

МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА И ГАЗОГИДРАТЫ

Аннотация. Истощение запасов газа и нефти побуждает искать альтернативные источники углеводородов. Наиболее перспективными из них признаны месторождения газовых гидратов, в которых природный газ находится в виде твердого соединения с водой. Это своего рода «горючий лед», в котором молекулы метана надежно упакованы в ажурные ледяные клетки из молекул воды. Энергетический потенциал газогидратов на Земле, по мнению многих исследователей, как в России, так и за рубежом, превышает потенциал всех прочих (нефть, газ, уголь) горючих ископаемых вместе взятых. За прошедшие 100 лет население Земли увеличилось в четыре раза, энергопотребление же выросло более чем в 10 раз. Поскольку во всем мире неумолимо растет потребление энергоресурсов, желание многих стран найти потенциальные источники энергии вполне объяснимо. Тем более, по прогнозам Energy Information Administration, мировое потребление энергии человечеством возрастет к 2030 г. в среднем почти в половину. Быстрый рост мировой экономики, повсеместное использование энергоемких технологий способствуют активному развитию очередного энергетического кризиса в мире. Традиционные источники УВ – нефть, природный газ, в будущем станут неспособны обеспечивать растущую экономику и население планеты, поэтому будущее за нетрадиционными ресурсами газа.

Ключевые слова: газовые гидраты, метан, углеводородное сырье, ресурсы, энергетический потенциал, вечная мерзлота, шельф, энергопотребление.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-43-57

Потенциал энергии, сосредоточенный в природных газогидратах, может обеспечить мир экологически чистой энергией не менее, чем на 200 лет. Природные газовые гидраты более равномерно распределены на планете, нежели источники нефти и газа. Для их освоения не требуются сверхглубокие скважины, сложные и дорогостоящие системы транспортирования добываемой продукции [1].

В некоторых странах (Япония, Южная Корея и др.) импорт энергетического сырья превышает 98% и число стран-импортеров будет возрастать. В такой ситуации энергетическая проблема будет решаться за счет вовлечения в промышленное освоение нетрадиционных источников углеводородного сырья и, в частности, газовых гидратов (метаногидратов). По оценкам сторонников активного

освоения газогидратных залежей, количество газа, получаемого из них, уже к 2050 г. может покрыть до половины всего мирового энергопотребления [1, 2, 27].

За прошедшие 100 лет население Земли увеличилось в четыре раза, энергопотребление же выросло более чем в 10 раз. Поскольку во всем мире неумолимо растет потребление энергоресурсов, желание многих стран найти потенциальные источники энергии вполне объяснимо. Тем более, по прогнозам Energy Information Administration, мировое потребление энергии человечеством возрастет к 2030 г. в среднем почти в половину. Быстрый рост мировой экономики, повсеместное использование энергоемких технологий способствуют активному развитию очередного энергетического кризиса в мире. Традиционные источни-

Таблица 1

Потребление энергии на одного человека, ккал/сут
Energy consumption per capita, kcal/day

Период	Величина потребления
Каменный век	4000
Аграрное общество	12 000
Индустриальная эпоха	70 000
Наше время	250 000
XXI век (прогноз)	300 000

ки УВ — нефть, природный газ, в будущем станут неспособны обеспечивать растущую экономику и население планеты, поэтому будущее за нетрадиционными ресурсами газа [3, 25].

По оценкам [4] потребление всех видов ресурсов (в том числе и энергетических) одним человеком растет экспоненциально (табл. 1). В связи с чем актуальность газогидратной тематики является востребованной.

По имеющимся прогнозам (табл. 2), несмотря на все продолжающееся развитие исследований по эффективному использованию неуглеводородных источников энергии (солнечной, ветровой, приливной и геотермальной), углеводородные виды топлива по-прежнему сохранят и, в обозримом будущем, даже существенно увеличат свою и так значительную роль в энергетическом балансе человечества. Среди мировых ресурсов газа нетрадиционных источников на до-

Таблица 2

Вклад различных источников энергии в мировой энергобаланс, %
Contribution of energy sources to global energy balance, %

Период	Вид энергии								
	мускульная энергия	органические вещества	древесина	уголь	нефть	природный газ	водная энергия	атомная энергия	нетрадиционные источники
500 тыс. лет до н.э.	100								
2 тыс. лет до н.э.	70	25							
Около 1500 г. н.э.	10	20	70						
1910 г.			16	65	3				
1935 г.				55	15	3	5		
1972 г.				32	34	18	5	1	
1987 г.				25	38	24	4	8	1
2002 г.				24	37	24	3	12	2
2030 г. (прогноз)				21	25	31	3	17	3

Таблица 3

Мировые ресурсы газа нетрадиционных источников [5, 7]
World resources of gas from nonconventional sources [5, 7]

Источники	2010 г.		2014 г.	
	трлн м ³	%	трлн м ³	%
Газ газогидратов	2500–21 000	72	2500–21 000	72
Газ сланцевый	380–420	11	380–420	11
Газ глубоких горизонтов	200–350	6	—	—
Газ низкопроницаемых коллекторов	180–220	5	380–570	11
Газ угольный	200–250	6	200–250	6

Таблица 4

Содержание углерода в известных мировых запасах углеводородов [4]
Carbon content of the known global hydrocarbon reserves [4]

Виды запасов углеводородов	Доля, %
Газовые гидраты	53
Разведанные и неразведанные ресурсы угля, нефти, газа	27
Почва	8
Растворенное в море органическое вещество	5
Наземная растительность	4
Торф, детритовое органическое вещество, атмосфера и морские отложения	3

лю газовых гидратов приходится 72% (табл. 3) и, по мнению Е.В. Перловой (2010 г.), природные газогидраты можно отнести к коммерчески значимым [5, 6].

Как отметил министр энергетики России, есть такие изменения, которые являются революционными и которые приводят к изменению энергобаланса. К таким неожиданным факторам относится авария на Фукусиме. По словам министра, она повлияла на энергобаланс. В результате того, что многие стали отказываться от атомной генерации. По его мнению, следующий такой момент, который может изменить всю систему — это разработка газогидратов. Запасы газогидратов более чем в два раза превышают совокупные запасы сланцевого и обычного природного газа. Это запасы, которые сегодня еще неэффективно добывать, но в большой перспективе что эффективные технологии будут разработаны и себестоимость добычи будет конкурентоспособной [3].

Газогидраты могут содержать до 10 трлн т углерода, т.е. в два раза больше, чем вместе взятые мировые запасы угля, нефти и природного газа (табл. 4) [4].

Газогидраты являются возобновляемым ресурсом и охватывают около 97% площади дна Мирового океана, в т.ч. 10% шельфа и 100% континентального склона независимо от широты местности.

Считается, что рентабельность добычи газогидратов будет достигнута к 2025 г., когда себестоимость добычи с

текущих 220 долл. США/1000 м³ (оценка Геологической службы США) будет снижена до 50–60 долл. США/1000 м³ [8].

Позднее (2006 г.) также отмечено, что для освоения ресурсов газа в гидратном состоянии особое значение имеет создание методов эффективной разработки газогидратных скоплений. В настоящее время есть два подхода к решению этой проблемы:

- создание общих моделей разработки, способных моделировать разработку любой газогидратной залежи (практикуется в США);
- создание моделей разработки только под конкретную разведанную залежь (практикуется в Японии).

Японский путь выглядит более реалистичным. Гидратосодержащие пласты настолько разнообразны по своим физико-химическим, термодинамическим и геологическим свойствам, что создать общую модель разработки (в отличие от газовых залежей) не представляется возможным. Можно лишь создать обобщающую модель под узкий спектр залежей, обладающих сходными свойствами. Поэтому в Японии был признан наиболее целесообразным путь, когда сначала исследуются термодинамические и фильтрационно-емкостные свойства конкретной обнаруженной залежи, потом производится экспериментальное моделирование воздействия на пласт и лишь потом начинается создаваться модель разработки и только под данную залежь. Со-

Таблица 5

Ориентировочная себестоимость добычи собственно нетрадиционных ресурсов газа [11]
Estimated cost of recovery of nonconventional gas reserves [11]

Источник	Диапазон предполагаемых оценок, руб./1000 м ³	Средняя величина, руб./1000 м ³	Примечание
Газ угленосных толщ	2100–4500	3300	
Сланцевый газ	2400–5400	3900	
Водорастворенный газ	3000–8100	5600	с учетом утилизации подземных вод
Газогидраты континентальные	1500–4500	3000	
Газогидраты морские (субаквальные)	3300–6600	5400	

здание модели разработки умозрительной залежи (как в США) совершенно не гарантирует соответствие этой модели реальным залежам [9].

В.А. Соловьев, освещая природные газовые гидраты (2003 г.) как потенциальное полезное ископаемое, отмечал, что определение значимости и перспективности природных газовых гидратов как горючего ископаемого представляет несомненный практический интерес. Однако ответить с какой-либо определенностью на вопрос о месте газовых гидратов в ряду других горючих ископаемых не представляется возможным, поскольку еще не накоплен достаточный фактический материал и не завершен первый необходимый этап работ — научно-исследовательский.

По геологическим условиям наиболее перспективными, в соответствии с представлениями о ведущей роли в формировании скоплений газовых гидратов процесса фильтрации флюидов, можно считать континентальные склоны активных окраин в границах аккреционных призм, что также подтверждается имеющимися фактическими данными.

Что касается возможности освоения залежей газовых гидратов, то первоочередной интерес, по-видимому, представляют скопления газовых гидратов, связанные с очагами разгрузки флюидных

источников. Такие скопления расположены непосредственно вблизи дна водоемов, часто при относительно небольшой глубине воды (от 480 м и более), и характеризуются относительно большим содержанием гидратов в отложениях (максимально до 35%). В настоящее время в Мировом океане известно не менее 70 районов с признаками разгрузки флюидов на дне. Все эти районы могут рассматриваться как потенциально газогидратоносные источники [10].

Проанализировав отечественные и зарубежные литературные источники, В.С. Якушев (2012 г.) определил ориентировочные оценки себестоимости добычи нетрадиционных (в том числе и газогидратов) трудноизвлекаемых ресурсов газов (табл. 5) [11].

А.М. Мастепановым (2014 г.) было показано, что основная конкурентная борьба за потребителя развернется между теми видами газа, стоимость добычи которых на скважине лежит в диапазоне 212–318 дол./тыс. м³ в ценах 2010 г. Естественно, в отдельных странах и районах будет востребован и более дорогой газ, но не он будет «править бал» на мировом рынке газа.

В этих условиях гидратный метан может войти в мировой энергетический баланс лишь в том случае, если стоимость его добычи будет составлять (в ценах

2010 г.) не более 583—636 дол./тыс. м³ в шельфовых районах вблизи таких крупнейших потребителей как Япония и Республика Корея, и не более 212—265 дол./тыс. м³ в удаленных арктических районах (Аляска, северные районы Канады, Сибири и Дальнего Востока России) [2, 26, 27].

Средние же издержки производства метана в рамках пилотного проекта консорциума МН-21 ожидаются в пределах 416—836 долл. (тыс. м³) в ценах 2004 г. [12].

Востребованность газа из газогидратов возможна только тогда, когда к этому будет готов мировой энергетический рынок, когда сложится соответствующий экономический и политический климат. Так, США, рассматривая ресурсы газогидратов как стратегический резерв, который позволит обеспечить энергетическую безопасность страны в будущем, вряд ли будут торопить начало масштабной добычи газа из гидратов до тех пор, пока будет хватать сланцевого газа. Не особо заинтересованы в «гидратной революции» и государства — производители традиционных энергоресурсов. Ведь с появлением нового источника газа упадет значение нефти, а вместе с ним сократится и значение тех наций, которые правят «нефтяной бал». Кроме того, страны, которые сейчас рассматриваются, как перспективные крупные поку-

патели для традиционных поставщиков газа и на которые нацелены долгосрочные контракты, могут быстро превратиться в энергетически самодостаточные государства. Более того, некоторые из них со временем могут выступить в качестве конкурентов существующим производителям, поставляя газ из газогидратов ближайшим соседям, у которых нет традиционных ресурсов и выхода к морю [2].

Поэтому многие специалисты — геологи, нефтяники — считают, что в силу неустойчивости и специфики залегающих газогидратов их добыча является весьма проблематичной и, скорее всего, относится к технологиям будущего [13].

Что же касается прогноза мирового потребления энергии на 2020 г., то согласно оценкам Международного энергетического агентства, ее совокупное потребление составит 13 300—14 400 млн т н.э. (табл. 6).

По прогнозам зарубежных ученых (Э.А. Анфилатова, 2008 г.), 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 скоп-

Таблица 6

Прогнозные оценки мирового потребления энергии на 2020 г. [4]
Prediction estimates of global energy consumption by 2020 [4]

№ п/п	Источники энергии	Единица измерения	Количество
1	Нефть	млн. т. н. э.	4600—5100
2	Газ	млрд м ³	3600—3800
		млн т. н. э.	3250—3450
3	Уголь	млн т. н. э.	2700—3200
4	Атомная энергия	млн т. н. э.	780—820
5	Гидроэнергия	млн т. н. э.	320
	Совокупное потребление	млн т. н. э.	13 300—14 400

Таблица 7

Ресурсы НИУВС России [6]
Nonconventional hydrocarbon reserves of Russia [6]

Источники НИУВС	трлн м ³	%
Газ газовых гидратов (без учета ресурсов Северного Ледовитого океана)	422	70
Газ низкопроницаемых коллекторов	110	18
Газ угольный	50	9
Газ сланцевый	5–20	3 (2% от мировых)

лений 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 [14].

В гонке за новым источником энергии лидерство сейчас принадлежит Японии. За ней пристроились США, Канада, Южная Корея и Китай. Кроме того, в последнее десятилетие шельфовыми гидратами все интенсивнее интересуются

Норвегия, Германия, Франция, Италия, Великобритания, Турция, Украина, Малайзия, Вьетнам, Австралия, Чили.

Начало промышленной разработки шельфовых газогидратных месторождений приведет к коренным изменениям на рынке природного газа и энергетическом рынке в целом (газ уже сейчас занимает более четверти в мировом энергопотреблении).

Глобальное распространение газогидратных залежей ставит под вопрос развитие торговли газом с помощью танкеров для сжиженного природного газа (СПГ) — возможно, разработка близлежащих залежей будет эффективнее, чем подвоз дорогого сжиженного газа. И, наконец, разработка шельфовых газогидратных залежей просто означает огромный шаг в научно-техническом развитии страны, осуществляющей эту разработку [15].

Что касается нашей страны, то Россия, значительная часть территории, которой находится в зоне вечной мерзлоты, обладает благоприятными условиями для формирования и сохранения значительных ресурсов газогидратов.

Таблица 8

Потенциальные ресурсы всех «нетрадиционных» источников газа России (на 01.01.2014 г.) [16]

Potential resources of all nonconventional gas sources of Russia (by 01.01.2014) [16]

Источник	Общие ресурсы, трлн м ³	Коэффициент извлечения*, %	Извлекаемые ресурсы, трлн м ³
1	2	3	4
1. Газы низкопроницаемых коллекторов (глубина 2000–4500 м)	202–215	30–60	60–130
2. Газы угленосных толщ	50	30–40	15–20
3. Сланцевый газ	8–20	10–15	1–3
4. Газы глубоководных залежей с малыми запасами (глубины более 6000 м)	20–25*	30–60	6–15
5. Газы внутримерзлотных скоплений	до 20	40–70	8–14
6. Природные газогидраты	500–700**	15–20**	100–140**
Итого	800–1030		190–322
* Экспертная оценка. ** По данным разных источников.			

Специализированных газогидратных исследований в России пока не проводилось. Тем не менее, полученный к настоящему времени фактический материал позволяет оценить прогнозные ресурсы гидратного газа, а также наметить первоочередные полигоны для проведения специализированных опытно-экспериментальных и геолого-разведочных работ.

По данным В.А. Скоробогатова и Е.В. Перловой (2012 г.) в России на долю гидратного газа приходится до 70% от суммы всех НИУВС страны (табл. 7).

По информации [16] потенциальные ресурсы всех «нетрадиционных» источников газа России по состоянию на 01.01.2014 г. иллюстрируются данными табл. 8. Причем, общие ресурсы газогидратов составляют 500–700 трлн м³, а на долю извлекаемых ресурсов ГГ приходится 100–140 трлн м³.

Рассматривая перспективы промышленного освоения ресурсов гидратного газа в России, необходимо учитывать следующее.

1. В настоящее время себестоимость добычи газа из гидратов в мире значительно превышает аналогичный показатель добычи газа из традиционных газовых месторождений. Поэтому промышленное освоение газогидратных залежей в России может начаться через 15–20 лет, когда прогресс в технологиях газодобычи обеспечит экономическую целесообразность их разработки.

2. Наибольшими перспективами промышленного освоения обладают, несмотря на меньший объем ресурсов (по сравнению с субаквальными), континентальные газогидратные скопления, поскольку они приурочены к районам с налаженной инфраструктурой добычи и транспортировки газа или в непосредственной близости от них.

3. Первоочередными объектами для постановки геологоразведочных работ и опытно-экспериментального бурения

на природные газовые гидраты в России являются: территория Ямбургского нефтегазоносного месторождения (север Западно-Сибирской НГП) в континентальных условиях и западная часть Охотского моря в районе Сахалинского шельфа (впадина Дерюгина) – в субаквальных условиях [5, 6].

Г.А. Григорьев и Т.А. Афанасьева (2012 г.), рассматривают газовые гидраты, как наименее исследованный и наиболее проблемный ресурс, как с точки зрения оценки принципиальной возможности вовлечения его в промышленный оборот, так и с точки зрения всесторонней характеристики ресурсной базы и, соответственно, оценки масштабов предполагаемой добычи и определения хотя бы примерных временных рамок ее начала. В силу специфики физических условий существования газогидратов данный тип газовых ресурсов трудно изучать, так как их исчерпывающие геолого-промысловые исследования могут быть проведены только на основании отбора керн, что затруднено технически. На сегодня не существует геофизических методов для их выделения и оценки наиболее существенных параметров залежей. Процесс освоения ресурсов газогидратов также представляет собой сложную технологическую проблему.

Учитывая низкую степень изученности газогидратов, ограниченный по объему ресурсный потенциал, заведомо уступающий потенциалу традиционных газовых залежей, а также специфику их агрегатного состояния и вполне очевидные чисто технологические проблемы, как изучения, так и освоения, данную группу ресурсов следует рассматривать исключительно лишь как объект возможного изучения. По мнению авторов, ранее 2040–2050 гг. эта группа ресурсов востребована не будет [17].

На основании проведенного анализа ситуации, складывающейся в газогид-

ратной тематике, авторы делают следующие выводы:

- ресурсный потенциал нетрадиционных источников в пределах России изучен недостаточно, а его масштабы и возможная роль в энергобалансе страны на среднесрочную перспективу (минимум до 2030 г.) не могут рассматриваться как значимые в силу высокой обеспеченности газодобычи из традиционной ресурсной базы;

- себестоимость разработки нетрадиционных объектов кратно и даже на порядок превышает себестоимость освоения традиционной ресурсной базы газового сырья; в России этот разрыв еще больше; соответственно, ее востребованность будет ограничена исключительно локальными нуждами регионов;

- на среднесрочную перспективу невозможно ожидать перелома в отношении коммерческой привлекательности нетрадиционной ресурсной базы газодобычи; в то же время необходимость изучения, по крайней мере, фундаментальных проблем, связанных с ее потенциальным развитием, очевидна; соответствующее финансирование наиболее актуальных исследований должно обеспечиваться государством [17].

Давая оценку экономической эффективности изучения и освоения нетрадиционных видов УВ, А.М. Зафарова (2012 г.) отмечает, что экономическая стратегия России до 2030 г. устанавливает разработку нетрадиционных запасов и в нефтяном, и в газовом секторе в качестве одного из приоритетных направлений научно-технического развития. Предусматривается увеличение доли нетрадиционного газа (в том числе и газогидратного) в российской газодобыче до 15% к 2030 г. Очевидно, что технологическое обеспечение освоения НИУВС разнится по экономической эффективности и масштабам промышленного внедрения, их вовлечение в народно-хозяйственный

оборот позволит предотвратить избыточные затраты на подготовку новых сырьевых баз. Необходимо повышение инвестиционной привлекательности проектов освоения НИУВС за счет государственной поддержки предприятий-недропользователей инновационного типа.

Разработка нетрадиционных углеводородов становится новым важным направлением развития мировой энергетики. Так, по данным Международного энергетического агентства (МА), производство нетрадиционного газа в 2010 г. составило 485 млрд м³, или около 15% мировой добычи. Нетрадиционная нефть обеспечивает почти 3% мировой добычи, а это 2,3 млн баррель/день, что превышает нефтедобычу такой страны, как Норвегия.

На сегодняшний день нетрадиционные углеводороды можно назвать мировым «резервным фондом» нефти и газа. Они могут на равных конкурировать с традиционными углеводородами и за счет этого самостоятельно оказывать серьезное влияние на развитие мировой энергетики [18].

С точки зрения начала скорой коммерческой эксплуатации, арктические месторождения представляются наиболее перспективными, хотя общий объем метана, сосредоточенного в морских скоплениях ГГ, намного выше [19].

Большая часть традиционного российского газа (более 80%) добывается на удаленных от основных рынков месторождениях Западной Сибири. По мере истощения легкоизвлекаемых запасов традиционного сеноманского газа средняя стоимость добычи газа в Западной Сибири растет. В то же время развитие за рубежом технологий снижает стоимость добычи нетрадиционного газа. Вроде бы явная тенденция к усилению конкурентоспособности нетрадиционного газа.

Однако объемы традиционного газа в России настолько велики, а технологи-

ческие установки по его добыче и транспорту настолько огромны, отработаны и капиталоемки, что какой-либо реальной конкуренции в качестве энергоносителя нетрадиционный газ традиционному в России составить не сможет в обозримой перспективе. И естественно, возникает вопрос: а зачем вообще сейчас в России заниматься разработкой нетрадиционного газа? [20].

По-видимому, прежде всего, следует изменить угол зрения на разработку скоплений нетрадиционного газа в России. Нетрадиционный газ можно добывать не в качестве альтернативы традиционному, а в качестве пути решения ряда текущих и будущих объективных проблем газодобычи. В чем эти проблемы?

1. Истощение месторождений традиционного газа ставит вопрос о доработке остаточных (низконапорных) запасов газа и продлении «жизни» малодобитных скважин. Скважины на месторождениях с нетрадиционными ресурсами изначально отличаются малыми давлениями и дебитами на устье, что позволит отработать технологии и для традиционного газа.

2. Истощение месторождений традиционного газа ставит вопрос о поиске новых источников газа для загрузки существующей добывающей и транспортной инфраструктуры. Залежи нетрадиционного газа часто соседствуют в разрезе с залежами традиционного газа и могут быть вовлечены в разработку с использованием высвобождающихся мощностей.

3. По мере истощения гигантских месторождений в старых газодобывающих регионах все больше добычи газа будет приходиться на средние и мелкие месторождения. Традиционные способы подготовки и транспорта газа с этих месторождений далеко не всегда будут оправданы экономически. Необходимы технологии монетизации газа (газохимия)

на скважине с учетом потребностей рынков в том или ином продукте переработки. Эти технологии будут необходимы и для успешной разработки нетрадиционных ресурсов.

4. Наличие пластов с нетрадиционными ресурсами по соседству с месторождениями угля (угольный метан) и нефти и газа (газогидраты) ставит вопрос о безопасном ведении разведки и разработки основных месторождений. Предварительная частичная разработка пластов с нетрадиционными ресурсами значительно снижает риск возникновения опасных газовых выбросов.

По мнению Е.П. Калинина (2013 г.) выявление и изучение газогидратных залежей является задачей недалекого будущего, особенно в верхах разреза крупных газовых скоплений.

Практически все газогидратные месторождения ждут создания новых методов, технологий, поэтому начало их промышленной разработки потребует, как минимум, десятилетия. Однако началась настоящая гонка за новым источником энергии. Лидерство принадлежит Японии [21].

По информации специалистов журнала «Разведка и добыча» (2013 г. № 6) [22], в Токио 8 июня 2013 г. объявлено о начале полномасштабных работ по оценке потенциала залежей кристаллогидратов метана в Японском море. Трехлетняя программа под эгидой Агентства природных ресурсов и энергетики Министерства энергетики, торговли и промышленности предусматривает вначале сейсмическую съемку ряда участков на континентальном шельфе у берегов префектур Ниигата и Исикава.

В случае обнаружения перспективных структур в апреле 2014 г. должно начаться бурение поисково-оценочных скважин. В 2014–2015 гг. сейсмика продолжена у берегов префектур Акита и Ямагата, а затем около острова Хок-

кайдо. В программе принимают участие специалисты Национального института передовой промышленной науки и технологии (AIST) и Университета Мейдзи. Правительство ассигновало на программу 105 млн долл. после того, как государственная Японская корпорация нефти, газа и металлов (JOGMEC) совместно с инженерами Baker Hughes и при участии австралийской компании Farley Riggs провела в районе впадины Нанкап к югу от полуострова Ацуми успешные испытания скважины по добыче метана из гидратных залежей с глубины 300 м под морским дном (на глубине моря 1 км). Устойчивый приток газа был зафиксирован на протяжении всего 10-дневного срока испытаний.

По словам исполнительного директора австралийской компании Криса Риггса, этот опыт доказал потенциальное коммерческое значение разработки морских запасов метангидратов. «Одной только Японии хватит запасов впадины Нанкам, по самой консервативной оценке, на сто лет обеспечения спроса на газ», — подчеркнул он в одном из интервью.

С этой программой в Японии, полностью зависимой от импорта сжиженного газа, связывают огромные надежды. Объем ГТЗ у берегов страны оценивается в 50 трлн м³. Специалисты Baker Hughes считают, что во впадине Нанкай может находиться более 1.1 трлн м³ метана.

Мировые ресурсы кристаллогидратов на морском дне и в зонах вечной мерзлоты на суше, по мнению геологов, достигают 250 трлн м³ — это запас энергии, вдвое превышающий разведанные запасы угля, нефти и газа на планете. Промышленное их освоение способно полностью переключить не только карту распределения энергоресурсов на планете, но и политическую карту мира. В выигрыше окажутся такие страны, как, например, Индия, а в разряд проиграв-

ших можно будет записать Россию с ее грандиозными планами завоевания зарубежных газовых рынков.

Как утверждают участники эксперимента на условиях анонимности, себестоимость газа из морских залежей метангидратов можно сейчас оценить как втрое превышающую цену СПГ, импортируемого Японией. По расчетам Геологической комиссии Канады, сделанным в 2009 г., добыча газа из наземных залежей кристаллогидратов коммерчески рентабельна без дополнительных налоговых льгот при ценах на газ более 10 долл. за тысячу кубических футов, то есть 350 долл. за тысячу кубометров.

«Это только кажется огромным ценовым разрывом», — сказал в беседе с RusEnergy экономический эксперт «Газпрома», знакомый с деталями проекта. — «Это ведь японцы. С их передовыми и быстро развивающимися технологиями и с их упорством они в обозримом будущем сведут разницу к нулю. Не исключаю, что произойдет это уже лет через пять».

При проведении морского эксперимента бурить решили не одну, а сразу четыре скважины. Одна предназначалась для пробной добычи газа, а три другие послужили для замера температуры и давления, а также для мониторинга возможных геоструктурных и экологических изменений в районе эксперимента в результате возможных утечек метана. Технологию добычи, предложенную Baker Hughes, применили самую консервативную, с минимальным воздействием механическими, химическими, термическими и прочими посторонними факторами. Когда скважина достигла залежи, специально спроектированная погружная насосная система начала откачку воды, что понизило внутрислоевого давление и привело к таянию кристаллогидратов с выходом метана. Интенсивность потока и содержание компонентов

измерялись на буровом судне с последующим сжиганием газа. Серьезные превентивные меры были вызваны недостаточным пониманием последствий «размораживания» природных гидратов. Как говорят участники эксперимента, особые опасения вызывают перспективы возможного проседания морского дна и оползни, способные спровоцировать тектонические явления, а также крупномасштабная утечка метана в атмосферу за пределами скважины. Первый опыт прошел без инцидентов, однако опасность, как предупреждают геологи и климатологи, сохраняется, и пренебрегать ею не стоит [22].

Процесс разработки газогидратного месторождения сопровождается фазовым переходом (диссоциация газогидрата на жидкость и газ), поэтому традиционная модель плоскорадиального течения не характеризует процесс. Для создания научных основ разведки и добычи газа из газогидратных залежей необходимо развитие теории фазовых превращений газогидратов в пористой среде, что позволило бы моделировать различные технологии освоения газогидратных залежей [23].

Исследования по проблеме газогидратов быстро расширяются и, по данным [2] центр их тяжести смещается в сторону технологических экспериментов по разработке газогидратных скоплений, возможностей хранения и транспортировки углеводородного сырья в виде газогидратов. Кроме Канады, США и Японии национальные газогидратные программы и проекты разработаны и реализуются в Индии, Китае, Республике Корея, Малайзии. Ряд исследовательских центров создан в странах Европы (Болгарии, Великобритании, Германии, Италии, Норвегии, Франции) и других государствах.

В России подобной национальной программы нет. Не проводятся и специализированные поэтапные исследования

с целью оценки ресурсной базы и подготовки промышленной добычи газа из природных газогидратных скоплений, хотя приоритет в открытии природных гидратов УВГ и принадлежит советским ученым.

Хотя гидратоносность некоторых районов на континентах и акваториях является доказанной, однако специализированных геологоразведочных и технико-экспериментальных работ на природные газовые гидраты немного — это пилотные проекты в Канаде, США и Японии. По мнению А.М. Мастепанова, это связано с недостаточной изученностью газовых гидратов как природного объекта, а именно:

- до сих пор неясными являются условия и механизмы образования газогидратных залежей в породах;
- отсутствуют прямые методы поиска и картирования гидратосодержащих отложений;
- немаловажную роль играет и высокая стоимость исследований, начиная с уникального оборудования и заканчивая подготовкой специалистов [2].

По данным В.И. Песля (2014 г.) геолого-экономический анализ показывает, что эффективный коэффициент извлечения газа в мире составит 17–20% от суммарного потенциала, т.е. порядка трех тысяч триллионов м³. Однако для отдельных залежей коэффициент извлечения газа может превышать 90%.

Эффективность освоения ГГЗ определяется:

- геологией региона;
- термодинамическими характеристиками разреза;
- используемыми технологиями.

Технологий, пригодных для широкомасштабного извлечения этого альтернативного источника энергии, до недавнего времени не было. По мнению [2] в конкурентном глобализирующемся мире в ближайшие годы и десятилетия будет про-

Таблица 9

Основные направления энергетических технологий на ближайшие годы и десятилетия [2]
Main trends in energy technologies for the nearest years and decades [2]

Направления	Структура
1	Новые технологии производства новых энергоресурсов (использование: газогидратов, матричной нефти, энергии приливов и отливов, температурного градиента океана, атомной энергетики на быстрых нейтронах, той же термоядерной энергии и др.)
2	Технологии, обеспечивающие эффективный транспорт традиционных энергоресурсов на большие расстояния (природного газа в гидратном состоянии, использование эффекта сверхпроводимости при передаче электроэнергии, в частности атомное хемотермическое дальнее теплоснабжение, и др.)
3	Развитие технологий, обеспечивающих значительный рост эффективности использования энергии

исходить своеобразное соревнование энергетических технологий по следующим основным направлениям (табл. 9).

И от того какие из этих технологий быстрее выйдут на рынок, будет зависеть не только судьба того или другого энергоносителя, но и весь мировой энергетический ландшафт середины XXI в. [2].

В ближайшие 15–20 лет [12] газогидраты, по всей видимости, не смогут составить реальной конкуренции традиционному газу российских дальневосточных проектов на рынках стран АТР, чего нельзя сказать о более позднем периоде.

По последним прогнозам Международного энергетического агентства, сделанным в 2010–2013 гг. удельный вес возобновляемых источников энергии и нетрадиционных источников и газа в мировом потреблении первичных энергоресурсов к 2035 г. достигнет 22,5–25,1% [2].

Общая хронология выполнения основных газогидратных программ и мероприятий в прошлом и будущем приведена в [12]. Работы ведутся широким фронтом. Однако для того, чтобы газогидраты смогли занять свое место в мировом энергетическом балансе, необходимо решить целый ряд научно-технических, технико-технологических, экономических и экологических проблем.

Что же касается положения дел, складывающегося в мировой энергетике на данный период времени, отягощенном геополитическими вызовами и санкциями, то в этом плане следует отметить следующее.

По мнению А.М. Мастепанова [24] будущее глобальной энергетики, как и всей мировой экономики, в значительной мере будет определяться:

- балансированием между глобализацией и регионализацией, угрозой энергетического дефицита и наступлением глобального профицита энергоресурсов;
- сменой технологических укладов как в производстве топлива и энергии, так и в их потреблении;
- завершением эпох и углеводородов и развитием инновационной безуглеродной энергетики и др.

Развитие знаний о природе, создание новых технологий, технических решений для роста энергоэффективности, использование ВИЭ, разработки нетрадиционных источников углеводородов привели не только к снижению угроз энергетического дефицита, но и к необходимости переосмысления проблем и перспектив мирового энергетического баланса в целом. Соответственно, тезис об угрозе энергетического дефицита звучит все реже.

Однако, стоимость освоения новых ресурсов достаточно высока. Поэтому в обозримой перспективе основной проблемой развития мировой энергетики будет не нехватка энергетических ресурсов как таковых, а возможность обеспечить требуемые объемы производства

топлива и энергии необходимыми инвестиционными ресурсами на таких условиях, чтобы стоимостные показатели оставались приемлемыми для потребителей и привлекательными для производителей энергоносителей при допустимых экологических рисках и результатах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макогон Ю. Ф.* Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Российский химический журнал. — 2003. — т. XLVII. — № 3.

2. *Мастепанов А. М.* Газогидраты в перспективном мировом энергетическом балансе: оценки, проблемы и необходимые условия // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. — 2014. — № 5.

3. *Песля В. И.* Проблемы и перспективы добычи газа из газогидратов // Вестник СПбГЭУ. — 2014. — Вып. 1 (68). — С. 42—49.

4. *Воробьев А. Е., Чекушина Е. В., Разеренов Ю. И.* Экспертная оценка мировых запасов аквальных залежей газогидратов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. — 2012. — № 6.

5. *Перлова Е. В.* Коммерчески значимые нетрадиционные источники газа — мировой опыт освоения и перспективы для России // Территория нефтегаз. — 2010. — № 11.

6. *Скоробогатов В. А., Перлова Е. В.* Потенциальные ресурсы нетрадиционного газа недр России (суша и шельф) и перспективы их промышленного освоения до 2050 г. // Геология нефти и газа. — 2014. — № 5. — С. 48—57.

7. *Матвеева Т. В.* Методика и этапность изучения потенциально-гидратоносных акваторий и залежей газовых гидратов // Недропользование. — 2014. — № 3 (47). — С. 72—77.

8. *Якушев В. С., Истомин В. А., Перлова Е. В.* Ресурсы и перспективы освоения нетрадиционных источников газа в России. — М., 2002. — С. 87.

9. *Якушев В. С.* Газовые гидраты в российской части Арктики / Материалы Международной научно-технической конференции «Нефть, газ Арктики», Москва, 27—29 июня. — 2006. — М.: Интерконтакт. Наука, 2007.

10. *Соловьев В. А.* Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. — 2003. — т. XLVII. — № 3.

11. *Якушев В. С.* О конкурентоспособности нетрадиционных источников углеводородов на региональных рынках // Газовая промышленность. — 2012. — спец. выпуск.

12. *Мастепанов А. М.* Произойдет ли «гидратная революция?» // Нефть России. — 2014. — № 6.

13. *Дмитриевский А. Н., Баланюк И. Е.* Газогидраты морей и океанов — источник углеводородов будущего. — М., 2009.

14. *Анфилатова Э. А.* Аналитический обзор современных зарубежных данных по проблеме распространения газогидратов в акваториях мира // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2008. — № 3. — С. 1—8.

15. *Якушев В. С.* Газовый источник, способный перевернуть мировой рынок энергии // Мировая энергетика. — 2008. — № 11—12 (59). — С. 19—22. www.worldenergy.ru

16. *Гулев В. Л., Гафаров Н. А., Высоцкий В. И., Журило А. А., Истомин В. А., Карнаухов С. М., Скоробогатов В. А.* Нетрадиционные ресурсы газа и нефти. Т. VI. — М.: Издательский дом «Недра», 2014. — С. 284.

17. *Григорьев Г. А., Афанасьева Т. А.* Перспективы промышленного освоения нетрадиционных ресурсов газа в России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2012. — т. 7. — № 2. — Электронное научное издание. www.ngtp.ru/rub/9/29. — 2012.

18. *Зафарова А. М.* Оценка экономической эффективности изучения и освоения нетрадиционных видов углеводородов // Газовая промышленность. — 2012. — № 12.

19. *Аксельрод С. М.* Разведка и опытная эксплуатация месторождений газогидратов (по материалам зарубежной литературы) // Каротажник. — 2009. — № 8. — С. 92—123.

20. *Якушев В. С.* Разработка нетрадиционных ресурсов газа в России // Газовая промышленность. — 2013. — № 6 (691).

21. Калинин Е. П. Газогидраты — топливо будущего? // XVI Геологический съезд Республики Коми 2013. Сыктывкар.
22. Метаногидраты: Выгоды и риски // Разведка и добыча. — 2013. — № 6. — С. 8—10.
23. Джафаров Д. С. Уpravление нефтегазовыми переходами при разработке газогидратных месторождений // Недропользование. — 2013. — № 9.
24. Мастепанов А. М. Об энергетической ситуации в условиях новых вызовов и геополитических реалий // Академия энергетике. — 2015. — № 3 (65). — С. 4—10.
25. Bois C., Bouche P., Pelet R. Global geologic history and distribution of hydrocarbon reserves. // AAPG Bulletin, September 1982. Vol. 66. Pp. 1248—1270.
26. Gudmundsson J. S., Parlaktuna M. and Khokhar A. A. Storing natural gas as frozen hydrate // SPE Production and facilities. February, 1994. Pp. 69—73.
27. Gorzym A. Zamroznona energija // Polityka Export—Import. 1988. № 13 (240). **ГАЗ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гудзенко Виктор Трифонович¹ — кандидат геолого-минералогических наук, заведующий Отделом по геологии,
 Вареничев Анатолий Алексеевич¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий Отделением наук о Земле, e-mail: avar@viniti.ru,
 Громова Марина Петровна¹ — заместитель заведующего Отделом по геологии и горному делу,

¹ Всероссийский институт научной и технической информации РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 10, pp. 43—57.

World economy and gas-hydrates

Gudzenko V.T.¹, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department,
 Varenichev A.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
 Head of Department, e-mail: avar@viniti.ru,
 Gromova M.P.¹, Deputy Head of Division,
¹ All-Russian Institute for Scientific and Technical Information
 of Russian Academy of Sciences (VINITI), 125190, Moscow, Russia.

Abstract. Depletion of oil and gas reserves makes find alternative sources of hydrocarbons. The most promising sources are recognized deposits of gas-hydrates containing natural gas as a solid compound with water. This is a sort of «combustible ice» with methane molecules safely encased in laced ice cells of water molecules. As many researches both in Russian and abroad believe, energy potential of gas-hydrates of the Earth exceed the potential of all other (oil, gas, coal) fossil fuels. During the last 100 years, the Earth's population has grown 4 times, and energy consumption has increased more than 10 times. In view of the inexorably expanding consumption of energy resources in the world, desire of many countries to find potential energy sources is well explicable. The more so as the world use of energy by the mankind will double on average by 2030 by forecasts of the Energy Information Administration. Rapid economic growth in the world and universal application of energy-intensive technologies contribute to vigorous development of new global energy crisis. Conventional sources of hydrocarbons, namely, oil and natural gas, will be incapable to support the mounting economy and population of the world in years to come, thus, the future belongs to nonconventional gas resources.

Key words: gas hydrates, methane, hydrocarbon raw materials, resources, energy potential, permafrost, shelf, energy consumption.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-43-57

REFERENCES

1. Makogon Yu. F. Prirodnye gazovye gidraty: rasprostranenie, modeli obrazovaniya, resursy [Natural gas hydrates: dissemination, education models, resources]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2003, vol. XLVII, no 3. [In Russ].
2. Mastepanov A. M. Gazogidraty v perspektivnom mirovom energeticheskom balanse: otsenki, problemy i neobkhodimye usloviya [Gas hydrates in perspective the global energy balance: assessment, problems and necessary conditions]. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom*. 2014, no 5. [In Russ].

3. Peslya V.I. Problemy i perspektivy dobychi gaza iz gazogidratov [Problems and prospects of gas production from gas hydrate]. *Vestnik SPbGUEU*. 2014, issue 1 (68), pp. 42–49. [In Russ].
4. Vorob'ev A. E., Chekushina E. V., Razerenov Yu. I. Ekspertnaya otsenka mirovykh zasobov akval'nykh zalezhey gazogidratov [Expert assessment of the world's reserves of gas hydrates deposits aquatic]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region*. 2012, no 6. [In Russ].
5. Perlova E. V. Kommercheski znachimye netraditsionnye istochniki gaza mirovoy opyt osvoeniya i perspektivy dlya Rossii [Commercially significant non-conventional sources of gas – world experience of development and prospects for Russia]. *Territoriya neftegaz*. 2010, no 11. [In Russ].
6. Skorobogatov V.A., Perlova E.V. Potentsial'nye resursy netraditsionnogo gaza nedr Rossii (susha i shelf) i perspektivy ikh promyshlennogo osvoeniya do 2050 g. [Potential resources of unconventional gas Russian subsoil (onshore and offshore) and the prospects of their industrial development to 2050]. *Geologiya nefti i gaza*. 2014, no 5, pp. 48–57. [In Russ].
7. Matveeva T.V. Metodika i etapnost' izucheniya potentsial'no-gidratonosnykh akvatoriy i zalezhey gazovykh gidratov [Methods and stages of studying potentially hydrate content areas and deposits of gas hydrates]. *Nedropol'zovanie*. 2014, no 3 (47), pp. 72–77. [In Russ].
8. Yakushev V.S., Istomin V.A., Perlova E.V. *Resursy i perspektivy osvoeniya netraditsionnykh istochnikov gaza v Rossii* [Resources and prospects of unconventional gas sources in Russia], Moscow, 2002, pp. 87.
9. Yakushev V.S. Gazovye gidraty v rossiyskoy chasti Arktiki [Газовые гидраты в российской части Арктики]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Neft', gaz Arktiki»*, Moscow, 27–29 June 2006, Moscow, Interkontakt. Nauka, 2007. [In Russ].
10. Solov'ev V.A. Prirodnye gazovye gidraty kak potentsial'noe poleznoe iskopaemoe [Natural gas hydrates as a potential mineral deposit]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2003, vol. XLVII, no 3. [In Russ].
11. Yakushev V.S. O konkurentnosposobnosti netraditsionnykh istochnikov uglevodorodov na regional'nykh rynkakh [Competitiveness of non-traditional sources of hydrocarbons in the regional markets]. *Gazovaya promyshlennost'*. 2012. Special edition. [In Russ].
12. Mastepanov A. M. Proizoydet li «gidratnaya revolyutsiya?» [Will there be «hydrated Revolution?»]. *Neft' Rossii*. 2014, no 6. [In Russ].
13. Dmitrievskiy A. N., Balanyuk I. E. *Gazogidraty morey i okeanov istochnik uglevodorodov budushchego* [Gas hydrates the seas and oceans – a source of future hydrocarbons], Moscow, 2009.
14. Anfilatova E. A. Analiticheskiy obzor sovremennykh zarubezhnykh dannykh po probleme rasprostraneniya gazogidratov v akvatoriyakh mira [Analytical review of modern foreign data on the proliferation of gas hydrates in the waters of the world]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2008, no 3, pp. 1–8. [In Russ].
15. Yakushev V.S. Gazovyy istochnik, sposobny perevernut' mirovoy rynek energii [Gas source that can turn the world's energy market]. *Mirovaya energetika*. 2008, no 11–12 (59), pp. 19–22. www.worldenergy.ru [In Russ].
16. Gulev V.L., Gafarov N.A., Vysotskiy V.I., Zhurilo A.A., Istomin V.A., Karnaukhov S.M., Skorobogatov V.A. *Netraditsionnye resursy gaza i nefti*. T. VI [Unconventional gas resources and oil. Vol. VI], Moscow, Izdatel'skiy dom «Nedra», 2014, pp. 284.
17. Grigor'ev G.A., Afanas'eva T.A. Perspektivy promyshlennogo osvoeniya netraditsionnykh resursov gaza v Rossii [Prospects for the industrial development of unconventional gas resources in Russia]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2012. т. 7, no 2. www.ngtp.ru/rub/9/29. 2012. [In Russ].
18. Zafarova A. M. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti izucheniya i osvoeniya netraditsionnykh vidov uglevodorodov [Estimation of economic efficiency of exploration and development of unconventional hydrocarbon]. *Gazovaya promyshlennost'*. 2012, no 12. [In Russ].
19. Aksel'rod S. M. Razvedka i opyt'naya ekspluatatsiya mestorozhdeniy gazogidratov (po materialam zarubezhnoy literatury) [Exploration and trial operation deposits of gas hydrates (based on foreign literature)]. *Karotazhnik*. 2009, no 8, pp. 92–123. [In Russ].
20. Yakushev V.S. Razrabotka netraditsionnykh resursov gaza v Rossii [Development of unconventional gas resources in Russia]. *Gazovaya promyshlennost'*. 2013, no 6 (691). [In Russ].
21. Kalinin E. P. Gazogidraty toplivo budushchego? [Gas hydrates – Fuel of the future?]. *XVI Geologicheskii s"ezd Respubliki Komi* 2013. Syktyvkar. [In Russ].
22. Metanogidraty: Vygody i riski [Methane hydrates: Benefits and risks]. *Razvedka i dobycha*. 2013, no 6, pp. 8–10. [In Russ].
23. Dzhafarov D.S. Upravlenie neftegazovymi perekhodami pri razrabotke gazogidratnykh mestorozhdeniy [Management of oil and gas passages in the development of gas hydrate deposits]. *Nedropol'zovanie*. 2013, no 9. [In Russ].
24. Mastepanov A. M. Ob energeticheskoy situatsii v usloviyakh novykh vyzovov i geopoliticheskikh realiy [On the energy situation in the face of new challenges and geopolitical realities]. *Akademiya energetiki*. 2015, no 3 (65), pp. 4–10. [In Russ].
25. Bois C., Bouche P., Pelet R. Global geologic history and distribution of hydrocarbon reserves. *AAPG Bulletin*, September 1982. Vol. 66. Pp. 1248–1270.
26. Gudmundsson J.S., Parlaktuna M. and Khokhar A.A. Storing natural gas as frozen hydrate. *SPE Production and facilities*. February, 1994. Pp. 69–73.
27. Gorzým A. Zamroznaya energiya. *Polityka Export–Import*. 1988, no 13 (240).