

чество заключений, принимаемых на основе результатов, всецело зависит от квалификации, а также, применительно к расчету на прочность, принципиального знакомства с основами МКЭ [3]. Таким образом, не следует основывать проектные решения исключительно на данных, представленных САЕ. Использовать эту информацию необходимо совместно с экспериментальными данными и практическим опытом. Испытания в условиях эксплуатации должны быть обязательны для утверждения окончательного проекта. Однако в настоящее время системы САЕ помогают значительно уменьшить время анализа, расчета путем уменьшения количества и времени проектирования испытаний в условиях эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алямовский А. А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984.
3. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред: Пер. с англ. - М.: Мир, 1976.

**УДК 622.324:550.8.01**

Канд. геол.-минерал. наук А.А. Майборода,  
канд. геол.-минерал. наук А.А. Голубев,  
канд. техн. наук В.А. Анциферов,  
канд. геол.-минерал. наук Л.А. Иванов  
(УкрНИМИ НАН Украины)

#### **ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ТОЛЩ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА**

Розглянуто колекторські властивості вугленосних товщ, розподіл газогенеруючої органічної речовини, умови формування газових родовищ.

#### **GENETIC FEATURES OF GAS PRESENCE IN COAL MEASURES OF THE DONETS BASIN**

Reservoir properties of coal measures, distribution of gas-generating organic matter, conditions of gas field formation are considered.

Оценка потенциала генерации углеводородных газов во всей толще угленосных формаций Донбасса - актуальная проблема, необходимость решения которой постоянно возникает при определении источников газообильности горных выработок и при геологоразведочных работах, направленных на добычу метана.

Однако, невзирая на то, что Донбасс рассматривается не только как угольный, но и как газоносный регион, газоносность угольных пластов которого изучена детально, недостаточно уделялось внимания исследованию газоносности всех вмещающих пород [1]. Исключением являются песчаники, обладающие высокими гранулярными коллекторскими свойствами, перспективные по со-

держанию свободного метана. Песчаники исследовались и при изучении выбороопасности. Эти вопросы достаточно детально и разносторонне освещены в многочисленных работах различных авторов и, прежде всего, в трудах таких известных исследователей, как В.Е. Забигаило и В.В. Лукинов.

Важнейшим фактором, от которого зависит величина первичной газоносности угленосной толщи есть общая угленосность отложений, учитывающая как углистое вещество, концентрированное в угольных пластах и пропластках (КОВ), так и рассеянное во вмещающих породах (РОВ). Причем, масса РОВ в угленосных толщах Донбасса, учитывая огромную их мощность, при соответствующем генерировании метана намного больше КОВ и составляет до 60 % от общего количества углистого вещества. О весьма существенном вкладе РОВ в угленосность толщ (и, соответственно, в их газоносность) может служить пример его оценки для Донецко-Макеевского района [2]. Угленосность продуктивных толщ этого района оценивается коэффициентом угленосности порядка 0,04; при этом на долю угольных пластов рабочей мощности приходится 0,007, нерабочей мощности - 0,008, а на РОВ в породах - около 0,026.

Наличие в угленосных формациях углистого материала в виде КОВ и РОВ, характеризующегося присутствием в нем значительных количеств (до 90 %) углерода органического происхождения, обусловило специфичность коллекторов угленосных отложений и их отличие от таковых у пород газовых месторождений. В отличие от последних, представленных только одним (гранулярным или трещинно-поровым) типом коллектора, угленосные отложения характеризуются двумя свойственными только им, типами коллекторов. Один из них - это емкость порового (порово-трещинного) пространства пород, которая приближает их к коллекторам газовых месторождений. Второй тип - это сорбционная емкость углистых включений в породах. С увеличением насыщенности горных пород органикой увеличивается их газоносность. Причем, если с увеличением степени катагенеза пород гранулярные коллекторские свойства пород ухудшаются за счет снижения пористости, то сорбционные свойства РОВ увеличиваются и в результате общая величина газоносности пород не только не уменьшается, а возрастает. Поэтому благодаря наличию в угленосных формациях двух типов коллекторов непосредственная взаимосвязь газоносности пород с каким-либо одним их признаком, (например, таким важнейшим, как пористость) не проявляется, т.к. постоянно налагается влияние органики.

В целом, сорбционная емкость вмещающих пород незначительная. Однако, если в породах содержится РОВ, то их сорбционная способность существенно повышается. При содержании в породах 20 – 30 % тонкорассеянной органики и тем более в углистом аргиллите (РОВ до 40 %) газоносность растет до 5,0 - 7,0 м<sup>3</sup>/т (7,5-17,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> породы) [1]. Например, на участке «Бутовском-Глубоком» в Донецко-Макеевском районе в скв. Щ-797 и Щ-764 при содержании РОВ в аргиллитах 30 и 34 % газоносность их составила соответственно

8,5 и 10,1 м<sup>3</sup>/т пород, что приближается к газоносности угольных пластов, имеющих здесь обычно значения 15-18 м<sup>3</sup>/т с.б. м.

Таким образом, решение вопросов, содержания и распределения растительного органического вещества в угленосных формах получает важное научное и практическое значение для: оценки газогенерирующего потенциала конкретных углепородных массивов; выяснения распределения в их разрезах источников газообразования; расчетов сорбционной емкости пород, связанной с органическим веществом.

При изучении газоносности Донбасса в УкрНИМИ НАНУ одно из направлений специальных исследований заключалось в установлении распределения газогенерирующего РОВ во всех литолого-фациальных типах пород. Методика работ опиралась на анализ содержания в них растительных остатков, сохранивших вещество растений (например, в виде фитолеймов), их количества (включая детрит), сохранности и т.д. Она базировалась на результатах предыдущих литолого-фациальных исследований [3, 4] с привлечением литолого-тафономического метода (по Г.П. Радченко, 1964), заключающегося в том, что фиксируются не только формы содержания растительных остатков в тех или иных фациальных типах пород, но и исследуются причины такого содержания, кроющиеся в условиях и гидродинамическом режиме осадконакопления. Установлено [5]: газогенерирующее РОВ растительного происхождения сосредоточено в фациальных типах континентальной и переходной от континентальной к морским группам пород, а морские отложения крайне бедны растительными остатками - это единичный детрит или сечка; количество РОВ увеличивается с уменьшением показателей гранулометрии (от песчаников к аргиллитам) и с изменением слоистости пород – от косой к горизонтальной; в этих же направлениях изменяется состав и сохранность остатков – от грубых, неопределимых фрагментов стеблей до листовых, определимых до вида. Растительного детрита и сечки много во всех фациальных типах пород континентальной и переходной групп. Подчеркивается закономерная зависимость состава, сохранности и количества растительного РОВ от гидродинамических условий седиментации. Увеличение и улучшение этих показателей непосредственно зависело от перехода беспокойной водной среды к спокойной, способствующей соответствующему накоплению тонкозернистого и глинистого горизонтально-слоистого материала.

Результаты исследований распределения газогенерирующего РОВ в угленосных формах в зависимости от литолого-фациальной принадлежности пород имеют несомненно важное теоретическое значение. Получено очередное подтверждение зависимости количественного, качественного содержания и распределения РОВ в любых фациальных типах пород от условий осадконакопления. В свою очередь последние обуславливают такие показатели углеводородных пород, как их литологический, гранулометрический состав и слоистость, которые являются основными факторами формирования коллекторских свойств пород. Это обосновывает возможность построения обобщающей и упрощенной

классификации углевмещающих пород для изучения распространения РОВ в угленосных формациях, базирующейся не на фациальной, а на литологической основе, основными диагностирующими признаками которой являются гранулометрия и тип слоистости. В ней выделяются следующие группы пород [5]: косослоистые среднезернистые песчаники (фации АР, ПР, ПП); горизонтально или косоволнистослоистые мелкозернистые песчаники (АП, ПВ, ПО); горизонтально или косоволнистослоистые алевролиты (АП, ПГ, ПВ, ПО); горизонтально-слоистые аргиллиты (ПГ, ПВ, ПО); тонкогоризонтально-слоистые углистые аргиллиты (БЗ); стигмаривая почва, «кучерявчик» (БП). Учитывается количественное распределение РОВ вне зависимости от видового состава, форм и целостности углефицированных растительных остатков. Такая классификация в отличие от литолого-фациальной вполне доступна для практического использования широкому кругу геологов как при изучении и расчленении разрезов в полевых условиях, так и при камеральной переинтерпретации имеющегося материала (колонок скважин, каротажных диаграмм).

По степени насыщенности пород углистыми включениями выделяется 3 группы: 1 – породы слабообогащённые Сорг с содержанием последнего от 0 до 10 % (в сред. 5%) с зольностью (Ас) – 90 – 100 %; 2 – породы, обогащённые органикой от 10 до 25 % с Ас – 75 – 90 %; 3 – породы с высоким содержанием РОВ (более 25 %), переходные к углистым аргиллитам, Ас менее 75 %. Анализ данных по газоносности пород, полученных с помощью газокернонаборников (ГКН), показал, что газоносность пород при переходе из одной группы в другую (по степени насыщенности органикой) увеличивается более чем в два раза.

Еще в первой половине прошлого столетия установлено, что органическое вещество в процессах превращения в угольную массу и дальнейших метаморфических преобразований выделяет огромное количество газов с преобладанием на начальной стадии углефикации  $\text{CO}_2$ , а на завершающих, при переходе каменных углей в антрациты – метана ( $\text{CH}_4$ ). Наиболее реальные объемы генерации метановых газов указаны Г.Д. Лидиным: при переходе бурых углей в длиннопламенные выделяется 30 - 40 м<sup>3</sup>/т метана, при переходе последних в жирные – 70 - 80 м<sup>3</sup>/т, в тощие – 120 - 150 м<sup>3</sup>/т и слабометаморфизованные антрациты – до 200 м<sup>3</sup>/т.

Движущей силой в миграционных потоках УВГ является квазистационарный (непрерывно-прерывистый) процесс их генерации (при высоких температурах и давлениях) с превышением объемов и скорости образования газов над их диффузией к поверхности. Эмиграция флюидов от места генерации или накопления направлена в сторону разгрузки по наиболее короткому пути – в зоны разломов, в своды антиклиналей, места размыва угленосных толщ и т.д. Основные пути этих потоков проходят по напластованию проницаемых горизонтов, вверх по их восстанию. При наличии экрана или какой-либо другой ловушки на

их пути в локальном участке происходит накопление свободных газов до уровня газогидродинамического равновесия во всей подвижной системе.

Угленосные отложения распространены на территории Большого Донбасса как в пределах Центрального прогиба, так и на обрамляющих его субплатформенных склонах. Структурно-тектонические условия, развитие здесь куполовидных форм и хорошие коллекторские свойства песчаников характерных для стадии их катагенеза, включающей угли марок Д - Г (пористость порядка 13 – 21 %, проницаемость от 20 - 30 до 200 - 300 мД) способствовали образованию здесь скоплений углеводородных газов и их месторождений.

Так, на границе Западного Донбасса с Украинским кристаллическим массивом в Зачепиловско-Левенцовской зоне, из двух десятков перспективных структур на 13 открыты газовые и газоконденсатные месторождения с начальными разведанными запасами свободных газов от 0,4 - 0,7 млрд. м<sup>3</sup> (Голубовское, Николаевское месторождения) до 7,0 - 17,6 млрд. м<sup>3</sup> (Кременовское, Пролетарское) [6].

На северных окраинах Донбасса, в Луганской обл., в прибортовой части с Воронежским кристаллическим массивом в принадвиговой зоне протянувшейся с юго-востока на северо-запад на 350 км при ширине от 10 до 35 км (названной нами Северо-Донецкой газо-нефтеносной зоной), открыто 15 газоконденсатных, (из которых Дружелюбовское – нефтегазоконденсатное) месторождений с начальными разведанными запасами газа от 1,3 - 2,1 до 7,8 - 10,5 млрд. м<sup>3</sup> [6].

Сопоставление компонентного состава газов газовых месторождений окраинных зон Донбасса и промышленного Донбасса свидетельствует о существенной близости составов свободного газа газовых и угольных месторождений, за исключением газов, содержащихся в суперантрацитах (12-й и 13-й групп и выше), отличающихся низким содержанием метана, который не генерируется этими группами. Можно сделать вывод, что месторождения свободного газа окраинных зон Донбасса сформированы преимущественно за счет метаморфогенных углеводородных газов, генерированных органической (угольной) массой пород. Подтверждением этому являются результаты исследований компонентного состава и газоносности по трем глубоким параметрическим скважинам (2,5 - 3,0 км), пробуренным ГРГП «Донецкгеология». В пределах вскрытой до 3 км угленосной толщи с углями всего метаморфического ряда прослежено закономерное увеличение газоносности углей от 2,4 м<sup>3</sup>/т (марки Д-Г) до 30 м<sup>3</sup>/т с.б.м. – в низкометаморфизованных антрацитах с последующим спадом до 3,0 - 0,7 м<sup>3</sup>/т с.б.м. – в суперантрацитах. Соответственно изменялась и концентрация метана с 96 – 98 % (в интервале марок углей Д, Г – 10А) до 17,5 - 4,5 % в антрацитах 12-й группы. Аналогично снижение метана и в породах, вмещающих суперантрациты, которые вне нарушенных зон практически непроницаемы и не содержат скоплений газа. Резкое снижение газоносности и уменьшение до минимума метана, свидетельствует об отсутствии генерации его суперантрацита-

ми и об отсутствии в ощутимых объемах глубинных подтоков (если они имели место) газа другого компонентного состава и происхождения.

Обобщая изложенное, можно сделать следующие выводы:

- генерирующим источником углеводородных газов в угленосных формациях является органическое вещество растительного происхождения в концентрированном (в угольных пластах) и рассеянном (во вмещающих отложениях континентальной и переходной групп фаций) видах;

- весьма существенен вклад РОВ вмещающих пород в газогенерирующий потенциал угленосных толщ, оценку их газоносности и выяснение распределения в их разрезах источников газообразования;

- газоносность угленосных толщ непосредственно зависит от их угленосности и, соответственно, насыщенности их КОВ и РОВ, обусловленной условиями седиментации;

- свободные газы газовых и газоконденсатных месторождений окраинных зон Донбасса и сорбированные газы Центрального Донбасса имеют близкий компонентный и изотопный состав, что подтверждает их однозначный генезис;

- высокометаморфизованные антрациты (суперантрациты группы метаморфизма А12 и выше) не продуцируют метан, а породы их вмещающие не содержат скоплений или месторождений УВ-газов;

- газовые и газоконденсатные месторождения формируются в основном в высокопористых коллекторах пород относительно низких стадий катагенеза с углями марок Д - Г - Ж. Начальные разведанные запасы УВ-газов в них могут составлять от 1 до 10 - 17 млрд. м<sup>3</sup>;

- для отложений с углями марок К-ОС-Т более характерны микроскопления УВ-газов с запасами от нескольких миллионов до 3,0 млрд.м<sup>3</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газоносность угольных месторождений Донбасса / А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов, В.А. Привалов, А.А. Голубев, А.А. Майборода, В.А. Анциферов; Под ред. Н.Я. Азарова. – К.: Наук. думка, 2004. – 232 с.

2. Лидин Г.Д., Айруни А.Т. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Т.III. Газообильность каменноугольных шахт Центрального района Донецкого бассейна. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 351 с.

3. Атлас литогенетических типов угленосных отложений среднего карбона Донецкого бассейна / Л.Н. Ботвинкина, Ю.А. Жемчужников, П.П.Тимофеев и др. – М.: Изд-во АН СССР, 1956.- 368 с.

4. Руководство по экспресс - определению прочностных свойств углевлещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин /А.А. Майборода, Р.Х. Миняфаев, О.С. Алферов, А.А. Яланский; Под ред. Н.Я. Азарова: Утв. ВГО «Союзуглегеология». 28.12.84 г., срок действия установлен с 01.01.85 г. - Днепропетровск: Заря, 1988. - Ч. 1. – 48 с., Ч. 2. – 84 с.

5. Майборода А.А., Анциферов В.А. Газогенерирующее органическое вещество и его распределение в угленосных формациях Донбасса // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк. – № 1. – 2007. – С. 21-38.

6. Оценка геологических перспектив освоения УВ-газов угленосных отложений в Юго-Западном Донбассе / отчет о НИР (закл.), ГРГП «Донецкгеология», А.А. Голубев. - № ДР 0197U13753. – Артемовск, 1997. – 210 с.