

УДК 552.578.1

## ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЩАДЯЩЕГО ОСВОЕНИЯ ГАЗОГИДРАТНЫХ РЕСУРСОВ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ

**А.Е. Воробьев**

Российский университет дружбы народов,  
115093, Россия, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8, корп. 5

**Аннотация.** Рассмотрены углеводородные запасы арктического шельфа России. Представлена экспертная количественная оценка объема метана, содержащегося в аквальных залежах арктического шельфа России (как в абсолютном выражении, так и по отдельным объектам). Показаны источники формирования газовых гидратов. Рассмотрены угрозы со стороны изменения климата по отношению к сохранности минерально-сырьевой базы аквальных газовых гидратов арктического шельфа России. Дана экономическая оценка существующим технологиям разработки аквальных залежей газовых гидратов арктического шельфа России, а также представлены инновационные методы их освоения на базе применения наночастиц и наномоторов. Проанализированы возможности разрушения аквальных залежей газогидратов как округлыми наночастицами, так и колесными парами. Показано, что в качестве энергии движения наномоторов могут выступать различные химические реакции, энергия света, звука (механических колебаний), электромагнитное поле и электрический ток. Установлено, что наибольшей способностью к целенаправленному управлению движением и разрушением газогидратов обладают актюаторы, работающие под воздействием электромагнитного поля и электрического тока.

**Ключевые слова:** Арктика, шельф, газогидраты, экономика, разработка, наночастицы и нанотехнологии.

**A.E. Vorobiev**

Peoples' Friendship University of Russia, 115093, Russia, Moscow, Podolsk highway, 8, Bldg. 5

## POSSIBILITIES OF THE SAFE AND ECOLOGICALLY SPARING DEVELOPMENT OF GASEOUS-HYDRATE RESOURCES OF THE ARCTIC SHELF OF RUSSIA

**Abstract.** Hydrocarbonic stocks of the Arctic shelf of Russia are considered. The expert quantitative assessment of volume of methane of the Arctic shelf of Russia containing in sea deposits is presented (both in absolute expression, and on separate objects). Sources of formation of gas hydrates are shown. Threats from climate change in relation to safety of

*mineral resources of sea gas hydrates of the Arctic shelf of Russia are considered. The economic assessment is given to the existing technologies of development of sea deposits of gas hydrates of the Arctic shelf of Russia, and also innovative methods of their development on the basis of application of nanoparticles and nanomotors are presented. Possibilities of destruction of sea deposits of gas hydrates as roundish nanoparticles, and a type of the wheels connected among themselves are analysed. It is shown that various chemical reactions, energy of light, a sound (mechanical oscillations), an electromagnetic field and electric current can act as energy of the movement of nanomotors. It is established that the greatest ability to purposeful traffic control and destruction of gas hydrates the aktyuator working under the influence of an electromagnetic field and electric current possess.*

**Keywords:** Arctic, shelf, gas hydrates, economy, development, nanoparticles and nanotechnologies.

Нефтегазовые перспективы России в XXI веке связаны с освоением шельфа ее арктических морей (зонами арктического шельфа считаются окраинные моря России: Баренцево, Восточно-Сибирское, Чукотское, Карское, а также море Лаптевых), где (по оценкам различных специалистов) находится свыше 100 млрд т углеводородов в нефтяном эквиваленте.

В частности, по мнению С. Богданчикова (ОАО «НК «Роснефть») на Арктическом шельфе России сосредоточено до 80 % ее всех потенциальных углеводородных ресурсов. При этом наиболее изученной является территория Западной Арктики – шельфы Баренцева, Печорского и Карского морей [6]. Так, по данным МПР, начальные извлекаемые ресурсы углеводородов в этом регионе составляют величину 62 млрд т.у.т. К этому необходимо отметить, что большинство из 13 открытых в западной части Арктики углеводородных месторождений относятся к крупным, а несколько – даже к уникальным объектам.

Остальной российский Север в геологическом отношении еще практически мало изучен. Тем не менее было установлено, что начальные извлекаемые углеводородные ресурсы моря Лаптевых составляют 3,7 млрд т.у.т., Восточно-Сибирского моря – 5,6 млрд т.у.т. и Чукотского моря – 3,3 млрд т.у.т.

Но есть и не традиционные (к тому же – не конвенционные, т.е. не подлежащие обязательному согласованию с другими странами при их разработке) углеводороды – газовые гидраты. По различным экспертным оценкам в газогидратных залежах содержится примерно 20000-21000 трлн. м<sup>3</sup> метана, т.е. потенциальные запасы метана в газогидратах оцениваются величиной  $2 \times 10^{16}$  м<sup>3</sup>.

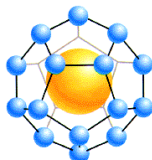
Газовые гидраты являются единственным пока все еще не разрабатываемым, но весьма перспективным источником природного газа на Земле, который может составить реальную конкуренцию традиционным углеводородам: в силу наличия огромных ресурсов, широкого распространения на планете, неглубокого залегания и весьма концентрированного состояния (1 м<sup>3</sup> природного метаногидрата содержит около 164 м<sup>3</sup> метана в газовой фазе и 0,87 м<sup>3</sup> воды).

В настоящее время исследовательские работы по аквальной газогидратной тематике ведут Россия, Норвегия, США, Канада, Германия, Нидерланды, Япония, Китай, Индия и даже Южная Корея.

Так, Южная Корея уже планирует начать бурение для добычи метана из залежей газовых гидратов шельфа в Японском море [5]. Свое первое месторождение газовых гидратов в Японском море (со 130-метровой мощностью газоносного пласта) корейцы обнаружили в 135 км к северо-востоку от южнокорейского портового города Пхохан.

Большинство природных газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , изобутан и т.п.) образуют гидраты или клатраты – кристаллические структуры, в которых газ находится в окружении молекул воды (рис. 1), удерживаемых вместе низкой температурой и высоким давлением окружающей водной среды.

Их образование и объемы определяются постоянной дегазацией мантии Земли. Если газы попадают в почву, то там они частично ассимилируются и разлагаются многочисленными микроорганизмами, а большей частью – депонируются земной атмосферой.



**Рис. 1.** Упаковка метана в газогидратах

Если газы попадают в акватории (проходят через их дно), то при наличии определенных условий (прежде всего – низкой температуры и большого давления) из них синтезируются аквальные газогидраты с формированием их залежей.

Основными поставщиками донного метана в необходимых концентрациях являются газопроводящие разломы морского (океанического) дна, сипы и грязевые вулканы. Так, в Баренцевом море наиболее изученным крупным подводным грязевым вулканом является *Håkon Mosby Mud Volcano*, расположенный на глубине 1250 м.

Этот подводный вулкан представляет собой округлое образование диаметром около 1 км, возвышающееся над морским дном примерно на 10 метров. Действующий в настоящее время вулкан извергает из себя значительные объемы грязи и газов (среди которых более 99 % составляет метан). Эти вещества поступают в вулкан из верхних слоев литосферы по каналу с глубины 2-3 км. По различным экспертным расчетам данный вулкан выбрасывает от 200 до 650 т/год метана.

Формирование аквальных гидратов метана, т.е. его соединений с водой, происходит под воздействием довольно высокого давления и низкой температуры – условиях, зачастую характерных для дна морских и океанских шельфов.

Залежи аквальных гидратов метана образуются в пределах верхних 1,5 км отложений морского дна (при этом эшелон глубины 200–800 метров ниже уровня морского дна рассматривается как наиболее перспективный для их промышленной разработки).

Мощность залежи аквальных газогидратов зависит от глубины акватории и температуры ее придонных вод и колеблется от 100 м до 300-350 м (в северных морях на глубинах шельфа около 1000 м).

Арктический шельф Северного Ледовитого океана занимает особое место в ряду других акваторий Земли из-за наличия обширной субмаринной криолитозоны, с которой и связано образование многочисленных залежей газогидратов. На этой карте явно видно, что зоны возможной газогидратоносности весьма обширны и, по-видимому, могут рассматриваться в качестве весьма важных источников углеводородов в будущем.

Термобарические условия существования аквальных газогидратов характерны для большей части дна Мирового океана с глубинами воды более 300-400 м. На арктическом шельфе зона стабильности газовых гидратов связана с наличием субмаринной криолитозоны и может существовать при значительно меньшей глубине воды (если подошва криолитозоны находится на глубине более 260 м от уровня моря).

В частности, низкотемпературные потенциально гидратоносные осадки занимают центральную, северо- и юго-восточную части Баренцового моря, примыкающие к Новой Земле.

В ходе экспедиционных исследований были получены необходимые количественные данные и показатели, характеризующие зону стабильности залежей газогидратов на дне Северного Ледовитого океана (табл. 1): морфоструктуры, различные типы, площади, мощности и объемы.

Таблица 1

**Показатели зоны стабильности газовых гидратов дна Северного Ледовитого океана**

Основные морфоструктуры	Типы зоны стабильности гидратов	Площадь, тыс. 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>
	Придонный	977	0-600 (200)	1,95 * 10 <sup>15</sup>
Арктический шельф России	Не придонный, контролируемый реликтовой мерзлой зоной мощностью более 100 м	250 (125)	0-400 (200)	2,5 * 10 <sup>13</sup>
	То же, мощностью до 100 м	606 (121)	0-400 (200)	2,4 * 10 <sup>12</sup>
	Не придонный, вне акваторий с реликтовой мерзлой зоной	24	0-200 (100)	2,4 * 10 <sup>12</sup>
Всего:				3,18 * 10 <sup>15</sup>

Результаты подобных исследований в совокупности с их научной интерполяцией и экспертными оценками позволили рассчитать объемы потенциальных ресурсов метана в имеющихся газогидратных залежах основных геоморфологических структурах дна Северного Ледовитого океана.

Приведенные цифры не являются окончательными, т.к. сей час осуществляется работа по уточнению шельфовых областей (вопрос о современном разделе арктического шельфа рассматривается «Комиссией ООН по границам континентального шельфа» на основании положений «Конвенции ООН по морскому праву») и Россия претендует на арктические территории с общей площадью 1,2 млн. км<sup>2</sup>, что может привести к дальнейшему росту потенциальных объемов метана.

Но в состоянии самой шельфовой аквальной газогидратной сырьевой базе существуют определенные угрозы и вызовы: глобальное потепление климата.

В частности, уже сейчас «вечная» мерзлота в Западной Сибири оттаивает на 4 см/год, а в ближайшие 20 лет ее граница сдвинется на север примерно на 80 километров. Похожей представляется также и ситуация с таянием льдов в Арктике. Так, если в 1979 г. площадь арктических льдов имела величину равную 7,2 млн. км<sup>2</sup>, то уже в 2007 г. она составила 4,3 млн. км<sup>2</sup>. К тому же толщина ледяного покрова здесь за этот период уменьшилась примерно вдвое [2,3]. Заметно теплеет и вода морей и океанов (даже на глубине до 2 тыс. метров).

А газовые гидраты устойчивы только при низкой температуре и повышенном давлении.

В результате, во-первых, мы можем потерять столь ценный углеводородный природный ресурс, а во-вторых, при разложении (при повышении температуры окружающей среды даже на несколько градусов) аквальных газогидратов выделяемый метан попадет в атмосферу Земли, где его концентрация удвоится и существенно усилит парниковый эффект [2,3].

Кроме этого, необходимо заметить, что гигантские воронки в Ямало-Ненецком автономном округе в 2012 и 2013 годах образовались из-за выброса газогидратов, вызванного прогревом земной поверхности [4].

Освоение (разработка) выявленных к настоящему времени значительных объемов природных газогидратов (прежде всего – аквальных залежей), содержащих около  $15000 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, сдерживается их довольно неустойчивым состоянием, обуславливающим возможное быстротечное (взрывное) разрушение их массивов (при этом в ходе подобного саморазрушения газогидратов объем газа увеличится в 160-180 раз.), что существенно осложняет и даже препятствует применению известных промышленных технологий их разработки.

При этом себестоимость добычи газа из газогидратных залежей зависит от ряда факторов [11]: в первую очередь - от газогидратных условий и применяемой технологии. Необходимо сразу отметить, что ограниченное число как реализованных проектов добычи метана из газогидратных залежей, так и экономических расчетов подобных проектов затрудняет обоснованную оценку их средней себестоимости.

Так, проделанные в 2008 году оценки добычи метана из газогидратной залежи Маллик в канадской Арктике показали то, что совокупные капитальные и операци-

онные издержки подобной разработки варьируются в пределах 195-230 долл./тыс. м<sup>3</sup> для газогидратов, расположенных над свободным газом, и в пределах 250-365 долл./тыс. м<sup>3</sup> – для газогидратов, расположенных над морским дном [11]. Особо была отмечена необходимость наличия соответствующей инфраструктуры для транспортировки добытого газа.

Японские разработки оценивают себестоимость добычи метана из подобных газогидратов по их проектам на уровне 540 долл./тыс. м<sup>3</sup>, в то время как, по оценкам ИНЭИ-РАН и Аналитического центра, данная технология становится конкурентоспособной только при затратах на добычу метана ниже 390 долл./тыс. м<sup>3</sup> [11]. По расчетам МЭА, оценочные издержки промышленной разработки месторождений газогидратов могут составить 175-350 долл./тыс. м<sup>3</sup>, что все равно делает их наиболее дорогостоящими из известных способов добычи природного газа.

В настоящее время снижение себестоимости продукции возможно прежде всего на основе использования достижений в области нанотехнологий.

Экспериментально было установлено, что основным структурным элементом газовых гидратов являются элементы, обладающие наноразмерностью, представляющие собой кристаллические ячейки, состоящие из молекул воды, внутри которых и размещены молекулы газа.

При этом структура гидратов подобна структуре льда, но отличается от последней тем, что молекулы газа расположены внутри кристаллических решеток, а не между ними.

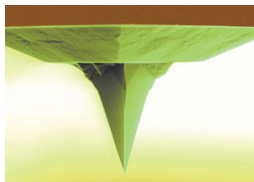
Очевидно, что для разрушения подобной газогидратной ячейки более эффективным является использование различных наночастиц, соразмеримых с ячейкой.

Необходимо отметить, что длины связей в кристаллических решетках газогидратов и углы между ними практически одинаковы и равны 2,76 Å и 109,5°.

В соответствии с этой идеологией (выработанной проф. А.Е. Воробьевым) первоначально предполагалось подавать и использовать для этого наночастицы практически любой формы, а главным фактором являлась их масштабная соразмерность с разрушаемыми ячейками клатратов – газовых гидратов [7].

В дальнейшем была установлена явно выраженная зависимость эффективности разрушения газогидратов от формы наночастиц [6]: в частности, от наличия у сферических наночастиц различных шипов (рис. 2), размещенных равномерно по всей их поверхности.

При перемещении сферической частицы (обладающей шипами) вдоль поверхности ячейки (клатрата) газогидратов происходит периодическое поднятие и опускание острия шипа, что приводит к разрушению кристаллической ячейки и высвобождению молекулы метана.



**Рис. 2.** Вариант шипа наночастицы

Для эффективного обеспечения процесса разрушения ячейки клатрата, с включенной в нее молекулой метана, важным также представляются оптимальные параметры (их длина, расстояние между ними и др.) и форма (прямолинейная, изогнутая, утолщенная и т.д.) шипов сферической наночастицы.

Такие наноструктуры, которые выглядят как природные биологические объекты - морские ежи (рис. 3), довольно легко формируются электрохимическим методом. В настоящее время, основным материалом для их строительства является полистирол. Микросфера полистирола представляет собой основу, на которой оксид цинка образует трехмерную поверхность. В результате получаются полые, сферической формы наноструктуры, с торчащими во все стороны шипами. В настоящее время 10 килограмм подобных наночастиц продается за 50 \$ США.



**Рис. 3.** Наноеж

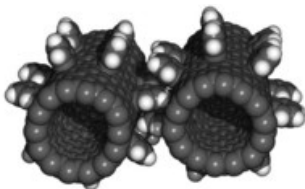
В ходе проведенных нами исследований было установлено несколько довольно существенных аспектов, определяющих эффективность промышленного применения подобных нанотехнологий при разработке активных залежей газогидратов.

Во-первых, полученная в составе гидродинамической струи потенциальная энергия рабочего инструмента – наночастицы – обеспечивает ее перемещение по поверхности газогидратов только на весьма короткое расстояние, т.к. зачастую наблюдается ее рикошет (с потерей потенциальной энергией разрушения клатратных связей и изменением траектории перемещения) от поверхности газогидратной залежи. И, следовательно, практически каждая из них осуществляет разрушение довольно небольшого количества ячеек – клатратов (причем – в несколько хаотической последовательности).

Поэтому, кроме шарообразных наночастиц, в качестве рабочего инструмента разрушающего наногидратные залежи более целесообразно применять различные молекулярные шестерни (рис. 4) и соединенные осью колеса. Модели подобных наноприборов были предложены К.Е. Drexler и R. Merkle из IMM (Institute for Molecular Manufacturing, Palo Alto).

Валами шестеренок в подобной коробке передач являются углеродные нанотрубки, а зубцами служат молекулы бензола. При этом характерные частоты вращения шестеренок составляют несколько десятков гигагерц.





**Рис. 4.** Молекулярные шестерни

Механизм образования подобных наноколес уже детально обоснован. Так, группой исследователей под руководством А. Мюллера (Achim Müller) из Университета Билефельд (Германия) было обнаружено, что смешение молибдата натрия, воды и восстановителя при низком значении pH приводит к самопроизвольному образованию бубликоподобных наноколес, состоящих из оксида молибдена. Диаметр формирующихся молибденсодержащих колес составляет около 4 нм.

Необходимо также отметить, что для разрушения ячеек газогидратов наночастицами может быть использована не только энергия гидродинамического потока. В частности, одним из важных и перспективных направлений применения нанотехнологий в нефтяной и газовой промышленности является создание специальных миниатюрных устройств, оснащенных микропроцессорами и способных выполнять целенаправленные операции с объектами нанометровых масштабов, называемых «нанороботами» [10].

Нанороботы (в англоязычной литературе также используются термины «наноботы», «наноиды», «наниты») – это наномашин, созданные из различных наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой. Они должны обладать функциями движения, обработки и передачи информации, а также исполнения специальных программ. При этом размеры нанороботов не превышают нескольких нанометров.

Согласно современным теориям, нанороботы должны уметь осуществлять двустороннюю коммуникацию: реагировать на различные сигналы и быть в состоянии подзаряжаться или перепрограммироваться извне (посредством звуковых или электрических колебаний).

Также важной представляются их функции репликации – самосборки новых нанитов и программированного самоуничтожения, например, по окончанию работы. В этом случае роботы должны распадаться на экологически безвредные и быстровыводимые компоненты.

При этом, в настоящее время существуют различные подходы к разработке нанороботов [9]: одним из них является создание самоходных микро- и наноразмерных актуаторов (наномоторов). Наномотор представляет собой молекулярное устройство, способное преобразовывать различные виды энергии в движение. В типичном случае он может создавать силу порядка одного пиконьютона.

В качестве энергии движения наномоторов могут выступать различные химические реакции, энергия света, звука (механических колебаний), электромагнитное поле и электрический ток.



Так, в Калифорнийском университете были проведены лабораторные эксперименты по перемещению нанотрубок посредством диэлектрофореза в водных растворах. При этом промежуток между электродами-нанотрубками составлял 10 нм, а подаваемое на них напряжение – 1 В. В результате, на концах таких электродов образовывалось довольно сильное неоднородное электростатическое поле, притягивающее подобные частицы.

В результате нанотрубки-электроды образуют статор, а наночастицы в центре – ротор. Если на электроды подавать переменное напряжение, то наночастица будет вращаться (причем ее положение напрямую зависит от величины напряжения, подводимого к электродам).

Кроме этого, М.Р. Hughes из School of Engineering, University of Surrey предложил модель асинхронного электродинамического наномотора, который обладает вращающим моментом благодаря вращающемуся электромагнитному полю.

Подобное взаимодействие «вращающееся поле – электрический диполь (ротор)», значительно стабилизирует положение ротора. Электрическое поле генерируется благодаря прямоугольным импульсам, посылаемым на статор, что дает возможность прямого компьютерного управления таким наномотором. Также возможно прецизионное управление и частотой вращения такого ротора.

Разработанный наномотор состоит из ротора длиной 1 мкм и диаметром 100 нм. При этом такой наномотор развивает момент усилия в  $10^{-15}$  Н/м.

Подобные нанотехнологии обеспечивают эффективную и последовательную проработку всей поверхности аквальной залежи газогидратов, с необходимой скоростью их разрушения и получения запланированных объемов метана.

Проведенная балльно-индексная оценка во многом учитывает особенности освоения нефтегазовых ресурсов республики. Здесь сосредоточены значительные запасы углеводородного сырья, наличествуют суровые природно-климатические условия освоения, отдаленность и труднодоступность, низкая инфраструктурная обустроенность, нехватка трудовых ресурсов. Особенностью ресурсов является большое разнообразие составляющих его элементов, комплексность и крупномасштабность. Многие месторождения содержат как нефть, так и газ. В природном газе отмечается значительное содержание этана, пропана, бутана, конденсата и гелия.

### **Литература**

1. *Воробьев, А.Е.* Основы механизма эффективного применения промышленных нанотехнологий при добыче аквальных газогидратов / А.Е. Воробьев // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 6(28). – С. 102-108.
2. *Воробьев, А.Е.* Человек и биосфера: глобальное изменение климата : учебник. Ч. I / А.Е. Воробьев, Л.А. Пучков. – Москва : Изд-во РУДН, 2006. – 442 с.
3. *Воробьев, А.Е.* Человек и биосфера: глобальное изменение климата : учебник. Ч. II / А.Е. Воробьев, Л.А. Пучков. – Москва : Изд-во РУДН, 2006. – 468 с.

4. Воронки на Ямале образовались из-за выброса газогидратов, вызванного прогревом земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.mail.ru/society/20326638>

5. Корея начнет бурение в поисках газогидратов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gas-journal.ru/online/foreign.php?ELEMENT\\_ID=18670](http://www.gas-journal.ru/online/foreign.php?ELEMENT_ID=18670)

6. Криогенные газовые гидраты в субмаринной мерзлоте. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/98762>

7. Лучшие разработки нанотехнологий 2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: // <http://nanodigest.ru/content/view/975/1>

8. *Матвеева Т.В., Черкашев Г.А.* Газогидраты: проблемы изучения и освоения [Электронный ресурс]. Режим доступа: [rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2569.pdf](http://rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2569.pdf)

9. Наномотор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://4108.ru/u/nanomotor>

10. Нанотехнологии в нефтяной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.neftrus.com/newteh/22-newteh/646-nanoyehvneftprom.html>

11. Стоимость разработки месторождений газогидратов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.benzol.ru/news/?cat\\_id=12&id=250519](http://www.benzol.ru/news/?cat_id=12&id=250519)

## References

1. *Vorob'ev, A.E.* Osnovy mehanizma jeffektivnogo primenenija promyshlennyh nanotehnologij pri dobyche akval'nyh gazogidratov / A.E. Vorob'ev // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. – 2014. – № 6(28). – S. 102-108.

2. *Vorob'ev, A.E.* Chelovek i biosfera: global'noe izmenenie klimata : uchebnik. Ch. I / A.E. Vorob'ev, L.A. Puchkov. – Moskva : Izd-vo RUDN, 2006. – 442 s.

3. *Vorob'ev, A.E.* Chelovek i biosfera: global'noe izmenenie klimata : uchebnik. Ch. II / A.E. Vorob'ev, L.A. Puchkov. – Moskva : Izd-vo RUDN, 2006. – 468 s.

4. Воронки на Ямале образоалис' из-за выброса газогидратов, вызванного прогревом земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.mail.ru/society/20326638>

5. Корея начнет бурение в поисках газогидратов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gas-journal.ru/online/foreign.php?ELEMENT\\_ID=18670](http://www.gas-journal.ru/online/foreign.php?ELEMENT_ID=18670)

6. Криогенные газовые гидраты в субмаринной мерзлоте. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/98762>

7. Лучшие разработки нанотехнологий 2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: // <http://nanodigest.ru/content/view/975/1>

8. *Matveeva T.V., Cherkashev G.A.* Gazogidraty: problemy izuchenija i osvoenija [Электронный ресурс]. Режим доступа: [rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2569.pdf](http://rosnedra.gov.ru/data/Files/File/2569.pdf)

9. Наномотор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://4108.ru/u/nanomotor>

10. Нанотехнологии в нефтяной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.neftrus.com/newteh/22-newteh/646-nanoyehvneftprom.html>