



РЕПОРТАЖ  
С ДАЛЬНЕГО  
ВОСТОКА  
С. 110

№1 (17)  
2020

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ  
АО «КОНЦЕРН «МОРИНСИС-АГАТ»

МОРСКИЕ  
СИСТЕМЫ<sup>1</sup>



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

При проведении океанографических исследований ученые широко используют данные спутниковых наблюдений и результаты глобального мониторинга, осуществляемого различными донными, буйковыми и робототехническими станциями. Однако получаемая таким образом информация дает лишь общее представление о происходящих в морской среде процессах. Для детальных прогнозов необходимо проведение оперативных локальных (региональных) исследований. Обеспечить высокий уровень мониторинга и прогнозирования состояния морей и океанов позволит развитие передовых технологий. В последние десятилетия на лидирующие позиции в оперативной океанографии выходят успешно развивающиеся за рубежом робототехнические системы морских исследований. В нашей стране также ведутся разработки в этой области.

АО «НПП ПТ «Океанос»  
Санкт-Петербург



В.Ю. Занин, А.М. Маевский

СПбГМТУ  
Санкт-Петербург



И.В. Кожемякин

Оперативная океанография является одним из прикладных разделов общей океанографии. Ее развитие тесно связано с внедрением новых методов измерений в море, совершенствованием численных моделей, разработкой современных технологий передачи и усвоения данных, применением телекоммуникационных средств. Использование различных моделей и анализ спутниковых измерений позволяет получать более точные данные о температуре поверхности Мирового океана, его глубинах, биооптических характеристиках морской среды, экосистемах и другие сведения. Океанологи также используют в своей деятельности данные, собранные робототехническими комплексами, донными, свободно дрейфующими, заякоренными буями и станциями с оперативной передачей наблюдений [1].

С помощью методов оперативной океанографии разрабатываются:

- текущие прогнозы (наукастинг), предоставляющие наиболее точное описание современного состояния моря;
- прогнозы, обеспечивающие непрерывные сведения о будущем состоянии моря;
- ретроспективные прогнозы (hindcasts), объединяющие многолетние ряды данных, дающих информацию для описания прошлых состояний, а также временные ряды, показывающие тренды и изменения.

### Современные системы океанографического мониторинга

Для наблюдения за океаном применяются различные средства получения данных. Среди них – спутники, платформы для наблюдений in situ, поверхностные и подповерхностные буи, попутные и специализированные научно-исследовательские суда. Все чаще в этих целях ис-

пользуют автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) повышенной автономности – глайдеры.

В настоящее время в развитии оперативной океанографии можно выделить следующие тенденции [2]:

- автоматизация традиционных контактных способов измерения параметров морской среды;
- внедрение новых средств дистанционных измерений параметров морской среды (спутники, радары).

Поступающие данные наблюдений за Мировым океаном используются для оперативной подготовки диагностических и прогностических материалов, необходимых для гидрометеорологического обслуживания морской деятельности, для выполнения научных исследований в области разработки и верификации моделей, методов и технологий расчета и прогноза основных параметров морской природной среды.



По типу применения устройства, используемые для сбора данных, можно разделить на две группы:

- глобальные, которые покрывают весь океан (буи АРГО, альтиметрия) и измеряют такие параметры, как температура поверхности океана (ТПО), профили температуры и солёности, уровень углеводородов, метана, и ряд других;
- региональные, применяемые для мониторинга отдельных явлений (например, для обнаружения Эль-Ниньо<sup>1</sup> используются буи TAO/TRITON/PIRATA, арктические буи для мониторинга льда и др.).

<sup>1</sup>Эль-Ниньо (исп. El Niño – «малыш, мальчик»), или Южная осцилляция (исп. El Niño-Oscilación del Sur) – колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, оказывающее заметное влияние на климат.

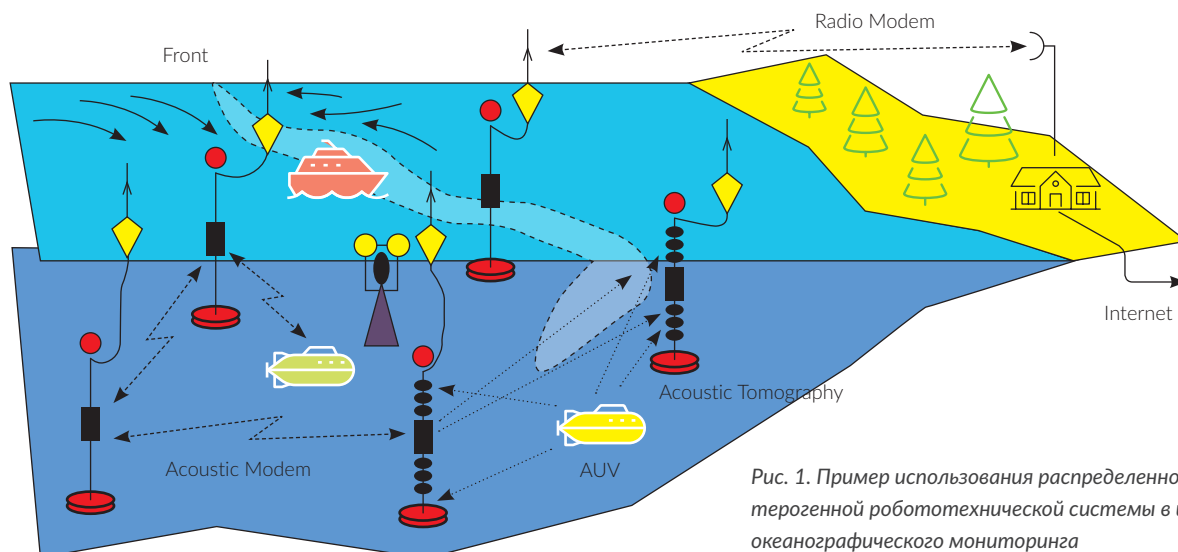


Рис. 1. Пример использования распределенной гетерогенной робототехнической системы в целях океанографического мониторинга

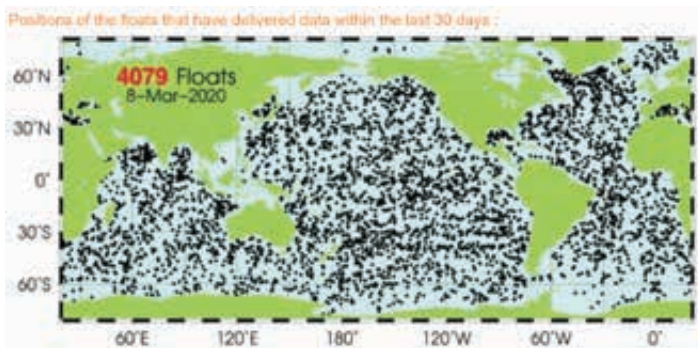


Рис. 2. Данные о районах расположения и количестве активных дрейфующих буев с сайта проекта АРГО (<http://www.argo.ucsd.edu>)

Как правило, такие системы носят распределенный сетцентрический характер и совмещают в себе многочисленные робототехнические системы и комплексы. На рисунке 1 продемонстрирована система распределенной коммуникации между АНПА, надводным судном, гидроакустическими буями и наземным пунктом управления.

Часто такие пункты управления одновременно являются составной частью национальных и/или региональных центров обработки полученных данных, на основании которых строятся океанологические математические модели. К ним могут быть отнесены:

- модели циркуляции моря на основе анализа и прогноза данных уровня морской поверхности, температуры и солёности морской воды, скоростей течений;
- модели экосистемы на основе данных о нитратах и фитопланктоне в морской воде, что является показателем биологической продуктивности и экологического состояния морской среды акватории;
- модель диагноза поля коэффициента ослабления света в морской среде;
- модель волнения и течений морской акватории.

Оперативность построения моделей обеспечивается получением данных в течение 24 часов (требуемых на осуществление первичного контроля качества) с момента поступления.

Для анализа и обработки подобного рода сведений о различных исследуемых акваториях организованы глобальные центры. В настоящее время существует два основных центра данных, получаемых с 4068 буев АРГО: в Монтерее (США) и в Тулузе (Франция). Доступ к снятым данным, кроме США

и Франции, в рамках проекта «Глобальный эксперимент по усвоению океанических данных» (ГОДАЭ) и Программы по изучению климатической изменчивости и предсказуемости (КЛИВАР) имеют Канада, Индия, Австралия, Япония, Южная Корея, Великобритания, страны Европейского союза (Германия, Испания, Дания и др.). Все измерения по проекту АРГО объявлены свободно доступными мировому сообществу (через мировую сеть GST). Полные наблюдения, прошедшие контроль (с задержкой по времени), доступны через национальные центры данных АРГО.

Приведенные выше модели строятся на многочисленных данных, снимаемых в основном с дрейфующих устройств, которые меняют свое местоположение в силу природных факторов (рис. 2). Однако большинство показателей производимых ими измерений можно получить с помощью АНПА типа глайдер.



Подводный аппарат способен нести на борту достаточное количество полезной нагрузки в виде различного рода датчиков и зондов. А самое главное – он может не только «держат позицию» или перемещаться по заданной «линейной» траектории, но и оперативно менять программу своего передвижения и местоположения.

Ввиду этого с целью получения оперативных океанографических данных о конкретных районах логично использовать подводные глайдеры, способные двигаться в различном разрезе глубин.

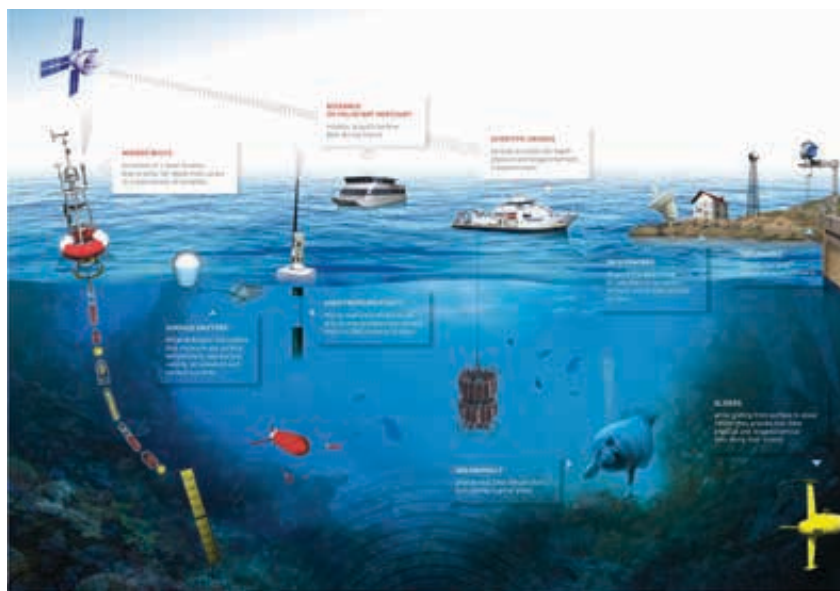


Рис. 3. Схема работ по программе Coriolis

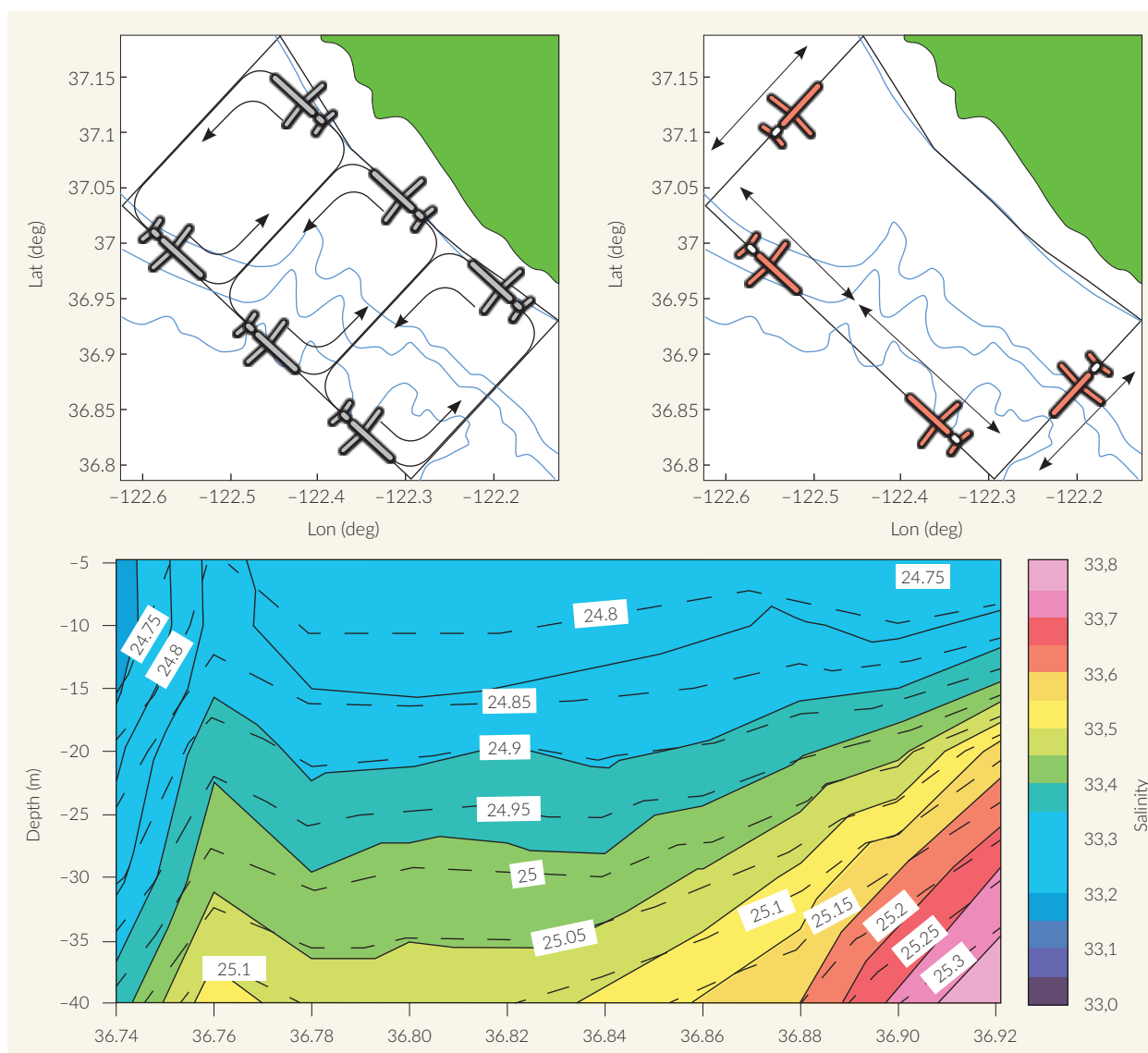


Рис. 4. Методы и результаты работы группы глайдеров в заливе Монтерей

Одним из направлений развития данной концепции стала инициативная межгосударственная работа The Everyone's Gliding Observatories (EGO) [3], объединившая океанографов, заинтересованных в создании и использовании подводных глайдеров для наблюдений за океаном. Позднее эта работа вошла в состав европейского проекта Gliders for Research, Ocean Observation and Management (GROOM), цель которого – использование групп глайдеров для получения океанографических данных. В коллаборации с проектом Европейской комиссии Cogiolis исследователями были получены многочисленные данные, такие как температура, электропроводность, давление, массовая концентрация хлорофилла в морской воде. Все результаты находятся сегодня в открытом доступе [4].

Современные способы применения робототехнических комплексов позволяют организовывать автоматизированные сети океанографических измерений (рис. 3).



**Большое количество зарубежных проектов и программ демонстрирует широкое применение в океанографических целях как одиночных, так и групп глайдеров.**

Как правило, это платформы, на которые установлены датчики измерения CTD-зонда, DO-нитратов, мутности, хлорофилла и др. Работы были выполнены в рамках проекта Autonomous Ocean Sampling Network (AOSN) II.

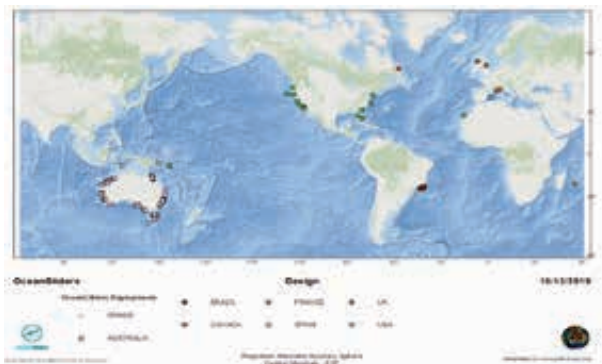


Рис. 5. Карта зарегистрированных миссий глайдеров в системе OceanGliders на март 2020 года



Рис. 6. Схема маневрирования глайдеров по программе OTN на март 2020 года (на рисунке 5 район маневрирования обозначен квадратом красного цвета)

Эксперимент успешно проведен в заливе Монтерей в 2003, 2006 и 2010 годах (рис. 4). В результате глайдерами осуществлено более 10 619 циклов погружения и всплытия, пройдено около 3270 км общего пути. Были не только отработаны технологии группового использования подводных глайдеров в разной формации и количестве (от 3 до 12 штук), но и получены данные распределения течений, плотности и солёности в заливе [5, 6].

На текущий момент основные программы под эгидой ЕС объединены в единую программу Ocean gliders (рис. 5) [7], входящую в состав международного проекта Global Ocean Observing System [8]. Она нацелена на создание глобальной оперативной системы мониторинга, анализа и обмена данными, получаемыми при помощи подводных глайдеров, и позволит обеспечить разработчиков и исследователей оперативной информацией.

Аналогичная картина складывается и в Северной Америке, где, к примеру, только одна канадская программа Ocean tracking Network (OTN) обеспечила более 69 000 км снятых с помощью глайдеров гидрологических профилей (рис. 6).

Как видим, наблюдается рост интереса к использованию морских робототехнических средств в целях оперативной океанографии. В настоящее время в мире применяется более чем 400 глайдеров для исследовательских миссий (ориентировочно около 250 глайдеров – на территории США, 100 – в Европе, 50 – в Китае, 30 – в Австралии, 30 – в Канаде, 9 – в Мексике и Южной Корее, по 3 в Израиле и Перу, по 2 в Новой Зеландии, Индии и Тайване), что составляет 10% от количества сети дрейфующих буйев АРГО, развивавшейся на протяжении последних 20 лет.

Не меньшее внимание за рубежом вызывает такое перспективное направление оперативной океанографии, как стремительно развивающаяся резидентная робототехника.

Подводные резидентные системы (ПРС) – это объединение взаимосвязанных морских робототехнических комплексов (РТК), способных большую часть рабочего цикла автономно выполнять поставленную задачу (рис. 7). При этом ПРС является объектом целостной сетевидной системы, осуществляющей взаимодействие различных элементов внутренней инфраструктуры: донных станций (измерения, связь, зарядка, сменный инструмент), информационных буйев, других АНПА. Таким образом, ПРС обеспечивают долговременную исследовательскую, инспекционную и сервисную работу в акватории и на донной поверхности в течение длительного времени без участия надводного сопровождающего судна или судна-носителя [9].

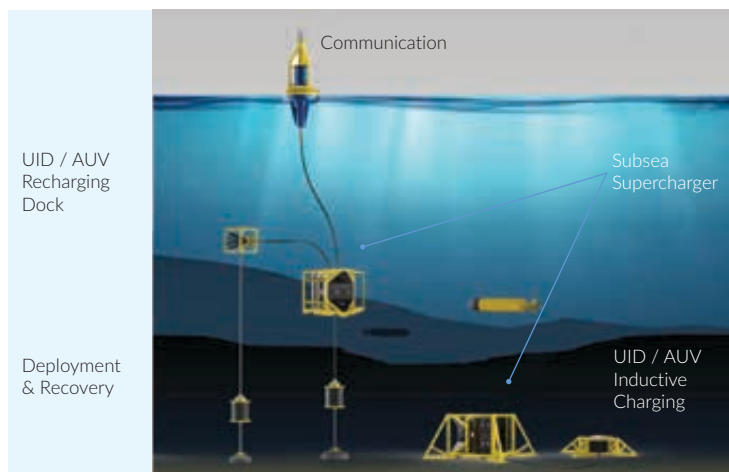


Рис. 7. Типовая инфраструктура обеспечения подводной резидентной робототехники

К основным преимуществам подводных резидентных систем можно отнести:

- экономичность проведения длительных исследований и мониторинга, независимость от погодных и ледовых условий, а также условий судоходства, сниженная эмиссия CO<sub>2</sub> благодаря отсутствию необходимости в обеспечивающем судне;
- возможность быстрого реагирования и мобильность. Резидентные АНПА постоянно находятся в режиме ожидания в непосредственно контролируемом районе. В случае возникновения задач, связанных с необходимостью быстрого развертывания системы, ПРС позволяет в кратчайшие сроки организовать выполнение миссии;
- гибкая настройка. Системы масштабируются в зависимости от места проведения исследований и задач: в них могут быть добавлены новые узлы и введены дополнительные АНПА, оперативно изменены миссии.

В силу финансовой емкости инновационных разработок приоритет в практическом применении ПРС и сопутствующих технологий принадлежит зарубежным нефтегазодобывающим компаниям. Безусловным лидером внедрения является норвежская компания Equinor, которая в течение последних 5 лет провела опытную эксплуатацию привязных резидентных робототехнических комплексов фирм IKM и Oceaneering. В дальнейшем Equinor заключила коммерческие контракты на эксплуатацию этих комплексов, а также на эксплуатацию инновационных робототехнических интервенционных подводных дронов серии Hydron компании Saipem. Эта прорывная технология позволяет использовать гибридный (способный работать как в автономном, так и в телеуправляемом (привязном) режиме) резидентный интервенционный необитаемый подводный аппарат в течение периода до 12 месяцев без подъема на поверхность. При этом он обеспечивает возможность выполнения работ в радиусе до 10 км от базовой унифицированной доковой станции (станций может быть установлено несколько). Ожидается, что с выходом модели Hydron-S в дополнение к уже законтрактованной модели Hydron-R радиус выполнения работ возрастет до 50 км (рис. 8, 9).

Пройдя апробацию в нефтегазовой сфере, технологии резидентной робототехники активно продвигаются в океанографическую область [10], где в состав стационарных донных станций включаются как автономные, так и телеуправляемые (привязные) необитаемые подводные аппараты. Эти аппараты не только позволяют увеличить



Рис. 8. Первый коммерческий подводный резидентный интервенционный гибридный необитаемый подводный аппарат Hydron-R и универсальная подводная доковая станция (для резидентных интервенционных НПА компаний Saipem, Saab Seaeeye, Oceaneering)

радиус и объем оперативного мониторинга, но и обеспечивают текущее сервисное обслуживание стационарной инфраструктуры.

Таким образом, представленный анализ зарубежных технологий указывает на интенсивное развитие и использование РТК в целях оперативной океанографии. Энергоэффективные подводные глайдеры и их группы уже доказали свое превосходство в выполнении задач, связанных с исследованием мирового океана. Развивающаяся резидентная робототехника и сопутствующие технологии уже сегодня позволяют существенно увеличить объем и скорость выполнения задач, связанных с океанографическими исследованиями, так как подразумевают одновременную комплексную работу множества гетерогенных РТК, использование стандартных инфраструктур и технологий океанографии.



Рис. 9. Концепт инфраструктуры резидентной робототехники (New high-tech flexible networks for the monitoring of deep-sea ecosystems, 2019 г.)

## Отечественный опыт

Как уже отмечалось, Российская Федерация участвует в международных программах оперативной океанографии. Так, Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ДВНИГМИ) в рамках проекта «АРГО» осуществил в 2004 г. постановку 4 буев АРГО в тихоокеанских водах, прилегающих к России. Однако в значительной степени эти и многие другие наработки связаны с использованием импортной техники. Безусловно, опыт ее эксплуатации способствовал развитию многих направлений исследовательской деятельности, в частности, связанных с калибровкой и использованием различных датчиков, но этого критически недостаточно.

Площадь морских пространств на территории РФ составляет 9 млн км<sup>2</sup>. Общая протяженность морских границ – 38807 км (около 2/3 всех границ государства). Очевидно, что для изучения столь обширных морских акваторий нужны высокотехнологичные средства мониторинга и сбора данных, а также центры их обработки.



**Единственный в России центр мониторинга и прогноза, соответствующий мировым стандартам, функционирует в Морском гидрофизическом институте (МГИ) РАН – Черноморский центр мониторинга и прогноза.**

Он был создан при проведении исследований в рамках проектов Европейской комиссии «Мой Океан 1, 2» и призван стать элементом Морской службы программы «Коперникус», однако после вхождения Крыма в Россию Европейская комиссия не продолжила сотрудничество с институтом [11]. Тем не менее центр МГИ и поныне дает ежедневные прогнозы состояния Черного моря [12]. Аналогично с зарубежными программами результаты работы центра публикуются в свободном доступе. А процессы моделирования, анализа и прогнозирования выполняются по соответствующим стандартам Морской



Рис. 10. Образец подводного глайдера ФГБОУ ВО СПбГМТУ и АО «НПП ПТ «Океанос» в процессе опытной эксплуатации



Рис. 11. Результаты испытаний «Прохождение ключевых точек в бухте по заданным координатам»

службы программы «Коперникус». Универсальность структуры Черноморского центра морских прогнозов позволяет использовать имеющиеся наработки для создания национальной системы прогнозов Мирового океана, Арктического бассейна или любых окраинных морей России исключительно в ограниченном объеме. Данный факт отмечен как в «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года» (Распоряжение Правительства РФ № 1930-з от 30 августа 2019 года), так и в «Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года (Указ Президента Российской Федерации № 164 от 5 марта 2020 года). В этих документах прямо указано на отсутствие технических средств нового поколения; недостаточное развитие российских океанографических автоматических и автономных средств измерений, в частности подводных роботов (глайдеров); неготовность системы мониторинга окружающей среды, размещенной в Арктической зоне. Среди основных задач государственной политики РФ в Арктике названы разработка и применение эффективных инженерно-технологических решений. Из этого следует вывод о том, что для повышения качества прогнозов, их актуальности и своевременности необходимо использовать имеющиеся наработки по применению отечественных элементов морской робототехники.

На данный момент в РФ практически отсутствует достаточное количество предприятий, занимающихся комплексной разработкой морской робототехники применительно к оперативной океанографии, в том числе глайдеров. В частности, на момент 2020 года в России имеется единственный действующий полнофункциональный образец подводного глайдера, совместно разработанный ФГБОУ ВО СПбГМТУ и АО «НПП ПТ «Океанос» [13–17] (рис. 10).

Свою работоспособность глайдер подтвердил в ходе многочисленных успешно проведенных испытаний, отработки внутренних систем и опытной эксплуатации. Также аппарат прошел апробацию на первых Всероссийских



соревнованиях по морской робототехнике «Аквароботех-2018», где успешно выполнил поставленные задачи и занял 1-е место [18] (рис. 11).

С учетом сложившейся внешней политической обстановки и имеющихся ограничений сейчас важным моментом является использование отечественной элементной базы аппарата. В течение последнего времени появилось достаточное количество производителей оборудования, необходимого для проведения океанографических исследований. К примеру, учеными из Крыловского государственного научного центра совместно с АО «Научные приборы» был разработан и успешно протестирован масс-спектрометр в районе Приморска в Финском заливе [19]. Данное устройство позволяет одновременно считывать многие параметры (наличие бензола, ксилола и толуола, а также углеводородов) окружающей морской среды. Наряду с типовыми датчиками STD-зонда и оптического зонда разработанный подводный глайдер может использоваться в качестве носителя многочисленной исследовательской аппаратуры.

В сфере резидентных робототехнических систем впервые в Российской Федерации в 2019 году в инициативном порядке теми же специалистами был создан демонстратор технологий – легкий интервенционный автономный необитаемый подводный аппарат ЛИ АНПА [20–21]. Данный аппарат оснащен 5-ступенным электрическим манипуляторным комплексом собственной разработки. В ходе многочисленных лабораторных испытаний на полигоне подводной робототехники в гидродинамическом бассейне ФГБОУ ВО СПбГМТУ были протестированы технологии подводной оптической связи (ООО «О2 Световые системы»), безджойстикowego управления манипуляторным комплексом (АО «ЗИТЦ»), комбинированных систем управления ЛИ АНПА в условиях периодических моногармонических и недетерминированных воздействий внешней среды, систем технического зрения и других (рис. 12). Также в рамках испытаний были исследованы функциональные возможности ЛИ АНПА при взаимодействии с макетом рабочей панели элементов подводной инфраструктуры, доковании в подводный гараж, автоматических пробоотборах различных фракций грунта и т.д.

Очевидно, что отечественная робототехническая база уступает зарубежной. Применение в технологиях оперативной океанографии робототехнических комплексов и налаживание их производства будет служить фактической поддержкой разработчиков РТК, позволит преодолеть импортозависимость в этой области, будет способствовать развитию фундаментальной океанологической науки и защите национальных интересов РФ. ■

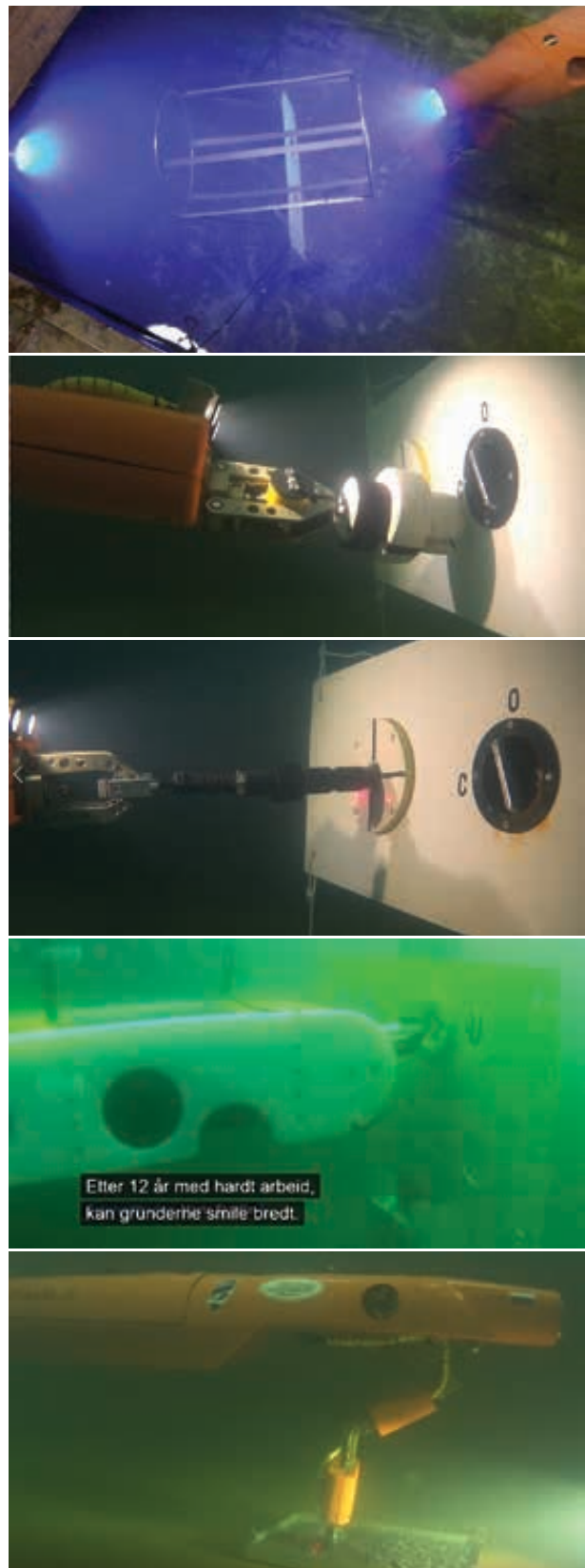


Рис. 12. Фотофиксация лабораторных испытаний демонстратора технологий резидентного легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата разработки ФГБОУ ВО СПбГМТУ и АО «НПП ПТ «Океанос» и резидентного интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата Sabertooth Saab Seaeye (4-е сверху фото)

1. Оперативная океанография – новая ветвь современной океанологической науки. – <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=48d12253-11bf-44a4-862f-41292ec9a768&print=1>.
2. Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание // Москва; Обнинск: Изд. «ИГ-СОЦИН». – 2009. – 288 с.
3. <http://www.coriolis.eu.org/Observing-the-Ocean/GLIDERS/EGO-gliders>.
4. <https://cordis.europa.eu/project/id/284321/results>.
5. Leonard N.E., Paley D.A., Davis R.E., Fratantoni D.M., Lekien F., Zhang F. Coordinated control of an underwater glider fleet in an adaptive ocean sampling field experiment in Monterey Bay // J. Field Robotics. – 2010. – № 27. – P. 718–740. – DOI: 10.1002/rob.20366.
6. Chao Y.L.Z., Farrara J.D., Moline M.A., Schofield O.M.E., Majumdar S.J. Synergistic applications of autonomous underwater vehicles and the regional ocean modeling system in coastal ocean forecasting // Limnology and Oceanography. – 2008. – V. 53. – DOI: 10.4319/lo.2008.53.5\_part\_2.2251.
7. <https://www.oceangliders.org>.
8. <https://www.goosoocean.org>.
9. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах / Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции и X молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» / Южный федеральный университет // Ростов-на-Дону; Таганрог: издательство Южного федерального университета. – 2019. – С. 83–98.
10. <https://epic.awi.de/id/eprint/50430/1/acsest9b00409.pdf>.
11. Коротаяев Г.К. Оперативная океанография – новая ветвь современной океанологической науки // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88. – № 7. – С. 579–588. DOI: 10.31857/S086958730000081–7.
12. Коротаяев Г.К., Ратнер Ю.Б., Иванчик М.В. и др. Оперативная система диагноза и прогноза гидрофизических характеристик Черного моря // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2016. – № 5. – С. 609–617.
13. Занин В.Ю. Морская робототехника // Нефтегаз. – 2017. – № 8.
14. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Тарадонов В.С., Блинков А.П., Кожемякин И.В., Токарев М.Ю., Бирюков Е.А. Концепция роботизированной подводной сейсморазведки в подледных акваториях // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018 года. – С. 64–87.
15. Гайкович Б.А. Разработка модульноунифицированного семейства подводных глайдеров. – Новый оборонный заказ. – 05.2017.
16. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности / Материалы IX научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». – 2014. – С. 211–218.
17. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Вопросы разработки морских робототехнических платформ на примере создания подводного аппарата «Глайдер» / Материалы XI научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». – 2016. – С. 151–163.
18. <https://oceanos.ru/news/266>.
19. Горбачкий В.В., Елохин В.А., Николаев В.И., Ершов Т.Д., Елизаров А.Ю. Исследование растворенных в морской воде газов при помощи масс-спектрометра с мембранным сепараторным интерфейсом.
20. Занин В.Ю., Маевский А.М. и др. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий. Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2019 года. – С. 14–22.
21. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2019. – № 2. – С. 29–40.