

УДК 626.022:551.46.09

ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Лискин В.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Газовые гидраты (газогидраты) – твердые льдоподобные образования, состоящие из воды и низших углеводородов, в основном метана, устойчивые при низких температурах (как правило, менее 50 °С) и высоких давлениях (более 30 атм). Подобные условия характерны для 90 % площади дна Мирового океана, но образование газогидратов возможно лишь при наличии достаточного количества гидратообразующего газа (метана), поступающего из осадочной толщи. Месторождения газогидратов на морском дне рассматриваются в качестве перспективных источников экологически чистого энергетического сырья в будущем (в каждом кубометре газогидратов содержится 160 кубометров метана). По существующим оценкам содержание метана в морских газогидратах по энергетическому ресурсу может превышать запасы всех горючих полезных ископаемых вместе взятых. За последние 20 лет газогидраты глубоководных морских осадков обнаружены приблизительно в 30 районах Мирового океана, еще в 30 районах газогидраты обнаружены по косвенным признакам. Несмотря на мощный прогресс в изучении геологии природных газогидратов реальные их ресурсы остаются предметом оживленных дискуссий, что обусловлено неразработанностью до сих пор методов добычи этого нетрадиционного вида топлива.

Ключевые слова: газогидраты, шельф, донные осадки, водорастворенный метан, геохимические донные станции

REVIEW AND SUBSTANTIATION OF GASHYDRATES DETECTION AND RESEARCH METHODS

Rimskiy-Korsakov N.A., Egorov A.V., Liskin V.A.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

Gas hydrates are solid ice-like formations consisting of water and lower hydrocarbons, mainly methane, which are stable at low temperatures (typically less than 50 °C) and high pressures (more than 30 atm). Similar conditions are typical for 90 % of the bottom of the World Ocean, but the formation of gas hydrates is possible only if there is a sufficient amount of hydrate-forming gas (methane) coming from the sedimentary strata. Deposits of gas hydrates on the seabed are considered as promising sources of environmentally friendly energy raw materials in the future (each cubic meter of gas hydrates contains 160 cubic meters of methane). According to the existing estimates of methane content in marine gas hydrates, the energy resource may exceed the reserves of all combustible minerals combined. Over the past 20 years, gas hydrates of deep-sea sediments have been found in approximately 30 regions of the World Ocean, and in 30 regions gas hydrates have been discovered for indirect signs. Despite the great progress in the study of the geology of natural gas hydrates, their real resources remain the subject of lively discussions, which is due to the fact that methods of extracting this unconventional fuel have not yet been developed.

Keywords: gas hydrates, shelf, bottom sediments, water-soluble methane, geochemical bottom stations

Для решения задач освоения континентального шельфа необходимо располагать данными о термогидродинамических и гидрохимических процессах, происходящих у дна в обширных акваториях длительное время. В настоящее время, в широких масштабах ведутся поисковые и промышленные работы, осуществляется сброс отходов хозяйственной деятельности и нефтепродуктов при авариях судов, что ведет к значительному загрязнению вод шельфовой зоны и наносит экономический, экологический и социальный урон. В связи с изложенным остро встает вопрос о необходимости изучения пространственно-временной структуры гидрофизических и гидрохимических полей и их изменчивости под действием различных причин, в том числе антропогенных, в шельфовой зоне моря. Такие исследования необходимы как с практической точки зрения, так и

с научной, в частности, для разработки математических моделей шельфа. Для решения всех этих задач необходима разработка и создание нового поколения методов и инструментальных средств долговременного мониторинга состояния и взаимодействия вод и дна морей России.

Все это предполагает измерения гидрофизических и гидрохимических параметров в толще вод и у дна, а также процессов химического массообмена на поверхности раздела «вода – дно», что может выполняться различными типами станций. В процессе исследований была предложена возможность и целесообразность, разработки и создания станций с блочно-модульной структурой. Это позволяет совместить измерение обоих типов параметров (гидрофизические и гидрохимические) в единой конструкции донной станции. Такая схема существенно увеличивает функциональные

возможности донных, в том числе геохимических, станций. При этом сохраняется возможность функционального и технологического разделения измерений различных параметров. В процессе исследований выполнен анализ достоинств и недостатков существующих автономных станций и обоснованы требования как к конструкции, так и функционированию донных станций.

К основным требованиям к донным станциям относятся: высокая надежность работы, постановки и подъема станции, максимально возможная простота изготовления, калибровки, подготовки к постановке, съема информации. Необходимы минимально возможные размеры и вес станции, минимально возможная стоимость изготовления и эксплуатации станции, соответствие международным стандартам по точности измеряемых параметров.

Необходимость прямого измерения химических потоков

На основании обзора научных публикаций в открытых источниках установлено, что:

– газопористые гидраты являются эффективным резервуаром экологически чистого топлива (метана). В каждом кубометре газопористых гидратов содержится 160 м³ метана;

– из всех ресурсов на Земле 98% находится в акваториях;

– газопористые гидраты стабильны при низких температурах, высоких давлениях и высоком содержании гидратообразующего газа – метана. Эти условия характерны для акваторий с мощной толщей осадочных отложений и глубинами воды более 270–700 метров (в зависимости от температуры придонной воды). Зона стабильности газопористых гидратов находится в верхней части осадков и имеет мощность в среднем порядка 500 метров, газопористые гидраты встречаются как в нижней части зоны стабильности газопористых гидратов, так и в верхней, иногда выходя на поверхность раздела вода – дно;

– существуют целый комплекс методов, применяемый для поиска газопористых гидратов. Они делятся на прямые, – глубоководное бурение, пробо-отбор геологическими трубками и т.п., визуальное наблюдение, и косвенные, – сейсмический и сейсмоакустические исследования дна и толщи осадков, геохимические исследования осадков и флюидов, геотермические и биологические исследования;

– к настоящему времени в акваториях открыто более 70-ти газопористых районов по косвенным признакам, а в 30-ти районах газопористые гидраты подняты непосредственно на борт судна в результате геологического пробоотбора.

Отсюда следует обоснование необходимости прямых измерений химических потоков метана и других газообразных углеводородов из донных осадков, и в пограничной области вода – дно для исследования месторождений газопористых гидратов. В данной статье объектом разработки являются технические средства для поиска газопористых гидратов, выходящих непосредственно на поверхность морского дна или прикрытые незначительным слоем осадка. Обоснованием этого служит тот факт, что около половины газопористых гидратов, обнаруженных в осадках акваторий, приурочены к поверхностным осадкам. Газопористые гидраты, расположенные глубоко под дном, требуют дорогостоящих методов глубоководного подводного бурения, которые недоступны пока российским геологам [1, 2].

Методы исследований газопористых гидратов

Для исследования газопористых гидратов, выходящих на морское дно, используют как традиционные методы геологических и сейсмоакустических исследований, которыми оснащены российские научно-исследовательские суда, так и самые современные, к которым относятся донные геохимические станции, с помощью которых возможно измерять поток химических соединений через поверхность раздела вода – дно. Для формирования газопористых гидратов, выходящих на морское дно, необходим высокий поток метана из глубины осадочной толщи. Величина этого потока и определяет масштабы накопления газопористых гидратов в донных осадках. Существуют два механизма выноса метана: вынос в самостоятельной фазе (пузырьковая разгрузка) и вынос водорастворенного метана. В последних случаях помимо метана к поверхности выносятся тепло и другие водорастворимые компоненты (различные соли). Измерение интенсивности выноса вод является важнейшей задачей, для оценки возможных масштабов образования газопористых гидратов, которая решается с помощью специальных донных станций.

Все это диктует необходимость создания технических средств нового поколения, в том числе донных станций, что позволит создавать и использовать распределенные сети автономных донных станций для измерения гидрохимических и гидрофизических характеристик среды. Модульно-блочная концепция построения таких станций позволит повышать экономическую эффективность получения океанологических данных, за счет адаптации к решаемой задаче, программно-аппаратных средств, обеспечивает гибкость внедрения перспективных средств

наблюдений нового поколения в практику океанологических исследований.

Новизна предлагаемых научных и технологических решений

Российским ученым принадлежит приоритет в разработке теоретических моделей, для описания процессов образования и разложения газовых гидратов на морском дне. И лишь сейчас зарубежные исследователи начинают решать подобные задачи. Однако зарубежные исследователи одновременно используют современные технические средства – лендеры, которых до последнего времени в России не было.

Модернизация российских донных станций и оснащение их необходимым оборудованием, в сочетании с уникальными теоретическими разработками по моделированию процессов формирования газовых гидратов на морском дне позволит занять России лидирующее направление в области разведки газогидратных залежей в акваториях. Использование таких станций для решения различных задач поиска и исследования масштабов образования газовых гидратов в акваториях относится к самым современным направлениям в изучении газогидратов.

Проведенный анализ результатов исследований такого потенциально значимого геологического явления, как природные газовые гидраты в донных осадках Мирового океана, показал необходимость создания технических средств нового поколения для измерения придонных потоков углеводородов (метана), с помощью прямого боксового метода измерения придонных потоков, который заложен в основу использования донных станций для исследования газовых гидратов. Для комплексного решения задачи поиска и оценки ресурсов газовых гидратов, обоснована необходимость разработки в составе донных станций блоков видеомодуля, специального грунтового пробоотборника и термо-градиентографа [3–5].

Области и масштабы использования полученных результатов

В первую очередь полученные результаты могут быть использованы в той части океанологии, которая занимается оценкой энергетических ресурсов Мирового океана. Ресурсная оценка метана, связанного в газовые гидраты, находящихся в морских осадках, является одной из основных задач в национальных программах по изучению природных газогидратов, принятых в США, Канаде, Японии, Индии и Южной Корее. Исследования таких новых энергетических источников, как газовые гидраты,

стимулируют развитие новых технологий, которые могут быть использованы и для других задач, связанных с изучением Мирового океана. В частности, современные донные станции могут быть использованы, при экологическом мониторинге акваторий, подвергшихся воздействию мощной антропогенной нагрузки.

Исследование газовых гидратов помимо энергетической направленности, имеет важное значение для оценок устойчивости склонов, для оценок стабильности основания морских буровых установок, для оценки роли газовых гидратов в глобальном потеплении климата. Немаловажную роль газовые гидраты играют в глобальном цикле углерода и в создании глубоководных «оазисов жизни», где основным энергетическим ресурсом может служить метанотрофия. Исследования в этой области могут помочь в раскрытии такой фундаментальной задачи науки, как выяснение механизмов зарождения жизни на Земле. Практическое значение полученных на данном этапе работ результатов заключается в подготовке публикаций по вопросам проведения ресурсной оценки в акваториях.

На современном этапе, основной интерес к природным газовым гидратам в акваториях сконцентрирован на энергетической значимости газогидратов, как источника экологически чистой энергии в будущем. И хотя прогнозные оценки этих ресурсов все еще остаются предметом научных дискуссий, все исследователи сходятся на большой значимости этого источника и на необходимости проведения работ, как по оценке ресурсов, так и по разработке технологий поиска разведки и разработки залежей газовых гидратов в акваториях. Безусловно, в ходе этих работ будут проведены важные исследования природы Мирового океана, включающие процессы нефтегазообразования на континентальном склоне и его подножии. Ресурсы газогидратов связаны с ресурсами обычного газа и нефти в акваториях и многие результаты по исследованию газовых гидратов будут использованы для задач расширения традиционных нефтегазовых ресурсов на все большие глубины морей и океана.

Помимо традиционных методов, используемых для поиска газовых гидратов, таких как глубоководное бурение, пробоотбор геологическими трубками, черпаками и т.п., визуальное наблюдение, сейсмическое и сейсмоакустическое исследование дна и толщи осадков, геохимические исследования осадков и флюидов, геотермические и биологические исследования, используются специализированные донные

станции и аппаратурные комплексы. Эти комплексы на базе специализированных донных станций позволяют проводить длительные исследования (мониторинг) газовыделяющих объектов на морском дне, которые связаны с газовыми гидратами. Так, например, при исследовании газовых гидратов в подводном гряде вулкана Хаакон Мосби использовался шведский лендер Гетборгского университета, донная станция французского института IFRIMER. Установка этих приборов на дно происходила с использованием как глубоководных обитаемых аппаратов, так и необитаемых глубоководных телеуправляемых аппаратов.

Здесь следует отметить то, что с помощью донных станций можно исследовать не только геохимические и гидрологические условия, при которых газовые гидраты формируют скопления на дне океана, но изучать процесс разложения таких газогидратных скоплений, что крайне важно для разработки технологий добычи природного газа при разложении природных газовых гидратов. В то же время важно понимать, что на современном уровне ни один метод исследования не обеспечивает результативность поисково-разведочных работ, только разумное комплексирование всего набора современных методов может обеспечить успех. Использование новых технологических возможностей разрабатываемой аппаратуры в составе телеуправляемых донных комплексов, предназначенных для измерений потоков вещества в придонной области морей и океанов, должно быть увязано с совокупностью традиционных геофизических, геологических и геохимических методов исследования акваторий направленных на поиски скоплений газовых гидратов [6].

Рекомендации по конкретному использованию

Ухудшение экологической ситуации вод шельфовой зоны вызывает необходимость изучения с помощью донных станций, пространственно-временной структуры и изменчивости параметров морской воды под действием различных причин, в том числе антропогенных.

Выполнение долговременного мониторинга состояния и взаимодействия вод и дна морей России с помощью распределенных сетей автономных океанологических станций в течение года или более позволит отслеживать пространственную изменчивость необходимого перечня океанологических параметров.

При определенных условиях особую важность приобретает экологическая направленность использования донных стан-

ций в местах захоронения в осадках снарядов с химическим оружием, металлическая оболочка которых в этих условиях интенсивно корродирует, делая со временем доступным прямой контакт химической начинки снарядов с донными осадками, а возможно, и с придонными водами (Балтийское море).

Выводы

Проведен аналитический обзор отечественных и зарубежных результатов применения донных станций и аппаратурных комплексов для поиска газообразных углеводородов, в том числе газовых гидратов, на морском дне. Рассмотрены методы выявления газовых гидратов и обосновано направление работ по созданию технических устройств в составе донных станций для решения задачи выявления газовых гидратов в донных осадках акваторий Мирового океана и морей России. Показана высокая научная значимость выбранного направления работ, его новизна, соответствие современному международному уровню. В области разработок математических моделей образования и разложения газовых гидратов в донных осадках данное исследование определяет международный уровень.

Особенность проводимых на данном этапе исследований заключается во всестороннем анализе мировых достижений в области использования современных технических средств и методов, применяемых для поиска и исследования газогидратов в донных осадках Мирового океана. По результатам аналитического обзора предложена оптимальная методика использования как традиционного, так и вновь разрабатываемого оборудования, в которой учитываются все самые современные теоретические разработки в области поиска и разведки скоплений газовых гидратов на морском дне. Предлагаемый концептуальный подход соответствует мировому уровню. Разрабатываемый донный комплекс найдет свое применение в практике морских океанологических исследований, при оценке ресурсов природного газа в газогидратах континентального склона, он может быть использован в нефтегазовой промышленности, в МЧС для проведения аварийно-спасательных работ в глубоководных акваториях.

Принятый блочно-модульный подход к созданию автономной донной станции с общей информационной шиной, объединяющей в сеть измерительные модули, позволяет эффективно изменять на унифицированной основе состав измерительных модулей, обеспечивая требуемый набор измеряемых физико-химических параме-

тров морской среды. Выбранный способ программно-аппаратной и конструктивной реализации измерительных модулей, в качестве интеллектуальных датчиков с микропроцессорным управлением позволяет использовать модули комплекса автономно. На унифицированной программно-аппаратной базе донной станции был создан волнограф-мареограф. С его помощью проведены экспериментальные исследования и получены новые данные о временных рядах характеристик поверхностного волнения в районе Голубой бухты Черного моря, включающие характерные высоты волн, средние периоды, периоды спектрального пика, средние длины волн, длины волн спектрального пика. Все это позволяет обеспечить минимальные затраты на создание донных станций, ориентированных на определенную проблему, на создание сети станций и сокращает временные и ценовые затраты на создание новых измерительных комплексов для других задач океанологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект № P20 а 17-05-41041) и РНФ (проект 14-50-00095).

Список литературы

1. Macdonald I.R., Leifer I., Sassen R., Stine P., Mitchell R., Guinasso N. jr. Transfer of hydrocarbons from natural seeps to the water column and atmosphere // *Geofluids*. – 2002. – V. 2. P. 95–107.
2. Torres M.E., Wallmann K., Trehu A.M., Bohrmann G., Borowski W.S., Tomaru H. Gas hydrate growth, methane transport, and chloride enrichment at the southern summit of Hydrate Ridge, Cascadia margin off Oregon // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2004. – № 226. – P. 225–241.
3. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в придонной среде акваторий // *Доклады академии наук*. – 2009. – Т. 427, № 6. – С. 821–825.
4. Берлин Ю.М., Верховская З.И., Егоров А.В. Газы донных осадков Балтийского моря // *Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы: материалы Всероссийской конференции «ГЕОС 2008»*. – Москва, 2008. – С. 72.
5. Розанов А.Г., Егоров А.В. Оценки химического обмена между донными осадками и морской водой (метод иловых вод, боксовые эксперименты, лендеры) // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII междунар. научн.-техн. конф. «МСОИ-2013»*. – Москва, 2013. – Т. 1. – С. 288–292.
6. Вайнерман М.И., Минин М.В., Пономарев Л.О., Эделев О.К. Многофункциональная подводная станция, обеспечивающая выполнение поисковых, научно-исследовательских работ, а также обследование грунтов при работе на глубоководных шельфовых месторождениях // *Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII междунар. научн.-техн. конф. «МСОИ-2011»*. – Москва, 2011. – Т. 2. – С. 28–30.