov@gmail.com*

О.Н.МАЛИННИКОВА, *д-р техн. наук, зав. лабораторией, olga_malinnikova@mail.ru*

Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук, Москва, Россия

Проведено исследование структурных особенностей углей выбросоопасных и невыбросоопасных пластов. Показано, что уголь из выброса обладает значительно большей сорбционной поверхностью, чем уголь того же пласта, не участвовавший в выбросе. На размер сорбционной поверхности угля влияет его предьстория: так, нагревание угля при подготовке образцов увеличивает сорбционную поверхность угля.

Электронно-микроскопические исследования поверхности углей показали, что для углей выбросоопасных пластов характерна нарушенная структура, с большим количеством трещин и отдельностями порядка 1 мкм. Угли из невыбросоопасных пластов при таком же увеличении содержат больше однородных участков.

Изучение цифровых изображений поверхности углей, полученных с помощью электронного микроскопа, показало, что структурная организация элементов поверхности углей может быть представлена мультифракталом, с соответствующим ему спектром фрактальных размерностей, позволяющим установить количественные отличия в микроструктуре углей из выбросоопасных пластов. Угли из выбросоопасных пластов имеют больший набор структурных элементов и, следовательно, в 1,5-2 раза более широкий спектр соответствующих им фрактальных размерностей, чем угли из невыбросоопасных пластов.

Ключевые слова: угольный пласт, выбросоопасность, микроструктура, сорбционная поверхность, нарушенность, мультифрактальный анализ.

Введение. По статистическим данным установлено, что абсолютное большинство (90-95 %) явлений внезапных выбросов и горных ударов, происходящих в забоях горных выработок, привязано к местам мелкоамплитудных пликативных и дизъюнктивных тектонических нарушений, но в подавляющем большинстве (примерно 95 %) геологические нарушения не опасны по выбросам. Однако из-за отсутствия способов прогноза их выбросоопасности нормативные документы предписывают при всех без исключения геологических нарушениях применять противовыбросные мероприятия, удорожающие добычу угля, снижающие производительность забоев и не всегда гарантирующие безопасность людей [5].

Для решения задачи прогноза выбросоопасности геологических нарушений необходимо изучение структурных особенностей углей, обусловленных средой их формирования, воздействием внешних факторов, метаморфизмом и т.п.

Исследование сорбционной поверхности. Анализ углей проводился на приборе «Autosorb-1» фирмы «Quantachrome Instruments». Принцип работы прибора заключается в измерении статическим объемным методом объема газа, сорбированного на поверхности твердого тела при давлении насыщенного пара. Сбор данных проводится путем ввода газа-адсорбата в диапазоне парциальных давлений от 0,001 до ~1 атм (в экспериментах используется азот высокой степени чистоты – 99,9999 %) в ячейку с твердым адсорбентом (уголь), находящимся при температуре ниже температуры кипения адсорбата, для этого ячейка помещается в жидкий азот. Адсорбция выполняется до момента установления равновесного давления.

Полученные данные обрабатываются программным обеспечением прибора «Autosorb-1». Площадь сорбционной поверхности рассчитывают по многоточечному методу БЭТ (Брунауэра – Эммета – Теллера), используя известное уравнение БЭТ

$$\frac{1}{P_0/(P-1)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \frac{P}{P_0},$$

где W_m – масса адсорбированного вещества, образующего покрывающий всю поверхность монослой; C – константа БЭТ, относящаяся к энергии адсорбции при первом адсорбированном слое; P/P_0 – относительное давление азота в процессе эксперимента, при этом P_0 практически равно атмосферному давлению.

Расчет сорбционной поверхности по методу БЭТ проводится по параметрам крутизны линейного участка и «пьедесталу» графика изотермы сорбции в диапазоне P/P_0 от 0,05 до 0,3 (до $P \approx 240$ мм рт.ст.). Определению сорбционной поверхности угля предшествует предварительная подготовка поверхности образца, заключающаяся в дегазации образца для очистки поверхности, в том числе открытых пор, от влаги и других экранирующих поверхность веществ. Дегазация проводится в имеющейся в приборе станции дегазации путем подключения ячейки с образцом к вакуумным насосам (предварительного и высокого вакуума), с возможностью контролируемого нагрева образца. Процесс дегазации контролируется управляющим компьютером, дегазация заканчивается, когда повышение давления в ячейке при отключенных насосах не превышает 10 мкм/мин. После окончания дегазации образец в ячейке заполняется гелием.

Предварительные исследования показали, что при нагревании угля марки К в процессе дегазации до температуры 30 °С рассчитанная сорбционная поверхность угля $S = 0,9 \pm 0,3$ м²/г, нагревание до 60 °С повышает сорбционную поверхность до $1,6 \pm 0,5$ м²/г, при нагревание до 100 °С рассчитанная сорбционная поверхность наибольшая ($3 \pm 0,5$ м²/г), нагревание до 130 °С снижает значение площади сорбционной поверхности до $2 \pm 0,3$ м²/г (рис.1). В дальнейшем дегазация всех образцов угля проводилась при температуре 100 °С.

На рис.1 приведены изотермы сорбции азота углем марки К в диапазоне относительных давлений азота P/P_0 от 0,05 до 0,3. Образцы прошли предварительную дегазацию при различных температурах (60, 100 и 130 °С).

Из-за значительной вариации мацерального состава ископаемых углей и малого объема используемой для измерений пробы (0,2-0,3 г) значение сорбционной поверхности усредняется минимум по трем измерениям и считается с допуском $\pm 15\%$, что является при-

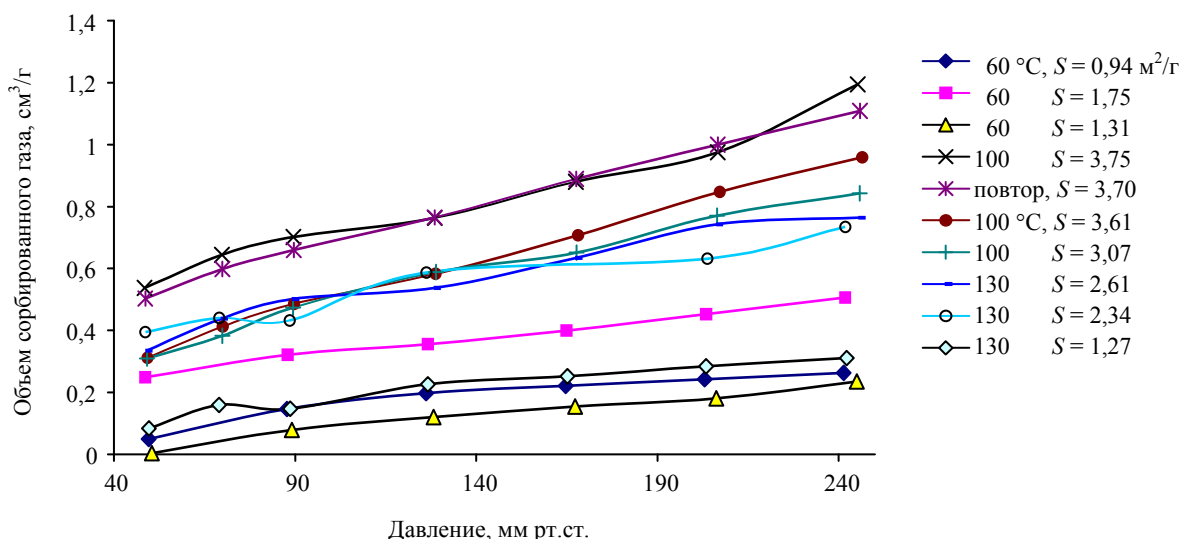


Рис.1. Изотермы сорбции азота на образцах угля марки К, фракция $-3+2$ мм, подготовленных к анализу при разной температуре нагрева во время дегазации (60, 100 и 130 °С)

емлемым для данного метода измерений. Так, значение сорбционной поверхности фирменного эталонного образца равно $162,6 \pm 13,3 \text{ м}^2/\text{г}$ ($\pm 8,2 \%$).

Площадь сорбционной поверхности зависит от типа угля. В крайних точках ряда метаморфизма имеем следующие значения: для суперантрацита площадь сорбционной поверхности $S < 1 \text{ м}^2/\text{г}$, а отобранный из угля фюзен в виде волокнистых чешуек толщиной до 0,2 мм показал $S = 6,31 \text{ м}^2/\text{г}$ (рис.2).

Результаты определения общей сорбционной поверхности образцов угля представлены в таблице. Исследовались угли Донбасса (1), Кузбасса (2) и Воркуты (3).

Сорбционная поверхность исследованных углей

№ п/п	Марка угля	Газоносность, $Q, \text{ м}^3/\text{г}$	(Угольный бассейн), место отбора пробы	Сорбционная поверхность $S, \text{ м}^2/\text{г}$
1	Суперантрацит	–	(1)	0,53
2	Ж	–	(1), 50 м от внезапного выброса	1,11
3	Ж	4-10	(1)	2,09
4	К	25	(1)	1,08
5	Д	0	(1)	3,92
6	Г	10	(3)	1,08
7	К	–	(3), из полости выброса	1,24
8	К	–	(3), там же, разрушенный уголь после выброса	7,07
9	К	–	(3), там же, уголь из ненарушенной части пласта	2,64
10	К	31	(2)	3,65

Максимальная сорбционная поверхность ($7,07 \text{ м}^2/\text{г}$) обнаружена у угольной пробы из внезапного выброса. Уголь, взятый из стенок полости, образовавшейся в результате внезапного выброса, обладает сорбционной поверхностью в 5-6 раз меньшей. Сформировалась ли большая сорбционная поверхность угля в относительно небольшой области пласта под действием сложных термодинамических и геомеханических процессов, происходивших при формировании угольных пластов и подготовивших очаг выбросоопасности (как показали проведенные эксперименты, повышение температуры от 30 до 100 °С существенно увеличивает сорбционную поверхность), или сорбционная поверхность могла увеличиться в процессе формирования и развития внезапного выброса, пока сказать трудно. Возможно, на величину сорбционной поверхности угля могли повлиять все перечисленные процессы.

Электронно-микроскопический анализ. Целью проведения электронно-микроскопических исследований являлось установление характерных особенностей строения, формирующихся в процессах образования и метаморфизма угля, а также в условиях естественного разрушения угольного вещества в призабойной области разрабатываемых пластов.

Съемка образцов проводилась на растровых электронных микроскопах «Jeol-6610LV» и «Leo1420VP» при низком вакууме в колонне, что позволяет анализировать непроводящие образцы (уголь) без напыления проводящего слоя. Съемка ведется в упруго отраженных электронах, контраст на изображении формируется в основном за счет различий в химическом составе образца. Для углей наблюдаемые светлые образования – это включения различных минералов, образовавшихся в угле на разных стадиях его формирования. Съемка во вторичных электронах позволяет наблюдать топографический контраст, выявляющий рельеф поверхности образца.

Анализ показал, что частицы размером 4-5 мм подобны по форме макроскопическим отдельностям кливажной нарушенности. Формирующиеся поверхности, как правило, приурочены к границам отдельных мацералов. Существенное влияние на формирование дисперсных фаз оказывает наличие эндогенной минерализации, проходящей по плоскостям слоистости и по первичным трещинам (рис.3).

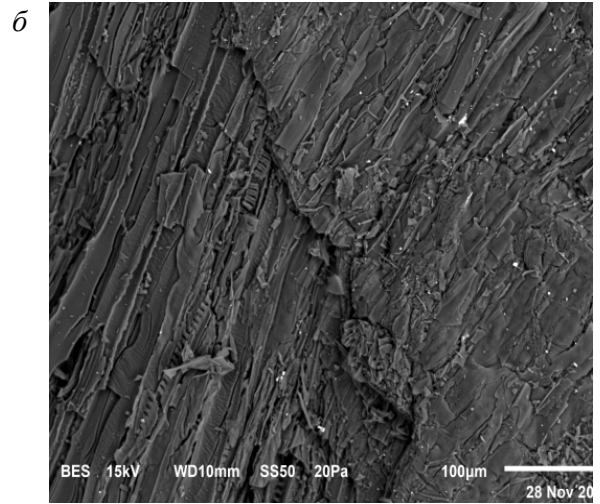
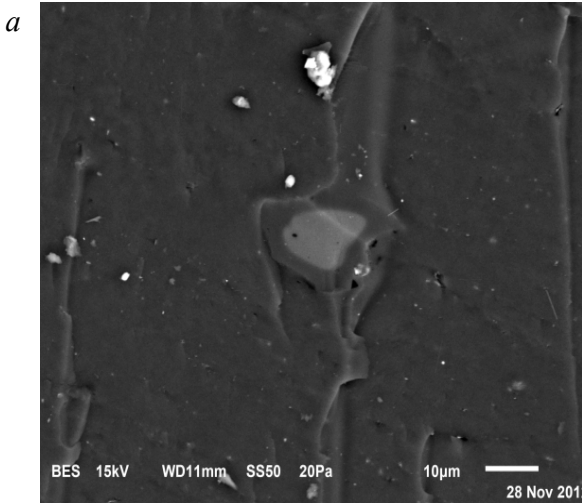


Рис.2. Строение поверхности суперантрацита (*a*) и фюзена (*б*), выделенного из угля марки Ж

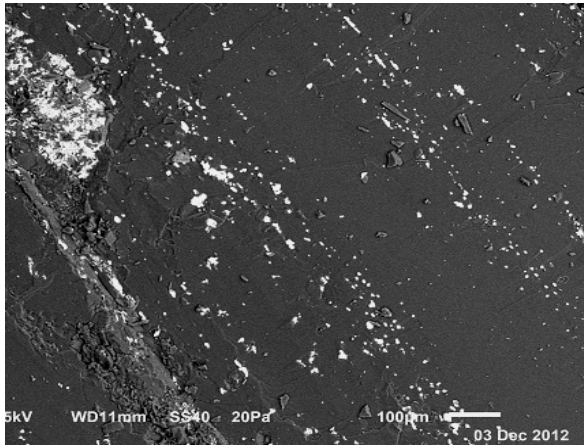


Рис.3. Минерализация по слоистости в угле марки К

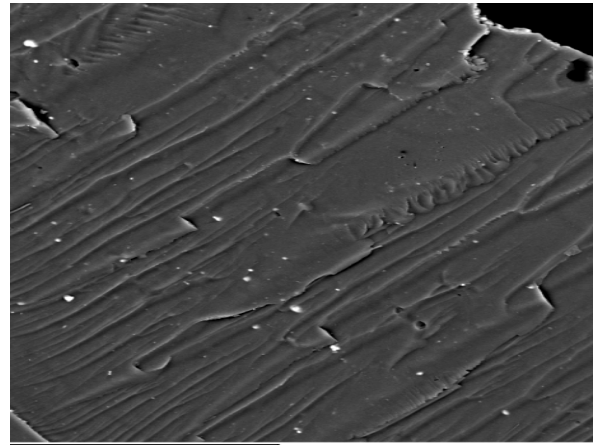


Рис.4. Плоскость хрупкого разрушения в суперантраците

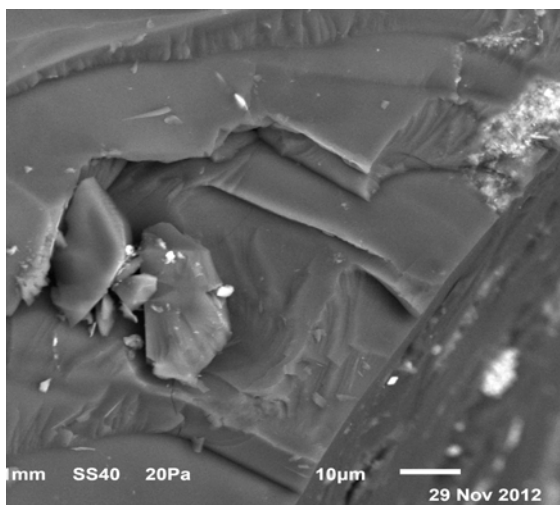


Рис.5. Хрупкое разрушение газоносного угля марки К

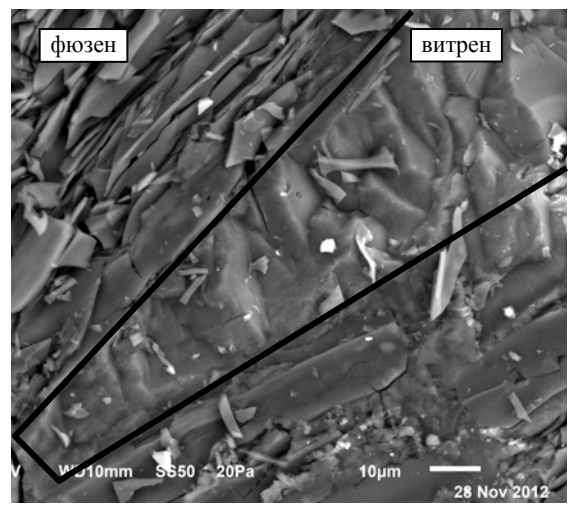


Рис.6. Хрупкое разрушение зерна витрена в фюзеновой матрице угля марки Ж

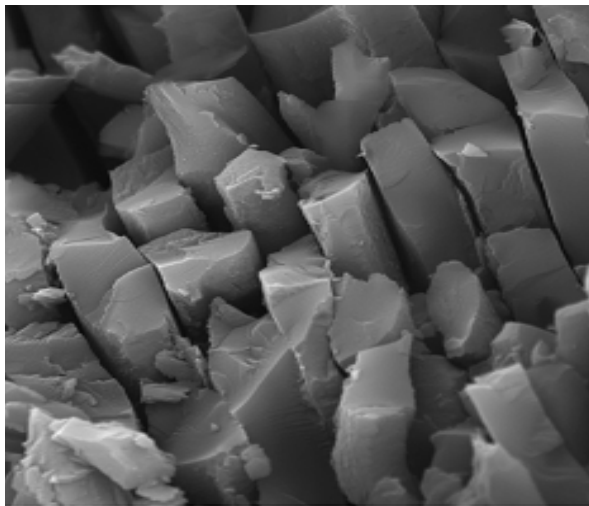


Рис.7. Эндогенная дезинтеграция угля по типу «столбчатых» отдельностей в газоносном угле марки Ж, отобранного вблизи ГДЯ

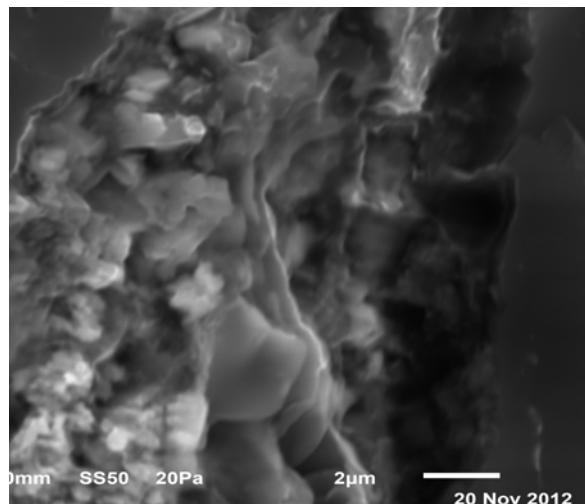


Рис.8. Эндогенная трещина в угле, заполненная дезинтегрированным углем неопределенной формы в газоносном угле марки К

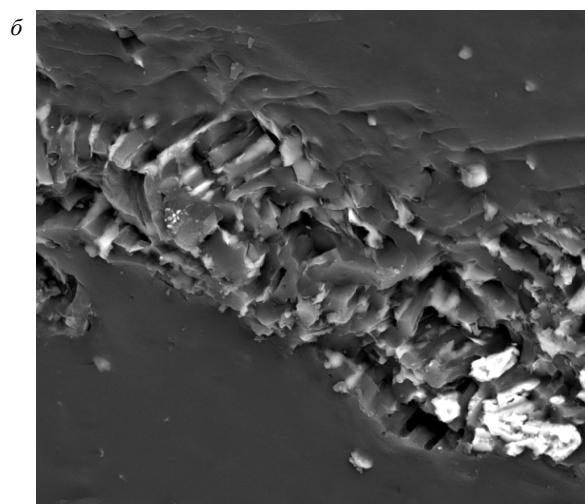
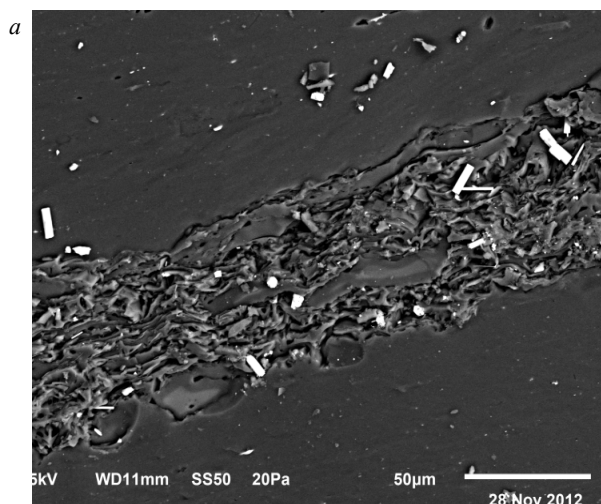


Рис.9. Эндогенная трещина в суперантраците, заполненная углем, дезинтегрированным по типу: а – «пластинчатых» отдельностей, б – «столбчатых» отдельностей

Разрушение витреновых углей происходит преимущественно по механизму хрупкого разрушения. На плоскостях разрушения наблюдаются ручьиистые узоры, образующие на поверхности ступеньки скола. На поверхностях углей, разделяемых послойно без существенного изменения слоевой поверхности, наблюдаются тонкие эндогенные трещины; трещины, ооконтуривающие включения; ступеньки отделившихся слоев (рис.4, 5).

На поверхности угля марки Ж, отобранного вблизи произошедшего газодинамического явления (ГДЯ), наблюдаются крупные (до 15 мкм) полости; трещины, ограничивающиеся образующиеся пластинчатые (толщиной до 1 мкм, рис.6) или столбчатые (с поперечным сечением от 1 до 4,5 мкм, рис.7) отдельности. Трещины четко направлены и могут служить хорошими фильтрационными каналами, способствующими быстрому выходу метана из угля при изменении горного давления. В углях всех типов встречаются эндогенные трещины, заполненные дезинтегрированным угольным веществом (рис.8, 9). Такие трещины мо-

гут, с одной стороны, служить аккумуляторами газа в пласте, а с другой стороны – очагами ослабления. Высокая плотность трещин характерна для выбросоопасных углей.

Применение мультифрактального анализа для обнаружения особенностей структуры углей выбросоопасных пластов. Визуальный анализ микроснимков поверхности углей выбросоопасных и невыбросоопасных пластов не показал заметных различий между ними, но современные методы исследования структуры угля, связанные с концепцией иерархической нарушенности геоматериалов, открывают возможности для использования фрактальных методов.

Современная наука базируется на представлении сложных природных структур открытыми нелинейными системами. Процессы, протекающие в таких системах, представляют собой переходы от упорядоченных состояний к неупорядоченным и обратно. Переходы такого рода часто называют критическими явлениями. При направленном характере критических явлений взаимодействия между системой и внешней средой сопровождаются явлениями самоорганизации, т.е. самопроизвольного возникновения и самоподдержания упорядоченных временных и пространственных структур.

Явления самоорганизации критического поведения сложных систем различной природы легли в основу концепции самоорганизованной критичности (СОК) [8]. Первоначально СОК была введена в 1987 г. как общая теория объяснения фрактальных явлений. СОК-системами называли сложные системы, которые удовлетворяли степенным (фрактальным) распределениям, отражающим зависимость числа событий от их линейного масштаба. В наши дни теория самоорганизованной критичности приобрела более широкое значение и объясняет различные природные и техногенные катастрофы, процессы деформации и разрушения материалов и сред и многое другое.

В соответствии с современными представлениями, начало которым было положено в работах акад. М.А.Садовского, массив горных пород следует рассматривать как блочную геосреду, наделенную иерархией структурных уровней. На каждом из иерархических уровней структурной организации углей проявляются процессы самоорганизации одного энергетического типа.

Сложная нерегулярная структура порового пространства ископаемых углей в значительной степени определяется распределением пустот (пор, микротрещин), наполненных газом. Размеры этих пустот варьируют в достаточно широких пределах: от 0,3 нм до 10 см. При этом следует отметить, что угли выбросоопасных пластов обычно имеют более нарушенную структуру, часто являющуюся наложением нескольких систем экзогенной и эндогенной трещиноватости, и повышенную микропористость [1].

Процессы множественного разрушения ископаемых углей (накопления разрушений в углях) являются процессами пространственной самоорганизации их структуры. Формированию магистральной макротрещины в процессе разрушения угольных пластов предшествует период зарождения, движения, роста и агрегации (кластеризации) микродефектов (пор, микротрещин, дислокаций и т.п.) всевозможного вида. Поскольку процесс развития дефектов носит вероятностный характер, крайне затруднительно использовать для его описания детерминистические методы.

В этой связи при описании структуры нарушений различного характера исходят из гипотезы самоподобия (автомодельности) процесса разрушения, которая утверждает, что если в материале имеется ансамбль взаимодействующих дефектов, то при множественном разрушении процесс развития дефектов автомоделен (т.е. подобен самому себе): размерные параметры каскада дефектов изменяются, а безразмерные, например форма кривой распределения количества пор по их размерам, остаются неизменными. Тем самым, ансамбль микродефектов растет как мультифрактальный (статистически самоподобный) кластер, начало лавинообразного роста которого может интерпретироваться как начало появления макротрещин. Таким образом, целесообразным представляется использование мультифрактального подхода к описанию структур пространственной самоорганизации углей.

В основу мультифрактального подхода к описанию поверхностной структуры углей могут быть положены следующие положения:

– структурная организация элементов поверхности углей может быть представлена мультифракталом с соответствующим ему спектром фрактальных размерностей;

– процесс разрушения угольного пласта, представляющий собой процесс множественного зарождения и развития микротрещин, также может рассматриваться как мультифрактальный, так как при переходе с одного масштабного уровня дефектности на другой фрактальная размерность изменяется в связи с изменением микронапряжений в различных структурных областях.

Мультифрактальный анализ микроизображений поверхности образцов углей осуществляется в соответствии с методикой, изложенной в работе [4] и включающей следующие этапы: 1) получение с помощью сканирующего электронного микроскопа цифровых изображений поверхности исследуемых образцов углей; 2) выделение характерных участков сканерных изображений угольных образцов; 3) расчет мультифрактальных характеристик для каждой области интереса; 4) исследование полученных мультифрактальных характеристик. Оценка и анализ мультифрактальных характеристик изображений поверхности угля осуществлялись с помощью программного пакета «Фрактал-ПК» [6].

В результате обработки изображений выбросоопасных и невыбросоопасных углей наибольшие их отличия друг от друга получены для снимков с кратностью увеличения исследуемых образцов 800-1200 раз. Снимки поверхности угля с увеличением приблизительно в 1000 раз наиболее интересны еще и потому, что дают информацию о размерах отдельных зерен угля, из которых в процессе десорбции и диффузии метан выделяется в трещины, где уже может двигаться в режиме фильтрации. На этих снимках видно, что структура выбросоопасных углей в большой степени представлена отдельностями с характерным размером около 1 мкм, а исследованные невыбросоопасные угли имеют при этом увеличении более однородную структуру с характерным расстоянием между трещинами 25-30 мкм [3]. Вычисления показывают, что из отдельных зерен угля с размером около 1 мкм и коэффициентом диффузии $D = 10^{-11}$ см²/с [2] за среднее время выброса – 30 с успевает выделиться за счет десорбции и диффузии около 8 % метана (этот газ может принимать участие во внезапном выбросе), что хорошо согласуется с величиной коэффициента газоотдачи, введенного ранее в работе [7], а из угля невыбросоопасных пластов за то же время успевает выделиться меньше 1 % метана, т.е. этот уголь, даже насыщенный газом, вряд ли будет склонен к газодинамическим явлениям. Изучение более мелких деталей структуры углей нецелесообразно, поскольку в них могут быть трещины (поры) размером порядка 0,1 мкм, т.е. соизмеримые с длиной свободного пробега метана. Движение молекулы метана в режиме фильтрации в таких трещинах уже невозможно.

Полученные в результате мультифрактального анализа спектры фрактальных размерностей $F(\alpha)$ изображений поверхности углей приведены на рис.10. Критерием, разграничивающим выбросоопасные и невыбросоопасные угли по фактору структуры, может служить значение ширины спектра фрактальных размерностей Δ_α , причем значительно лучшее разделение по критерию Δ_α получается в том случае, когда при расчетах учитывается разброс значений индекса α только для значений $F(\alpha) \geq 1$. При этом критериальным является значение $\Delta_\alpha = 1,5 \pm 0,1$.

Недостатком этого метода расчета является некоторый субъективизм в выборе исследуемой области на снимке поверхности угля. Особенно хорошо это становится заметным при сравнении результатов анализа двух выделенных областей образца угля (рис.11). Значения показателя Δ_α отличаются для данных областей. Причем область образца, выделенная на рис.11, а (левая кривая в серии углей выбросоопасных пластов на рис.10), по своим фрактальным свойствам приближается к группе невыбросоопасных углей, обладающих, по сравнению с выбросоопасными углями, более гладкой (ровной) поверхностью. Область,

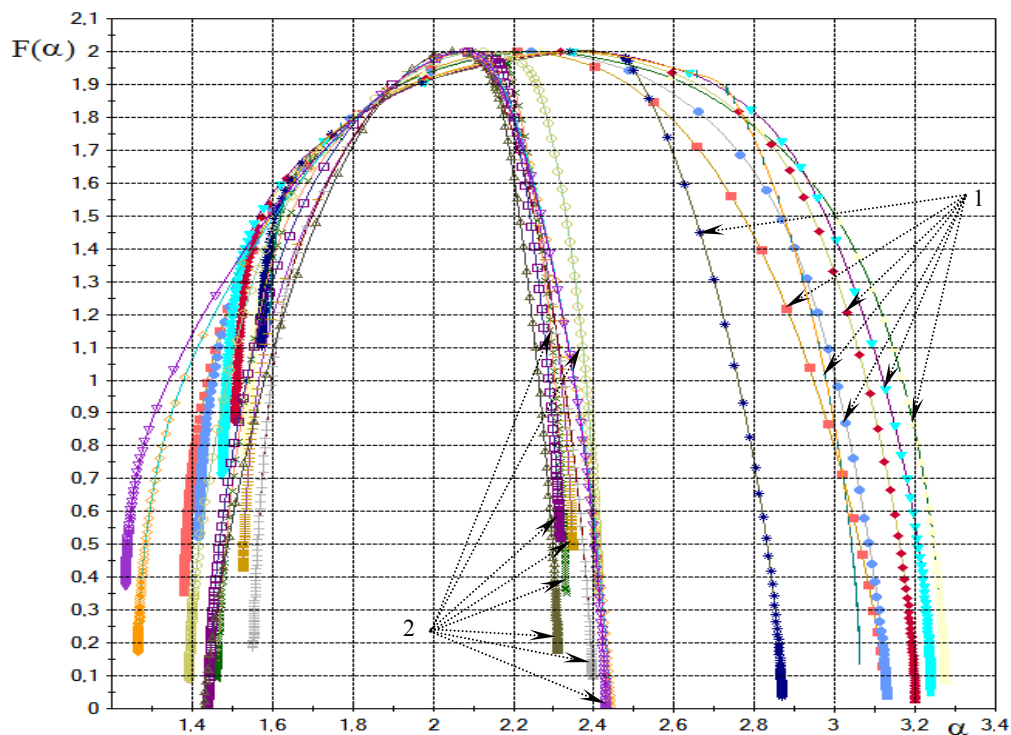


Рис.10. Графики скейлинг-спектров исследованных образцов углей из выбросоопасных (1) и из невыбросоопасных (2) пластов угля

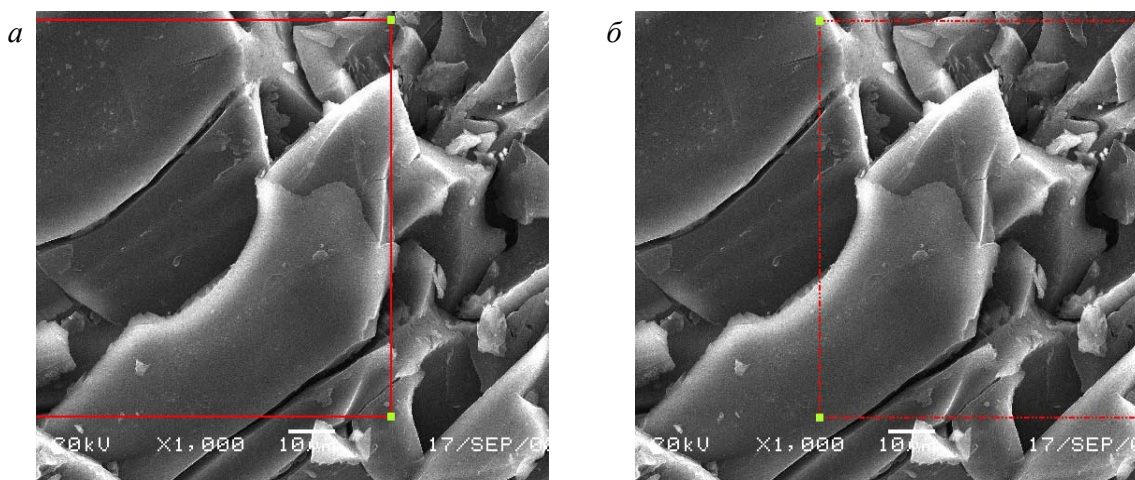


Рис.11. Изображения образца выбросоопасного угля с выделенными областями: *a* – не характерной для этого образца, *б* – характерной

выделенная на рис.11, *б*, по фрактальным свойствам полностью соответствует выбросоопасным углям. Это говорит о важности обоснованного выбора наиболее характерных областей поверхности угля на микроснимках [9] для дальнейшего анализа.

Выводы. Уголь из выброса обладает более высокой сорбционной поверхностью и большей нарушенностью, по сравнению с углем того же пласта, который не участвовал в выбросе, что позволяет газонасыщенному углю в таких областях быстро отдавать большие количества метана при уменьшении горного давления.

Применение мультифрактального подхода к исследованиям нарушенности каменных углей позволяет получить критериальные соотношения выбросоопасности угольных пластов по структурному фактору. Критерием, разграничивающим выбросоопасные и невыбросоопасные угли по фактору структуры, может служить значение ширины спектра фрактальных размерностей. Оценки выбросоопасности угольных пластов, полученные посредством мультифрактального анализа цифровых изображений их образцов, являются предварительными и дают информацию о склонности структуры угля к разрушению в виде газодинамического явления при соответствующих значениях горного и газового давления. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят выделить угольные пласты или участки пластов со структурой, не склонной к лавинному самоподдерживающемуся разрушению, характерному для газодинамических явлений.

Структурные особенности углей необходимо учитывать при уточнении опасных зон в угольных пластах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.В. Метаморфический ряд ископаемых углей и фрактальные параметры их структуры / А.В.Астахов, А.А.Белый, Д.Л.Широчин // Химия твердого топлива. 2000. № 4. С.15-24.
2. Ковалева И.Б. К вопросу о взаимосвязи диффузно-кинетических параметров угля с динамикой газовыделения из пластов / И.Б.Ковалева, Е.А.Соловьева // Горн. инф.-аналитич. бюл. М.: Изд-во МГГУ. 1999. Вып.7. С.75-78.
3. Малинникова О.Н. Мультифрактальная оценка склонности угольных пластов к газодинамическим явлениям / О.Н.Малинникова, Дм.В.Учаев, Д.В.Учаев // Безопасность: Горн. инф.-аналитич. бюл. М.: Мир горной книги. 2009. № ОВ 11. С.189-204.
4. Малинникова О.Н. Методика применения мультифрактального анализа для обнаружения особенностей структуры углей выбросоопасных пластов по их цифровым изображениям / О.Н.Малинникова, Дм.В.Учаев, Д.В.Учаев // Сборник статей по итогам международной научно-технической конференции, посвященной 230-летию основания МИИГАиК. Вып.2: В 2 частях. Ч.1. М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. С. 23-27. (Приложение к журналу «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». № 6).
5. Механохимические превращения углей при метаморфизме как ведущий фактор внезапных выбросов / Г.Д.Фролков, Г.В.Малова, С.А.Франсузов, А.Г.Фролков // Уголь. 1998. № 7. С.60-64.
6. Мультифрактальная параметризация геопространственных структур / В.А.Малинников, А.Е.Никольский, Д.В.Учаев, Дм.В.Учаев // Труды Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК / МИИГАиК. М., 2004. С.163-167.
7. Прогноз опасности внезапных выбросов и горных ударов по энергии массива / Г.Н.Фейт, О.Н.Малинникова, В.С.Зыков, В.А.Рудаков // Физико-техн. пробл. разработки полезн. ископаемых. 2002. № 1. С.67-70.
8. Bak P. Self-organized criticality / P.Bak, C.Tang, K.Wiesenfeld // Phys. Rev. A. 1988. Vol.38. N 1. P.364-374.
9. Shyi-Long Lee. Heterogeneity of Surfaces and Materials as Reflected in Multifractal Analysis / Shyi-Long Lee, Chung-Kung Lee // Heterogeneous Chemistry Reviews. 1996. Vol.3. P.269-302.

REFERENCES

1. Astakhov A.V., Belyi A.A., Shirochin D.L. Metamorphic series of coals and their fractal structure parameters (*Metamorphic series of coals and their fractal structure parameters*). Himija tverdogo topliva. 2000. N 4, p.15-24.
2. Kovaleva I.B., Solov'eva E.A. K voprosu o vzaimosvjazi diffuzno-kineticheskikh parametrov uglja s dinamikoj gazovydelenija iz plastov (*On the question of the relationship of diffusion-kinetic parameters of coal seams of the dynamics of gas*). Gorn. inf.-analitich. bjul. Moscow: Izd-vo MGGU. 1999. Iss.7, p.75-78.
3. Malinnikova O.N., Uchaev Dm.V., Uchaev D.V. Mul'tifraktal'naja ocenka sklonnosti ugol'nyh plastov k gazodinamicheskim javlenijam (*Multifractal propensity score to coalbed gas-dynamic*). Bezopasnost': Gorn. inf.-analitich. bjul. Moscow: Mir gornoj knigi. 2009. N Fascicle 11, p.189-204.
4. Malinnikova O.N., Uchaev Dm.V., Uchaev D.V. Metodika primenija mul'tifraktal'nogo analiza dlja obnaruzhenija osobennostej struktury uglej vybrosopasnyh plastov po ih cifrovym izobrazhenijam (*The method of application of multifractal analysis for the detection of structural features of coal seams outburst from their digital images*). Sbornik statej po itogam mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii posvjashhennoj 230-letiju osnovanija MIIGAiK. Iss.2: Vol.2 chastjah. Ch.1. Moscow: Izd-vo MIIGAiK, 2009, p.23-27. (Prilozhenie k zhurnalu 'Izv. Vuzov'. Geodezija i ajerofotos'emka, N 6).
5. Frolov G.D., Malova G.V., Frantsuzov S.A., Frolov A.G. Mehanohimicheskie prevrashhenija uglej pri metamorfizme kak vedushhij faktor vnezapnyh vybrosov (*Mechano-chemical conversion of coal during metamorphism as a leading factor in sudden outbursts*). Ugol. 1998. N 7, p.60-64.

6. Malinnikov V.A., Nikol'skii A.E., Uchaev D.V., Uchaev Dm.V. Mul'tifraktal'naja parametrizacija geoprostranstvennyh struktur (*Multifractal parameterization geospatial structures*). Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashhennoj 225-letiju MIIGAiK / MIIGAiK. Moscow, 2004, p.163-167.

7. Feit G.N., Malinnikova O.N., Zykov V.S., Rudakov V.A. Prognoz opasnosti vnezapnyh vybrosov i gornyh udarov po jenergii massiva (*Weather hazards and sudden outbursts of rockburst energy array*). Fiziko-tehn. probl. razrabotki polezn. iskopaemyh. 2002. N 1, p.67-70.

8. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality. Phys. Rev. A. 1988. Vol.38. N 1, p.364-374.

9. Shyi-Long Lee, Chung-Kung Lee. Heterogeneity of Surfaces and Materials as Reflected in Multifractal Analysis. Heterogeneous Chemistry Reviews. 1996. Vol.3, p.269-302.

THE STUDY OF STRUCTURAL FEATURES OF OUTBURST COAL SEAMS

V.N.ZAKHAROV, *Dr. of Engineering Science, Director, vnzakharov@gmail.com*

O.N.MALINNIKOVA, *Dr. of Engineering Science, Head of Laboratory, olga_malinnikova@mail.ru*
The Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A study of the structural features of outburst-dangerous and non-outburst dangerous coal layers was conducted. It was shown that coal taken from a sudden outburst zone has a significantly greater sorption surface than coal from the same layer which was not part of the sudden outburst. The size of the sorption surface of coal is affected by its history up to that point; thus the heating of the coal sample during its preparation enlarges its sorption surface.

An electron microscope study of coal surfaces has shown that for coal from outburst-dangerous layers, a disturbed structure with a large quantity of fissures and partings the size of 1 micrometer is typical. Under the same enlargement, a coal structure from safe coal layers is much more uniform.

The study of digital images of coal surfaces, taken with the help of an electron microscope, shows that the structural institution of surface elements may be presented by multi-fractal analysis, with its spectrum of fractal dimensions, which allows us to state quantitative distinctions in coal microstructures for outburst-dangerous layers. Coal from outburst-dangerous layers has a greater set of structural elements, and therefore a spectrum of fractal dimensions that is 1.5-2 times wider than for non-outburst dangerous layers.

Key words: coalbed outburst, microstructure, adsorption surface, violations, multifractal analysis.