

5. Кратенко Л.Я. Исследование геологических условий формирования локальных выбросоопасных зон на пологопадающих угольных пластах Донбасса: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16 / ДГИ – Днепропетровск, 1978. – 220 с.
6. Тетеревенков В.В. Суфляры метана на шахтах Донбасса. М.: Углетехиздат, 1952. – 48 с.
7. Козлов С.С. Региональные закономерности распределения газодинамических явлений в Донбассе: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16 / ДГИ – Днепропетровск, 1982. – 23 с.
8. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа / под ред. А.А. Бакирова, М.: Недра, 1987. – 520 с.
9. Забигайло В.Е. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса / В.Е. Забигайло, В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко, Н.В. Сахневич. – К.: Наукова думка, 1994. – 152 с.

УДК 502.66.02.004:622.411.332:552.57

Канд. геол.-мин. наук О.А. Куш
(Донецкий технический университет),
д-р геол.-мин. наук В.В. Кирюков (С.-Петербургский
государственный горный институт, Россия),
вед. геолог Л.Д. Кузнецова (ПО «Укрुглегеология»)

ПРОБЛЕМЫ МЕТАНОГЕНЕРАЦИИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Розглянуті питання генерації метану у вугільних пластах Донбасу. Виділені фази у ряді метаморфізму кам'яного вугілля з відповідним типом метаногенерації.

PROBLEMS OF METHANE GENERATION OF FOSSIL COALS

Problems of generation of methane in coal mines of Donbas are considered. Phases of appropriate type of methane generation are single out in the line of metamorphism of coal.

В процессе изучения особенностей распространения и формирования углей и газообразных углеводородов, и, в частности, метаноугольных месторождений, сформировалась общепринятая теория образования угольного метана в результате его генерации при метаморфизме различных форм органического вещества, сконцентрированного в угольных пластах и пропластках, а также рассеянного в породах угленосной толщи [1, 3]. На базе этой теории объясняют происхождение угольного метана, извлекаемого при дегазации шахт и небольшой промышленной добыче в Украине.

В научной литературе периодически поднимается вопрос о фактах, указывающих на возможное поступление газообразных и жидких углеводородов из магматических пород, подстилающих осадочный комплекс ДДВ [2, 7, 16]. При подтверждении крупных масштабов подтока углеводородных газов из глубин Земли появится возможность извлечения энергетического сырья из месторождений нового генетического типа. Основы этой теории заложены в работах Д.И. Менделеева (карбидная теория), Н.А. Кудрявцева, Б.В. Порфирьева, Г.Н. Доленко и достаточно широкого круга других исследователей в области угольной и нефтегазовой геологии [6, 7, 9, 14].

Доказательства достоверности этой теории ее сторонники находят в веществе углеводородов [4, 13, 15] и в геологических особенностях его локализации в осадочной толще. Подтверждение своих теоретических положений упомянутая группа ученых видит в близости соотношений стабильных изотопов $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ в газах осадочной в т.ч. угленосной толщи, магматических пород и вулканов, в наличии в газах определенных изотопов, водорода, кислорода, серы, абиогенных элементов (фтора и др.), примесей гелия и радона, в возможности синтеза углеводородов из углерода и водорода в условиях земной коры. Кроме того, имеются факты прямого выделения эндогенных углеводородов из региональных разломов, нарушений в горных выработках (А.И. Кравцов, 1978; и др.) и увеличения роста количества метана в углях по мере увеличения глубины залегания пластов. Не оспаривая авторитета представителей данной группы ученых, на базе многолетнего изучения угольных месторождений Донбасса, предложим к обсуждению наше видение этой проблемы. По данным Российской угольной энциклопедии (2006 г.), при преобразовании органического вещества расчетный выход метана составил ($\text{м}^3/\text{т}$): для стадии Б – 68, Д – 150, Ж – 230, К – 270, ОС – 287, Т – 33, А – 420. Около 90 % метана мигрирует из угольных пластов, частично аккумулируясь во вмещающих породах, частично к поверхности (в зависимости от гранулярных и флюидоупорных параметров углевлещающей толщи).

Многочисленными исследованиями установлены существенные отличия в строении собственно ДДВ и ее восточной части – Донбасса. Одними из самых существенных являются различия в типе осадочной формации – в западной и средней части ДДВ преобладают морские отложения, а в восточной, наоборот, преобладают континентальные (угленосные) отложения. В западной и срединной части ДДВ источником углеводородов были простейшие органические формы морских бассейнов, а в восточной – высшие формы растений. В восточной части ДДВ (в Донбассе) процессы углеобразования и метаногенерации проходили в условиях катагенеза большей интенсивности, чем в западной. Это привело к тому, что зона основного нефтеобразования находится западнее Донбасса т.е. в средней и западной части ДДВ (1996).

Генерация углеводородов в Донбассе происходила из разных исходных форм органического вещества. В континентальных интервалах разреза – это в подавляющей массе угольное гумусовое вещество, сконцентрированное в шлахтах и пропластках, и дисперсное, рассеянное в породах. В прибрежных лагунных и морских осадках преобладающим исходным веществом для газогенерации служил сапропелевый материал. Ведущим в этих процессах являлся термобарический режим, определяемый глубиной погружения, типом открытости или закрытости системы, а также литологическим составом и скоростью погружения и поднятия толщи при многократных повторениях таких движений.

Роль факторов метаморфизма достаточно подробно обоснована Е.О. Погребницким (1937), М.Л. Левенштейном (1961), Ю.Н. и В.Н. Нагорными (1976) и другими авторами. Поэтому, не касаясь общих вопросов метаморфизма, остановимся на собственно метаногенерации. В теории

метаногенерации есть ряд ключевых позиций. Одна из главнейших - различие метаногенерации из разных видов угольного вещества и их твердофазовых состояний.

Начнем с гумусового вещества. Витринит (главная составляющая угольных пластов и пропластков) генерирует метан по схеме, характеризующейся уже на ранних стадиях формирования каменного угля закрытостью - метан медленно мигрирует внутри пласта и из пластов, которые, как правило, законсервированы в глинистых и тонкоалевритовых породах. На этой стадии радикал CH_3 находится в структуре материнского вещества в составе макромолекулы. Характер внутримолекулярных связей в угле и породах меняется при росте термобарических параметров с увеличением интенсивности катагенеза. В каменных углях, в соответствии со структурными изменениями, выделяется несколько фазовых состояний угля (фаз твердого тела), характеризующихся определенными особенностями метаногенерации [5, 11, 14].

На начальной стадии метаморфизма (от 1Д до 2Г)^{*} [9,12,14] макромолекулярная структура каменных углей еще не готова к устойчивой генерации метана вследствие неполного оформления радикалов CH_3 и нахождения его внутри уже сформировавшихся структуры молекул. Сложные алифатические связи не позволяют радикалу CH_3 устойчиво отщепляться от макромолекулы, захватывая при этом атомы водорода и превращаясь в метан. Процесс метаногенерации интенсифицируется к середине фазы, но затем опять почти затухает. Причина такого характера процесса метаногенерации на этой стадии в том, что на внешних связях молекулы преобладают гидроксильные группы (рис. 1). Они отделяются в первую очередь и препятствуют образованию и отделению метана.

Первая устойчивая метаногенерационная фаза охватывает диапазон углей от марки 2Г до 3Г включительно. В этой фазе, по данным рентгеноструктурного анализа, инфракрасной спектроскопии и электронной микроскопии происходит структурирование «аморфного» состояния молекулы угля. Начинает формироваться нечетко выраженное углеродное ядро, происходит активное образование и концентрирование радикалов CH_3 в периферийной части на концевых ветвях макромолекул угля, т.е. возрастает потенциальное количество подготовленных к отделению составных частей будущих молекул углеводородов (рис. 2). При переходе от первого фазового состояния во второе удаляются гидроксильные и другие кислородсодержащие группы (барьер, затрудняющий выход молекул углеводородов). Уход влаги приводит к повышению метаногенерации, метаноемкости и метанопроницаемости угля. В этом состоянии часть молекул метана находится в межмолекулярных зазорах угля (абсорбированный газ внутриагрегаточной сорбции), в пленочных покрытиях на поверхности макромолекул угля (адсорбированный газ поверхностно - агрегатной сорбции), и в виде свободного метана.

^{*} Классификация углей ГОСТ 25543-88.

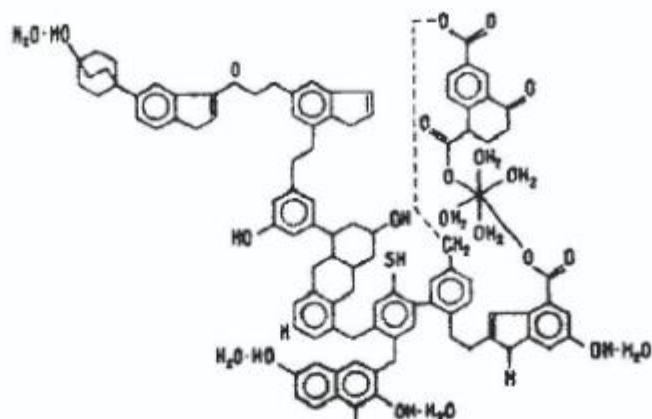


Рис. 1 – Структурная модель вещества угля низких стадий зрелости

При дальнейшем увеличении метаморфизма углей (то 3Г до 3Ж) происходит уплотнение макромолекулярной упаковки и плотность угля достигает $1,3 \text{ г/см}^3$. В составе газов данной фазы присутствуют гомологи метана (доли процентов) – этана и пропана. Угольные пласты этого диапазона являются метаногенераторами и его коллекторами. Это фазовое состояние соответствует по процессам генерации углеводородов главной фазе нефтеобразования (ГФII) в Днепровско-Донецкой впадине [15]. Основной диапазон роста устойчивой метаногенерации приурочен к углям стадий метаморфизма 4Ж - 5К – 6ОС- 7Т. В течение этой фазы происходит активное отделение радикалов CH_3 с захватом ими не прочно связанных атомов водорода. К завершению развития этой фазы (7Т) происходит разделение макромолекулы на конденсированное углеродное ядро и периферическую часть («бахрому» молекулы).

Для углей этой фазы характерно устойчивое увеличение метаногенерации с формированием двух максимумов. Первого - на стадиях 3Г-4Ж и второго - на стадии 7Т. Метаноносность возрастает от 20 до $38 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$ Для этой фазы характерно появление первых признаков кристалличности – ориентировка агрегатов макромолекул.

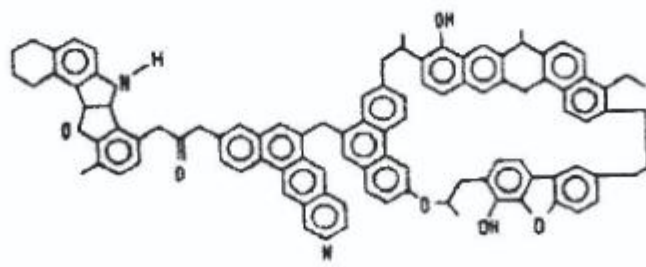


Рис. 2 – Структурная модель вещества угля средней стадии зрелости

Четвертое фазовое состояние метаногенерации (8T-11A) характеризуется появлением незначительного количества кристаллитов с объединением их в пакеты (рис 3).

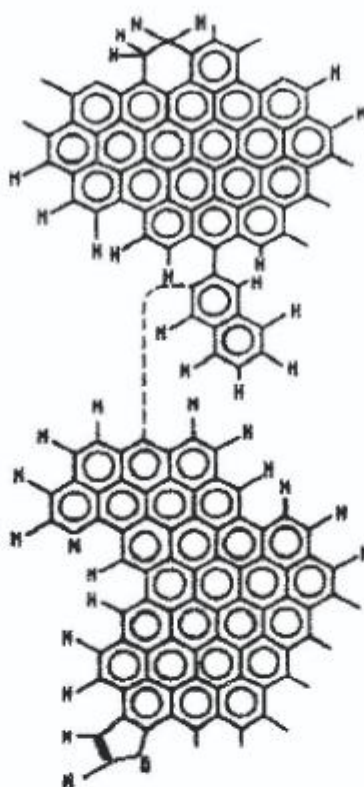


Рис. 3 – Структурная модель вещества угля высокой стадии зрелости

При увеличении количества кристаллитных пакетов до 30 % и более от общей массы вещества, происходит резкая перестройка угольного агрегата от неорганизованной структуры в организованную, увеличиваются сорбционные свойства. При дальнейшем росте числа пакетов и упорядочении их расположения происходит уплотнение угля и пористость падает. Угольное вещество приобретает новый кристаллитный вид структуры. Фазовое состояние (8T-11A) характеризуется некоторым снижением темпа роста генерации метана при общем незначительном росте метаноносности до 40-42 и даже 45 м³/т.с.б.м. Эта фаза завершается резким падением метаногенерации в узком диапазоне середины 11A – 12A. Метаноносность угля резко уменьшается - от 38 – 40 м³/т.с.б.м. практически до нуля [2, 7]. При дальнейших фазовых превращениях, с ростом метаморфизма, уголь приобретает структуру кристаллитного минералоида и прекращает газогенерацию.

Всё вышеизложенное позволяет обосновать следующее положение. Начиная с первой фазы метаногенерации (1Д-2Г) в макромолекулярном агрегате угля преобладающая часть потенциального метана находится в составе структурных элементов макромолекулы и, в значительно меньшем количестве, в виде сорбированного метана и свободного газа. По мере развития катагенетических изменений угля потенциально метанобразующие структурные элементы его молекулы , отделяясь от основной части, переходят в сорбированные и

свободные формы метана. Свободный метан в процессе дегазации частично удаляется из пластов угля в вышележащие слои и затем в атмосферу. [6, 10]. При этом ресурсная часть макромолекулы угля (радикалы CH_3 с сильными валентными связями и менее прочно связанные радикалы H) постепенно истощаются и переходят в другие формы. С середины фазы 11А ресурс радикалов CH_3 для отделения непрочносвязанного водорода истощается. Из угля в дальнейшем отделяются лишь остатки непрочно связанного водорода и диоксид углерода.

Генерация газа и, в определенных условиях, жидких углеводородов из сапропелевого вещества, происходит другим путем. Еще до начала катагенеза углеводные и белковые компоненты сапропелевого вещества разлагаются, а жировая (битумоидная) часть дает как метан, так и тяжелые гомологи. Интервал 2Г-3Г является главной зоной нефтеобразования. В завершение этого фазового интервала (на стадии 3Г) происходит дифференциация органического вещества на нефтегазовые составляющие и твердый дисперсный осадок, который достаточно не изучен [15].

Вопрос метаногенерации сапропелевого вещества в угленосной толще также недостаточно изучен, т.к., начиная со стадии 4Ж-5К, остаточное сапропелевое вещество трудно отличимо от гумусового вещества. Строение макромолекулы сапропелевого вещества становится близким по строению агрегатам макромолекул гумусового вещества. Лишь на конечных стадиях катагенеза и метаморфизма становятся видны отличия. Гумусовое вещество имеет кристаллоподобный характер, а сапропелевое вещество остается нераскристаллизованным.

Предполагаемая некоторыми учеными [16] возможность нефтеобразования в Донбассе лимитируется геологическими факторами – небольшим количеством морских отложений, содержащих органику, и более жесткими термобарическими условиями катагенеза.

В формировании скоплений метана в угленосной толще важными факторами, наряду с метаногенерацией, являются формы нахождения, условия перемещения и сохранения образовавшихся углеводородных компонентов. При достижении агрегатом макромолекул угля состояния метаногенерации этот процесс может быть ограничен отсутствием в агрегате пространств для движения и размещения молекул метана. В зависимости от размеров полостного пространства проявляется несколько типов движения молекул метана в агрегатах макромолекул угля (рис. 4) В случае, если полости (каналы в агрегатах угля) имеют диаметр, меньший или равный диаметру молекул метана, движение отсутствует. Если же поперечник полостей не превышает 3-5 диаметров молекулы метана, происходит пленочное (фольмеровское) движение молекул метана по поверхностям каналов.

При размерах каналов в 5-10 раз больше диаметра молекулы метана происходит их несвободное движение в канале с соударением молекул и ударами их о стенки канала (кнудсеновское движение). При больших размерах полостей происходит свободное (пуазейлевское движение) и истечение метана из агрегата угля. Вследствие процесса метаногенерации давление молекул

внутри агрегата макромолекул угля выше, чем давление за его пределами. Это и является движущей силой истечения метана из угля.

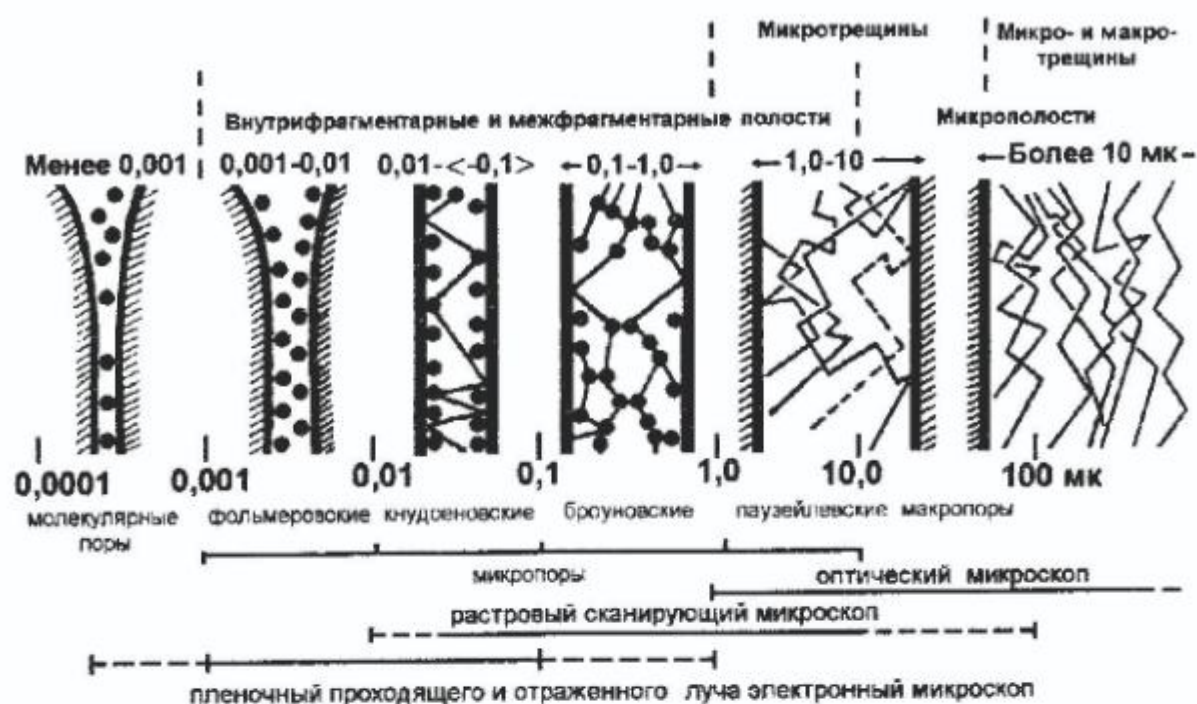


Рис. 4 – Размер полостей в углях и методы их наблюдения
(по И. Л. Эттингеру и В. В. Кирюкову)

По-видимому, наличие оттока способствует протеканию процесса генерации. Вполне вероятно, что повышение давления внутри агрегатов макромолекул будет препятствовать или затруднять процессы метаногенерации. Процесс метаногенерации проходит под воздействием целого ряда геологических факторов, определяемых, в основном, глубиной доинверсионного погружения органического вещества и всей угленосной формации. В состав этих факторов входят температура, как мера теплового воздействия, давление (геостатическое, геодинамическое и др.), длительность процесса, достигающая для отдельных фаз миллионов лет, характер среды (тип углевлещающих литоциклоов). Большинство из них детально изучены.

Остановимся лишь на тех факторах, которые продолжают оставаться предметом дискуссии и в настоящее время, в частности, длительность или импульсивность теплового воздействия и возможность протекания процесса при относительно невысоких температурах.

Метаногенерация в угольных пластах Донбасса началась в карбоне с некоторым запаздыванием по отношению к метаморфизму углей при погружении пластов и РОВ на глубины 1,5-2 км. Цикличность осадконакопления и многократность погружения незначительно влияли на этот процесс, однако, даже эти незначительные колебания на границах фазовых состояний органического вещества оказывались существенными, т.к. изменялись термобарические условия. Это выразилось в возможном начале формирования внутрицикловых залежей. В системах метаногенерации (углях и

РОВ) и вмещающих породах (системах метанонакопления) вследствие возрастания давления при инверсии происходило увеличение давления газа и, наоборот, при смене знака движения в угленосной толще возникали растягивающие усилия и образовывались полости, в которые устремлялся газ, т.е. формирование углегазового разреза и угленосной толщи совмещались. Как было показано выше, процесс метаногенерации протекает перманентно в результате изменения термобарических условий до полного истощения ресурса молекулярного агрегата (середина стадии 12А, $\lg p < 3,5$), а процесс метанонакопления (перераспределения выделившегося метана) может продолжаться миллионы лет, вплоть до полной естественной дегазации угленосной толщи. Но благодаря тому, что молекулярный агрегат угля находится в метастабильном состоянии, а степень открытости системы (угленосная толща - метаногенератор) носит непостоянный характер, полной метановой дегазации не происходит.

Таким образом, мы приходим к выводу, что метаногенерация является составной частью метаморфизма углей и метан отделяется от агрегата макромолекулы угля в пределах одного фазового состояния, т.е. до исчерпания ресурса, присущего данному термобарическому состоянию. Дальнейший процесс метаногенерации возможен при переходе угля в результате метаморфизма в следующее фазовое состояние.

Изложенное выше относится к нормальным процессам регионального метаморфизма и метаногенерации. Отклонения от этих условий (проявления АВПД, воздействие или параллельное наложение других процессов метаморфизма – тепла магматогенных очагов или их флюидов и др.) могут вызывать существенные отклонения от предложенной схемы.

АВД в скоплениях жидких и твердых углеводородов возникают по многим причинам, которые в ряде случаев воздействуют одновременно и проявляются на разных уровнях – от макромолекул до геологических структур. Одной из главных из них является развивающееся метастабильное состояние генерирующего углеводороды органического вещества. В этом процессе отделение метана из макромолекул угля может лимитироваться как каналами истечения в самом угле, так и мембранным эффектом во вмещающих породах. Малейшее уменьшение поперечника каналов истечения метана в молекулах угля (под влиянием геостатического, горного и др. давлений) приводит к их закупорке и возникновению явления «коллапса». Вследствие этого возрастает внутримолекулярное давление метана. При широком развитии явления коллапса происходит как очаговая локализация зон АВД, так и объединение их в более крупные системы (АВПД).

Наиболее интенсивно проявляющимся фактором метаногенерации являются аномальновысокие давления, возникающие на макромолекулярном, надмолекулярном, пластовом и других уровнях. Изменения структуры угля при ГДЯ на надмолекулярном уровне, наблюдаемые в РЭМ [8], и молекулярном, предполагаемые по изменению состава выброшенной твердой фазы, происходит под действием АВД и сопровождается отделением (генерацией) молекул метана. [12, 14].

Момент проявления давления, связанный с коллапсом - закрытием или открытием газопроводящих каналов, диаметр которых соразмерим с величиной молекулы метана, сопровождается лавинообразно возрастающим выделением метана. При крупномасштабном развитии этот процесс в сочетании с другими факторами становится одной из важной составляющих возникновения АВПД. При этом следует понимать, что процесс проявления и развития АД имеет волновой характер. Уголь как бы дышит. Возможно в проявлении этого процесса и кроется разгадка явления внезапного выброса угля и газа. [8, 11, 12] Отработка защитных пластов, не снимая проблему газоносности, снимает проблему закрытости системы угольного пласта на макроуровне, разгружает угольный пласт от АД, что, безусловно, сказывается на молекулярном взаимодействии внутри молекулярного агрегата выраженном в его метастабильном фазовом состоянии.

ВЫВОДЫ

1. Метаногенерация в угольных пластах является составной частью изменений фазового состояния угля как твёрдого тела, проходящих в результате метаморфизма углей. Выделяется ряд фазовых состояний ряда метаморфизма каменных углей (с соответствующим типом метаногенерации): 1Д - 2Г-неорганизованная (аморфная) структура без разделения ядра и периферийной части макромолекул, слабая неустойчивая метаногенерация; от 2Г до 3Г- начало структурирования макромолекулы и устойчивой метаногенерации, угольный пласт метаногенератор и автоколлектор; 4Ж - 7Г - заметная дифференциация ядра и периферии макромолекул, основная метаногенерация, угольный пласт авто - и аллоколлектор; 8Г - 11А - состояние полного перехода от неорганизованной к организованной структуре угля, завершение метаногенерации и максимальная газонасыщенность, угольный пласт мощный автоколлектор.

2. Миграция метана в угленосной толще осуществляется на трёх уровнях: внутримолекулярном - регулируется законами молекулярной диффузии и размерами межмолекулярных полостей; внутрипластовая - определяется изменениями физического состояния угольного пласта по стадиям метаморфизма и явлениями внутрипластовых деформаций; межпластовая - определяется общегеологическими факторами. Первый вид миграции является главным в создании метанового флюида, а второй и третий - в локализации скоплений метана в угленосной толще.

3. Рассмотренная схема газогенерации ископаемых углей показала, что главным и единственным источником углеводородов в угленосной толще является преобразуемое при метаморфизме органическое вещество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. -М., изд. ИПКОН, 1988. -135 с.
2. Газообильность угольных шахт СССР Комплексное освоение газоносных угольных месторождений. А.Т Айруни, Р.А. Галазов, И.В. Сергеев и др. Ред Г.Д. Лидии. М., Наука, 1990. - 206 с.
3. Газообразование при катагенезе осадочных пород. Сб. Т. ЛОНедра 1983. -164.
4. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М. Недра. 1968. -224 с.

5. Глущенко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых. М., Металлургия, 1990. – 296 с.
6. Дегазация Земли и геотектоника. СБ. Наука 1980, 292 с.
7. Ермаков В.М., Скоробогатов В.А. Образование углеводородных газов в угленосных и субугленосных формациях. М., Недра, 1984. – 205 с.
8. Кирюков В.В., Брижанев А.М., Очкур Н.П. Электронно-микроскопические исследования витринита донецких углей с целью прогноза внезапных выбросов угля и газа. Уголь. 1994, № 5. с. 44-48.
9. Кирюков В. В., Куш О. А. Геологическое обоснование эффективной добычи угольного метана на метанугольных месторождениях Донецкого бассейна. // Сб. Геология угольных месторождений. Вып. 8. Эк. Изд. УГТА, 1998, С. 173-182.
10. Лосев Н.Ф., Труфанов В.Н., Смирнов Б.В., Фролков Г.Д. Процессы и явления сопровождающие выделение угля и газа. Уголь-выброс. Вып. 13. Ростов-Дон. 1994. – 23 с.
11. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. и др. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. -М., Изд. АГН. 2000. - 519 с.
12. Пасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. Л. ЛОНедра, 1990. - 283 с.
13. Саранчук В.И., Айруни А.Т., Ковалев К.Е. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля. – Киев: Наукова думка, 1988. – 192 с.
14. Справочник по геохимии нефти и газа. СПб, СПб. ОНедра, 1998. – 575 с.
15. Угольная база России. Т. VI. Геоинформмарк. 2004. С. 430-45.
16. Успенский В.А. Введение в геохимию нефти. Л., ЛОНедра, 1970. 309 с.

УДК 622.838

Докт. техн. наук В.Г. Перепелица
(ИГТМ НАН Украины),
науч. сотр. С.Е. Толчий (ДонНИИ)

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫЕМКИ УГЛЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫБРОСООПАСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

У статті наведено дані наукових досліджень, що їх виконано у ДонНДІ та ІГТМ НАН України у мережі управління процесом виїмки вугілля із залучення шахтного сейсмопрогнозу.

ON-LINE CONTROL OF PROCESS OF THE COAL EXTRACTION WHILE DEVELOPING THE COAL SEAMS WITH RISK OF BURST

The article presents data of scientific researches made by Institute DonNII and IGTM of National Academy of Sciences of Ukraine in the field of controlling the process of the coal extraction with using seismic forecast for mining.

Практикой ведения очистных работ на выбросоопасных угольных пластах, с применением сейсмоакустики установлено, что используя оценку экстраполированной и действительной активности акустической эмиссии (АЭ), можно определить эффективность регулирования интенсивности технологического воздействия на угольный массив. Наиболее наглядной оценкой эффективности оперативного управления может быть сопоставление результатов прогнозирования потенциальной опасности проявления газодинамической активности выбросоопасных угольных пластов при обычной технологии и при регулировании интенсивности выемки угля.

В первом случае расчеты прогнозов выполнены с учетом активности, определенной в часовых интервалах оперативного управления по экстраполированной траектории накопления импульсов АЭ; во втором - по