

УДК 622.324:550.8.01

КОЛЛЕКТОРЫ МЕТАНА В УГЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЯХ ДОНБАССА

**Майборода А. А., Анциферов В. А., Голубев А. А.,
Иванов Л. А.**

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Наведено основні чинники формування, зміни і газоносності колекторів метану вугленосних формацій Донбасу.

Main factors relating to formation, alteration and gas content of methane reservoirs of coal-bearing strata in the Donets Coal Basin are described.

При проведении научных исследований, связанных с одной из наиболее актуальных проблем в области природопользования – газоносностью угленосных формаций, изучение коллекторских свойств угленосных толщ имеет первостепенное значение. Это подчеркивается специфичностью коллекторов угленосных формаций, в которых первостепенную роль имеет сорбционная емкость углистого вещества, от содержания, распределения и количества которого в различных литолого-фациальных типах пород и степени их эпигенеза зависит общая величина газоносности угленосных толщ.

В отличие от газовых месторождений, где газ находится главным образом в одной фазе - свободной, а в зоне газовойдно-го контакта в двух - свободной и водорастворенной, в угленосных толщах газ находится в трехфазном состоянии: в виде водорастворенного, свободного и сорбированного углистым веществом, рассеянным в породах или сконцентрированным в угольных пластах. Следовательно, газоносность этих толщ определяется суммарной емкостью двух типов коллекторов: порового про-

странства пород и сорбционной способности органического вещества. В целом, доля свободного газа в угленосных формациях Донбасса невелика и по данным разных авторов колеблется в пределах 5-15 %. Основной объем метана находится в сорбированном виде.

Изучению коллекторов метана посвящено много публикаций различных авторов [1-11] и др. Этому вопросу всегда уделялось большое внимание и авторами данной работы [12-16] и др. В них чаще рассматриваются отдельные типы коллекторов, а не образующийся из них комплекс. В настоящей статье приведены результаты теоретического анализа, преследующего цель выделения главнейших факторов формирования каждого типа коллекторов и обобщения воедино основной информации обо всей их совокупности.

Проанализирована информация о формировании и изменениях в угленосных толщах трех типов коллекторов метана: гранулярного, трещинно-порового и сорбционной емкости углистого вещества.

Основные положения, полученные в результате этого анализа, следующие.

Гранулярные коллекторы метана. Гранулярными коллекторами являются песчано-алевритовые породы, характеризующиеся межгранулярной пористостью и проницаемостью. Следовательно, основным признаком гранулярных коллекторов является литологическая принадлежность пород.

Гранулярные коллекторские свойства пород есть функция условий осадконакопления: гидродинамического режима, обусловленного скоростью течений, отдаленностью областей сноса, глубиной бассейна и другими факторами седиментации, от которых зависит гранулометрический состав отложений.

Формирование этого типа коллекторов происходило уже на стадиях диагенеза и раннего эпигенеза в результате тесного взаимодействия фациальных и геотектонических факторов, определяющих основные наиболее характерные качественные и количественные черты горных пород угленосных формаций.

При изучении углеводородных пород, как коллекторов гранулярного типа, основное внимание уделяется их структурным и

текстурным особенностям, обуславливающим емкостные и фильтрационные свойства.

Основным гранулярным коллектором метана являются песчаники аллювиально-дельтового комплекса фаций, в балансе газонасыщенности которых сосредоточено более 90,0 % свободного метана.

Главными физическими свойствами гранулярных коллекторов являются пористость пород и их проницаемость, значения которых и изменения подчиняются петрофизическим закономерностям. Основная особенность коллекторов этого типа – это закономерное уменьшение значений пористости с увеличением степени эпигенеза, происходящее для всех литотипов пород одинаково направлено, но количественно различно. Причем, с увеличением степени эпигенеза эти различия уменьшаются, а коллекторские свойства пород в целом существенно ухудшаются.

Трещинно-поровые и трещинные коллекторы метана. Главным фактором формирования трещинно-порового и трещинного типов коллекторов метана является тектоническая и техногенная трещиноватость пород.

Во всех случаях газоносность этого типа коллекторов выше, чем гранулярных, поскольку она характеризуется суммарным газосодержанием. Так, доля свободного газа в тектонически нарушенных толщах возрастает на 20,0 - 30,0 %, иногда до 50,0 % и, соответственно, газоносность угленосных толщ в целом существенно выше.

Дизъюнктивные нарушения в зависимости от их характеристик и степени газопроницаемости могут являться как путями миграции газов, так и экранами, способствующими их накоплению.

Формирование техногенных коллекторов метана обусловлено целым рядом горно-геологических и горнотехнических факторов, сопутствующих отработке угольных пластов, и происходит в углепородной толще, ограниченной 100 - 120 м в кровлю и 50 – 60 м в почву отрабатываемого угольного пласта.

Основными физическими свойствами пород, определяющими их роль, как трещинных коллекторов метана, являются объем зияющих трещин и газопроницаемость. Следует учитывать влия-

ние степени эпигенеза на развитие зон повышенной трещиноватости пород, вблизи тектонических нарушения. Вне зависимости от типа дизъюнктива при равных амплитудах смещения с увеличением степени эпигенеза уменьшается ширина трещиноватой зоны влияния нарушений.

В литологическом отношении основными коллекторами рассматриваемого типа являются песчаники вне зависимости от степени их эпигенеза.

Для угленосных формаций Донбасса максимальным развитием трещиноватости характеризуются угленосные толщи Донецко-Макеевского района.

Сорбционная емкость углистого вещества. Сорбционная емкость газогенерирующего углистого вещества (сконцентрированного в угольных пластах или рассеянного во вмещающих породах) – основной фактор формирования газоносности угленосных формаций, в которых от 85 до 95 % метан находится в сорбированном виде.

Из всех видов сорбции (адсорбция, абсорбция, хемосорбция) для углистого вещества наиболее характерна адсорбция газа, ввиду очень большой (150 - 200 м²/г) внутренней поверхности углей. В донбасских углях широко развиты микропоры радиусом до 50 Å (5·10⁻⁶ мм), где практически находится весь сорбированный метан.

Основным фактором, определяющим современную газоносность угольных пластов является метаморфизм углей, с увеличением которого их сорбционная газоемкость непрерывно возрастает, достигая максимальных значений (35 - 38 м³/т с.б.м.) на антрацитовой стадии. Природная газоносность каменных углей всех стадий метаморфизма и слабометаморфизованных антрацитов близка к их сорбционной емкости, менее последней на 10 - 20 %.

На стадии развития суперантрацитов в структуре угольного вещества наблюдается резкий качественный скачок, молекулярная упорядоченность становится столь большой, что сорбирующая поверхность практически падает до нуля, суперантрациты группы метаморфизма А12 и выше не продуцируют метан, его

удельное содержание снижается до практически полного отсутствия.

Сорбционная емкость вмещающих пород по сравнению с углем незначительна и непосредственно зависит от количества рассеянного в них органического вещества (РОВ). Так, в углестых аргиллитах (РОВ до 40 %) газоносность возрастает до 5,0-7,0 м³/т (7,5-17,5 м³/м³ породы).

Зависимость сорбции пород от их литологического состава (возрастание от песчаников к аргиллитам) объясняется увеличением содержания РОВ с уменьшением гранулометрических показателей (также от песчаников к аргиллитам).

Показатели сорбционной емкости вмещающих пород закладываются еще на стадии седиментогенеза, зависят от фациальных условий осадконакопления, гидродинамического режима, которые обуславливают гранулометрический состав пород и количество РОВ в них.

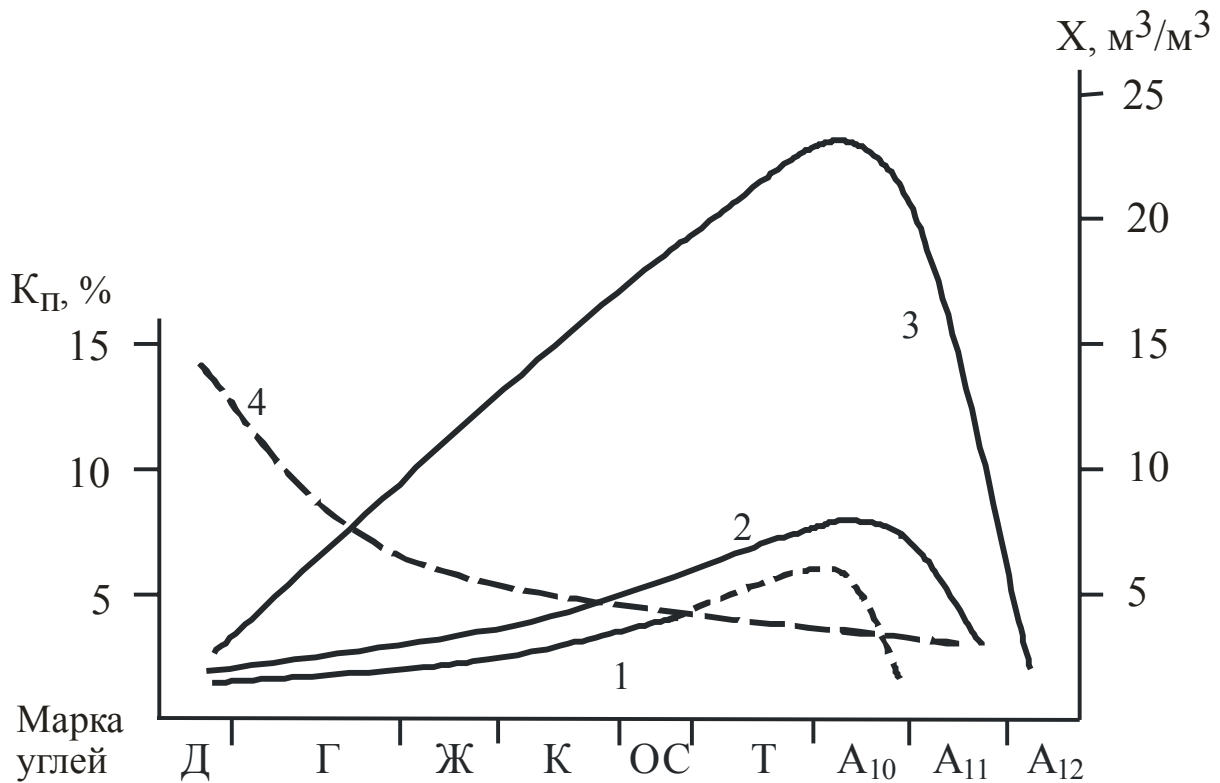
Процессы возрастания сорбционной газоемкости РОВ вмещающих пород с увеличением степени эпигенеза последних аналогичны изменениям сорбционной емкости углей под влиянием метаморфизма.

Следовательно, основными факторами, определяющих сорбционную емкость пород и их соответствующую газоносность являются количество содержащегося в них РОВ и степень эпигенеза.

Нами построена **обобщающая модель**, отображающая роль различных коллекторов в изменение газоносности (суммарной, включающей свободный и сорбированный метан) угленосных формаций Донбасса в зависимости от степени эпигенеза пород и метаморфизма углей (рис. 1). При ее построении использованы некоторые количественные показатели, приведенные, прежде всего, в отчетах бывшего ПГО «Донбассгеология».

Непосредственной взаимосвязи отдельных коллекторских свойств с общей газоносностью не наблюдается, поскольку последняя есть результат многофакторных явлений. И это касается, прежде всего, коллекторов гранулярного и трещинно-порового типов.

Наглядным подтверждением этому является повышение суммарной газоносности угленосных толщ с увеличением стадии эпигенеза за счет повышения вклада сорбированной емкости углистого вещества, несмотря на то, что роль гранулярных коллекторов со снижением пористости убывает.



- К_п – общая пористость;
- Х – газоносность;
- 1 - гранулярные коллекторы со средним содержанием РОВ;
- 2 - трещинно-поровые коллекторы;
- 3 - сорбционная емкость углистого вещества;
- 4 - средняя пористость пород.

Рис. 1. Обобщающая модель газоносности коллекторов метана угленосных формаций Донбасса

Газоносность гранулярных коллекторов зависит не только от их пористости, но и от количества РОВ в них. И чем выше степень эпигенеза пород, тем более существенным становится влияние органики по сравнению с пористостью, значения которой к тому же снижаются. Т.е. получается, что с повышением степени эпигенеза пород газоносность гранулярных коллекторов

повышается, что на первый взгляд кажется парадоксальным, поскольку пористость их уменьшается. Однако, здесь показан вклад не только свободного метана (содержание которого уменьшается), а приводится суммарная газоносность, включающая свободный и сорбированный метан (роль которого существенно возрастает). Причем, закономерно это возрастание будет тем значительнее, чем выше насыщение пород РОВ. Для пород, находящихся на стадии эпигенеза, включающей угли марки ОС и выше, существенно снижаются значения пористости (у песчаников менее 4 %, у алевролитов менее 3,5 %). Свободный метан отсутствует, роль этого типа коллекторов, как гранулярных, утрачивает значение, газоносность пород зависит только от количества сорбированного РОВ.

При моделировании трещинно-порового коллектора использована закономерность увеличения (в среднем на 30 %) газоносности пород с этим коллектором в сравнении с гранулярным. Последнее обуславливается тем, что для этого типа коллектора характерен дополнительный приток газа по трещинам и чем значительнее трещиноватость пород тем, естественно, выше будет их газоносность при прочих равных условиях. В модели наиболее высокие значения газоносности коллектора этого типа показаны для зон эпигенеза, включающих угли марки Т и А₁₀. Это может быть объяснено тем, что при переходе от позднего катагенеза к метагенезу происходят новые качественные изменения как в углях, так и во вмещающих породах. Развивается и достигает максимума плитчатость, сланцеватость, сопровождаемые увеличением хрупкости пород и их трещиноватости, что соответственно сказывается на повышении газоносности трещинно-порового коллектора. В целом суммарная газоносность этого типа коллектора складывается из трех факторов – пористости пород, количества РОВ в них и степени их общей трещиноватости, включая тектоническую и техногенную трещиноватость, которые следует рассматривать обособленно, для каждого шахтного поля.

Что касается третьего, основного для угленосных формаций коллектора – сорбционной емкости углистого вещества, то его газоносность обуславливается единственным и основным факто-

ром – наличием и количеством органического вещества и, естественно, степенью его метаморфизма.

Резюмируя основные положения, полученные в результате анализа коллекторов метана в угленосных формациях Донбасса, можно сделать следующие выводы:

- угленосные отложения образуют три типа коллекторов – гранулярные, сорбционные и трещинно-поровые, главными факторами формирования которых являются: литолого-фациальная принадлежность пород, степень их насыщенности газогенерирующим органическим веществом, стадии эпигенеза пород и метаморфизма углей, тектоническая и техногенная трещиноватость пород;

- коллекторские свойства пород заложены на самой ранней стадии литогенеза (седиментогенезе) в результате тесного взаимодействия фациальных и геотектонических факторов, обусловивших гидродинамический режим осадконакопления, от которого зависит гранулометрический состав пород, распределение и количество в них органического вещества, определяющие показатели гранулярных и сорбционных коллекторов метана;

- толщи пород одного и того же литолого-фациального состава, находящиеся на одной и той же стадии эпигенеза, характеризуются одинаковыми коллекторскими свойствами и, соответственно, газоносностью. При этом изменение последней зависит от степени трещиноватости массивов горных пород (как тектонического, так и техногенного генезиса) и их обводненности. Т.е. суммарная газоносность угленосных толщ складывается из природной (связанной с гранулярными коллекторами и сорбционной емкости углестого вещества) и дополнительных поступлений газа по трещинным коллекторам;

- построенная модель носит обобщающий характер, отображая тенденции в изменении фоновой газоносности (суммарной, включающей свободный и сорбированный метан) угленосных формаций Донбасса в зависимости от степени эпигенеза пород и метаморфизма углей. Модель может быть использована как методическая основа для определения газоносности конкретных структур и выявления в их пределах аномальных значений, указывающих на образования скопления метана.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Ханин, А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение [Текст] / А.А. Ханин. – М.: Недра, 1969.
2. Лукинов, В.В. Горно-геологические условия образования скоплений свободного метана на угольных месторождениях [Текст] / В.В. Лукинов // Наук. вісн. НГУ.- 2007. - № 4. – С. 55-59.
3. Лидин, Г.Д. Газообильность каменноугольных шахт Юго-Западной части Донецкого бассейна [Текст] / Г.Д. Лидин, А.Э. Петросян.– М.: Из-во АН СССР, 1962. – 259 с.
4. Айруни, А.Т. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений [Текст] / А.Т. Айруни, Р.А. Галазов, А.И. Брижанев и др. – М.:Наука, 1990.-120 с.
5. Лидин, Г.Д. Газообильность каменноугольных шахт СССР [Текст]. Т. III. Газообильность каменноугольных шахт Центрального района Донецкого бассейна / Г.Д. Лидин, А.Г. Айруни. – М.: Из-во АН СССР, 1963. – 351 с.
6. Брижанев, А.М., Закономерности размещения метана в Донецком бассейне [Текст] / А.М. Брижанев, Р.А. Галазов // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. - М.- 1987.- Вып. 6.- 48 с.
7. Закономерности распределения метана в угольных месторождениях [Текст] / А.Э. Петросян, Г.Д. Лидин, А.М. Дмитриев, Н.Н. Куликова. - М.: Наука, 1973. -147 с.
8. Дубинин, М.М. Поверхность и пористость адсорбентов [Текст] / М.М. Дубинин. В кн.: Основные проблемы теории физической адсорбции. - М.: Наука, 1970.- С. 251-269
9. Кирюков, В.В. Особенности тонкой структуры углей в связи с процессами газогенерации в Донецком бассейне [Текст] / В.В. Кирюков, А.М. Брижанев, В.В. Синолицкий // Ресурсы традиционного газового сырья и проблемы его освоения. – Л.: ВНИГРИ, 1990. – С. 66-73.
10. Эттингер, И.Л. Сорбционные свойства углей и их роль в процессах газовой выделения в угольных шахтах [Текст] / И.Л. Эттингер. – М.: Наука, 1969.

11. Каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов [Текст] / МакНИИ. - Макеевка, 1988. - 49 с.
12. Газоносность угольных месторождений Донбасса [Текст] / А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов и др.; под общ. ред. Н.Я Азарова. - К.: Наук. думка, 2004. - 232 с.
13. Разработать методику определения газоносности вмещающих пород в зависимости от их коллекторских свойств и трещиноватости и провести ее опытную проверку в Донецком бассейне [Текст]: отчет по этапу Н1а-1в задания 01.03 проблемы 0.05.07 ГКНТ (заключ.) / ПГО «Донбассгеология»; рук. А.А. Голубев, В.А. Землянхун. – Артемовск, 1984.- 58 с.
14. Генетический аспект формирования скоплений и месторождений свободных углеводородных газов Большого Донбасса [Текст]/ А.А. Голубев, А.А. Майборода, В.А. Анциферов, В.А. Канин // Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАН України – Донецьк. – 2008. – № 3.- С. 25-40.
15. Анциферов А.В., Геолого-геофизический подход к выявлению техногенных коллекторов на угольных месторождениях электромагнитным методом зондирования становлением поля в ближней зоне ЗСБ [Текст] / А.В. Анциферов, Л.А. Иванов, А.А. Майборода, В.В. Туманов, В.А. Анциферов // Сб. тр. НГУ. – Днепропетровск, 2007. - № 4. – С. 50-65.
16. Проведення теоретичного аналізу формування колекторських властивостей вуглевміщувальних порід і зональності їх розподілу в Донецькому басейні [Текст] : звіт по НДР 25/05 (заключ.) / УкрНДМІ НАНУ; кер. А.О. Майборода. – Донецьк, 2008. – 79 с.