

## СЕКЦИЯ 10. ЭКОНОМИКА ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ И ЕЕ РУСУРСОВ

исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 3.9 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2015. — Заглавие с титульного экрана. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2016/m051.pdf>.

### ГАЗОГИДРАТЫ КАК ЭНЕРГИЯ БУДУЩЕГО ОТ ОКЕАНА: БЛИЗКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ИЛИ ДОЛГОСРОЧНАЯ ПЕРСПЕКТИВА

И.В. Шарф, И.В. Корняков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

**Введение.** Добыча сланцевой нефти и газа в США обозначила реальность перспектив существенного расширения роли на мировом энергетическом рынке нетрадиционных источников углеводородного сырья. Между тем, несмотря на сложность ситуации на мировом энергетическом рынке, такие страны как США, Канада, Япония, Китай, Индия, Корея, Норвегия которые имеют выход к Мировому океану, проявляют серьезный интерес к другому потенциальному источнику энергии, способному серьезно изменить газовый рынок в среднесрочной или долгосрочной перспективе, – газогидратам. Другой аспект актуальности – это климатические изменения и влияние потоков метана из разлагающихся гидратов и мерзлоты вследствие глобального потепления, так как стимулирующее влияние этих потоков на формирования парникового эффекта более сильное, чем от выделения в атмосферу двуокиси углерода.

С химической точки зрения газогидраты относятся к клатратам (clathrates) [6]. Их особенностью является то, что одна молекула образует кристаллическую решетку, в которой находится другая молекула. В газогидратах вмещающей молекулой является вода в виде льда – гидрат, а вмещившейся субстанцией в полостях решетки могут быть молекулы газа, в частности метанового ряда. В настоящее время активно в научной литературе обсуждаются метангидраты. Условиями формирования и стабильного их существования являются низкие температуры и высокое давление, поэтому они встречаются на морских глубинах (500 – 1500 м), как правило на континентальном склоне, и в зоне вечной мерзлоты на глубине 200 – 1000 м. На больших глубинах он не встречается, так как нет достаточного органического вещества для образования метана. При этом из одного кубического метра гидрата можно получить порядка 164 м<sup>3</sup> метана и 0,78-0,87 м<sup>3</sup> воды [11, С. 186].

История исследований газогидратов начиналась в СССР с открытием в 1964 году залежи на западносибирском месторождении Мессояха – первого месторождения в мире с доказанной гидратонасыщенностью. Средняя глубина залежи 750 м, которая распространена на площади 12,5 на 19 км [5, С.66].

Затем в результате океанологических исследований дна Мирового океана научными организациями разных стран посредством геофизических, сейсмических, геоморфологических, акустических и бурения с отбором керна были открыты скопления газогидратов в Атлантическом и Тихом океане.

По оценкам Международного энергетического агентства запасы газогидратов в Мировом океане составляют около 120000 трлн м<sup>3</sup>, что на два порядка больше традиционных запасов природного газа [11, С.187]. При этом наибольшие запасы

сосредоточены в Аравийском море, у Западного побережья Африки и Южной Америки.

Исследования газогидратных скоплений мировым научным сообществом позволили выделить следующие типы месторождений:

1. песчаные коллектора в Арктике вблизи существующей инфраструктуры ( $n \cdot 100$  млрд  $m^3$ );
2. песчаные коллектора в Арктике вблизи существующей инфраструктуры ( $n \cdot 1000$  млрд  $m^3$ );
3. песчаные коллекторы на морской глубине ( $n \cdot 10000$  млрд  $m^3$ );
4. тонкозернистые морские трещиноватые отложения (нет оценок);
5. очаги разгрузки углеводородов (нет оценок);
6. тонкозернистые морские отложения ( $n \cdot 100000$  млрд  $m^3$ ).

**Технологии разработки месторождений метангидратов.** Отметим, что история сланцевой революции начиналась с разработки технологий, которые позволяли аккумулировать газ, заполняющий мельчайшие пустоты в низкопроницаемых коллекторах. Сложность добычи газогидратов определяется их твердой формой, как следствие существующие технологии основаны на разделении на две субстанции: газ и воду. Это методы:

- разгерметизация (снижение давления);
- нагревание;
- ввод ингибитора;
- механическое дробление.

Другие методы, например электромагнитные или акустические, только на стадии рождения [1, С.5].

Наиболее эффективным, несмотря на наличие такого возможного последствия как закупорка оборудования по причине превращения воды в лед под воздействием низких температур, является первый метод, который был апробирован на месторождении Маллик в Канаде. Недостатком второго метода является его экономическая неэффективность по причине постоянной потребности в энергозатратах для нагрева [2]. Также имеет значение временной период разложения газогидрата, который более длителен, чем при методе разгерметизации. Использование ингибиторов чревато экологическими последствиями.

Наличие данных технологических методов, пусть и не совершенных в экологическом аспекте и с точки зрения экономической целесообразности, а также желание ряда стран обрести энергетическую независимость, стало фактором реализации исследовательских программ и планирования начала промышленной разработки в период 2020-2040 гг. газогидратных запасов глубоководного и криогенного генезиса. В частности такие планы есть у таких стран как Япония (желоб Нанкай), США (Мексиканский залив), Индии (прибрежье полуострова Индостана), Китая (Южно-Китайское море, Тибетское плато), Канады (Маллик), США (Аляска).

**Государственное и частное финансирование.** Начало полномасштабных исследований газогидратов в мире было положено в 2000 г. с принятием в США программы по изучению гидратов метана и созданию экологически безопасных технологий извлечения (Interagency R&D Program in Methane Hydrates) – METHANE HYDRATE RESEARCH AND DEVELOPMENT ACT OF 2000. Эта программа управляется в рамках Министерства энергетики (DOE) Управлением нефти и природного газа и проводится в рамках Национальной лаборатории энергетических технологий (NETL). Данная Программа «Methane Hydrate Program»

## СЕКЦИЯ 10. ЭКОНОМИКА ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ И ЕЕ РЕСУРСОВ

предусматривает существенное финансирование не только научных исследований, но и глубоководных экспедиций, проводимых с участием добывающих компаний, федеральных агентств США, учебных заведений и исследовательских институтов других стран [8]. Согласно этой программе с 2001 по 2005 выделялось ассигнований в размере 47,5 млн долл., с 2006 по 2010 год 155 млн долл. Финансирование в размере почти 73 млн долл. продолжилось в последующие годы. Так, например, в 2014 г. было направлено для проведения исследований по данной теме в Техасский университет в Остине (1,68 млн долл.), Массачусетский технологический институт (0,9 млн долл.), Университет штата Орегон в Корваллис (0,65 млн долл.), Университет штата Вашингтон в Сиэтле (0,63 млн долл.), Университет штата Орегон в Портленде (0,28 млн долл.) [8, С.17-18].

Заинтересованность бизнеса в исследовании газогидратов обусловлена пониманием стратегической важности газогидратов, как источника энергии будущего, а, следовательно, желанием сохранить конкурентоспособность в долгосрочной перспективе (таблица 1) [1, С.15].

Таким образом, основным механизмом реализации исследовательских программ по данной тематике, в первую очередь в технологическом плане, и при этом успешно действующим, является государственно-частное партнерство. Заметим, что данные программы начали разрабатываться и реализовываться в период стабильного роста цен на энергоресурсы.

*Таблица 1*

*Совместная реализация исследовательских проектов бизнесом*

География исследований	Годы	Страны участницы	Компании- участницы	Примененная технология
Маллик, Канада	002	Япония, Канада, США, Германия, Индия	JOGMEC, BP, Chevron, Техасо	Нагревание (теплоноситель – вода)
Северный склон Аляски	005	США, Япония	JOGMEC, ConocoPhillips	Инъекция углекислого газа, ввод ингибитора
Аляска, США	007	США	BP, Schlumberger	Бурение с целью изучения свойств газогидрата
	008-2013	США, Япония, Норвегия	JOGMEC, ConocoPhillips, Университет Бергена (Норвегия)	Инъекция углекислого газа
Маллик, Канада	007-2008	Япония, Канада	JOGMEC в составе частно-государственного партнерства MH21	Разгерметизация
Мексиканский залив, США	009	США	Chevron	Бурение с целью изучения геологии залегания газогидратов
Возле полуострова Ацуми, Япония	012-2013	Япония	JOGMEC, JAPEX, Japan Drilling	Разгерметизация

**Экономическая эффективность разработки месторождений метангидрата.** Поиск ответа на вопрос о возможности использования энергии данного энергоресурса в среднесрочной и краткосрочной перспективе актуализирует задачу анализа экономической эффективности разработки месторождений газогидратов.

Как известно, в Нанкайской впадине близ японских островов в соответствии с Японской национальной гидратной программой 2009-2015 гг планировалось проведение опытно-промышленных экспериментов на гидратных пластах средней мощностью 16 м на глубине 1135-1235 м, обнаруженных в результате бурения исследовательских скважин корпорацией JNOC [12]. Однако данные работы были отложены в связи с аварией на Фукусиме и проведены только в марте 2013 г. Профинансированные Японией в соответствии со своей программой \$ 700 млн на исследования метан-гидратов в течение последнего десятилетия позволили получить четыре миллиона кубических футов газа, который стоит около \$ 16 000 США в ценах 2013 г. или около \$ 50000 в ценах 2013 г. на импортный СПГ в Японии, что говорит об экономической нецелесообразности в данный период использования данной энергии, но в тоже время с улучшением технологий возможно удешевление стоимости [10].

Аналогичный вывод подтверждается оценкой экономической эффективности в работе Dr. Adrian Wood, в которой он делает выводы о том, что при существующих рыночных ценах на природный газ добыча метангидратов из Нанкайской впадины нерентабельна [13, С. 25]. Только при использовании субсидирования бурения и налоговых льгот по роялти и другим основным налогам, а также почти двухкратного сокращения стоимости бурения возможно формирование цены сопоставимой с ценой импорта сжиженного природного газа в Японию.

На канадском месторождении Маллик, расположенном в дельте реки Макензи, 60 скважин из пробуренной 201 скважины вскрыли гидратные пласты, запасы которых оцениваются в 110 млрд. м<sup>3</sup> [7]. Hancock, S., который провел сравнительную оценку стоимости добычи природных газов и морских гидратов в Канаде (Таблица ) пришел также к аналогичным выводам [9, С.8 ] .

**Table 2.1: Cost information for conventional gas vs GH (Hancock 2008)**

(All prices \$MM US)	Conventional gas	Gas hydrate
FPO and topsides	443.9	510.2
Pipeline	404.0	404.0
Subsea	369.7	695.8
Drilling and completion	842.2	2367.5
Subtotal capital costs	2059.8	3977.5
Operating cost	1994.8	3232.6
Total cost	4054.6	7210.1
Well count	18	48

Как видно из представленной таблицы, стоимость газогидрата больше в 2,5 раза. При этом оба автора едины во мнении, что если в среднесрочной перспективе разработка газогидратных месторождений нерентабельна, то с инновации в данном сегменте способны развернуть ситуацию на 180 градусов.

Можно обозначить и ряд других проблем современного этапа освоения газогидратов. Так технологические проблемы связаны с отсутствием

## СЕКЦИЯ 10. ЭКОНОМИКА ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ И ЕЕ РУСУРСОВ

инфраструктуры, экологических безопасных технологий и оборудования для извлечения газовых гидратов

Экологические последствия разработки могут быть следующие:

– взрывы в результате свойства газов расширяться при нагревании, т.е. заключенный в пустотах кристаллической решетки воды метан может просто взорваться;

– загрязнение морского дна вследствие разрушения частей буровых установок (опор, стволов скважин и др.) и формирования токсичных отходов в процессе бурения донных отложений;

– выход метана в атмосферу и возникновение подводных оползней вследствие дестабилизации температуры, так как тепло буровых установок повлечь на замороженный метан. Что в совокупности может создать угрозу жизни людей, живущим в прибрежной зоне.

**Газогидраты России: запасы, финансирование исследований и перспективы освоения.** По данным Всероссийского НИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга перспективными районами распространения газогидратов в России являются находящееся в российской юрисдикции дно Каспийского, Черного, Охотского морей, озера Байкал и, конечно, наиболее перспективным регионом является Российская Арктика [3].

*Таблица 2*

### Основные зоны стабильности газовых гидратов в недрах Северного Ледовитого океана

Основные морфоструктуры	Типы зон стабильности гидратов	Площадь км <sup>2</sup> (% от общей площади)	Пределы изменения мощности (средняя мощность в м)	Объем, м <sup>3</sup>
Ложе океана	Придонный	3431	200-1000 (700)	2,4 * 10 <sup>15</sup>
Континентальный склон	Придонный	950	200-800 (560)	5,3 * 10 <sup>14</sup>
Арктический шельф России	Придонный	977	0-600 (200)	1,95 * 10 <sup>14</sup>
	Криогенные гидраты	250 (125)	0-400 (200)	2,5 * 10 <sup>13</sup>
		606 (121)	0-400 (200)	2,4 * 10 <sup>13</sup>
	Непридонный вне акваторий реликтовой мерзлой зоны	24	0-200 (100)	2,4 * 10 <sup>12</sup>

Помимо природных гидратов, выделяются так называемые техногенные гидраты, которые образуются при бурении и эксплуатации скважин на глубине в призабойной зоне, в стволах скважин, и при транспортировке газа в условиях Крайнего Севера, что требует дополнительных усилий как превентивного и ликвидационного характера. Однако, перспективны и методы их использования для хранения больших объемов газа, в технологиях очистки и разделения газов, для опреснения морской воды и в аккумулирования энергии для целей охлаждения и кондиционирования [4, С.170].

Российское научное сообщество активно занимается изучением газогидратов в химическом, техническом, географическом, геологическом и других аспектах.

Однако существует определенное запаздывание со стороны федеральных властей в принятии решений, как случилось при наступлении «сланцевой революции», когда поправки стимулирующего характера, в частности в Налоговый кодекс, были внесены в 2014 г., спустя три года после первых звонков всплеска добычи сланцевых углеводородов.

В настоящее время в Энергетической стратегии на период до 2030 г. и в проекте Энергетической стратегии на период до 2035 г. не упоминаются газогидраты, т.е. можно предположить, что они не рассматриваются как перспективные в долгосрочной перспективе. В тоже время необходимо заметить, что начало «сланцевой революции» было положено после энергетического кризиса 70-х годов прошлого века, когда были приняты стимулирующего характера по разработке нетрадиционных залежей углеводородного сырья. Как следствие авторы считают необходимым принятие мер организационного характера, такие как:

- отражение в Энергетической стратегии на период до 2035 г. газогидратов как энергоресурса будущего времени;
- активизация частно-государственного партнерства в исследовании и разработке газогидратов;
- формирование комплекса стимулирующих мер по развитию инновационных решений в области технологических новаций в исследовании и разработке газогидратных залежей.

### Литература

1. Газогидраты: технологии добычи и перспективы разработки // Аналитический центр при Правительстве РФ. – Режим доступа: <http://ac.gov.ru/publications/> (Дата обращения 10.04.2016 г.)
2. Курикова П.Р. Проблемы освоения газогидратов. – Режим доступа: // SCI-article [сайт] URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1448229952> (Дата обращения 10.04.2016 г.)
3. Матвеева Т.В., Черкашев Г.А. Газогидраты: проблемы изучения и освоения // Федеральное агентство по недропользованию [электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2569.pdf](http://www.rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2569.pdf) (Дата обращения 10.04.2016 г.)
4. Софийский И.Ю., Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т. Газовые гидраты и энергосберегающие технологии // Сборник научных трудов СГУЭиП. Выпуск 1(37) – 2011. – С. 169-177.
5. Сухоносенко А.Л. Термодинамическое моделирование процессов разработки газогидратных месторождений. Диссертация на соискание уч.ст. канд. Техн. наук. Москва, 2013.
6. Climate change impacts on methane hydrates // World Ocean Review [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://worldoceanreview.com/en/wor-1/ocean-chemistry/climate-change-and-methane-hydrates/> (Дата обращения 10.04.2016 г.)
7. Collet T.S. Energy resource potential of natural gas hydrates // AAPG Bull. – 2002. – vol. 86, №11, p.1971-1992.
8. Fiscal Year 2013 Methane Hydrate Program Report to Congress October 2014 // United States Department of Energy [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy.gov/fe/downloads/methane-hydrate-annual-reports> (Дата обращения 10.04.2016 г.)
9. Hancock, S. (2008) Gas hydrates: commercial sooner than expected. ‘Presented at CERINatural Gas Conference.’ Calgary, Alberta.

10. Mann, C. C. May 2013. What If We Never Run Out of Oil? // The Atlantic. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2013/05/what-if-we-never-run-out-of-oil/309294/> (Дата обращения 10.04.2016 г.).
11. Resources to Reserves 2013. Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future // International Energy Agency [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iea.org/etp/resourcestoreserves/> (Дата обращения 10.04.2016г.)
12. Takahashi H., Yonezawa T., Takedomi Y. Exploration for natural hydrate in Nankai-Trough wells on off-shore Japan // Proceedings of the offshore technology conference. – Houston, Texas, 2001. – p. 110-115.
13. Wood A. A critical assessment of the economic viability of methane gas hydrates: a case study of the Nankai trough, Japan by Chinweze Fortune Uhegbu (2013).

### ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ В.П. Шафиков

Научный руководитель доцент Пожарницкая О.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

Государственная программа по развитию Арктики была утверждена правительством России 24 апреля 2014 года, целью которой должно стать социально - экономическое развитие Арктической зоны до 2020 года (рисунок №1). Реализацией программы будут заниматься: Министерства транспорта, промышленной торговли, иностранных дел и министерство развития востока, а контроль за действиями возложен на Министерство регионального развития. Ожидаемый эффект от проведения программы улучшение координации действий органов власти, рациональное управление государственными ресурсами и регулирование нормативно - правовой базы в сфере реализации государственной программы освоения Арктики. Осуществить намеченные цели удастся только с развитием Северного морского пути.



*Рис. 1. Фото научно - исследовательской экспедиции для развертывания новой дрейфующей станции "СП-40". Дата события: 17.09.2012 22:13:00. [8]*