

УДК 622.272:622.831

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

## MODERN METHODS OF METHANE PRODUCTION FROM COAL BEDS

**Копытов Александр Иванович,**

президент СО АГН, д.т.н., профессор, e-mail: L01BDV@yandex.ru

**Kopytov Aleksandr I.,**

Dr. Sc. (Engineering), Professor

**Войтов Михаил Данилович,**

к.т.н., профессор

**Voytov Mikhail D.,**

C. Sc. (Engineering), Professor

**Тагиев Санан Мехман оглы,**

студент, e-mail: tagiev\_senan@mail.ru

**Sanan Tagiev M.,**

student

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Аннотация:** Проведен обзор современных методов добычи и интенсификации газоотдачи метана из угольных пластов, рассмотрены основные направления переработки и использования метана.

**Abstract:** a review of modern methods of production and the intensification of the gas recovery of coalbed methane, the main directions of processing and utilization of methane.

**Ключевые слова:** Метан угольных пластов, интенсификация газоотдачи, гидравлический разрыв пласта, горизонтальное бурение, пневмогидравлическое воздействие на угольный пласт.

**Keywords:** coalbed methane, the intensification of gas recovery, fracturing, horizontal drilling, pneumohydraulic impact on the coal seam.

Растущее мировое энергопотребление требует рационального использования традиционных источников энергии и поиска новых нетрадиционных запасов углеводородов. Метан угольных пластов на сегодняшний день является наиболее доступным, дешевым, экологически чистым из известных нетрадиционных источников энергии.

В угольной промышленности метан является фактором риска в процессе эксплуатации шахт. Как правило, содержание метана растет с увеличением глубины залегания угля. Именно поэтому риск аварий, связанных с взрывами метана в шахтах, будет нарастать по мере выработки пластов угля нижнего залегания.

Сегодня продолжается постоянный поиск путей дегазации угля до его добычи. Некоторые угледобывающие компании добывают метан в незначительных объемах и затем используют его для своих нужд. Этот способ заключается в предварительном бурении скважин до начала разработки пластов угля. В результате происходит понижение уровня содержания метана, что приводит к значительному сокращению рисков аварий. Однако до начала 1970-х годов, несмотря на многочисленные

исследования и эксперименты, этот способ удаления метана считался неэффективным, а потому не получил широкого распространения [1].

В современной нефтегазовой промышленности ценность газа метана возрастает, и поэтому интерес к разведке и разработке запасов метана угольных пластов, когда-то ограниченный пределами Северной Америки, в настоящее время начинает охватывать практически всю планету. Например, в Австралии в 1995 г. метан из угольных пластов не добывался вообще, а в 2008 г. в этой стране, по данным AustralianMinesAtlas, было добыто 4 млрд м<sup>3</sup>. В 2006 г. в Китае было добыто свыше 1,4 млрд м<sup>3</sup> метана, а в 2007 г. в США эта цифра составила 61 млрд м<sup>3</sup>, что составляет 10% поставок традиционного природного газа на внутренний рынок США. Все количества добытого газа метана значимы, потому что были добыты из источника, который практически не использовался до 1985 г. [2].

Практика США показала, что добыча метана на угольных месторождениях является, прежде всего, инженерной задачей, решение которой в значительной степени зависит от свойств углепо-

родных толщ как резервуаров газа. Предоставление налоговых льгот и действующие законы, определяющие государственную собственность на метан угольных пластов, явились важными факторами, стимулирующими добычу метана в условиях 11 действующих угольных бассейнов США. Чтобы обеспечить добычу метана около 25 млрд м<sup>3</sup> в год потребовалось пробурить около 17 тысяч геологоразведочных скважин стоимостью 17 млрд долларов США [3]. Таким образом, за десятилетний период (1985-1994 гг.) в США наблюдался значительный рост добычи угольного метана, большей частью обусловленный наличием локальных газовых месторождений и введением налоговых льгот, действие которых с 1994 г. было прекращено и не распространялось на вновь пробуренные скважины.

По запасам метана угольных пластов Россия занимает лидирующее место в мире. По разным источникам его ресурсы оцениваются в пределах от 17 трлн м<sup>3</sup> до 80 трлн м<sup>3</sup> [4]. Запасы метана, сконцентрированные в Восточной Сибири, можно осваивать для нужд предприятий тяжелой промышленности в центральной части России, что может высвободить дополнительные объемы газа для поставок на западные рынки. Добыча и использование метана улучшит экологическую обстановку в углепромышленных районах, снизит газоопасность добычи угля в будущих шахтах и создаст новые рабочие места на газовых промыслах и газоперерабатывающих предприятиях. В Кузнецком и Печорском бассейнах наиболее перспективные площади для промышленной добычи метана находятся вблизи потенциальных потребителей газа, расстояние до которых не превышает 75-200 км. Близость промыслов по добыче метана из угольных пластов к потребителям позволяет избежать затрат на компрессию газа и на строительство магистральных трубопроводов высокого давления, что делает угольный метан в углепромышленных регионах наиболее перспективным из нетрадиционных энергоносителей [5].

Угольные пласты как нетрадиционные коллекторы метана обладают некоторыми особенностями. Одной из основных особенностей является генетическая и пространственная связь метана со своим коллектором - угольным пластом, так как он образовывался совместно с углем, в процессе метаморфизма органических остатков. Отдельные мощные 5-10 метровые угольные пласты на площади 50 км<sup>2</sup> представляют собой крупные промышленные залежи сорбированного метана с ресурсами около 7-14 млрд м<sup>3</sup> [6].

По мнению американских специалистов и газопромышленников, основная масса метана в угольном пласте находится в сорбированном состоянии в форме адсорбции газа метана на поверхности угольных частиц и их микропор. Российские ученые считают, что метан в пласте угля, в отличие от традиционных залежей свободных

газов в порово-трещинных коллекторах, находится в основном в состоянии абсорбции (в виде твердого раствора в веществе угля), в меньшей мере в форме адсорбции и в незначительных объемах в свободном и водорастворенном состоянии.

Газоёмкость (метанонность) связана в пористостью, поскольку газ захватывается и удерживается в поровой системе матрицы пласта. Уголь характеризуется умеренной внутренней пористостью, но при этом может удерживать в несколько раз больше газа, чем равный объем песчаника при том же давлении. Газоёмкость определяется главным образом степенью углефикации. Битумизированные угли потенциально обладают максимальной газоёмкостью [7].

При углефикации удаляется вода и происходит усадка матрицы пласта и образуются системы ортогональных трещин - кливаж. Главный кливаж представляет собой систему, как правило, непрерывных параллельных трещин, которым перпендикулярны трещины вторичного кливажа. Обычно вода заполняет свободный поровый объем в матрице угольного пласта. При откачке воды и снижении пластового давления метан, адсорбированный на поверхности матрицы пласта и удерживаемый в микропорах, высвобождается. Затем газ диффундирует через матрицу пласта, мигрируя в кливаж и трещины, и в конечном итоге попадает в ствол скважины. Пространственное разделение и геометрия кливажа имеют большое значение, потому что это является системой естественной трещиноватости, служащая основой для главного механизма проницаемости.

Перспективность метаноугольных месторождений для промышленной добычи метана из угольных пластов определяется геолого-технологическими факторами [8]:

- *газоёмкость угольных пластов* перспективными считаются месторождения, где этот показатель более 8-10 м<sup>3</sup>/т, при обязательном росте с глубиной залегания угольного пласта;

- *глубина оценки* (при современных технологиях добычи метана) этот критерий колеблется от 300 до 1800 м, наиболее благоприятный диапазон 500-1200 м;

- *масштабы ресурсов метана* перспективным является более 50-75 млрд м<sup>3</sup> на площади, участке, полигоне;

- *концентрация* (плотность ресурсов) метана – более 150-200 млн м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> для продуктивных групп угольных пластов;

- *угленосность продуктивных интервалов*, т.е. суммарная мощность угольных пластов должна быть не менее 8-10 м;

- *зольность углей* не должна превышать 25-30 %;

- *петрографический состав углей* – витринитовый;

- *степень метаморфизма углей* перспектив-

ными являются группы Г, Ж, К, ОС, Т с показателем отражательной способности витринита в иммерсии от 0,6 до 2,0 %, наиболее перспективны группы Г, Ж, ЖК Т с показателем отражательной способности витринита от 0,75 до 1,20 %;

- *хрупкость и трещиноватость углей* – максимальной хрупкостью и эндогенной трещиноватостью (предопределяющей повышенную проницаемость) характеризуются угли средних стадий метаморфизма (с расстоянием между трещинами 0,1-0,3 см);

- *тектоника месторождений, участков, площадей* предпочтительны просты пологие складки с углами падения до 30-40 градусов;

- *геодинамическое состояние угленосной толщи* перспективный массив должен находиться в состоянии растяжения или слабого сжатия.

По результатам исследований керновых и экспериментальных скважин к перспективным метаноугольным месторождениям относятся следующие критерии:

- *проницаемость угольных пластов продуктивных групп в естественном залегании в оптимальном интервале глубин* к перспективным относятся угольные пласты с проницаемостью более 5 мД по данным геолого-промысловых исследований, наиболее высокая проницаемость свойственна углям средних стадий метаморфизма;

- *наличие зон повышенной проницаемости*, которые повышают перспективность промышленной добычи метана с применением технологии «кавернообразования» («Cavity»);

- *технологические возможности применения средств интенсификации газоотдачи угольных пластов*, после применения методов интенсификации газоотдачи угольных пластов (гидроразрыва, кавитации, электровоздействия и др.) при опытно-промышленных испытаниях дебиты скважин должны быть не менее 5-10 тысяч м<sup>3</sup>/сут, а на

этапах активной работы в среднем около 20-40 тысяч м<sup>3</sup>/сут;

- *экологическая необходимость снижения уровня загрязняющих веществ* в атмосфере при использовании газа как экологически чистого энергоносителя;

- *расстояние от углегазового промысла до потребителя* - не более 200-250 км;

- *экономическая целесообразность промышленной широкомасштабной добычи метана на оцениваемых площадях и транспортировки его потребителям* определяется после опытно-промышленных испытаний на основе расчета экономической целесообразности развития углегазового промысла на оцениваемых площадях.

Промышленная добыча метана из перспективных угольных пластов, обладающих вышеизложенными свойствами, основана на десорбции газа с поверхности угля. Для этого необходимо снизить давление в пласте. Снижение давления будет способствовать выделению свободного газа, который через систему трещин поступит в скважину.

Скважина для добычи метана из угольных пластов обычно характеризуется низкими дебитами. Для максимального увеличения площади дренирования приток из скважин интенсифицируют несколькими способами. Самым распространенным способом интенсификации является гидравлический разрыв пласта. Причем эта технология применима для разного рода условий в угольных пластах. Гидравлический разрыв пласта проводят для образования новых или раскрытия уже существующих трещин с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта и увеличения производительности скважины [9]. В процессе гидроразрыва специальную технологическую жидкость нагнетают в пласт под высоким давлением, достаточным для того, чтобы вызвать разрыв этого пласта. На следующем этапе гидрораз-

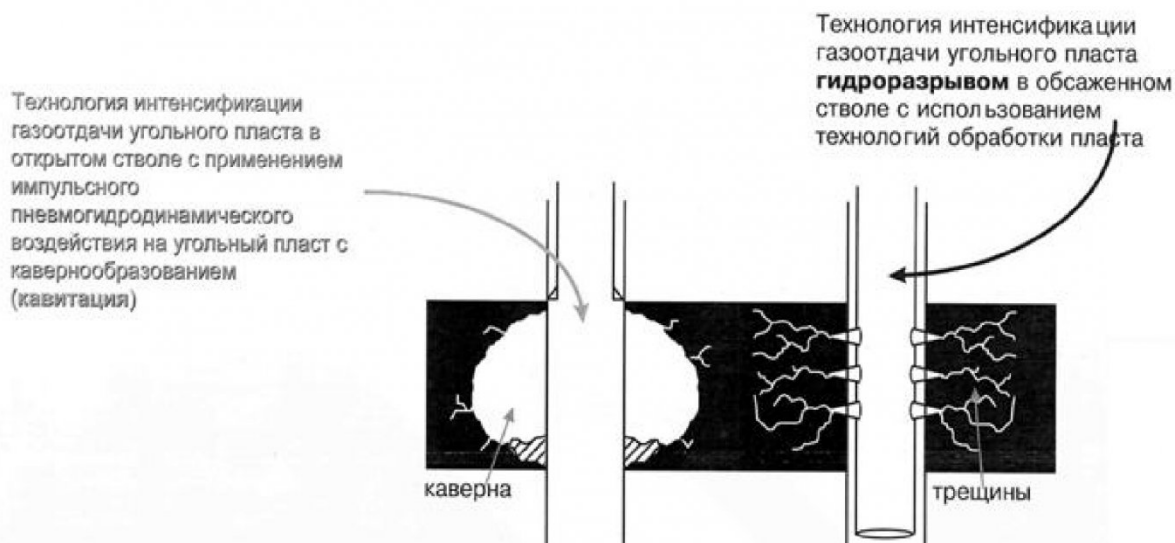


Рис. 1. Сравнение кавернообразования и гидравлического разрыва пласта  
Fig. 1. Comparison of cavity technology and hydraulic fracturing

рыва пласта в жидкость разрыва добавляют расклинивающий агент - пропант [10]. Пропант распределяется в трещинах для предотвращения их закрытия после завершения операции. В качестве расклинивающего материала используют натуральные пески и искусственные керамические пропанты. При этом в мировой практике в большинстве проводимых операциях гидроразрыва применяют кварцевый песок. Это во многом обусловлено его доступностью, относительно низкой стоимостью и пригодностью для различных пластовых условий. Подача песка обязательна как во вновь созданные, так и в существовавшие в пласте трещины, раскрытые при гидроразрыве [11]. Как показывают исследования, в процессе гидравлического разрыва возникают трещины шириной 1-2 мм. Радиус их может достигать нескольких десятков метров. Заполненные крупнозернистым пес-

ком трещины обладают значительной проницаемостью, в результате чего после гидроразрыва производительность скважины увеличивается в несколько раз [12].

Как и гидравлический разрыв пласта, нагнетание газа с целью увеличения добычи метана является технологией, которая может применяться в продуктивных угольных пластах с различными условиями. Нагнетание азота - технология, впервые успешно опробованная в США в 1995 г., как средство увеличения добычи метана и продления срока эксплуатации месторождения [13]. Подобные результаты могут ожидать и от нагнетания углекислого газа.

Экономическое применение нагнетания газов будет зависеть, главным образом, от производительности эксплуатационных скважин, стоимости технического оснащения и нагнетаемого газа, сто-

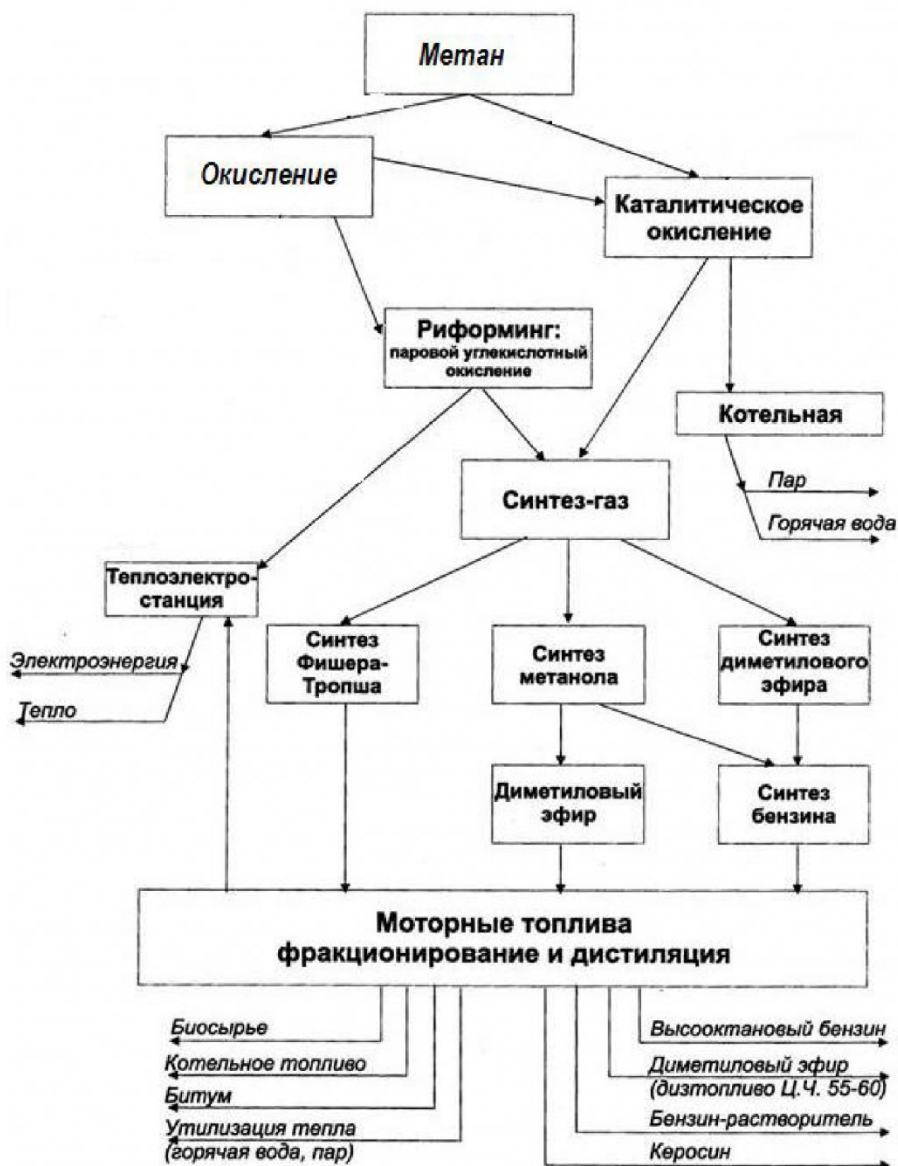


Рис. 2. Основные направления использования и переработки метана  
Fig. 2. The main directions of use and recycling of methane

имости оборудования для сепарации добытого газа и стоимости устья скважины по добычи метана.

Горизонтальное бурение тоже является способом интенсификации газоотдачи. Горизонтальное бурение особенно эффективно в условиях высокоанизотропного коллектора, где существует возможность ориентирования скважины с целью перехвата основного источника проницаемости в пласте приблизительно под прямым углом - таким образом максимизировать добычу газа. В связи с этим для высокоанизотропных коллекторов эта технология более эффективна, чем технология гидравлического разрыва пласта. Также кустовое горизонтальное бурение может увеличить дебит газа метана. Контроль за направлением скважины и ее устойчивостью - основные факторы, на которые оказывают влияние состояние угольного пласта при горизонтальном бурении. Данный опыт австралийских буровиков, приобретенный на протяжении длительной истории пластового бурения в угольных шахтах Нового Южного Уэльса, может быть использован для добычи метана из угольных пластов в России [14].

Интенсифицировать газоотдачу возможно методом пневно-гидродинамического воздействия на угольные пласты с образованием в них каверн. Эта технология сравнима с технологией гидроразрыва пласта, но в отличие от нее здесь идет образование и трещин и полости (каверны) (рис. 1). В США метод пневно-гидродинамического воздействия с кавернообразованием используется для эффективного завершения углегазовых скважин. В процессе завершения ствола скважины эффективно связывается с пластом благодаря созданию большого количества разнонаправленных, саморасклинивающихся трещин. Однако, каверна является побочным явлением процесса. Наиболее успешно эта технология применяется в бассейне Сан-Хуан. Метод кавернообразования заключается в периодически повторяющихся циклах введения водо-воздушной смеси в ствол скважины. Увеличение давления в процессе инъекции водо-воздушной смеси, а затем стремительный сброс давления, могут вызвать обрушение угля вокруг ствола скважины за счет сил растяжения.

Теоретически обоснованно, что в угольном пласте могут создаваться трещины растяжения на

удалении от ствола скважины, при этом они могут быть ориентированы в любых направлениях. Поэтому при проведении интенсификации газоотдачи методом кавернообразования происходит увеличение дебита газа в скважину. Дебиты газа, с применением этого метода, в бассейне Сан-Хуан составляет десятки тысяч м<sup>3</sup> в сутки, а у отдельных скважин это значение составляет сотни тысяч м<sup>3</sup> в сутки.

После добычи метан проходит очистку от механических примесей (угольной пыли; песка, использованного при гидроразрыве пласта) и других газов, а затем может быть направлен по трубопроводам к потребителю, либо пройти процесс сжижения, и также может быть направлен потребителю.

Существует два основных направления химической переработки и использования метана угольных пластов (рис. 2):

- прямая конверсия метана в необходимые продукты за счет получения хлорзамещенного метана - хлорметила, метилхлорида, хлороформа, четыреххлористого углерода и ряда других продуктов, а также нитрометана;

- поэтапная конверсия метана, через получение синтез-газа, который является первичным продуктом переработки метана [15].

Из синтез-газа получают метанол, синтетический бензин, дизельное топливо, диметиловый эфир и другие химические продукты, которые необходимы для производства полимеров.

Метан угольных пластов - это ресурс, который становится все более значимым чистым энергоносителем, а технологии его - реальностью в глобальном масштабе.

Добыча метана из угольных пластов является инновационным проектом и имеет общегосударственное значение. Промышленная добыча метана угольных пластов в ведущем угледобывающем регионе России - Кузбассе свидетельствует о создании новой газовой подотрасли, которая позволяет повысить безопасность подземной добычи угля, создать более надежную энергетическую базу и инфраструктуру для дальнейшего социально-экономического развития, дополнительные рабочие места и улучшить экологическую обстановку в регионе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Johnson A. Coalbed Methane: Clean Energy of the World. // Oilfield Review, 2009. – V. 21. – P. 4-17.
2. Coal Mine Methane Global Overview [Электронный ресурс] // United States Environmental Protection Agency. Режим доступа: <http://www.epa.gov/cmop/>
3. Сластунов С.В. Проблемы угольного метана и их технические решения. // Современные проблемы шахтного метана. МГГУ, 1999, С. 50-61.
4. Statistical Review of World Energy 2010 // BP Global.
5. Коликов, К.С. Экспериментальные работы по заблаговременному извлечению метана из особо выбросоопасного пласта на поле шахты им. Ленина / К.С. Коликов, С.М. Горбунов, Ф.А. Муллагалиев // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ-1997. №7. - С. 71-74.

6. Глобальная инициатива по метану [Электронный ресурс] // Режим доступа: [www.globalmethan.org](http://www.globalmethan.org)
7. Cone P. Prospects for the development of non-conventional hydrocarbons. [Электронный ресурс] // Ernst and Young, 2011. Режим доступа: <http://www.ey.com/RU/ru/Home>
8. Золотых, С.С. Проблемы промысловой добычи метана в кузнецком угольном бассейне / С.С. Золотых, А.М. Карасевич, – Москва : ИСПИН, 2002. – 570 с.
9. Криштопа, О.А. Перспективы мировой добычи метана угольных пластов как источник первичной энергии [Электронный ресурс] // Режим доступа [www.kaktus.chita.ru](http://www.kaktus.chita.ru).
10. Скоробогатов, В.А. Ресурсы газа в низкопроницаемых коллекторах осадочных бассейнов России и перспективы их промышленного освоения / В.А. Скоробогатов, В.А. Кузьминов, Л.С. Салина // Газовая промышленность: Спецвыпуск «Нетрадиционные ресурсы нефти и газа», 2012. – 676 с.
11. Хямяляйнен, В.А. Обоснование применения кварцевых песков месторождений Кемеровской области для закрепления трещин гидроразрыва метаногольных пластов / В.А. Хямяляйнен, М.А. Баев // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Кемерово, 2014, С. 153-155.
12. Anderson J. Producing Natural Gas from Coal. // Oilfield Review, 2003. P. 8-31.
13. Ворошилов, И.В. Перспективные способы добычи метана из угольных пластов. Обеспечение безопасности труда шахтеров / И.В. Ворошилов, Д.В. Владыкин // Уголь, 2008. – С. 21-23.
14. Australian Petroleum Productions and Exploration [Электронный ресурс] // Association Limited Annual Production Statistics. Режим доступа: [www.appea.com.au/content/pdfs\\_docs\\_xls/annual\\_production\\_statistics.xls](http://www.appea.com.au/content/pdfs_docs_xls/annual_production_statistics.xls).
15. Ремезов, А.В. Комплексная подготовка к отработке перспективных угольных месторождений с целью снижения риска возникновения взрыва метана с последующей переработкой // Наука в современном мире: теория и практика. Уфа, 2014, С. 97-119.

## REFERENCES

1. Johnson A. Coalbed Methane: Clean Energy of the World. // Oilfield Review, 2009. – V. 21. – P. 4-17.
2. Coal Mine Methane Global Overview [Elektronnyy resurs] // United States Environmental Protection Agency. Rezhim dostupa: <http://www.epa.gov/cmop/>
3. Slastunov S.V. Problemy ugol'nogo metana i ikh tekhnicheskiye resheniya. // Sovremennyye problemy shakhtnogo metana. MGGU, 1999, P. 50-61.
4. Statistical Review of World Energy 2010 // BP Global.
5. Kolikov, K.S. Eksperimental'nyye raboty po zablagovremennomu izvlecheniyu metana iz osobo vybrosoopasnogo plasta na pole shakhty im. Lenina / K.S. Kolikov, S.M. Gorbunov, F.A. Mullagaliyev // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulle-ten' / MGGU-1997. №7. - P. 71-74.
6. Global'naya initsiativa po metanu [Elektronnyy resurs] // Rezhim dostupa: [www.globalmethan.org](http://www.globalmethan.org)
7. Cone P. Prospects for the development of non-conventional hydrocarbons. [Elektronnyy resurs] // Ernst and Young, 2011. Rezhim dostupa: <http://www.ey.com/RU/ru/Home>
8. Zolotykh, S.S. Problemy promyslovoy dobychi metana v kuznetskom ugol'nom basseyne / S.S. Zolotykh, A.M. Karasevich, – Moskva : ISPIN, 2002. - 570 p.
9. Krishtopa, O.A. Perspektivy mirovoy dobychi metana ugol'nykh plastov kak istochnik pervichnoy energii [Elektronnyy resurs] // Rezhim dostupa [www.kaktus.chita.ru](http://www.kaktus.chita.ru).
10. Skorobogatov, V.A. Resursy gaza v nizkopronitsayemykh kollektorakh osadochnykh basseynov Rossii i perspektivy ikh promyshlennogo osvoyeniya / V.A. Skorobogatov, V.A. Kuz'minov, L.S. Salina // Gazovaya promyshlennost': Spetsvypusk «Netraditsionnyye resursy nefti i gaza», 2012. – 676 p.
11. Khyamyalyaynen, V.A. Obosnovaniye primeneniya kvartsevykh peskov mestorozhdeniy Kemerskoy oblasti dlya zakrepleniya treshchin gidrorazryva metanougol'nykh plastov / V.A. Khyamyalyaynen, M.A. Bayev // Prirodnyye i intellektual'nyye resursy Sibiri. Kemerovo, 2014, P. 153-155.
12. Anderson J. Producing Natural Gas from Coal. // Oilfield Review, 2003. P. 8-31.
13. Voroshilov, I.V. Perspektivnyye sposoby dobychi metana iz ugol'nykh plastov. Obespecheniye bezopasnosti truda shakhterov / I.V. Voroshilov, D.V. Vladykin // Ugol', 2008. – P. 21-23.
14. Australian Petroleum Productions and Exploration [Elektronnyy resurs] // Association Limited Annual Production Statistics. Rezhim dostupa: [www.appea.com.au/content/pdfs\\_docs\\_xls/annual\\_production\\_statistics.xls](http://www.appea.com.au/content/pdfs_docs_xls/annual_production_statistics.xls).
15. Remezov, A.V. Kompleksnaya podgotovka k otrabotke perspektivnykh ugol'nykh mestorozhdeniy s tsel'yu snizheniya riska vzniknoveniya vzryva metana s posleduyushchey pererabotkoy // Nauka v sovremennom mire: teoriya i praktika. Ufa, 2014, P. 97-119.

Поступило в редакцию 14.03.2016  
Received 14 March 2016