

УДК 551.46.08/.09

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ В СЕГМЕНТЕ ПРИДОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

<sup>1</sup>Лискин В.А., <sup>1,2</sup>Римский-Корсаков Н.А.

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

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

Организация мониторинга акваторий в настоящее время испытывает большие затруднения из-за ограниченной линейки необходимых средств для выявления состояния прибрежных акваторий путем выполнения синхронных измерений в течение продолжительного времени. В морях Российской Федерации, в особенности в районах, подверженных сезонным гидрометеорологическим и ледовым явлениям, возможности натуральных наблюдений и научных исследований, включая спутниковую океанологию, ограничены. Разрешить сложившуюся ситуацию возможно путем организации мониторинга на основе распределенных сетей долговременных автономных станций с необходимым набором измерительных средств и дистанционной передачей результатов измерений. Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного и количественного массообмена на поверхности раздела «вода – дно» с использованием донных гидрохимических станций. Донные станции нового поколения позволяют качественно и количественно оценить химический обмен на границе «вода – дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов. Получаемые таким образом данные являются фундаментом для изучения придонного химического массообмена, ответственного за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, для оценки и прогнозирования антропогенного воздействия на экологию, для изучения и оценки месторождений полезных ископаемых на основе анализа углеводородных эманаций. Для оперативного контроля и управления режимами работы станций используются гидроакустическая телеметрия и микропроцессорные технологии. Построение станции основано на использовании ряда унифицированных измерительных модулей – интеллектуальных датчиков, которые объединяются в единую информационную сеть.

**Ключевые слова:** мониторинг, донные станции, гидрохимический модуль, гидроакустическая телеметрия

## METHODS AND MEANS OF MONITORING OF AQUATORIES IN THE SEGMENT OF NEAR THE BOTTOM RESEARCH

<sup>1</sup>Liskin V.A., <sup>1,2</sup>Rimskiy-Korsakov N.A.

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

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Organization of monitoring of the water areas is currently experiencing great difficulties due to a limited range of necessary means, to identify the state of the coastal waters, by performing synchronous measurements for a long time. In the seas of the Russian Federation, especially in areas prone to seasonal hydrometeorological and ice phenomena, the possibilities of field observations and scientific research, including satellite oceanology, are limited. It is possible to resolve the current situation by organizing monitoring on the basis of distributed networks of long-term autonomous stations with the necessary set of measuring aids and remote transmission of measurement results. A special place in the monitoring of water areas is studying the processes of qualitative and quantitative mass transfer at the water-bottom interface using bottom hydrochemical stations. Bottom stations of the new generation allow qualitative and quantitative assessment of chemical exchange at the «water-bottom» boundary by direct measurements of the fluxes of dissolved and gaseous components. The data obtained in this way are the foundation for the study of bottom chemical mass transfer, responsible for the sedimentation and bio-productivity of the water areas, for the assessment and prediction of anthropogenic impact on the environment, for the study and evaluation of mineral deposits based on the analysis of hydrocarbon emanations. For on-line monitoring and control of the operating modes of the stations, hydroacoustic telemetry and microprocessor technologies are used. The construction of the station is based on the use of a number of unified measuring modules – intelligent sensors, which are combined into a single information network.

**Keywords:** monitoring, bottom stations, hydrochemical module, hydroacoustic telemetry

Организация мониторинга акваторий в настоящее время испытывает большие затруднения из-за ограниченной линейки необходимых технических средств для выявления состояния прибрежных вод путем выполнения синхронных измерений в течение продолжительного времени. В морях Российской Федерации, в особенности в районах, подверженных сезонным ледовым явлениям, возможности натуральных наблюдений и научных исследований, вклю-

чая спутниковую океанологию, в настоящее время ограничены. Разрешить сложившуюся ситуацию возможно путем организации мониторинга на основе распределенных сетей долговременных автономных станций, обладающих необходимым набором измерительных средств и средств дистанционной передачи результатов измерений на береговые или мобильные (суда) посты.

Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного

и количественного массообмена на поверхности раздела «вода – дно». Газы и другие химические компоненты, выделяемые и поглощаемые донными отложениями, являются отражением постседиментационных процессов, процессов, связанных с формированием месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа, а также результатов антропогенного воздействия на среду. Они могут быть зафиксированы в растворенном или газообразном состоянии в придонной воде. На этом основан метод донных камер, позволяющий количественно оценить химический обмен на границе «вода – дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов [1, 2].

*Постановка задачи и состояние проблемы*

Создание распределенной сети донных геохимических станций поколения позволяется при разумных затратах:

- охватить большие акватории и обеспечить длительные синхронные измерения с необходимой пространственной и временной дискретностью;
- обеспечить передачу измеренных данных дистанционным способом;
- выполнять измерения подо льдом, с длительным накоплением результатов и последующей их передачей.

Таким образом, проектирование донных и приповерхностных станций является актуальной задачей, так как в настоящее время отечественные серийные образцы отсутствуют. Приобретение импортных образцов, в связи с их высокой стоимостью проблематично, что снижает эффективность процесса исследований и освоения (экология, ресурсы, коммуникации, безопасность) акваторий, попадающих в зону интересов России, и приводит к фактическому вытеснению России из международных океанологических, в том числе арктических проектов. Важно, что создание многоцелевых вариантов автономных океанологических станций нового поколения представляет коммерческий интерес в плане их тиражирования, реализации внутри страны и за рубежом, а также обеспечения занятостью квалифицированных инженерных и рабочих кадров.

В предыдущие годы в нашей стране были разработаны:

- автономная донная станция в упрощенном недорогом варианте, позволяющая измерять температуру, электропроводность, давление воды, направление и скорость течения у дна с передачей результатов на борт судна по гидроакустическому каналу связи с глубин до 200 м (ИО РАН, 2002 г.);
- автономная экологическая стационарная станция (АПС-ЭКО) для определения

фоновых уровней загрязнения и измерения гидрофизических параметров водных масс до глубины 200 м и передачи данных через поверхностный радиобуй (ЦНИИ «Гидроприбор», 1997 г.);

– в 1999г. Институтом океанологии РАН при поддержке Миннауки РФ была создана и испытана отечественная донная гидрохимическая мини-станция, которая продемонстрировала работоспособность на глубинах до 50 м. К 2002 г. были разработаны отдельные узлы новой станции с рабочей глубиной до 200 м.

Наиболее совершенными зарубежными образцами океанологических станций являются:

- многопараметровая мониторинговая станция CTD-F фирмы «Cheisea Technologies Group» с глубиной измерений до 60 м и съемом измеренных данных по кабелю длиной 1200 м (2000 г.);
- многопараметровая станция сбора данных CTD-S4 фирмы «Inter Ocean systems, inc» с глубиной измерений до 70 м и считыванием измеренных данных после подъема станции на борт судна (2000 г.);
- автономный измеритель течений, температуры, электропроводности и давления воды до 3500 м UCM-60 фирмы «General Oceanics» и считыванием измеренных данных после подъема станции на борт судна (2001 г.).

Наиболее существенными недостатками всех зарубежных автономных многоцелевых океанологических станций являются:

- необходимость использования крупных специализированных научно-исследовательских судов;
- высокая заявляемая стоимость (более \$100000), как правило, без учета стоимости якорной системы, размыкателей троса, кабелей для съема измеренных данных, сигнальных радиобуев и т.п.;
- большая стоимость тарирования станций перед постановкой в море, так как отдельно от станций измерительные датчики не тарируются.

Применительно к мониторингу морей Российской Федерации, подверженных сезонным ледовым явлениям, одним из основных требований является наличие на станции гидроакустического канала связи для передачи измеренных данных на береговой пост и далее на спутник, а также для контроля и управления режимами работы станции. Высокая вероятность сильного волнения, особенно в северных морях, существенно снижает надежность успешной передачи измеренных данных через радиобуй и тем более через кабель. Эти особенности затрудняют использование станций без гидроакустического канала связи [3, 4].

*Обоснование предлагаемого  
решения задачи*

При создании автономных донных станций нового поколения, для мониторинга гидрофизических и гидрохимических параметров морской среды с использованием гидроакустической телеметрии и реализации энергосберегающих технологий, логично использовать модульный принцип построения станции на основе унифицированного ряда измерительных ячеек – интеллектуальных модулей, которые объединяются в единую информационную сеть. Каждый модуль является законченным автономным прибором, исполняющим свою функцию в сети (измерение определенного параметра, размыкание-замыкание, гидроакустическая связь и т.д.) по команде «ведущего», которым может быть назначен любой из них. Модули объединяются в единый подводный комплекс – станцию, которая может быть установлена на дне либо подвешена в толще воды с помощью якорной системы, притопленного или поверхностного буя. Кроме того, модульный комплекс может быть использован в качестве многопараметрического гидрофизического зонда с неограниченной глубиной погружения. Этот же комплекс, будучи объединен с гидрохимическим блоком, а также с боксами для изучения потока вещества через поверхность раздела «вода – грунт», составляет донную гидрохимическую станцию. Гидрохимический блок представляет собой набор из двадцати отборников проб воды с автономным управляющим блоком, осуществляющими программированный отбор проб. Боксы, реализующие боксовый метод, создаются из специальных синтетических материалов, исключающих влияние коррозии, газовыделения или растворения элементов конструкции.

*Сравнение предлагаемых решений  
с достижениями мировой  
и отечественной науки*

Характеристики многоцелевой автономной донной станции приведены в таблице, в сравнении с характеристиками ранее разработанных отечественных и зарубежных образцов.

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод, что многопараметрическая донная станция обладает рядом преимуществ в сравнении с другими станциями по перечню измеряемых параметров, по глубине измерений и количеству измерительных модулей. Следует отметить, что станция имеет высокоскоростной гидроакустический канал передачи данных

с дальностью действия до 2000 м, а также допускает установку любого набора измерительных модулей и программирование их работы непосредственно перед постановкой в море. Также имеется возможность тарировки измерительных модулей – каждого в отдельности. Следует отметить, что станция оснащается модулем измерения концентрации растворенного метана ( $\text{CH}_4$ ). Таким образом, можно утверждать то, что станция не имеет аналогов в среде известных лучших образцов.

Донная станция представляет собой обтекаемый блок плавучести из сферопластика, со стабилизирующей плоскостью. Габаритные размеры блока 350x350x350 мм. В нем предусмотрены 20 вертикальных отверстий для установки цилиндрических контейнеров с измерительными модулями (1–3 измерительных канала в каждом модуле) и техническими модулями (гидроакустический канал связи, размыкатель троса, проблесковый/радиомаяк и др.). Контейнеры однотипны (диаметр 50 мм, длина 250 мм). Все измерительные и технические модули в составе станции объединены в единую информационную сеть. Для управления работой станции может быть назначен любой из модулей. Программа работы станции запускается (или корректируется) непосредственно перед её постановкой в море или после постановки по гидроакустическому каналу. Передача данных измерений со станции после их накопления за любой срок производится по запросу, сделанному с берегового поста, судна обеспечения или информационного буя по гидроакустическому каналу связи, с последующей их трансляцией через спутник в центр обработки океанологической информации ИО РАН. После окончания срока работы автоматически или по команде станция всплывает на поверхность водоема. После всплытия станции на поверхность, автоматически включается проблесковый огонь и радиомаяк.

Гидрохимический модуль станции представляет собой пространственную раму (1000x1000x300 мм) с закрепленными на ней боксами (камерами). На раме установлены кассеты пробоотборников, исполнительные механизмы, источники питания, другие сенсоры и вспомогательное оборудование. Основным назначением гидрохимического блока (модуля) станции является: отбор проб в придонном слое по заданной программе в герметичные пробоотборники, с одновременным измерением гидрохимических параметров воды, с целью оценки потоков газов и других химических компонентов в придонной области водоема.

Характеристики станций

	Многоцелевая станция ИО РАН	Донная станция ИО РАН	АПС-ЭКО «Гидро-прибор»	«CTD-F» CheiSea Technology Group	«CTD-S4» Inter Ocean Systems, inc.	VCM-60 General Oceanics
Глубина измерений, м	2000	200	200	60	70	3500
Автономность	1,2 года	до 1 года	1 год	Зависит от программы	Зависит от программы	Зависит от программы
Способ передачи данных	ГА-канал	ГА-канал	Кабель или радиобуй	Кабель 1200 м или после подъема	После подъема	После подъема
Кол-во измерительных модулей, шт	до 36	5	12	До 20	До 10	До 8
Объем памяти, Mbytes	256	2	–	16	20	16
Интерфейс	RS485	RS485	–	RS422	RS232	RS232
Масса, кг	10–50 (от кол-ва модулей)	50	500–2000	6–8	10–20 (от кол. модулей)	10–20 (от кол. модулей)
Длина, м	0,35	0,1	5,0	0,4	1,0	1,0
Измеряемые параметры: диапазон/погрешность						
Давление, бар/%FS	$\frac{0-200}{0,1}$	$\frac{0-20}{0,1}$	$\frac{0-20}{0,1}$	$\frac{0-60}{0,02}$	$\frac{0-100}{0,15}$	$\frac{10-350}{0,2}$
Температура, °C	$\frac{-2+40}{0,005}$	$\frac{-2+35}{0,01}$	$\frac{-2+30}{0,1}$	$\frac{-2+35}{0,005}$	$\frac{-5+45}{0,02}$	$\frac{-5+45}{0,1}$
Электропроводность, мСм/м	$\frac{1,2-72}{0,005}$	$\frac{2-65}{0,02}$	неизв.	$\frac{0-70}{0,005}$	$\frac{1-70}{0,02}$	$\frac{2-74}{0,06}$
Раств. кислород O <sub>2</sub> , мл/л	$\frac{0-12}{0,25}$	нет	неизв.	нет	нет	нет
РН, ед	$\frac{2-12}{0,05}$	$\frac{5-10}{0,05}$	$\frac{3-11}{\text{неизв.}}$	нет	$\frac{2-12}{0,5}$	нет
Раств. метан CH <sub>4</sub> , мл/л	$\frac{0-30}{0,001}$	нет	неизв.	нет	нет	нет
Напр. теч., град	$\frac{0-360}{2}$	$\frac{0-360}{5}$	$\frac{0-360}{\text{неизв.}}$	нет	$\frac{0-360}{2}$	$\frac{0-360}{2}$
Скор. теч, см/с	$\frac{0-500}{2}$	$\frac{0-200}{5}$	$\frac{0-150}{\text{неизв.}}$	нет	$\frac{0-350}{2}$	$\frac{0-600}{2}$

Уникальность гидрохимического донного модуля заключается в его конструкции, позволяющей при постановке на дно нижними кромками измерительного бокса изолировать внутренний объем воды от внешней среды и проводить отбор проб из самого бокса. При этом обеспечивается циркуляция воды в течение эксперимента со скоростью, близкой к скорости придонной циркуляции, что осуществляется с помощью специального перемешивающего устройства. В модуле применен дополнительный бокс для оценки биохимического фона придонной воды, а также гидроиновые контейнеры для корректировки раз-

личия циркуляции воды снаружи и внутри боксов, что расширяет возможности боксового метода. Подобные подходы являются оригинальными и использованы в отечественной практике впервые.

Гидрохимический модуль станции представляет собой пространственную раму из стали (рисунок), на которой монтируются ряд подсистем: два винипластовых измерительных бокса, кассета из 20-ти пробоотборников, микропроцессорный измерительно-управляющий модуль с блоком памяти, блок питания, система спуска-подъема станции, с размыкателем троса, блок гидрофизических измерительных модулей [5–7].



*Гидрохимическая станция (МГС-1), разработанная в ИО РАН, в процессе подледной постановки. В центре красная крышка рабочего бокса с устройством перемешивания и оптронными датчиками содержания кислорода. Перед боксом автономный блок с пятью отборниками проб воды. Внизу, под водой, виден белый корпус двигателя привода механизма срабатывания отборников проб воды. Слева блок гидрофизических измерителей параметров среды, с головкой доплеровского измерителя скорости и направления течения красного цвета*

#### *Применение и планируемые результаты*

Многоцелевая автономная гидрохимическая донная станция с дистанционным считыванием измеренных данных предназначена для мониторинга акваторий, в том числе подверженных сезонным ледовым явлениям и сильному волнению. Измеренные с её помощью данные до глубин более 2000 м крайне необходимы для изучения сезонной, синоптической, мезо- и микро- масштабной изменчивости водных масс, построения и использования диагностических и прогностических моделей акваторий, для обеспечения хозяйственной деятельности (добыча минеральных и био-ресурсов, строительство гидротехнических сооружений, природоохранная деятельность) и решения оборонных задач.

Данные, собираемые донными гидрохимическими станциями, являются фундаментом для изучения процессов химического массообмена у дна, ответственных за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, оценки антропогенного воздействия на среду, прогнозирования, изучения и оценки месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа на основе анализа углеродородных эманаций.

Благодаря оригинальной возможности проведения синхронных измерений в зара-

нее выбранных точках длительное время, данные автономных станций при мониторинге позволят применять экономичные схемы численного моделирования, свободные от сложных обратных задач восстановления полей, что позволит реально изучать и прогнозировать процессы синоптической и мезомасштабной изменчивости водных масс, включая положение фронтальных зон, вихрей и линз.

#### **Заключение**

Разработка и изготовление многоцелевой донной автономной станции модульной конструкции нового поколения с неограниченной глубиной погружения допускает применение ее в нескольких вариантах. При этом будут использоваться уже разработанные методы создания океанологической техники, образцы которой на протяжении многих лет успешно применяются в разнообразных исследовательских проектах по фундаментальной и прикладной тематике, в том числе в международных экспериментах. При создании донной станции будет использована концепция «интеллектуальных датчиков» и модульный принцип, позволяющие компоновать ее в нескольких вариантах: как донную гидрофизическую, донную гидрохимическую или притопленную гидрофизическую станцию. Разрабатывается структура

и конструкция всех элементов станции: унифицированные микроэлектронные схемы и микропроцессорные узлы, конструкционные узлы измерительных модулей, гидроакустический комплекс для передачи данных, интеллектуальный комплекс управления работой станции, накопления и обработки измеренных данных, оборудование для постановки и подъема станции.

*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. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в придонной среде акваторий // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 427. № 6. – С. 821–825.

2. Вершинин А.В., Горницкий А.Б., Егоров А.В., Розанов А.Г. Методика изучения химического обмена через границу вода – осадок в открытой системе морского дна // Океанология. – 1994. – Т. 34. № 1. – С. 139–145.

3. 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 // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011» – Т. 2. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М., 2011. – С. 28–30.

4. Егоров А.В., Рожков А.Н. Формирование залежей газовых гидратов в подводных грязевых вулканах // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2010. – № 5. – С. 103–113.

5. Розанов А.Г., Вершинин А.В., Егоров А.В. Исследование химического обмена на границе вода – дно в Голубой бухте Черного моря // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. № 3. – С. 341–350.

6. Суконкин С.Я. Технология подводных исследований и поисковых работ, подводные аппараты и роботы // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». – Т. 2. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М., 2011. – С. 20–21.

7. Черевко И.В., Розанов А.Г. Лендеры в шведских фьордах для исследования химического обмена на границе вода – дно // Материалы Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». – Т. 1. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М., 2013. – С. 102–104.