УДК 550.822.3:622.143

В.К. ЧИСТЯКОВ, *д-р геол.-минерал. наук*, *профессор*, tch-vk@mail.ru
Санкт-Петербургский Государственный горный институт (*технический университет*)

V.K.CHISTYAKOV, *Dr. g.-m. Sci.*, *Professor*, tch-vk@mail.ru
Saint-Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТБОРА КЕРНОВЫХ ПРОБ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Газовые гидраты – твердые кристаллические соединения воды с такими низкомолекулярными гидрофобными газами, как углеводородные (метан), CO_2, N_2 и др. В настоящее время активно проводятся разведочные работы на месторождениях природных газогидратов Мессояхском (Россия) и Маллик (Канада). Одной из важнейших задач совершенствования методов разведки газогидратных залежей является разработка новых способов и технических средств отбора ненарушенных образцов керна из газогидратных толщ.

***Ключевые слова**:* газовые гидраты, месторождения, керноотборник, самоконсервация, принудительная консервация, охлаждение.

THE DEVELOPMENT OF THE EFFECTIVE METHOD FOR SAMPLING OF NATIVE-STATE CORE IN NATURAL GASHYDRATE DEPOSITS

Gas hydrates – the firm crystal connections of water and low-molecular waterproof natural gases such as carbohydrates (mainly methane), CO_2, N_2 and others. At present, time exploitation of the Messoyahsk (Russia) and Mallik (Canada) deposits of gas hydrates is conducted actively. The further perfection of prospecting methods in the field of studying gas hydrate containing sediments in round extent depends on improvement of methods for native-state core sampling from these sediments.

***Key words**:* gas hydrates, deposits, core sampler, self-conservation, man-made conservation, forced cooling.

Ограниченность и невосполнимость ресурсов свободного природного газа, растущий спрос на этот экологически чистый энергоноситель в конце XX в заставили ведущие государства мира обратить пристальное внимание на значительные его потенциальные ресурсы, заключенные в нетрадиционных источниках, к одним из которых относятся природные газовые гидраты.

Являясь единственным еще не разрабатываемым источником природного газа на Земле, природные газовые гидраты в силу огромных ресурсов, широкого распространения, неглубокого залегания и концентрированного состояния могут в недалеком будущем составить реальную конкуренцию традиционным углеводородам.

Газовые гидраты – твердые кристаллические соединения типа $M{\cdot}n\mathrm{H_2O}$, в которых низкомолекулярный гидрофобный газ с молекулярной массой M удерживается внутри n молекул воды с помощью водородных связей при определенных термобарических условиях: температура ниже первых десятков градусов Цельсия и давление до 40 МПа. В природных газовых гидратах 98 % газа представлено метаном. В результате молекулярного уплотнения 1 м^3 природного метан-гидрата в твер-

дом состоянии при нормальных термобарических условиях содержит около 164 м^3 метана в газовой фазе и 0,87 м^3 воды.

Приоритет в открытии природных гидратов углеводородных газов принадлежит российским ученым: в 1946 г. известный специалист-нефтяник И.Н.Стреженов высказал предположение о существовании газовых гидратов в природных условиях [6, 7]. С середины 60-х годов стали широко обсуждаться геологические аспекты проблемы природных гидратов, существующих как на суше, так и на дне океанов и морей. В настоящее время ресурсы метана в газогидратном виде оцениваются в $2 \cdot 10^{16}$ м^3, что приблизительно в 2 раза превышает запасы всех остальных источников органического углеводорода на Земле [4, 6, 7].

Впервые промышленная газогидратная залежь была открыта в 1964 г. в России на Мессояхском газовом месторождении в Западной Сибири (Норильский промышленный район) [9]. Залежь расположена на глубине около 800 м в сеноманских (K_{2s}) песчаниках, где газовые гидраты составляют порядка 75 % всего природного газа при пластовой температуре 8,4-12,5 °С и давлении – 7,5-8,5 МПа.

Там же с середины 70-х годов проводилась и первая в мире опытная добыча газа из гидратосодержащих пород. Только при простой разгрузке добычными скважинами околоствольной зоны залежи газогидратов до



Рис.1. Районы континентальных газогидратных проявлений в России [2]

1 – Бованенковское газоконденсатное месторождение; 2 – Ямбургское газоконденсатное месторождение; 3 – Мессояхское газовое месторождение; 4 – устье р. Оленек; 5 – Западная Якутия; 6 – Колымо-Индигирская низменность; 7 – север п-ова Чукотка

6,2 МПа дебит газообразного метана составил 100-150 тыс. м^3 в сутки. Общие запасы месторождения оцениваются в 30 млрд м^3. Из уже добытых 14 млрд м^3 природного газа одна треть приходится на газ из гидратосодержащих пород. Однако следует отметить, что прямые исследования гидратоносности месторождения, т.е. бурение разведочных скважин с отбором и изучением керна, не проводились, а те признаки, по которым были выявлены гидраты, носили косвенный характер и допускали различную трактовку.

Исследованиями в нашей стране выявлен целый ряд гидратопроявлений на Ямбургском и Бованенковском газоконденсатных месторождениях (Тюменская обл.), в районах Улан-Юряхской антиклинали и алмазоносной трубки Удачная (Якутия), на золотоносных россыпях Колымы и Чукотки. В последние годы интенсивные поиски газогидратов проводятся в донных отложениях Охотского, Каспийского и Черного морей, а также озера Байкал на глубине в несколько сотен метров от поверхности воды (рис.1) [2].

По данным ВНИИгаза [2], ресурсы природного газа в гидратах континентальной и шельфовой частей России оцениваются в 100-1000 трлн м^3. Однако все эти исследования до сих пор не имеют общей федеральной программы и финансирования, необходимого для такого нового и крайне сложного объекта изучения.

За рубежом исследования природных газогидратов проводятся систематически, начиная с 80-х годов XX в, в рамках выполнения различных национальных и международных программ (США, Канада, Норвегия, Германии, Япония, Индия, Китай, Южная Корея и др.). Помимо государственных и научных фондов финансирование осуществляется также ведущими международными энергетическими компаниями (Бритиш Петролеум, «Шеврон», «Шлюмберже», «Стейт Ойл», «Джапан Нейшнел Ойл Корпорейшн», «Нейчерл Гас Корпорейшен» и др.) [1, 9].

В настоящее время научно-технические исследования и разработки, связанные с разведкой и освоением месторождений природных газогидратов, успешно проводятся на континентальном месторождении Мал-

лик (Канада и Япония); в районах газогидратопроявлений северного склона Аляски (США и ВР) [10]; в Мексиканском заливе (США и «Шеврон»); в районе желоба Нанкай (Япония и США) [11]; в районе морского склона п-ова Индостан (Индия и США); на шельфе Южно-Китайского моря (КНР). Следует отметить, что к 2006 г. на первое место по объемам финансирования этих работ вышла Япония, правительство которой планирует организовать промышленную добычу газа из газогидратов к 2017 г. На втором находится Индия, планируя уже в 2009 г. провести первые опытные работы на открытых морских месторождениях газогидратов. Далее идет КНР, а США переместились на четвертое место с объемом финансирования исследований в 2006 г. порядка 15 млрд дол.

Несмотря на привлекательность использования газогидратов в качестве перспективного и экологически чистого топлива, обладающего огромными ресурсами, поиски, разведка и разработка их месторождений сопряжены с трудностями, возникающими уже при обеспечении технической и экологической безопасности проведения работ. Это объясняется спецификой кристаллического строения газогидратов, обуславливающей узкий диапазон термобарических параметров, обеспечивающих их агрегативную стабильность. Масштабы проблем, связанных с потерей этой стабильности (разложение гидрата на свободный газ и воду), могут изменяться от локальных до региональных и даже глобальных.

Локальные проблемы связаны, в первую очередь, с процессами бурения, опробования и исследования скважин. Они проявляются в осложнениях, возникающих при бурении и опробовании гидратосодержащих толщ, а также при обеспечении длительной устойчивости ствола скважины в продуктивном интервале для проведения необходимых скважинных исследований и испытаний.

Региональные проблемы возникают при нарушении температурного и напряженно-деформируемого состояния горного массива, содержащего газогидратные залежи, в околоствольном пространстве скважины. Это снижение несущей способности пород, различного рода деформации и подвижки вплоть до возникновения обширных оползней на континентальном склоне [4].

Глобальные проблемы связаны с возможностью возникновения неуправляемых выбросов газообразного метана – эффективного парникового газа при нарушении стабильности и разложении газовых гидратов на различных стадиях их разведки и эксплуатации.

Таким образом, освоение газогидратных ресурсов требует разработки новых, гораздо более эффективных и безопасных технологий их поиска, разведки, добычи, транспортировки и хранения. Эти технологии могут быть эффективно использованы и на традиционных газовых месторождениях, в том числе на тех, отработка которых сейчас представляет значительные трудности и нерентабельна.

В естественных природных условиях газовые гидраты сохраняют свою агрегатную стабильность в условиях относительно низкой температуры (отрицательные и небольшие положительные значения температуры) и относительно высоком давлении (40 МПа и более). Эти условия определяют *зоны стабильности газогидратов* (ЗСГ), представляющие собой часть литосферы и гидросферы Земли, термобарический и геохимический режим которой соответствуют условиям их устойчивого существования. Поэтому скопления природных газогидратов делят на континентальные и морские, они располагаются в районах распространения многолетнемерзлых пород, в толщах ледников и ледниковых покровов, в подледниковых отложениях, в придонной части осадочных толщ приполярных бассейнов, а также на материковом склоне и в глубоководных районах Мирового океана [3, 8].

Более детальные исследования последних лет позволили связать широко распространенные газопроявления при бурении скважин на арктическом побережье Канады и Западной Сибири, на Аляске, в Средней Сибири и в других районах, расположенных в области распространения многолетней мерзлоты, с наличием газовых гидратов выше кровли зоны стабильности гидратов.

Выбросы газа при разбуривании толщ мерзлых пород иногда отличаются высокой интенсивностью и относительно большими дебитами. После испытаний скважин активные газовыделения со стабильным дебитом могут продолжаться в течение нескольких месяцев. Это позволило доказать существование реликтовых газогидратов в многолетнемерзлых отложениях, залегающих существенно выше кровли современной зоны стабильности гидратов. Поэтому часть разреза многолетнемерзлых пород, находящаяся выше кровли зоны стабильности гидратов, в которой температурный режим пород соответствует условиям существования эффекта самоконсервации газовых гидратов при отрицательных значениях температуры, получила название *зона метастабильности газогидратов* – ЗМГ (рис.2) [2].

Зона метастабильности, в отличие от зоны стабильности, является не термодинамической, а геологической зоной, где газовые гидраты не образуются, но могут существовать при сохранении льда в разрезе в законсервированном состоянии геологически длительное время. Таким образом, мощная криолитозона расширяет не только зону стабильности гидратов в геологическом разрезе, но и возможность существования реликтовых гидратов природных газов в верхних горизонтах на глубине до 100-150 м.

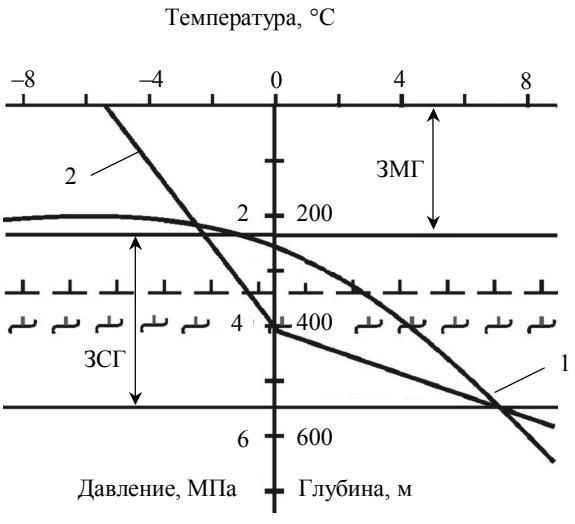


Рис.2. Графоаналитический метод выделения зоны стабильности и зоны метастабильности газовых гидратов в континентальных условиях [2]

1 – кривая равновесных условий гидратообразования метана; 2 – распределение температур по разрезу; ⊥– подошва многолетнемерзлых пород; ⊥– подошва криолитозоны

Толща пород в районах распространения многолетней мерзлоты, в которой могут существовать газогидратные залежи, достигает 800, а в некоторых случаях превышает 1000 м. В Мировом океане зона гидратообразования начинается от поверхности дна и достигает нескольких сотен метров. Субмаринные залежи располагаются на глубоководном шельфе и континентальном склоне.

Низкая проницаемость гидратосодержащих пород для молекул воды и газа (ниже проницаемости водонасыщенных глин) делает их естественными флюидоупорами для большинства крупных газовых скоплений, обнаруженных в Западной Сибири и на севере Канады и Аляски.

Как установлено многочисленными буровыми и сейсморазведочными работами в различных частях мира, газовые гидраты образуют скопления только в осадочных толщах, представленных как породами с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (пески, песчаники, трещиноватые и пористые карбонатные и др.), так и слабопроницаемыми отложениями (глины, илы, алевролиты, аргиллиты). В высокопроницаемых породах гидраты скапливаются в поровом пространстве, а в слаболитифицированных и низкопроницаемых породах они образуют гидратные включения различной формы. При этом удельное гидратосодержание слабопроницаемых пород может быть значительно выше, чем у высокопроницаемых.

Разведка месторождений природных гидратов в настоящее время представляет собой сочетание двух основных методов: площадные геофизические исследования и геофизические исследования в скважинах (ГИС). До недавнего времени применение ГИС не позволяло определять такие важные характеристики гидратосодержащих пород, как исходное гидратосодержание, кинетику диссоциации в них гидратов, акустические, механические и тепловые свойства. Кроме того, для использования сейсмических данных при исследовании гидратов необходимо было знать их связь со свойствами гидратосодержащих пород и, прежде всего, с их гидратосо-

держанием; возможности их интерпретации при построении геологических моделей (генезиса, стабильности и пр.).

Для решения этих проблем необходимо комплексное изучение фактического материала – керна гидратосодержащих пород. Использование на первых этапах исследований существующих в нефтегазовой отрасли методов и технических средств получения керновых проб из гидратосодержащих пород далеко не всегда позволяло сохранять в естественном состоянии, прежде всего, их газогидратные включения. В силу изменяющихся термобарических условий как в процессе бурения, так и при подъеме керна на поверхность, происходило частичное или полное разложение (диссоциация) самих гидратов, изменялись свойства и строение образцов.

Для решения проблемы повышения качества кернового опробования при поисках и разведке месторождений природных газовых гидратов на кафедре технологии и техники бурения СПГГИ проводятся исследования и разработки новых способов и технических средств отбора ненарушенных кернов при бурении скважин в условиях изменения агрегатного состояния проходимых пород [5].

В основе исследуемого и разрабатываемого в настоящее время способа отбора ненарушенных керновых проб из гидратосодержащих пород и отложений предусмотрено использование эффектов самоконсервации или принудительной консервации газогидратных включений, проявляющихся в условиях отрицательных значений температуры, так как при изменении естественных термобарических условий происходит диссоциация включений газогидратов, которая сопровождается появлением пленки воды на их поверхности. При отрицательных значениях температуры пленка воды замерзает и превращается в корочку льда. Поскольку диссоциация газовых гидратов идет с поглощением теплоты, наличие ледяной корки и отрицательной температуры резко уменьшают скорость диссоциации гидратов, позволяя сохранять их практически в неизменном состоянии как при выбуривании керна, так и при извлечении его из скважины на поверхность.

С этой целью в процессе выбуривания керна из гидратосодержащих пород (отложений) в керноприемной части бурового снаряда поддерживаются термобарические условия, соответствующие условиям in situ призабойной зоны скважины. Это не только позволяет сохранять агрегатную стабильность гидратов в керне, но и обеспечивает стабильность гидратосодержащих пород в околоствольной зоне скважины, предупреждая тем самым проявление возможных технологических осложнений.

Для предупреждения диссоциации газогидратных включений в условиях резкого изменения термобарических условий, происходящих при транспортировке керна на поверхность, керн перед подъемом предварительно охлаждают в керноприемнике до отрицательных значений температуры, обеспечивающих проявление эффектов самоконсервации или принудительной консервации содержащихся в нем гидратов.

Если гидратосодержащие породы имеют естественную отрицательную температуру, то способ основывается на использовании эффекта самоконсервации гидратов; если положительную – применяют эффект их принудительной консервации. При использовании эффекта самоконсервации керн с включениями газовых гидратов перед извлечением его на поверхность охлаждают в керноприемнике до отрицательных значений температуры в диапазоне – (2–10) °С, а при применении эффекта принудительной консервации – в диапазоне –(15–25) °С. Эти температурные диапазоны соответствуют качественному проявлению используемых эффектов в конкретных геолого-технических условиях.

Дополнительная сохранность керна обеспечивается увеличением его прочности и герметичности за счет частичного или полного замерзания находящейся в нем поровой воды. Относительно небольшие отрицательные значения температуры, необходимые для проявления в гидратах эффектов самоконсервации или принудительной консервации, возможность отбора и транспортировки керновых проб при атмосферном давлении практически в течение нескольких часов существенно снижают трудности с техниче-

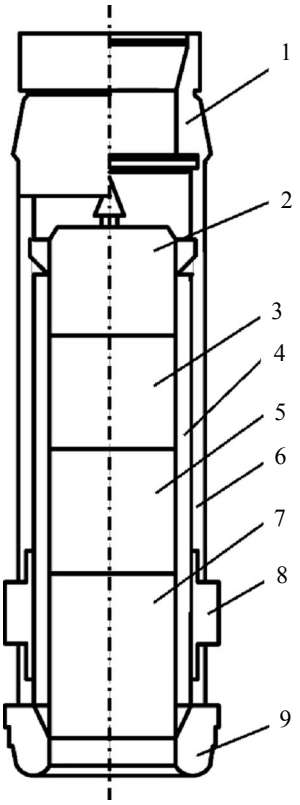


Рис.3. Схема термогидратоотборного снаряда

1 – переходник; 2 – узел подвески и фиксации съемного керноприемника; 3 – секция с баллоном сжиженного газа и дроссельным устройством; 4 – кольцевой циркуляционный канал; 5 – секция с теплообменником и охлаждающей жидкостью; 6 – наружная труба; 7 – керноприемная секция; 8 – расширитель-стабилизатор; 9 – породоразрушающий инструмет

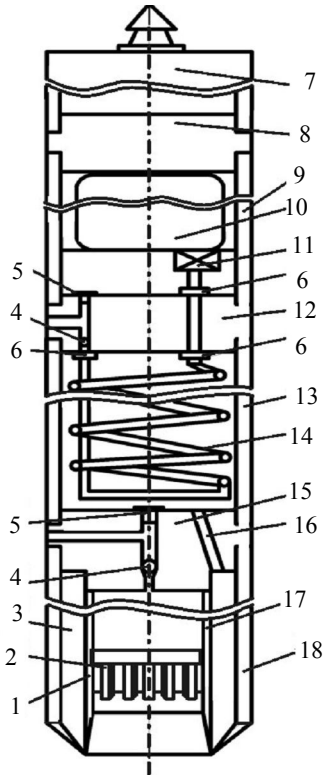


Рис.4. Схема конструкции съемного керноприемника

1 – корпус керноудерживающего устройства; 2 – керноудерживающее устройство; 3 – охлаждающая жидкость; 4 – обратный клапан; 5 – пробка с резьбой 6 – элементы крепления; 7 – узел подвески и фиксации невращающейся внутренней трубы; 8 – соединительный переходник; 9 – корпус секции с баллоном сжиженного газа и дроссельным устройством; 10 – баллон со сжиженным газом; 11 – дроссельное устройство; 12 – соединительный переходник; 13 – корпус секции с теплообменником и охлаждающей жидкостью; 14 – спирально-трубчатый теплообменник; 15 – соединительный переходник; 16 – циркуляционные каналы; 17 – керноприемник; 18 – кожух керноприемника

ской реализацией предлагаемого способа, повышают качество отбираемых образцов и уменьшают затраты на проведение комплексных исследований.

При разработке устройства для реализации данного способа за основу была взята конструкция двойных колонковых снарядов со съемной невращающейся внутренней керноприемной трубой – съемным керноприемником. Эти снаряды получили широкое применение для отбора качественного керна при бурении разведочных скважин на твердые, жидкие и газообразные полезные ископаемые [5].

Разрабатываемый для этой цели термогидратоотборник представляет собой двойной колонковый снаряд (рис.3) со съемным керноприемником (рис.4). Для использования эффектов самоконсервации или принудительной консервации газовых гидратов снаряд оснащен специальной системой охлаждения керна до отрицательной температуры перед извлечением его из скважины.

Система охлаждения керна включает в себя секцию 3 (рис.3) с баллоном сжиженного газа и дроссельным устройством и секцию 5 с охлаждающей жидкостью (промежуточным холодоносителем) и со спирально-трубчатым теплообменником. Для повышения эффективности охлаждения керноприемник 17 (рис.4) оборудован специальным кожухом 18, в кольцевом пространстве которого за счет естественной конвекции циркулирует охлаждающая жидкость.

Секции соединяются между собой двумя специальными переходниками 12 и 15. В

нижнем переходнике 15 располагаются каналы 16 для циркуляции охлаждающей жидкости и обратный клапан 4, обеспечивающий выход в процессе бурения промывочной жидкости из керноприемника при заполнении его керном.

В верхнем переходнике 12 размещаются каналы с обратным клапаном 4, обеспечивающие циркуляцию холодильного агента в спирально-трубчатом теплообменнике 14, и элементы крепления 6 теплообменника и дроссельного устройства 11.

Все остальные узлы и детали устройства остаются стандартными, соответствующими той или иной модификации снаряда со съемным керноприемником.

В настоящее время на способ отбора проб и устройство для его осуществления оформлена заявка на изобретение.

Теоретические и экспериментальные исследования по изучению свойств и закономерностей образования, строения и разрушения газовых гидратов; условий их концентрации в земной коре и формирования различного типа месторождений; совершенствование методов поиска, оценки и эффективной разработки этих месторождений, прогнозирование возможных экологических и техногенных осложнений должны обеспечить успешность практической деятельности в этом направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Басниев К.С.* Природные газогидратные ресурсы, проблемы, перспективы. М.: Нефть и газ, 2003. Вып. 28. 20 с.

2. Газовые гидраты в отложениях материков и островов / В.С.Якушев, Е.В.Перлова, Н.А.Махонина и др.// Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева). 2003. Т. 47. № 3. С. 80-90.

3. *Дядин Ю.А.* Газовые гидраты / Ю.А.Дядин, А.Л.Гущин // Соровский образовательный журнал. 1998. № 3. С. 55-64.

4. *Истомин А.Н.* Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа / А.Н.Истомин, В.Г.Квон. М.: ООО «ИРЦ ГАЗПРОМ», 2004. 160 с.

5. *Кудряшов Б.Б.* Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород / Б.Б.Кудряшов, В.К.Чистяков, В.С.Литвиненко. Л.: Недра, 1991. 295 с.

6. *Макогон Ю.Ф.* Природные гидраты: открытие и перспективы // Газовая промышленность. 2001. № 5, с.10-16.

7. *Макогон Ю.Ф.* Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева). 2003. Т. 47. № 3. С. 70-79.

8. *Мельников В.П.* Криогенные образования в литосфере Земли / Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 343 с.

9. *Якушев В.С.* Ресурсы и перспективы освоения нетрадиционных источников газа в России / В.С.Якушев, В.А.Истомин, Е.В.Перлова; ВНИИгаз. М., 2002. 86 с.

10. *Dallimore S.R.* Scientific Results from JAPEX / J NOC / GSC Mallik 2L-38 Gas Hydrate Research Well, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada / S.R.Dallimore, T.Uchida, and T.S.Collett // Geological Survey of Canada Bulletin 544. 1999. 403 p (32 articles).

11. *Tsuji Y.* Japan drills, logs gas hydrate wells in the Nankai Trough // Oil&Gas Journal. Sept.12. 2005. Vol.103.34, pp. 37-42.

REFERENCES

1. *Basniev K.S.* Natural gas hydrate resources, problems, prospects. M.: Oil and Gas, 2003. Issue 28. 20 p.

2. Gas hydrates in sediments of continents and islands / V.S.Yakushev, E.V.Perlova, N.A.Makhonina et al. J. Ros.D.I.Mendeleev Chem.Soc. 2003, V.47 No.3, pp.80-90.

3. *Diadin Yu.A.* Gassy hydrates / Yu.A.Diadin, A.L.Guschin // Sorovsk Educational Journal. 1998. No.3, pp. 55-64.

4. *Istomin A.N.* Prevention and liquidation of gas hydrates in the systems of gas extraction / A.N.Istomin, V.G.Kvon. M.: IRTs GASPROM, 2004.160 p.

5. *Kudriashov B.B.* Drilling of boreholes under conditions of changes of aggregate state of rocks / B.B.Kudriashov, V.K.Chistiakov, V.S.Litvinenko. L.:Nedra, 1991. 295 p.

6. *Makogon Yu.F.* Natural hydrates: detection and prospects // Gas Industry. 2001.No.5, pp.10-16.

7. *Makogon Yu.F.* Natural gas hydrates: propagation, models of formation, resources // J.Ros.D.I.Mendeleev Chem. Soc.. 2003, Vol.47, No.3, pp.70-79.

8. *Melnikov V.P.* Cryogenic formations in lithosphere of the Earth / V.P.Melnikov, V.I.Spesivtsev. Novosibirsk:Publ. SD RAS, 2000. 343 p.

9. *Yakushev V.S.* Resources and prospects of exploration of nontraditional sources of gas in Russia / V.S.Yakushev, V.A.Istomin, E.V.Perlova; VNIIGAS. M., 2002. 86 p.

10. *Dallimore S.R.*, T.Uchida and T.S.Collett. Scientific Results from JAPEX/JNOC/GSC Mallik 2L-38 Gas Hydrate Research Well, Mackenzie Delta, Northwest Territories Canada. Geological Survey of Canada Bulletin 544.1999.403 p.(32 articles).

11. *Tsuji Y.* Japan drills, logs gas hydrate wells in the Nankai Trough. Oil& Gas Journal, Sept.12. 2005, Vol.103.34, pp.37-42.