

УДК 553.981.04(26)

**Анфилатова Э.А.**ФГУП «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт (ВНИГРИ)», Санкт-Петербург, Россия [ins@vnigri.spb.su](mailto:ins@vnigri.spb.su)

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ДАННЫХ ПО ПРОБЛЕМЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В АКВАТОРИЯХ МИРА**

*Открытие крупных скоплений газогидратов главным образом под морским дном вдоль внешних континентальных окраин Мирового океана, а также в регионах вечной мерзлоты в Арктике пробудило в мире интерес к газогидратам как возможным ресурсам энергетического сырья. По текущим оценкам количество природного газа в газогидратах мира почти на два порядка больше, чем остающиеся извлекаемые ресурсы традиционного природного газа. В статье на основе анализа зарубежных данных дается картина распространения газогидратов в акваториях мира, сообщается о национальных научно-исследовательских программах изучения подводных газогидратов и планах проведения опытно-промышленной добычи газа.*

**Ключевые слова:** природные газогидраты, распространение, ресурсы, национальные программы изучения газогидратов.

Открытие крупных скоплений газогидратов в регионах вечной мерзлоты в Арктике, а также под морским дном вдоль внешних континентальных окраин Мирового океана вызывает к ним повышенный интерес в мире как к возможному нетрадиционному источнику природного газа.

Газогидраты - это образованные водой и газом твердые структуры, по виду напоминающие спрессованный снег. Они представляют собой кристаллическую решетку льда с молекулами газа внутри нее. На сегодняшний день выявлены три типа газогидратов (I, II и H). Газогидраты I типа наиболее распространены; они представлены преимущественно молекулами биогенного метана. Газогидраты II и H типов могут содержать более крупные молекулы, составляющие термогенный газ [Sassen, 1997].

Установлено, что образование и распространение газогидратов контролируется соответствующими термобарическими условиями, наличием достаточного количества газа и воды, химическим составом газов, соленостью поровой воды, наличием эффективных миграционных путей для газа и воды, присутствием коллекторов и покрышек. Газогидраты могут встречаться в природе в различной форме: в виде цемента, пластин и прожилок. Результаты проведенных исследований показали, что мощность большинства осадочных разрезов, содержащих газогидраты, варьирует от десятков сантиметров до десятков метров. Мощность пластов чистых газогидратов, как правило, измеряется в миллиметрах или

сантиметрах. При извлечении на поверхность газогидраты легко распадаются на воду и газ, причем из 1 м<sup>3</sup> газогидратов может выделиться до 180 м<sup>3</sup> природного газа [Collett, 1998].

Газогидраты выявлены почти на 50 площадях мира. По некоторым оценкам 98% ресурсов газогидратного газа присутствует на морских континентальных окраинах и 2% - в районах вечной мерзлоты на суше [Makogon, Holditch, 2001]. Данные исследований арктических газогидратов показывают, что в регионах вечной мерзлоты они могут существовать на глубинах от 130 до 2000 м от поверхности. Примерно 10% площади Мирового океана являются потенциально газогидратоносными. Присутствие газогидратов на морских континентальных окраинах было установлено по аномальным сейсмическим отражающим горизонтам (bottom-simulating reflectors – BSR), отождествляемым с подошвой гидратоносных отложений на глубинах от 100 до 1100 м от морского дна. Глубоководным бурением газогидраты были вскрыты юго-восточнее и западнее США, вблизи Канады, Перу, Коста-Рики, Гватемалы и Мексики, у берегов Японии, в Мексиканском заливе. Они обнаружены также в Средиземном, Черном, Каспийском, Южно-Китайском морях, у берегов Калифорнии, Южной Кореи, Индии и в других местах.

Однако только небольшое число газогидратных скоплений изучено более-менее детально. Это, прежде всего, скопления газогидратов на хребте Блейк вдоль юго-восточной атлантической континентальной окраины США, на площадях вдоль континентальной окраины Каскадия (тихоокеанская окраина Канады), в прогибе Нанкай у восточного побережья Японии, на Северном склоне Аляски, в дельте реки Маккензи (Канада).

Американскими учеными была выполнена оценка ресурсов газа по наиболее изученным газогидратным скоплениям (табл. 1).

Для каждого выбранного пункта бурения рассчитывался объем газогидратов и связанного газа в пределах площади 1 км<sup>2</sup>, окружающей пункт бурения. По этой оценке было принято гидратное число 6,325, что соответствует выходу 164 м<sup>3</sup> метана на каждый кубический метр газогидратов.

Расчеты показали, что газогидратное скопление на хребте Блейк (юго-восточная континентальная окраина США) содержит геологические запасы газа в гидратной форме порядка 37,7 триллионов м<sup>3</sup> и 19,3 триллионов м<sup>3</sup> свободного газа под газогидратами. Сейсмически оконтуренное газогидратное скопление на континентальном шельфе Каскадия (Канада) площадью около 6000 км<sup>2</sup> может содержать около 2,8 триллионов м<sup>3</sup> газа. Ресурсы газа в газогидратном скоплении Маллик в северной Канаде могут составлять около 110 млрд. м<sup>3</sup> [Collett, 2002]. Предварительные результаты по скважинам в прогибе Нанкай (Япония),

пробуренным до глубины 945 м, показывают, что здесь в интервале глубин от 207 до 265 м присутствуют три песчаные стратиграфические единицы общей мощностью около 16 м. Здесь предполагается присутствие обширного газогидратного скопления (160 км<sup>2</sup>), содержащего 121 млрд. м<sup>3</sup> газа. По оценкам на 2001 г. все газогидратные скопления в прогибе Нанкай могут содержать до 60 триллионов м<sup>3</sup> газа [Collett, 2002]. В феврале 2006 г. появилось сообщение об открытии крупного газогидратного скопления вблизи дна Японского моря в 30 км севернее Дзёцу (префектура Ниигата) на глубине воды 800-1000 м. Запасы газа в этом скоплении оцениваются в 7 триллионов м<sup>3</sup>; при нынешнем уровне потребления природного газа этих запасов Японии хватило бы на 100 лет [Watkins, 2006]. В ноябре 2007 г. Южная Корея сообщила об обнаружении крупных скоплений газогидратов между Южной Кореей и Японией, что может обеспечивать ее потребности в газе на протяжении 30 лет. Несколько ранее, в мае 2007 г., появилось сообщение о том, что в северной части Южно-Китайского моря Китай выявил запасы газа в газогидратах в объеме более 100 миллионов т в нефтяном эквиваленте, что составляет около 1/3 потребления нефти в Китае в год [Richardson, 2008].

Таблица 1

**Объем газа в газогидратных скоплениях, установленных по данным скважинного каротажа (по [Collett, 2002] с детализацией)**

Данные по скважинам	Интервал залегания газогидратов, м	Мощность зоны, содержащей газогидраты, м	Средняя пористость отложений, %	Среднее насыщение газогидратами, %	Объем газа в газогидратах, млн. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>
Пункт 994	212,0-428,8	216,8	57,0	3,3	670,0
Пункт 995	193,0-450,0	257,0	58,0	5,2	1267,9
Пункт 997	186,4-450,9	264,5	58,1	5,8	1449,7
Программа ODP: Континентальная окраина Каскадия (Тихоокеанская окраина Канады)					
Пункт 889	127,6-228,4	100,8	51,8	5,4	466,6
Нанкайский прогиб (Япония)					
Скважины	207-265*	16	36	80	755,7
Северный склон Аляски (США)					
Скважина N-W Eileen State-2: страт. единица С	651,5-680,5	29,0	35,6	60,9	1030,9
страт. единица D	602,7-609,4	6,7	35,8	33,9	133,4
страт. единица E	564,0-580,8	16,8	38,6	32,6	346,9
Дельта реки Маккензи (Канада)					
Скв. Mallic 2L-38	888,8-1101,1	212,3	31,0	44,0	4749,1

\* как полагают, только часть этого интервала содержит газогидраты, что отражено в данных мощности зоны, содержащей газогидраты.

По оценкам, выполненным разными учеными в разное время, общее количество природного газа в газогидратных скоплениях мира, громадное. Однако эти оценки варьируют в широких пределах: от 14 до 34000 триллионов м<sup>3</sup> в зонах вечной мерзлоты на суше и от 3100 до 7600000 триллионов м<sup>3</sup> на акваториях [Collett, 2002].

По текущим оценкам количество метана в газогидратных скоплениях мира составляет порядка 20000 триллионов м<sup>3</sup>. Если эти оценки достоверны, то это означает, что количество метана в газогидратах мира почти на два порядка больше, чем остающиеся извлекаемые ресурсы традиционного природного газа (250 триллионов м<sup>3</sup>) [Masters et al., 1991]. По оценкам Газового Исследовательского Института США (2003) геологические ресурсы газа в газогидратных скоплениях США составляют 9056 триллионов м<sup>3</sup> и, если удастся извлечь хотя бы 1% газа из этих скоплений, потребности США в газе будут удовлетворяться на протяжении 100 лет. [Williams, 2003; Petzet, 2007]. США рассматривают эти ресурсы как стратегический резерв, который позволит обеспечить энергетическую безопасность страны в будущем. Национальная оценка ресурсов нефти и газа, выполненная Геологической Службой США в 1995 г., впервые включала оценку геологических ресурсов природных газогидратов на суше и на акваториях США. В пределах четырех морских и одной сухопутной (Северный склон Аляски) газогидратных провинциях было выявлено одиннадцать газогидратных плеев. По данным Департамента Энергии США газогидраты на Северном склоне Аляски могут содержать порядка 16,7 триллионов м<sup>3</sup> газа, т.е. намного больше ресурсов традиционного газа в этом регионе.

Прогнозные ресурсы газа в газогидратах Индии оцениваются в 1894 триллионов м<sup>3</sup>, то есть в 1700 раз больше доказанных запасов природного газа в стране (1,08 триллионов м<sup>3</sup>) [Ramesh, 2008]; около 55 триллионов м<sup>3</sup> прогнозных ресурсов установлено у восточного побережья Индии [The Financial Express, 2008].

По данным компании NRC, Канадские газогидраты содержат 45-800 триллионов м<sup>3</sup> газа [Stott, 2005]

Однако даже при подтверждении наличия громадных объемов газа в газогидратах потребуются решить значительные технические и экономические проблемы, чтобы рассматривать газогидраты как жизнеспособный источник энергетического сырья. Хотя обширные площади мировых континентальных окраин подстилаются газогидратами, концентрация их в большинстве морских скоплений очень низкая, что создает проблемы в отношении технологии добычи газа из широко разбросанных скоплений. Кроме того, в большинстве случаев морские газогидраты выявлены в неконсолидированных осадочных

разрезах, обогащенных глиной, что является причиной незначительной проницаемости отложений или ее отсутствия. Большинство моделей добычи газа требуют наличия надежных путей для перемещения газа к скважине и закачки флюидов в отложения, содержащие газогидраты. Однако маловероятно, что большинство морских отложений обладают механической крепостью, способствующей образованию необходимых миграционных путей. В осадочных бассейнах со значительным вкладом грубозернистых кластических отложений, таких как вдоль прогиба Нанкай или, возможно в Мексиканском заливе, высокая концентрация газогидратов может быть обнаружена в традиционных кластических коллекторах, в обстановке схожей с условиями вечной мерзлоты на суше.

Предлагаемые способы извлечения газа из газогидратов связаны с переводом газа из твердого состояния в свободное непосредственно в пласте. Это может быть осуществлено в результате нагревания коллектора выше температуры образования гидратов, снижения пластового давления ниже давления равновесия гидратов, закачки в коллектор ингибиторов (метанол, глюколь и др.) для понижения стабильности гидратов [Collett, 2002]. В США для оценки рентабельности извлечения гидратного газа при использовании горячей воды и пара были разработаны компьютерные модели термального стимулирования добычи газа. Они показали, что газ из газогидратов может добываться в количествах, достаточных для того, чтобы рассматривать газогидраты как источник технически извлекаемых ресурсов газа. Однако издержки могут быть очень высокими. Исследования также показали, что использование ингибиторов при добыче газа из газогидратов является технически возможным, но использование больших объемов химикалий является дорогостоящим мероприятием как с технологической точки зрения, так и с точки зрения охраны окружающей среды. Наиболее экономически выгодным представляется метод снижения давления. Так при испытании скважины при понижении давления на газогидратном скоплении Маллик в дельте реки Маккензи (Канада) в 2002 г. были получены притоки газа дебитом более 280 тысяч м<sup>3</sup>/сут. Опыт разработки Мессояхского газогидратно-газового месторождения в Западной Сибири показал, что экономически выгодно добывать свободный, «подледный», природный газ. В процессе этой добычи падает пластовое давление, начинает таять газонасыщенный лед, и имеет место экономически выгодная и долговременная добыча газа.

Департамент энергии США совместно с рядом компаний создали двухгодичный проект испытания на приток газа в зоне газогидратов на Северном склоне Аляски методом снижения давления стоимостью 10,5 миллионов долларов. В 2004 г. была пробурена

скважина Hot Ice 1 глубиной 915 м к югу от месторождения Купарук-Ривер [Guntis, 2003]. Скважина предназначалась для обоснования геологических, геофизических и геохимических моделей распространения газогидратов на суше Арктики. Однако, несмотря на ряд косвенных признаков наличия газогидратов (данные геофизических исследований и сейсморазведки), гидратов в кернах не было обнаружено.

В последние годы Япония, Индия и США приступили к выполнению амбициозных национальных программ по дальнейшему изучению потенциала газогидратов, которые, как полагают специалисты, помогут ответить на ключевые вопросы относительно технологии и стоимости добычи газа.

В настоящее время в США проводятся исследования по выявлению и изучению газогидратов в глубоководных областях Мексиканского залива по проекту стоимостью 13,2 миллиона долларов, рассчитанному на 42 месяца. Первая фаза работ, законченная в 2003 г., была посвящена сбору и анализу данных, разработке моделей и инструкций по выявлению и описанию отложений, содержащих газогидраты. Цель 2-ой фазы – бурение 12 скважин глубиной 300-600 м в гидратосодержащих отложениях в 6 пунктах с отбором керна. Геологическая Служба США и “Шеврон Корп.” планировали начать промышленную добычу газа из газогидратов Мексиканского залива в 2007 г., а на Северном склоне Аляски в период 2007-2011 гг.

Индия создала национальную научно-исследовательскую программу по подводным газогидратам. В 1996 г. Департамент по развитию нефтегазовой промышленности Индии ассигновал на эту программу \$56 миллионов. В марте 1997 г. правительство Индии провозгласило новую лицензионную политику поисково-разведочных работ, которая включала сдачу в аренду нескольких глубоководных морских блоков (>400 м) вдоль восточного побережья Индии между Мадрасом и Калькуттой, где по данным сейсморазведки возможно присутствие газогидратных скоплений. В настоящее время главным объектом исследований является глубоководная часть бассейна Кришна-Годавари. В феврале 2008 г. Индия обнародовала результаты четырехмесячных исследований газогидратов (2006 г.) в 4-х пунктах: на шельфе Индии (в бассейнах Кришна-Годавари, Маханади, Керала-Конкан) и у Андаманских островов, выполненных группой из 100 ведущих ученых из Индии, США и Европы под руководством Геологической Службы США и Генерального Директората Индии по углеводородам. В процессе исследований осуществлялся скважинный каротаж, отбор керна и научный анализ с целью оценки залежей в плане промышленной добычи газа из газогидратов. В бассейне Кришна-Годавари и у Андаманских островов были оконтурены

крупнейшие скопления газогидратов. Особое внимание уделялось изучению 49 кернов (каждый длиной более 1 м), а также оконтуриванию и отбору проб на самом крупном морском месторождении в бассейне Кришна-Годавари, исследованию наиболее мощного и глубокорасположенного газогидратного скопления у Андаманских островов, исследованию газогидратного скопления в бассейне Маханади в Бенгальском заливе [Fletcher, 2008]. Индия намерена начать промышленную добычу газа из газогидратов в 2010 г. [Dittrick, 2006].

Япония разработала национальную программу по газогидратам, для ее выполнения создан консорциум из отечественных нефтяных компаний. В партнерстве с Геологической Службой Канады, ее Национальным Исследовательским Советом и канадскими университетами, а также Геологической Службой и Минэнерго США, Миннефтегазом Индии и др. этот консорциум выделил деньги, пробурил три скважины на канадском месторождении Маллик и успешно испытал их на приток газа из газогидратов. На декабрь 2006 г. было запланировано проведение опытно-промышленной газогидратодобычи. В случае успешного эксперимента Япония планирует к 2009 финансовому году начать опытно-промышленную добычу газа из газогидратов в прогибе Нанкай, к 2017 г. – уже промышленную добычу. Китай планирует в следующем десятилетии направить \$100 миллионов на газогидратные исследования [Watkins, 2006]. Южная Корея планирует разработать технологию добычи газа из газогидратов к 2015 г.

По прогнозам зарубежных ученых, в последующие 30-50 лет значительной добычи газа из газогидратов, очевидно, не будет. Однако, в некоторых развитых странах, обладающих небольшими традиционными энергетическими ресурсами (Япония), а также в странах с уникальными местными экономическими условиями, например расположенностью газогидратных скоплений вблизи скоплений традиционных энергетических ресурсов (США, Северный склон Аляски), газогидраты могут стать источником природного газа уже в следующие 5-10 лет. Появление на мировом рынке гидратного газа может значительно изменить общую ситуацию с газовыми потоками в мире.

### Литература

#### References

*Collett T.S.* Energy resource potential of natural gas hydrates // Bull. AAPG, 2002, v.86, №11, P.1971-1992.

*Collett T.S., Kuuskraa V.A.* Hydrates contain vast store of world gas resources // Oil and Gas J., 1998, v.96, №19, P. 90-95.

*Dittrick P.* New look at gas hydrates // Oil and Gas J., 2006, v.104, №40, P. 17.

*Fletcher S.* US-India study discovers large gas hydrate presence // Oil and Gas J., 2008, v.106, №7, P. 36-44.

*Guntis M.* Seeking flammable ice // Oil and Gas J., 2003, v. 101, №21, P.15.

India has 2,000 trn cubic ft prognostic gas hydrates pool // The Financial Express, 2008, Feb. 07.

*Makogon Yu.F., Holditch S.A.* Lab work clarifies gas hydrate // Oil and Gas J., 2001, v. 99, №6, P.47-52.

*Petzet A.* SEG: Geophysics role large in unconventional // Oil and Gas J., 2007, v.105, №17, P. 28-30.

*Rach N.M.* Vibrant activity emerging in India to meet rising oil demand // Oil and Gas J., 2004, v. 102, №31, P.55-59.

*Ramesh M.* Gas hydrates: an inexhaustible energy source // Business Line, Friday, July 18, 2008.

*Richardson M.* Gas hydrate in Asia, elsewhere: world's next great energy source // Singapore, Wed, 20.08.2008.

*Sassen R.* Gas hydrate gardens of the Gulf of Mexico //Quarterdeck, 1997, v.5, №3, December.

*Stott J.* CER: Arctic gas, LNG, hydrates key to gas supply gap // Oil and Gas J., 2005, v.103, №11, P. 30.

*Watkins E.* Japan exploring methane hydrate // Oil and Gas J., 2006, v.104, №39, P. 26.

*Williams B.* Debate grows over US gas supply crisis as harbinger of global gas production peak // Oil and Gas J., 2003, v. 101, №28, P.20-28.

**Рецензент:** Якуцени Вера Прокофьевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Anfilatova E.A.**

All Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St. Petersburg, Russia  
[ins@vnigri.spb.su](mailto:ins@vnigri.spb.su)

## **A REVIEW OF MODERN FOREIGN DATA ON THE PROBLEM OF OCCURRENCE OF GAS HYDRATES THE WORLD OFFSHORE**

*The discovery of large accumulations of gas hydrates mainly under a sea bottom along the World Ocean outer continental margins and in the Arctic permafrost regions has aroused considerable interest to gas hydrates as possible energy resources. It is estimated that the amount of natural gas trapped in hydrates around the world is roughly two orders of magnitude more than the recoverable gas in conventional reservoirs. On the basis of analyzing foreign data it is given the picture of occurrence of gas hydrates in the world offshore; it is reported about the national gas hydrate research programs and plans on conducting test gas production from gas hydrates.*

**Key words:** natural gas hydrates, occurrence, resources, national programs of studying gas hydrates