

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ КРИОЛИТОЗОНЫ

**Т.С. Смирнова, Ш.Н. Мирабидинов,
Л.М. Вахидова, С.А. Молотов,**

Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

Рассмотрена проблематика освоения газогидратных месторождений, особенности криолитозоны, проектирование и строительство сооружений для добычи и транспортировки газа в условиях криолитозоны. Также охарактеризованы перспективы дальнейшего развития газогидратов в России в условиях ближайшей нехватки углеводородного сырья и роль газогидратов как заменителей углеводородов.

Авторы рассматривают методы добычи углеводородов из газогидратов в пласте, нарушая одну из необходимых термобарических составляющих для поддержания фазового состояния газового гидрата, разрушая с помощью увеличения температуры в пласте или же постепенно снижая давление в добывающей залежи газогидрата. В качестве примера использования метода приведено Мессояхское месторождение, где для добычи газа понижается давление в пласте. В дальнейшем ведется изучение грунтов криолитозоны, рассмотрены ранее проведенные изучения криологии Сибири. Изучены особенности образования термокарстов, таликов и прочих процессов криолитозоны, что имеет большое значение для строительных работ на месторождении и трубопроводах для перекачки газа в другие регионы и заводы для его переработки. Также рассмотрен экологический аспект изучения газогидратов, влияние глобального потепления на залежи газогидратов и влияние метана, получаемого от разложения газогидрата, на климат и экологию планеты, опасность возникновения парникового эффекта и возможности его предотвращения.

Ключевые слова: природный газ, газовый гидрат (газогидрат), добыча, транспортировка, эксплуатация, порода, криология, криолитозона, термокарст, талик, топливно-энергетический комплекс, грунт, вечная мерзлота, прогноз, оценка запасов, стратегия.

FEATURES OF GAS HYDRATE CRYOLITHOZONE DEVELOPMENT

**T.S. Smirnova, Sh.N. Mirabidinov,
L.M. Vaxidova, S.A. Molotov**

Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

Issues of gas hydrate deposits development, features of cryolithozone, design and construction of facilities for the production and transportation of gas under conditions of cryolithozone development in countries with access to cryolithozone are considered. Also the prospects for further development of gas hydrates in Russia under the nearest shortage of hydrocarbons and the role of gas hydrates as hydrocarbons substitutes are characterized.

The authors examine the methods of hydrocarbons extraction in the gas hydrates formation, breaking one of the essential thermobaric components in order to maintain the phase state of the gas hydrate, destroying by increasing the temperature in the reservoir or the gradual reduction of pressure in the gas hydrate mining deposit. As an example of using the method Messoyakhskoye deposit is given where pressure in the reservoir is reduced for gas production. Later cryolithozone soils are investigated, earlier conducted cryology Siberia study are discussed. Peculiarities of formation of thermokarst taliks, cryolithozone and other processes, which are of great importance for the construction work on the field and pipeline for pumping gas to other regions and plants for processing. Also environmental aspect of the study of gas hydrates, the impact of global warming on gas hydrate deposit and the impact of methane generated from the decomposition of the gas hydrate, on the climate and ecology of the planet, the risk of the greenhouse effect and the possibility of prevention are considered.

Keywords: natural gas, gas hydrate (gashydrate), production, transportation, operation, formation, cryology, cryolithozone, thermokarst, talic, fuel and energy complex, soil, permafrost, forecast, estimate of the reserves, strategy.

Введение

Углеводороды в составе газогидратов по разведанным уже сейчас запасам превосходят все вместе взятые запасы нефти, газа и угля.

Газовые гидраты были получены еще в 1811 г., но долгое время оставались объектом исключительно лабораторного исследования. В 1934 г. американский ученый Гаммершмидт установил, что газовые гидраты могут образовываться в газопроводах, вызывая их закупорку. Впервые существование гидратов в природных условиях было зарегистрировано российскими учеными Ю. Макогоном, Ф. Требиным, А. Трофимуком, Н. Черским и В. Васильевым в 1969 г. До начала 1990-х гг. Советский Союз удерживал одно из лидирующих мест в мире в области изучения газовых гидратов. После распада СССР газогидратные исследования на постсоветском пространстве были свернуты [1].

Роль и значение газовых гидратов в современном мире

Запасы газовых гидратов привлекают к себе немало внимания. Объем этих запасов как минимум в несколько раз превосходит ресурсы свободного природного газа, что позволяет считать газовые гидраты одним из перспективных источников топливного сырья. Проблемой в наши дни является сосредоточенность основной массы запасов газовых гидратов (98 %) в арктической акватории, где глубина их залегания составляет 300–500 м. Еще одной проблемой является фазовая неустойчивость газовых гидратов: при потере благоприятных термобарических условий (высокого давления и низкой температуры) происходит разложение гидратов на воду и газ, что приводит к неконтролируемому выбросу на поверхность. Такие значительные массы метана, а именно метан составляет основную часть этих газов, высвобождаемого на поверхность, должны учиты-

ваться при прогнозе нарушения климата планеты [2–4].

Свойство слабой фазовой устойчивости можно применять для промышленного освоения этих запасов, т.е. нарушение даже одного из необходимых термобарических составляющих, а именно искусственное повышение температуры в пласте или понижение давления, приводит к разрушению газового гидрата, что можно использовать для добычи газов из гидратов. Примером тому может послужить российское Мессояхское месторождение газов, которое функционирует более 40 лет. Газ здесь поступает вследствие понижения давления в пласте с газовыми гидратами. Этот же принцип используют специалисты из США, Канады и Японии, которые успешно извлекают газ из газогидратной залежи в подмерзлотных породах на месторождении Маллик (дельта р. Маккензи, Канада), в Японии такие же работы проводятся в Японском море.

Япония, которая закупает 97 % природного газа, стала одним из государств, обративших внимание на газовые гидраты как потенциальный источник энергии. Именно в Японии была разработана технология транспортировки газа в лед-газогидратных таблетках, которые можно хранить и перевозить при низких температурах. Пока технология находится на опытной стадии, в дальнейшем ее можно будет использовать для транспортировки газа (около 60 % разведанных запасов газа относятся к категории труднодоступных: добывать и транспортировать их по трубе экономически невыгодно).

Сейчас в Японии функционирует государственная программа по изучению газовых гидратов, создан консорциум, объединяющий японские фирмы и исследовательские организации, работающие в данной области (координатор программы – Японская национальная нефтяная корпорация). Программы по изучению газовых гидратов есть также в США («Национальная долгосрочная

программа по метангидратам»), Канаде, Великобритании, Индии [5].

В России пока нет четкой программы по исследованию газовых гидратов на уровне государства. Ясно, что России пока не требуется переключать свое внимание на газовые гидраты, так как она является независимым обладателем огромных запасов природного газа (треть мировых запасов). Это приводит к мысли, что пока запасы газа не закончатся, перенаправлять свое внимание правительству нецелесообразно. Еще недавно считалось, что природного газа хватит планете на 50 лет, но техника и научный разум не стоят на месте: если раньше нефть и газ добывали с глубины 1200–1500 м, то сейчас бурятся скважины глубиной более 4000 м, а начало бурения горизонтальных скважин еще больше укрепило позиции природного газа. И пока есть разница между стоимостью добычи природного газа и газа из газогидратов, Россия не будет вкладывать средства в добычу газогидратов.

Есть еще один аспект исследования газовых гидратов, а именно образование их в транспортировочных трубах газа, в стволах скважин, в промышленных и хозяйских сетях газопроводов. В трубах при понижении температуры и достаточном давлении на стенках образуются значительное количество газогидратов, которые закупоривают трубы. Данная проблема существует, например, также на месторождении им. Ю. Корчагина: перенос сырья по дну моря приводит к образованию гидратов в условиях повышенного давления и пониженной температуры на дне моря. Для борьбы с этим явлением нефтегазовые компании используют различные способы, в числе которых закачка различных ингибиторов (метилловый спирт, гликоли, растворы солей), поддержание температуры потока газа выше температуры газогидратообразования с помощью подогревателей, расположенных на определенном отдалении друг от друга на дне моря, теплоизоля-

ция трубопроводов и подбор режима эксплуатации, обеспечивающего максимальную температуру газового потока. На магистральных газопроводах для предотвращения образования газовых гидратов используют газовую сушку – процесс очистки газа от воды и водяных паров [6, 7].

Хотя с момента определения газовых гидратов существует большое количество исследований в этом направлении, но отсутствие финансирования приводит к незначительному практическому применению их в промышленности.

Характеристика зоны образования газовых гидратов

Для исследования газовых гидратов следует в большей мере изучить среду образования гидратов в природе. Практически все залежи газовых гидратов расположены на территории вечной мерзлоты, так как определенные термобарические условия образования газогидратов приурочивают их к зоне вечной мерзлоты (криолитозоне).

Криолитозона – зона многолетней мерзлоты, которая занимает порядка 25 % площади суши Земли.

В России криолитозона занимает окраинные части Европейского Севера (часть Кольского полуострова, Малоземельскую и Большеземельскую тундры), ее южная граница опускается по Уральскому хребту, в Западной Сибири она распространена от побережий Карского моря до Сибирских Увалов, охватывает почти всю восточную Сибирь до широт Байкала и большую часть территории Дальнего Востока. Также надо учитывать, что к ней относится не только поверхность суши, но и шельфовые отложения. В этой зоне происходит фазовое превращение веществ, в том числе и образование газовых гидратов, поскольку промерзание пород в верхних слоях литосферы обуславливает благоприятные термобарические условия для образования газовых гидратов.

Образование криолитозоны обусловлено четвертичными процессами. Непрямым подтверждением этому может служить криолитозона на глубине более 1 км в районе озера Байкал, а также хорошо сохранившиеся останки млекопитающих в этих толщах. Геологические процессы в криолитозоне в первую очередь связаны с расклинивающим действием замерзающих подземных вод, что обусловлено увеличением объема воды при ее оледенении. В свою очередь, это действие зависит от условий залегания и режима подземных вод, а также от характера подземных льдов.

По времени образования выделяют два главных типа подземных льдов: сингенетические и эпигенетические.

Сингенетические льды возникли одновременно с формированием горных пород территории. Они представлены такой разновидностью, как погребенные льды – захороненные под слоем морены блоки ледника.

Эпигенетические льды образовались после накопления горных пород. Существует несколько разновидностей эпигенетических льдов. Конституционные льды лидируют по объему в составе всех подземных. Они возникают при промерзании увлажненных горных пород или при замерзании подземных вод при их приближении к мерзлым грунтам. Инъекционные льды образуются при внедрении в мерзлые породы напорных подмерзлотных вод. Жильные льды представляют собой интрузии льда в кристаллических породах. Повторно-жильные льды формируются в трещинах многолетнемерзлых рыхлых пород.

Подземные воды в мерзлых породах по условиям залегания можно разделить на три типа. Надмерзлотные воды представлены в сезонно оттаивающем (деятельном) слое в жидком виде, напором они не обладают. Межмерзлотные воды приурочены к таликам (прослоям и линзам незамерзших пород), находящимся внутри мерзлого слоя. Эти воды могут

как сообщаться с надмерзлотными и подмерзлотными, так и быть изолированными.

Подмерзлотные воды лежат глубже мерзлых пород, часто обладают напором.

Морозное выветривание является главным самостоятельным процессом криолитозоны. Кроме того, оно сопровождается практически все остальные происходящие здесь экзогенные явления. Именно благодаря морозному выветриванию в составе поверхностных пород зоны многолетней мерзлоты широко распространены алевриты.

Морозное трещинообразование заключается в раздавливании рыхлых пород деятельного слоя замерзающей водой. Этот процесс, повторяясь из года в год в одном и том же месте (трещине), ведет к образованию тундровых полигонов. В однородных грунтах такие полигоны имеют форму четырехугольника, а в неоднородных – неправильного многоугольника. Морозобойные трещины заполняются льдом, или рыхлыми мелкодисперсными породами, или смешанной грунтово-ледовой массой. Морозобойные клинья достигают максимальных размеров, когда трещина рассекает не только деятельный слой, но и многолетнемерзлые породы. Рост клиньев обуславливает деформацию вмещающих пород, в результате чего трещины могут обрамляться валиками выдавленных на поверхность грунтов [8, 9].

Термокарст – это процесс вытаивания подземных льдов и последующего проседания земной поверхности. Он происходит тогда, когда глубина сезонного оттаивания грунтов превышает глубину залегания подземных льдов. В результате термокарста возникают блюдцеобразные котловины – аласы. В разрезе склонов аласов отчетливо видны вызванные просадкой деформации слоев горных пород (изменения угла падения слоев, сбросы и др.).

Процессы морозного вспучивания слоев горных пород происходят в ре-

зультате замерзания залегающих на небольшой глубине подземных вод. Установлено, что давление, развивающееся при морозном вспучивании, достигает 140 т/м². Примером бугров пучения являются гидролакколиты – куполовидные холмы с ледяным ядром.

Склоновые процессы криолитозоны включают крип, солифлюкцию, курумообразование и др. Крип – это медленное сползание по склону горных пород под действием силы тяжести. В условиях мерзлоты процессы пучения поднимают поверхностные породы в направлении, перпендикулярном склону холма. Во время таяния крупные обломки оседают вниз, с каждым циклом таяния оказываясь все ниже по склону. Солифлюкция – медленное течение пород. С приходом теплого сезона оттаивает поверхность склона. Лежащие глубже породы скованы льдом и играют роль водоупора. Поверхностные породы насыщаются талой водой и приходят в движение, оплывая вниз по склону со скоростью до нескольких сантиметров в год. Накапливающиеся таким путем у подножия слои называются солифлюксиям. Курумообразование – это процесс выдавливания на поверхность крупных обломков. В холодный сезон крупные валуны промерзают быстрее, чем окружающие песчаные или глинистые породы. Возникающие под валунами линзы льда приподнимают их. В теплое время валун быстрее прогревается, лед под ним тает. Талая подземная вода захватывает мелкие частицы и отлагает их под валуном, не позволяя тому опуститься на первоначальную глубину. В результате многократного повторения процесса крупные обломки, выдавленные на поверхность, формируют каменные поля и каменные реки, или курумы. Находящиеся на склоне курумы могут двигаться вниз под действием солифлюкции [3, 4].

В данных геологических условиях и происходит образование гидратов при соответствующих температуре и давлении.

Особенности строительства сооружений по добыче и транспортировке газовых гидратов в криолитозоне

Строительство объектов для эксплуатации месторождений в криолитозоне требует отдельного подхода в условиях неустойчивости грунта. Строительство инфраструктуры на Севере, а это именно та зона, где распространены основные залежи газогидратов, является одной из сложнейших технологических задач. В данных условиях основной задачей является повышение надежности земляных сооружений в наиболее уязвимых местах потенциальной деградации криолитозоны, на основе профилактики техногенных и мерзлотных процессов в строительный период, а также при реализации технологических режимов, обеспечивающих сокращение сроков возведения земляного полотна в экстремальных условиях криолитозоны, что немаловажно для обустройства технологического комплекса для добычи газогидратов.

Обследование вечномерзлых грунтов после техногенного вмешательства привело к выводам, что происходит разрушение мерзлой толщи с последующим влиянием на гидрологический режим поверхностных вод. В дальнейшем это приведет к образованию термокарста с последующим проседанием грунта, что крайне негативно повлияет на технологические сооружения.

Сложность состоит не только в тяжелых климатических условиях. Безусловно, необходимо обеспечить безопасность самих сооружений в процессе их проектирования и строительства, а также соответствие оборудования и машин работе в этих условиях.

Строительство объектов различного характера в криолитозоне связано с уникальными природно-климатическими условиями. В тундре применяют технологию и организацию работ, ориентированную на практически полное отсут-

вие грунтов, пригодных для возведения насыпей, и распространение многолетне-мерзлых болот. Из-за большой льдонасыщенности наблюдаются значительные деформации естественных склонов и откосов насыпей, термоэрозионные и солифлюкционные процессы. Недостаточный учет их последствий может катастрофически повлиять как на ход строительства, так и на дальнейшую эксплуатацию объекта.

Опасность при обустройстве и строительстве объектов могут представлять такие криопроцессы, как обвалы горных пород, снега и льда в виде лавин, процессы термокарста и др.

Формирование крупных масс льда в толще земной коры резко изменяет первичное залегание горных пород, приводит к их смещению, смятию, разрыву или инъекции одного слоя в другой. Аналогичные дислокации происходят и при вытаивании подземных льдов. Эти два сложных процесса, каждый в отдельности или при наложении друг на друга, обуславливают возникновение особых криогеологических структур, не свойственных земной коре с постоянным положительным температурным полем. Криогеологические структуры представляют собой определенные сочетания форм залегания горных пород, обусловленных гидротермическими движениями грунтов при одновременных и фазовых превращениях воды. Такие движения толщ земной коры особо опасны при сооружении скважин для добычи газов с толщ залежей газогидратов.

Деформация сооружений при поднятии или просадке грунта, трещинных нарушениях происходит за счет термокарстовых процессов, криогенного выпучивания пород на поверхность, оползневых и селевых процессов, происходящих под влиянием комплекса теплофизических, физико-механических, массообменных и физико-химических факторов.

Одним из основных процессов, связанных с действием вышеуказанных

факторов, может быть образование таликов. Обследования грунтов в Сибири подтвердили необходимость проведения специальных конструкторско-технических решений грунта в таликовых зонах [8–11].

Талики – массивы талого грунта, залегающие внутри толщи многолетне-мерзлых грунтов, – являются источником нестабильности основания, деформаций земляных сооружений, в нашем случае коммуникационных сооружений, трубопроводов, эксплуатационных сооружений. Появление таликов обусловлено аномальными явлениями, вызванными нарушением природного температурного режима криолитового основания, сложенного льдистыми грунтами, что связано с поверхностным теплообменом в процессе строительства или временной эксплуатации участка.

Динамика изменения состояния природно-технической системы, которой должен послужить комплекс по добыче газа из мерзлых толщ, приводит к необходимости разработки методов регулирования технологических процессов, соответствующих изменению состояния объекта строительства. Выбор конструктивно-технологических решений в процессе строительства зависит от вида таликовых зон: 1) уже образованных таликов; 2) зон потенциального таликообразования.

Традиционный подход к оценке условий формирования таликов основан на сравнении глубины сезонного оттаивания и промерзания основания земляного полотна сверху и снизу при нулевой среднегодовой температуре и отсутствии значительных теплотоков на нижней границе потенциальных глубин оттаивания и промерзания.

Параметры зоны образования таликов, в первую очередь глубины промерзания и оттаивания грунта, зависят от коэффициентов теплопроводности грунта в талом и мерзлом состоянии, среднелетней и среднезимней температуры по-

верхности грунта в пределах основной площадки или откоса насыпи, продолжительности летнего и зимнего периодов, среднелетнего и средnezимнего термического сопротивления теплообмену; коэффициентов теплообмена в летнее и зимнее время; термического сопротивления изоляции; средnezимнего термического сопротивления снежного покрова; удельной теплоты замерзания воды (таяния льда); плотности и влажности талого и мерзлого грунта.

Необходимо не только обнаружить талик, но и регулярно проверять объекты по образованию таликов и в дальнейшем решать поступившие задачи по устранению и предотвращению таликообразования. Определив характерные особенности образования таликов, можно разработать определенный регламент по созданию методов решения задач таликообразования.

Для ликвидации условий образования таликов в потенциально опасной зоне предполагают устройства дренажных систем, регуляторов влажности, упрочнение грунта различными методами и регулирование толщины снежного покрова до начала строительных работ [12–16].

Комплексное строительство технических сооружений и скважин с учетом вышеописанных характеристик грунта и толщи пород может обезопасить извлечение и транспортировку газов и газогидратов на участках территории России,

находящихся в криолитозоне, и предотвратить большие потери в финансовом и ресурсном плане.

Основные проблемы криолитозоны связывают с глобальным потеплением, которое может привести к таянию ледовых толщ грунтов и разрушению газогидратов и последующему выбросу огромных запасов метана в атмосферу. Последствия этого выброса рассматриваются экологами как глобальная экологическая проблема, основанная на возникновении парникового эффекта от накопления метана в атмосфере. Критики этой теории считают, что метан легче воздуха и, соответственно, не задержится в атмосфере. В любом случае потеря огромных запасов углеводородного топлива в виде газогидратов невозобновима, поэтому требуется скорая эксплуатация данных месторождений.

Заключение

Сохранность залежей газогидратов требует к ним повышенного внимания и изучения. В настоящее время можно активно заниматься исследованием газогидратов, однако это требует поддержки со стороны государства. Если Россия хочет сохранить статус одного из энергогигантов, она должна начать широкое практическое исследование месторождений газогидратов не только на суше, но и на море, где их запасы намного превышают все углеводородные энергоресурсы страны в целом [17, 18].

Список литературы

1. Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. – М.: Недра, 1992. – 231 с.
2. Гройсман А.Г. Теплофизические свойства газовых гидратов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 94 с.
3. Керролл Дж. Гидраты природного газа: пер. с англ. / Премиум Инжиниринг. – М., 2007. – 316 с.
4. Карякин А.В., Кривенцова Г.А. Состояние воды в органических и неорганических соединениях. – М.: Наука, 1973. – 176 с.
5. Стоимость добычи газогидратов в Японии составляет \$1200 за тысячу м³ [Электронный ресурс] // JBIC. – URL: http://www.ogjruussia.com/news/stoimost_dobychi_gazogidratov_v_yaponii_sostavlyaet_1200_zh_tysyachu_kub_m_jbic (дата обращения: 10.01.2013).
6. Модель образования гидратов в трубопроводах в присутствии ингибитора [Электронный ресурс]. – URL: <http://neftegas.info/territoriya-neftegaz/3196-model-obrazovaniya-gidratov-v-truboprovodah-v-prisutstvii-ingibitora.html> (дата обращения: 10.01.2013).
7. Dillon W., Max M. Oceanic gas hydrates // Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments / ed. by M. Max. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 61–76.

8. Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 336 с.
9. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. – Новосибирск: Гео, 2008. – 231 с.
10. Бычинский В.А., Коновалова Н.Г. Гидрогеология нефти и газа: учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. – Ч. 1. – 221 с.
11. Бойцов А.В. Геокриология и подземные воды криолитозоны / Тюм. гос. нефтегаз. ун-т. – Тюмень, 2011. – 178 с.
12. Цитович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 446 с.
13. Строгий В.В. Импульсная индуктивная элетроразведка таликов криолитозоны Центральной Якутии. – Якутск, 2003. – 124 с.
14. Арутюнов В.С., Лapidus А.Л. Введение в газохимию: учеб. пособие. – М.: Изд-во Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 108 с.
15. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне / ВНИИГАЗ. – М., 2009. – 192 с.
16. Seismic and well-log-inferred gas hydrate accumulations on Richards Island / T.S. Collett, M.W. Lee, S.R. Dallimore, W.F. Agena // Geological Survey of Canada Bulletin. – 1999. – № 544. – P. 357–376.
17. Living microorganisms in Siberian permafrost and gas emission at low temperatures / A.V. Brouckov, M. Fukuda, F. Tomita, K. Asano, M. Tanaka // Extended abstracts of 81st International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, 2003 / ed. Haeblerli and Brandova. – Zurich: University of Zurich, 2003. – P. 13–14.
18. Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования / В.П. Мельников, А.Н. Хименков, А.В. Брушков [и др.]. – Новосибирск: Гео, 2010. – 390 с.

References

1. Istomin V.A., Yakushev V.S. Gazovye gidraty v prirodnykh usloviyax [Gas hydrates in natural conditions]. Moscow: Nedra, 1992. 231 p.
2. Grojsman A.G. Teplofizicheskie svoystva gazovykh gidratov [Thermophysical properties of gas hydrates]. Novosibirsk: Nauka, 1985. 94 s.
3. Kerroll Dzh. Gidraty prirodnogo gaza [Natural gas hydrates]. Moscow: Premium Inzhiniring, 2007. 316 p.
4. Karyakin A.V., Krivencova G.A. Sostoyanie vody v organicheskix i neorganicheskix soedineniyax [The condition of water in organic and inorganic compounds]. Moscow: Nauka, 1973. 176 p.
5. Stoimost' dobychi gazogidratov v Yaponii sostavlyayet \$1200 za tysyachu m³. *JBIC*, available at: http://www.ogjrossia.com/news/stoimost_dobychi_gazogidratov_v_yaponii_sostavlyayet_1200_zh_tysyachu_kub_m_jbic (accesses 10 January 2013).
6. Model' obrazovaniya gidratov v truboprovodax v prisutstvii ingibitora [Model hydrate formation in pipelines in the presence of inhibitor]. *Territoriya Neftegaz*, 2010, no. 6, available at: <http://neftegas.info/territoriya-neftegaz/3196-model-obrazovaniya-gidratov-v-truboprovo-dah-v-prisutstvii-ingibitora.html> (accesses 10 January 2013).
7. Dillon W., Max M. Oceanic gas hydrates. *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*, 2000, pp. 61–76.
8. Romanovskij N.N. Osnovy kriogeneza litosfery [Fundamentals of cryogenesis lithosphere]. Moskovskij gosudarstvennyj universit, 1993. 336 p.
9. Pavlov A.V. Monitoring kriolitozony [Monitoring of cryolithozone]. Novosibirsk: Geo, 2008. 231 p.
10. Bychinskij V.A., Konovalova N.G. Gidrogeologiya nefiti i gaza. Ch. 1 [Hydrogeology of oil and gas: training manual. Vol. 1]. Irkutskij gosudarstvennyj universit, 2008. 221 p.
11. Bojcov A.V. Geokriologiya i podzemnye vody kriolitozony [Geocryology and groundwater of cryolithozone]. Tyumenskij gosudarstvennyj neftegazovyy universitet, 2011. 178 p.
12. Citovich N.A. Mexanika merzlyx gruntov [Mechanics of frozen soils]. Moscow: Vysshaya shkola, 1973. 446 p.
13. Strogij V.V. Impul'snaya induktivnaya e'letrorazvedka talikov kriolitozony Central'noj Yakutii [Impulse inductive electric prospecting of taliks of Central Yakutia cryolithozone]. Yakutsk, 2003. 124 p.
14. Arutyunov V.S., Lapidus A.L. Vvedenie v gazoximiyu [Introduction to gas chemistry]. Moscow: Rossijskij gosudarstvennyj universitet nefiti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2004. 108 p.

15. Yakushev V.S. Prirodnyj gaz i gazovye gidraty v kriolitozone [Natural gas and gas hydrates in cryolithozone]. Moscow: Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut prirodnix gazov I gasovyx tehnologij, 2009. 192 p.

16. Collett T.S., Lee M.W., Dallimore S.R., Agena W.F. Seismic and welllog-infeped gas hydrate accunulations on Richards Island. *Geological Survey of Canada*, 1999, no. 544, pp. 357–376.

17. Brouckov A.V., Fukuda M., Tomita F., Asano K., Tanaka M. Living microorganisms in Siberian permafrost and gas emission at low temperatures. *Extended abstracts of 81st Intemational Conference on Permafrost*. University of Zurich, 2003, pp. 13–14.

18. Mel'nikov V.P., Ximenkov A.N., Brushkov A.V. Kriogennye geosistemy: problemy issledovaniya i modelirovaniya [Cryogenic geosystems: problems of research and modeling]. Novosibirsk: Geo, 2010. 390 p.

Об авторах

Смирнова Татьяна Сергеевна (Астрахань, Россия) – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, гидрогеологии и геохимии горючих ископаемых Астраханского государственного университета (414015, г. Астрахань, Заводская пл., д. 77, кв. 2; e-mail: juliet_23@mail.ru).

Мирабидинов Шероз Навойи угли (Астрахань, Россия) – студент Астраханского государственного университета (414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20, корп. 1, кв. 301(3); e-mail: sheroz-47@mail.ru).

Вахидова Лолита Мирабовна (Астрахань, Россия) – студентка Астраханского государственного университета (414056 г. Астрахань, ул. Татищева, 20, корпус 1, кв. 301(3); e-mail: lolita_vakhidova@mail.ru).

Молотов Сергей Андреевич (Астрахань, Россия) – студент Астраханского государственного университета (414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20, корп. 1, кв. 301(3), e-mail: decl_1forever@mail.ru).

About the authors

Smirnova Tat'yana Sergeevna (Astrakhan, Russia) – candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor of the department of geology, hydrogeology and geochemistry of combustible minerals, Astrakhan State University (414015, Astrakhan, Zavodskaya sq., 77. ap. 2; e-mail: juliet_23@mail.ru).

Mirabidinov Sheroz Navoji ugli (Astrakhan, Russia) – student, Astrakhan State University (414056, Astrakhan, Tatisheva st., 20, b. 1, ap. 301 (3); e-mail: sheroz-47@mail.ru).

Vaxidova Lolita Mirabovna (Astrakhan, Russia) – student, Astrakhan State University (414056, Astrakhan, Tatisheva st., 20, b. 1, ap. 301 (3); e-mail: lolita_vakhidova@mail.ru).

Molotov Sergej Andreevich (Astrakhan, Russia) – student, Astrakhan State University (414056, Astrakhan, Tatisheva st., 20, b. 1, ap. 301 (3); e-mail: decl_1forever@mail.ru).

Получено 28.02.2013