

УДК 550.8/553.04

**ПРОБЛЕМА УГОЛЬНОГО МЕТАНА ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА
КАК НЕТРАДИЦИОННОГО ВИДА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

© Труфанов В.Н., Труфанов А.В.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Ликвидация значительной части угольных шахт региона привела к тому, что в недрах Восточного Донбасса остались невостребованными многомиллионные запасы ископаемых углей и сопутствующих полезных ископаемых. Среди них наибольший интерес представляет угольный метан, прогнозные ресурсы которого оцениваются в 500 млрд м³. Комплексное освоение и рациональное использование этого нетрадиционного вида углеводородного сырья – актуальная научно-техническая проблема геологической службы России.

Ключевые слова *Угольный метан, нетрадиционное углеводородное сырье, деструкция, дегазация, добыча.*

В связи с реструктуризацией предприятий угольной промышленности Ростовской области и ликвидацией более 50 угольных шахт в недрах Восточного Донбасса остались невостребованными значительные объемы угольного метана, который может рассматриваться в качестве нетрадиционного источника углеводородного сырья, прогнозные ресурсы которого оцениваются в 500 млрд. м³ [3, 5]. Учитывая значительный дефицит природного газа в рассматриваемом регионе (при годовой потребности 5.5-5.6 млрд. м³ собственная добыча составляет около 600 млн. м³, а уровень газификации шахтерских поселков и городов не превышает 25–30 %), актуальность и практическая значимость исследований по вопросам освоения данных ресурсов не вызывает сомнений. Организация добычи и комплексного использования угольного метана будет способствовать повышению уровня безопасности труда шахтеров и обеспечит создание новых рабочих мест в районах действующих и

ликвидированных угольных шахт. Кроме того, при проведении геомониторинговых исследований установлено, что в результате затопления ряда ликвидируемых угольных шахт Восточного Донбасса происходит неконтролируемое газовыделение из погашенных горных выработок и углепородного массива, приводящее к загрязнению окружающей среды так называемым «мертвым» бескислородным воздухом, метаном, углекислотой и другими токсичными газами [8]. В этой связи, решение проблемы угольного метана имеет не только чисто прагматическое значение, но и представляется одним из эффективных способов обеспечения экологической безопасности региона. Таким образом, данный вопрос содержит несколько взаимосвязанных аспектов, каждый из которых заслуживает всестороннего и обстоятельного рассмотрения.

В течение длительного времени угольный метан в нашей стране и за рубежом рассматривался как попутный (и зачастую мешающий) компонент при добыче ископаемых углей, сдерживающий применение высоких технологий при отработке угольных пластов и являющийся главной причиной возникновения опасных газодинамических явлений при проходке подземных горных выработок в угольных шахтах. Все это приводило к тому, что угольный метан утилизировался попутно с угледобычей, а также в целях превентивной дегазации обрабатываемых угольных пластов для обеспечения безопасного ведения работ. Ситуация коренным образом изменилась с конца 80-х - начала 90-х годов прошлого века, когда во всем мире и в бывшем СССР началась реструктуризация предприятий угольной промышленности. В этой связи угольный метан начал рассматриваться как новый, нетрадиционный источник углеводородного сырья.

Согласно опубликованным источникам в некоторых зарубежных странах уже имеется определенный опыт добычи метана из угольных пластов. В частности, в бассейнах Сан-Хуан, Блэк-Уорриор, Уинта и др. (США) добыча угольного метана достигает 40 млрд. м³ в год [2, 10]. В качестве основного метода интенсификации газоотдачи используются гидроразрыв и пневмо-гидродинамическое воздействие (так называемый метод кавитации). При этом американскими компаниями было пробурено более 17000 скважин, основным целевым предназначением которых являлось определение метанообильных зон. Неплохие результаты показал метод вытеснения метана азотом и углекислым газом, но этот способ добычи находится еще на стадии опытно-конструкторских работ. Заслуживает отдельного внимания метод извлечения метана из выработанного пространства угольных шахт с помощью вертикальных скважин с поверхности. При этом применяется вакуумная дегазация выработанного пространства с последующим использованием разубоженного метана в газотеплогенераторных установках.

Аналогичные технологии достаточно успешно применяются в Китае и Австралии, где ведется опытно-промышленная эксплуатация метаноугольных месторождений с извлечением 10-15 тыс. м³ газа на скважину в сутки. Так в Австралии (университет Квинсленда) разработано новое оборудование по определению и увеличению проницаемости угольных пластов методом нагнетания жидкой СО₂ в угольный пласт, что дает возможность значительно (в несколько раз) увеличить метаноотдачу угольных пластов.

В Голландии на факультете прикладных наук о Земле Технологического университета г. Дельфта разработана новая технология управляемого стимулирования газоотдачи угольных пластов методом нагнетания углекислого газа (технология ПОМ-СО₂), которая обеспечивает двух-трехкратное увеличение добычи метана.

В Германии после ликвидации ряда угольных шахт (Земля Вестфалия) более 25 лет успешно проводятся работы по извлечению метана из выработанного пространства с последующим его использованием в теплоэлектроцентралях. Дебит газа в среднем составляет 6-7 тыс. м / сутки и регулируется интенсивностью применяемых дегазационных установок [2].

В бывшем СССР добыча угольного метана как самостоятельного вида энергетического сырья не проводилась, и его утилизация осуществлялась главным

образом при разработке угольных месторождений в качестве попутного сырья (порядка 500-600 млн. м³/год), а также с целью обеспечения безопасности угледобычных работ. Наиболее интенсивные работы в этом направлении были проведены в Карагандинском и Донецком угольных бассейнах сотрудниками Московского Горного университета и МАКНИИ совместно с производственными предприятиями, которые создали эффективную систему превентивной дегазации обрабатываемых угольных пластов с помощью подземных скважин и подрабатываемых выработок. Менее значимые результаты были получены с использованием поверхностных дегазационных скважин, в которых применялись гидроимпульсные методы интенсификации газовыделения и методы кислотного выщелачивания. Аналогичные работы осуществляются приемниками отмеченных коллективов и в настоящее время [1, 2].

В Украинском Донбассе с 1992 г. НПП «Донугледегазация» и Индустриальным Союзом Донбасса были начаты экспериментальные работы по добыче угольного метана на шахтах им. Засядько, Южно-Донбасской, им. Скочинского и других объектах, где в свое время извлекалось и использовалось до 50 млн. м³ в год. Максимальный дебит по скважинам достигал 8-10 тыс. м³ /сутки. Основными методами интенсификации газовыделения являлись гидроразрыв угольных пластов и разупрочнение углепородного массива при проведении поверхностных дегазационных скважин и подземных выработок. Главными потребителями являлись автотранспортные предприятия (до 80 тыс. заправок в год автомобилем сжатым газом) [8].

В Карагандинском угольном бассейне с 1996 г. АО «Испаткармет» организована добыча угольного метана на опытно-промысловом участке шахты им. Ленина, где функционируют 10 дегазационных скважин с производительностью каждая 6-8 тыс. м³ /сутки. Методом активации метановыделения является закачивание в скважины пароводяной смеси при температуре до 100-120 °С [1].

В России первые работы по данной проблеме начали реализовываться с 1995 года. Наиболее эффективные разработки были использованы в Кузбассе, где силами ЗАО «Метан Кузбасс» был выполнен комплекс геологоразведочных работ, направленных на обнаружение перспективных на угольный метан площадей. В соответствии с этой программой на Таллинской и Новоказанской площадях было пробурено пять тестовых скважин, глубиной до 1500 м, в одной из которых (Таллинская 1-М) получен приток метана до 1570 м³/сутки, что позволило оценить его прогнозные ресурсы в количестве 13,1 трлн. м³. В качестве основного метода интенсификации газовыделения было использовано гидромониторное воздействие (кавернообразование) с предшествующим гидроразрывом угольных пластов. Планируется дальнейшее развитие этих работ, активно поддерживаемых Администрацией Кемеровской области и ОАО «Газпром», с получением в ближайшие три года 3-4 млрд. м³ и в перспективе до 17-20 млрд. м³ /год угольного метана [4].

Целенаправленные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по данной проблеме на территории Восточного Донбасса были начаты в 1998 году. Пилотные проекты были разработаны сотрудниками Геотехцентра-Юг РГУ в рамках программы «Углеметан» НТП «Недра России», при активном содействии ИПКОН РАН и ВНИГРИуголь. В настоящее время эти исследования продолжают на базе Научно-образовательных центров Института наук о Земле Южного федерального университета [6, 7, 9]. На основе проведенной геолого-экономической оценки перспектив освоения угольного метана Восточного Донбасса как нетрадиционного источника энергетического минерального сырья, установлено, что прогнозные ресурсы метана в пределах Восточного Донбасса составляют 450-500 млрд. м³, в том числе на хорошо разведанных месторождениях порядка 90-100 млрд. м³ [3, 5]. В выработанном пространстве ликвидируемых шахт общее количество угольного метана превышает 150 млн. м³, вытеснение которого при их затоплении представляет определенную экологическую опасность.

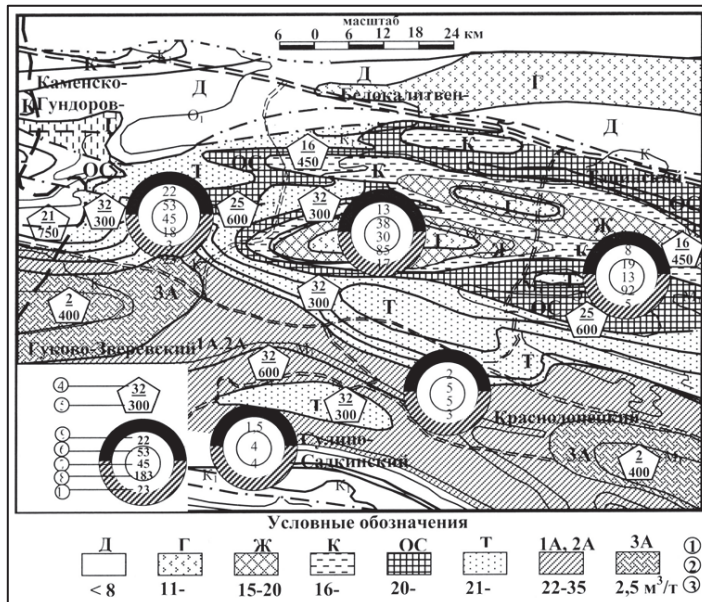
По имеющимся данным основные ресурсы сосредоточены в Сулино-Садкинском (4.0 млрд. м³), Краснодонецком (5.5 млрд. м³), Тацинском (19.0 млрд. м³),

Белокалитвенском (38.0 млрд. м³) и Каменско-Гундоровском (53.0 млрд. м³) геолого-промышленных районах Ростовской области, в которых локализовано 119 млрд. м³ углеводородных газов, в том числе в рабочих угольных пластах 46.5 млрд. м³ метана (рис. 1).

В качестве наиболее перспективного объекта исследования нами было выбрано Краснодонецкое угле-метановое месторождение, находящееся в Белокалитвенском районе Ростовской области. В пределах выделенной территории были пробурены опытно-экспериментальные и научные скважины, что позволило провести комплекс испытаний по апробации новых технологий, направленных на извлечение углеводородных газов из угольных пластов. На основе теоретических и экспериментальных исследований системы «уголь- газ» удалось разработать новые геотехнологические методы деструкции этих систем с увеличением газоотдачи угольных пластов до 70-80% для широкого спектра ископаемых углей, включая антрациты первых степеней метаморфизма. При этом наиболее эффективными оказались комбинированные бароградиентные, гидроимпульсные, рециклинговые и вибрационно-волновые методы воздействия, позволяющие практически полностью дегазировать исследованные типы ископаемых углей. В НКТЬ «Пьезоприбор» было создано уникальное оборудование для интенсификации газоотдачи угольных пластов - ультразвуковой снаряд типа «Вулкан», проведены его лабораторные испытания по дегазации ископаемых углей с положительными результатами.

С использованием данного оборудования пройдены первые тестовые скважины для дегазации угленосных массивов на Божковской и Краснодонецкой площадях глубиной от 200 до 600 м, в результате чего были получены весьма обнадеживающие положительные результаты, выразившиеся в стабильном притоке углеводородных газов с дебитом от 7700 до 24500 м³/сутки. При этом содержание угольного метана в нем достигало 85-95, что указывает на перспективность дальнейшего продолжения этих работ, направленных на совершенствование и развитие представленных технологий.

При этом следует учесть, что если мы говорим об угольном метане, как о нетрадиционном виде углеводородного сырья, то необходимо принимать во внимание ряд специфических особенностей, отличающих его от обычного природного газа.



1 - марка угля; 2 - штриховка значений газоносности; 3,4 - максимальные значения газоносности, м³/т горючей массы; 5 - глубина стабилизации газоносности, м.
Ресурсы метана: 6 - суммарные в углях и свободные; 7 - в углях млрд м³; 8 - плотность, млн м³/км²; 9 - в рабочих пластах; 10 - в нерабочих, млрд м³.

Рис. 1. Схематическая карта газоносности и распределения ресурсов угольного метана в углегазовых районах Восточного Донбасса

По результатам проведенных исследований можно заключить, что угольный метан, как правило, является аутигенным образованием, который возник совместно с угольным веществом в процессе его метаморфизацией. Иными словами, речь идет о единой системе «уголь-порода-газ» в которой содержание метана может варьировать в значительных пределах (от 5 до 45 м³/т) в зависимости от степени метаморфизма углей, что в свою очередь обеспечивает высокую плотность ресурсов угольного метана, достигающего 250-300 и более млн. м³/км². Это на порядок выше плотности ресурсов природного газа. Обусловлено это тем, что помимо нахождения в «свободной» форме (в трещинно-поровых коллекторах), большая его часть (до 80-90%) находится в связанном, сорбированном состоянии, в виде микроскопических и ультрамикроскопических включений, что несомненно требует принципиально нового подхода к разработке соответствующих методов активации процессов дегазации угольных пластов и совершенствованию технологии добычи из них метана.

Кроме того, говоря о потенциальной локализации высоких концентраций угольного метана, следует иметь в виду, что они обнаруживаются не в классических структурных ловушках, традиционно являющихся поисковым признаком обнаружения природного газа, а приурочены к специфическим «флюидоактивным зонам», которые образуются в процессе флюидно-метасоматического преобразования угольных пластов и фиксируются вблизи тектонических нарушений [9]. Прогнозирование и обнаружение таких зон представляется достаточно трудной и важной задачей.

Сопоставляя результаты газово-хроматографических анализов природного газа и углеводородных газов угольных пластов, следует отметить, что в составе последних абсолютно доминирует метан и его легкие гомологи, в то время, как в природном газе довольно часто присутствуют значительные количества этана, пропана, бутана и других тяжелых углеводородов [5]. В этой связи угольный метан является наиболее перспективным сырьем для производства жидкостно-реактивного топлива в ракетно-космической технике.

Полученные в ходе проведенных исследований данные позволили составить сравнительную характеристику геотехнологических условий добычи на месторождениях бассейна Блэк Ворриер (США) и Восточного Донбасса, которые сопоставлены по горно-геологическим факторам углегазовых залежей (табл. 1).

Анализируя приведенные данные, в особенности такие параметры, как мощность угольных пластов, глубину их залегания, природную газоносность, ресурсы угольного метана и их плотность на 1 км², а также производительность скважин, можно утверждать, что условия добычи газа являются достаточно сопоставимы, что, в свою очередь, позволяет ожидать аналогичный экономический эффект при эксплуатации данного месторождения. В тоже время ряд факторов добычи угольного метана в Восточном Донбассе несомненно превалирует над аналогичными показателями для месторождений Блэк Ворриер (максимальная газоносность, стоимость бурения, себестоимость единицы продукции, расчетная норма прибыли и др.). Поэтому экономический прогноз эффективности промышленной добычи угольного метана в Восточном Донбассе может считаться вполне удовлетворительным, при соответствующей реализации разработанных технологий [6].

Таким образом, полученные положительные результаты по отработке новых технологий интенсификации газоотдачи угольных пластов и накопленный опыт создания Краснодарского ГТК могут быть распространены на другие перспективные площади Восточного Донбасса (в первую очередь Каменско-Гундоровскую, Белокалитвенскую, Сулино-Садкинскую, Тацинскую). При этом извлекаемый угольный метан будет использоваться для газоснабжения шахтерских поселков, а также в обычном порядке путем ввода в магистральную систему газопровода через промежуточные компрессорные станции.

Таблица 1

Сравнительная характеристика геотехнологических условий добычи угольного метана на месторождениях бассейна Блэк Ворриер (США) и Восточного Донбасса

№№ п.п.	Геотехнологические характеристики	Ед. изм.	Блэк Ворриер	В. Донбасс
1	Площадь бассейна	тыс. км ²	12,5	10,2
2	Площадь метаноугольных месторождений	км ²	4000	3300
3	Глубина залегания газоносных угольных пластов	м	200-1200	200-800
4	Средняя мощность угольных пластов	м	0,6	0,8
5	Суммарная мощность газоносных угольных пластов	м	1,8	3,8
6	Природная газоносность	м ³ /т	7-16	20-35
7	Ресурсы угольного метана	млрд. м ³	500-550	450-500
8	Плотность ресурсов на 1 км ²	млн. м ³	137	150
9	Дебит газа в скважинах в сутки	м ³	4000-28000	прогноз 8000-10000
10	Производительность 1 скважины за 5 лет эксплуатации	млн. м ³	7	прогноз 13,0
11	Стоимость бурения и оборудования скважины	тыс. долл.	350-400	80-100
12	Количество работающих скважин	шт.	750	2 тестовых
13	Глубина скважин	м	1060-1220	400-600
14	Количество извлекаемого метана в год	млн. м ³	800-850	прогноз 250-300
15	Себестоимость единицы продукции (1000 м ³)	долл.	57-60	прогноз 15-17
16	Отпускная цена за 1000 м ³	долл.	80	прогноз 30-40
17	Внутренняя норма рентабельности	%	30-35	прогноз 40-50
18	Срок окупаемости затрат	лет	4-5	прогноз 3-4

Одновременно с извлечением угольного метана будут сняты экологические проблемы ликвидации угольных шахт, связанные с загрязнением территории вредными токсичными газами, в результате «перехвата» потоков этих газов к поверхности дегазационными скважинами. Претворение в жизнь намеченных перспектив позволит в значительной степени расширить энергетический потенциал рассматриваемых территорий, будет способствовать реализации принципа комплексного освоения угольных месторождений и, в конечном итоге, создаст реальные предпосылки для решения существующих социально-экономических проблем Восточного Донбасса.

Литература

1. Баймухаметов С.К., Швец И.А. Опыт извлечения и утилизации метана на шахтах Карагандинского угольного департамента АО «Испат-Кармет» и потенциальные возможности снижения эмиссии метана в атмосферу // Сокращение эмиссии метана. Доклады Второй Международной конференции. Новосибирск: СО РАН, 2000. С. 472–475.
2. Брюннер Д.Д., Томпсон С., Ванги Ванги. Обзор появляющихся технологий извлечения газа // Сокращение эмиссии метана. Доклады Второй Международной конференции. Новосибирск, 2000. С. 364–372.
3. Гамов М.И. Закономерности формирования метанобильных зон в угольных месторождениях Восточного Донбасса: автореферат дис. ... доктора геол.-мин. наук: 25.00.11: Рост. гос. ун-т. Ростов-на-Дону, 2004. 48 с.

4. *Золотых С.С., Карасевич А.М.* Проблемы промышленной добычи метана в Кузнецком угольном бассейне. М.: Изд-во ИСПИН, 2002. 570 с.
5. *Карасев Г.К.* Метан угольных месторождений Восточного Донбасса // В кн. Проблемы и перспективы комплексного освоения ресурсов Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2005. 101–104 с.
6. Основные результаты и перспективы развития работ по проблеме угольного метана Восточного Донбасса / *Труфанов В.Н., Гамов М.И., Майский Ю.Г. и др.* // В кн. Актуальные проблемы региональной геологии, литологии и минералогии. Ростов-на-Дону: ООО ЦВВР, 2005. 145–151 с.
7. Проблема комплексного использования угольного метана Восточного Донбасса как нетрадиционного вида углеводородного сырья / *Труфанов В.Н., Булавин В.Д., Гамов М.И., Гурьянов В.В.* // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. обществ. н., 2002. Юбил. вып. С. 67–72.
8. *Пучков Л.А., Слатунов С.В., Коликов К.С.* Извлечение метана из угольных пластов. М: МГТУ, 2002. 384 с.
9. *Труфанов В.Н., Труфанов А.В.* Термобарогеохимия процессов деструкции ископаемых углей : монография / Под ред. *Н.И. Славгородского*. Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. 164 с.
10. *Эттингер И.Л.* Газоёмкость ископаемых углей. М.: Недра, 1966. С. 379–382.