

СТАТЬЯ

УДК 551.46.09

**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ
НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ
ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

¹Лискин В.А., ¹Егоров А.В., ^{1,2}Римский-Корсаков Н.А., ¹Тихонова Н.Ф.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

Настоящая работа посвящена исследованиям и предложениям по созданию глубоководных гидролого-гидрохимических комплексов на базе анализа исследований газогидратных месторождений на озере Байкал. Исследованы способы проведения глубоководных экспериментов и полученные результаты. Проводился подъем со дна озера Байкал на поверхность с помощью глубоководного аппарата отдельных образцов гидрата метана и образцов гидратной пены, помещаемых в специальный контейнер, Отбор гидратных образцов осуществлялся из донных залежей, а подъем проводился в контейнерах, в которых дно отсутствовало, а верхняя часть и стенки непроницаемы (при этом пена формировалась всплывающими от метановых образцов пузырями, которые, в свою очередь, скапливались в верхней части контейнера). На основании проведенных экспериментов выявлена необходимость создания гидролого-гидрохимических комплексов нового поколения, предполагающих применение высокоразрешающих методов непрерывного гидрофизического и акустического зондирования (профилирования) водной толщи и современных методов гидролого-геохимического анализа потоков вещества придонного слоя, что позволит проводить исследования по прогнозу нефтегазоносности и прогнозу других полезных ископаемых морских шельфов. Новые технические средства, ориентированные на ведение поиска и исследований залежей газовых гидратов, могут быть использованы для разнообразных экологических исследований, касающихся влияния захоронений различных отходов, например радиоактивных, на состояние окружающей среды. Практическая значимость предлагаемых разработок связана также с потребностями нефтепоисковых работ и потребностями нефтегазового комплекса. В этом направлении основной задачей является проведение исследований новых нетрадиционных форм углеводородсодержащего сырья – газовых гидратов. Их запасы в осадках Мирового океана могут превышать все традиционные источники нефтегазового потенциала на суше. Предлагаемый к разработкам комплекс технических и методических средств, использующий современные микрокомпьютерные методы обработки и представления получаемых данных непосредственно в процессе измерений, с возможностью коррекции программы проводимых исследований в реальном времени, закладывают основу для развития инновационных способов разведки и добычи подводных газовых гидратов.

Ключевые слова: глубоководные эксперименты, негерметичные контейнеры, геохимический анализ, газовые гидраты, гидрохимические комплексы

**ANALYSIS OF RESEARCHES OF GAS HYDRATES ON BAIKAL LAKE
AND PROPOSALS FOR THE DEVELOPMENT OF HYDRO-HYDROCHEMICAL
COMPLEXES OF A NEW GENERATION**

¹Liskin V.A., ¹Egorov A.V., ^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A., ¹Tikhonova N.F.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow

This paper is devoted to research and proposals for the creation of deep water hydrological and hydrochemical complexes, based on the analysis of research of gas hydrate deposits in Lake Baikal. Methods for conducting deep-sea experiments and the results obtained were investigated. Lift from the bottom of Lake Baikal to the surface was carried out using a deep-sea apparatus of individual samples of methane hydrate and samples of hydration foam placed in a special container. Hydrate samples were taken from bottom deposits, and lifting was carried out in containers in which the bottom was absent and the upper part and walls impenetrable (while the foam was formed by bubbles emerging from methane samples, which, in turn, accumulated in the upper part of the container). Based on the conducted experiments, it was identified the need to create hydrologic and hydrochemical complexes of a new generation, involving the use of high-resolution methods of continuous hydrophysical and acoustic sensing (profiling) of the water column and modern methods of hydrologic-geochemical analysis of the substance of the bottom layer, which will make it possible to conduct studies on the prediction of oil and gas potential and other predictions minerals offshore. New technical tools focused on the search and research of gas hydrate deposits can be used for a variety of environmental studies relating for example to the burial radioactive waste and its environmental impact. The practical significance of the proposed development is related to the needs of oil exploration and the needs of the oil and gas complex. In this direction, the main task is to conduct research on new unconventional forms of hydrocarbon-containing raw materials – gas hydrates. Their reserves in the sediments of the oceans may exceed all traditional sources of oil and gas potential on land. The complex of technical and methodical means offered for development, using modern microcomputer methods for processing and presenting the obtained data directly in the measurement process, with the possibility of correcting the program of conducted research in real time, lays the foundation for the development of innovative methods of exploration and production of underwater gas hydrates.

Keywords: deep-sea experiments, untight containers, geochemical analysis, gas hydrates, hydrochemical complexes

При проведении на оз. Байкал глубоководных исследований (на глубинах порядка 1400 м), с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «МИР», была открыта моно-

литная достаточно протяженная залежь гидрата метана. Для исследований залежи был применен традиционный подход для геохимических глубоководных исследований,

а именно – отбор образцов на морском дне с последующей доставкой на борт судна. При помещении в специальные контейнеры, описанные ниже, образцы оставались неизменными и в дальнейшем помещались в подходящую среду, в которой можно было проводить измерения и делать анализы на борту исследовательского судна, или позднее, в стационарной лаборатории. На основании выполненных экспериментальных исследований и анализа процессов обмена химическими компонентами через поверхность раздела вода – осадок оз. Байкал, предлагаются подходы к созданию донных гидролого-гидрохимических комплексов (линейки станций) на базе программно-технических средств нового поколения.

Метановые гидраты на озере Байкал

Проводившиеся на дне оз. Байкал исследования залежей гидратов метана, являющихся перспективным углеводородным сырьем, относятся к разряду уникальных экспериментов и проводились с помощью уникальных исследовательских технических средств – глубоководных обитаемых аппаратов. Эти эксперименты позволяют оценить перспективы и возможности развития глубоководных технических средств для разведки, оценки ресурсов залежей газовых гидратов и, в будущем, возможностей их промышленной добычи (рис. 1).

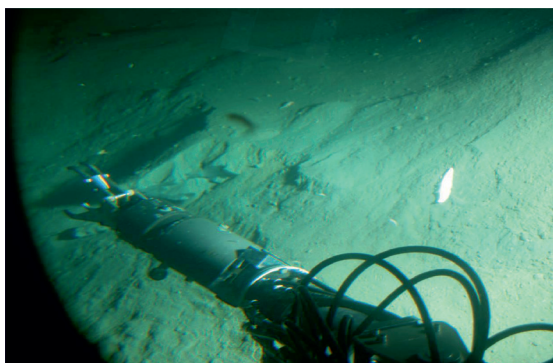


Рис. 1. Наблюдаемые через иллюминатор глубоководного обитаемого аппарата «Мир» монолиты гидрата метана

При проведении научных исследований на борт судна-носителя глубоководного аппарата необходимо было доставлять образцы гидрата метана, которые были обнаружены в предварительных разведочных спусках аппарата и которые манипуляторами аппарата были отломаны от монолитной залежи гидрата метана (рис. 2). Для доставки на поверхность образцов гидрата метана

использовались специальные контейнеры. С помощью манипулятора глубоководного аппарата контейнер помещался в места выхода метановых пузырей со дна озера, а с помощью другого манипулятора заполнялся образцами гидрата метана. После этого контейнер начинали заполнять метановые пузыри, которые при соприкосновении друг с другом не объединялись в один пузырь, а объединялись в твердую гидратную пену, из-за ранее сформировавшейся гидратной оболочки на их поверхности. Контейнер (в стакане контейнера устанавливался термодатчик.), как правило, перед всплытием заполнялся пеной приблизительно наполовину, так что чувствительный элемент термодатчика оказывался внутри гидратной пены. В процессе всплытия происходило расширение газа и, как следствие, происходило вытеснение воды из контейнера. На одном из манипуляторов глубоководного аппарата была установлена видеокamera, которая и регистрировала происходящие внутри контейнера процессы.



Рис. 2. Образец гидрата метана, отломанный от монолита манипулятором глубоководного обитаемого аппарата

Проводившиеся при всплытии измерения параметров внутри контейнеров показали, что в зоне устойчивости гидратов метана и при наличии выделившегося газа в контейнере расширение этого газа способствует значительному охлаждению содержимого контейнера. Как показывают проводившиеся расчеты, оценки и эксперимент, охлаждение возрастает с ростом скорости подъема контейнера и снижается при уменьшении теплоизоляции контейнера. Таким образом, граница термодинамической устойчивости гидрата метана из-за охлаждения смещается в область меньших давлений, тем самым приближается к условиям поверхности водной среды, что очень важно для доставки на поверхность сохранившихся образцов гидратов метана.

Также объектами изучения являлись, в частности, тепловые эффекты в твёрдой гидратной пене, связанные с её образованием из пузырей метанового газа и ее транспортом. Следует отметить, что на поверхности пузырей происходит образование гидратной оболочки, которая и предотвращает их разрушение при контакте с другими пузырями. Были проведены специальные исследования, связанные с определением, происходит ли в процессе подъема контейнера на поверхность разложение образцов гидрата метана, в случае которого масса газа в контейнере увеличилась бы. Измерения показали сохранение массы газа в контейнере при относительно небольших изменениях температуры, а также свидетельствовали о сохранности гидратных образцов. Выполненные экспериментальные исследования показывают, что основой разработки и развития будущих технологий транспорта газовых гидратов с глубоководных месторождений являются возможности управления и регулирования тепловыми процессами при движении на поверхность емкостей с образцами газовых гидратов.

Следует отметить, методы и средства исследований газовых гидратов, изложенные выше, относятся к разряду уникальных. Между тем интенсивно растет интерес к газовым гидратам, которые рассматриваются в качестве перспективного углеводородного сырья. В этой связи следует рассмотреть некоторые подходы и аппаратно-технические средства, для проведения масштабных исследований, разведки, в итоге промышленной добычи газовых гидратов. Подробное содержание описанных выше исследований изложено в [1, 2].

Методы и средства исследований

В настоящее время средства и методы ведения научных наблюдений и исследований в морях, расположенных по окраинам России, особенно это касается регионов с сезонным появлением ледового покрытия, ведет к значительным ограничениям получения экспериментальных данных об объекте исследования. Такую ситуацию предлагается разрешить с помощью разработки современных методик исследований и создания нового поколения технических средств измерений (автономных океанологических станций в виде распределенных сетей и сопутствующего им вспомогательного оборудования). Одним из основных требований является наличие на станциях гидроакустического канала, а также радиоканала для передачи измеренных данных и управления режимом работы станций.

Все это позволит проводить долговременный мониторинг исследуемых объектов.

Как упоминалось выше, одним из основных требований является наличие на станциях гидроакустического канала для передачи измеренных данных и управления режимом работы станций. Это связано с тем, что в северных морях высока вероятность неблагоприятных погодных условий, сопровождаемых сильным морским волнением и, как следствие, практически невозможностью уверенной передачи данных измерений через кабель, а также через радиобуй.

Многоцелевые автономные океанологические станции с дистанционным считыванием измеренных данных должны обеспечивать ведение мониторинга океанов и морей, особенно в регионах, где от сезона к сезону проявляется сильное волнение, а также замерзание ледяных крок. Изучение сезонной, синоптической, мезо- и микромасштабной изменчивости водных масс, разработка и использование диагностических и прогностических моделей акваторий морей и океанов с целью активизации хозяйственной деятельности, а именно: ведением разведки, разработки и добычи минеральных ресурсов, сохранением и умножением биоресурсов в комплексе с природоохранной деятельностью, а также развитием инфраструктуры в плане оборонных задач.

Гидролого-гидрохимические комплексы нового поколения предполагают применение высокоразрешающих методов непрерывного гидрофизического и акустического зондирования (профилирования) водной толщи и современных методов геохимического анализа потоков вещества придонного слоя. Необходимо провести модернизацию всех средств измерений, методик пересчета скорости химического обмена через поверхность дна, а также провести совершенствование гидрофизических и гидрохимических измерительных модулей на основе современных микрокомпьютерных технологий. Также выполнить модернизацию алгоритмов микрокомпьютерного управления сетью унифицированных измерительных модулей, а также последовательное совершенствование цифрового гидроакустического канала передачи команд управления и данных измерений. Необходимо провести исследование способов повышения энергетического потенциала автономных комплексов [3–5].

Предложения по разработкам

Предлагается создавать образцы нового поколения автономных донных океа-

нологических станций с использованием гидроакустической телеметрии и энергосберегающих технологий на основе унифицированного ряда измерительных модулей – интеллектуальных датчиков, которые объединяются в единый комплекс.

В многофункциональном комплексе используются отдельные функционально универсальные автономные модули, но назначаемые на выполнение разнородных функций: измерение определенного параметра, выполнение гидроакустической связи, размыкание-замыкание тросовых держателей и т.п. и по командам назначенного управляющего модуля, которым может быть назначен каждый из них. Такие станции могут быть использованы для исследований и прогноза нефтегазоносности и других полезных ископаемых морских шельфов, а также эффективного мониторинга загрязнений акваторий.

Ведущийся мониторинг морей включает в себя изучение целого ряда процессов, таких как массообмен на поверхности раздела «вода – дно», выделение поглощения донными отложениями газов и твердых химических компонентов и многое др. Все эти процессы связаны с формированием месторождений нефти и газа, твердых полезных ископаемых и являются отражением постседиментационных процессов. Необходимо проведение оценок степени антропогенного воздействия на среду.

В этой связи непосредственно на дне следует применять метод донных камер (боксов), позволяющий путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов количественно оценить химический обмен на границе «вода – дно». Боксовые эксперименты, проводимые с помощью донных станций, позволяют решать эту проблему и выполнять расчеты тонких параметров процесса проникновения кислорода в осадок, в частности глубину проникновения, выраженную в миллиметрах и долях миллиметров и отдельные параметры биохимии этого процесса. Данные донных гидрохимических станций являются основой для изучения процессов, ответственных за осадконакопление и биопродуктивность (на начальном этапе фоссиллизации органического вещества в осадке, требуется большое количество кислорода, который падает в него через поверхность дна, обедняя придонную воду) акваторий, оценки антропогенного воздействия на среду. Полученные при ведении мониторинга данные позволяют применять экономичные схемы численного моделирования процессов, свободные от сложных обратных задач восстановления полей. Все это будет способствовать изучению и прогнозированию процессов синоп-

тической и мезомасштабной изменчивости водных масс, включая положение фронтальных зон, вихрей и линз.

Создание многофункциональных комплексов нового поколения позволит проводить фундаментальные и прикладные исследования, связанные, например, с глобальным циклом углерода, разнообразные экологические исследования, касающиеся захоронений различных загрязняющих компонентов вод (например, радиоактивные загрязнения), так и последующих процессов выхода этих загрязнений из осадка в воду. Разрабатываемое компьютерное моделирование, использование видеокomплексов с применением технологий распознавания образов позволяет эффективно решать вышеперечисленные задачи, а также иные многочисленные задачи прикладных и фундаментальных исследований [6, 7].

Заключение

Практическая значимость предлагаемых методов и технических средств связана, в частности, с потребностями нефтепоисковых работ и нефтегазового комплекса. В этом направлении одной из основных задач являются исследования новых нетрадиционных форм углеводородсодержащего сырья – газовых гидратов. Их запасы в осадках Мирового океана могут превышать все традиционные источники нефтегазового потенциала на суше. Показана необходимость модернизации всех технических средств поиска и исследований газогидратных месторождений, методик пересчета скорости химического обмена через поверхность дна, а также совершенствование многофункциональных гидрофизических и гидрохимических измерительных модулей с применением современных микрокомпьютерных технологий. Предлагаемый к разработкам комплекс технических и методических средств, использующий современные микрокомпьютерные методы обработки и представления получаемых данных непосредственно в процессе измерений, с возможностью коррекции программ проводимых исследований в реальном времени, закладывают основу для развития инновационных способов разведки и добычи подводных газовых гидратов. Эти исследования в перспективе способствуют развитию следующих этапов исследований, а именно, вопросам прокладки трубопроводного транспорта, влияния температурного режима (образование твердой и смешанной за счет примесей, выпадения парафина и т.д.) на процессы транспортировки нефти и газа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-

2019-0011) при поддержке РФФИ (проект № 17-05-41041 «РГО-а», и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

Список литературы

1. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н., Черняев Е.С. Тепловые эффекты при транспортировке глубоководных гидратов метана в негерметичном контейнере Препринт И П Мех РАН. 2012. № 1009. 25 с.
2. Егоров А.В., Рожков А.Н., Сагалевич А.М., Черняев Е.С. Методика исследования глубоководных метановых пузырей в озере Байкал аппаратами «Мир» с помощью ловушек // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». Т. 1. М., 2011. С. 138–141.
3. Черевко И.В., Розанов А.Г. Лендеры в шведских фьордах для исследования химического обмена на границе вода-дно // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». Т. 1. М., 2013. С. 102–104.
4. Torres M.E., Wallmann K., Tréhu 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.
5. Смирнов Г.В., Аистов Е.А., Оленин А.Л. Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». Т. 1. М., 2011. С. 104–106.
6. Суконкин С.Я. Технология подводных исследований и поисковых работ, подводные аппараты и роботы // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». Т. 2. М., 2011. С. 20–21.
7. 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 Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». Т. 1. М., 2011. С. 28–30.