УДК 62-529 DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.002

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНПА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ АТЛАНТИЧЕСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ

Р.А. Бабаев[1], Д.А. Боловин[1], А.А. Борейко[1], А.И. Боровик[1], Ю.В. Ваулин[1], А.Ю. Коноплин[1,2], Д.И. Трегубенко[1], Д.Н. Михайлов[1], А.Ф. Щербатюк[1,2]

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН[1]
Дальневосточный федеральный университет[2]

Рассматривается технология выполнения исследовательских работ автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА) ММТ-3000, который использовался при выполнении комплексных исследований экосистем Антарктики и глубоководных биологических ресурсов южных морей в экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) в 2020 г. Предложенная технология затрагивает вопросы планирования миссий, подготовки программного обеспечения, управления АНПА, а также организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя. Описаны особенности модернизации АНПА ММТ-3000 для обеспечения визуальной оценки плотности скопления зоопланктона в толще воды и распределения донных животных, а также оснащения этого АНПА набором датчиков для оценки гидрофизических и гидрохимических характеристик окружающей среды. Приведены основные результаты, полученные в процессе выполнения АНПА глубоководных миссий.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все большее развитие получают комплексные исследования глубин Мирового океана, при выполнении которых используются необитаемые подводные аппараты различных типов. При этом особенно актуально изучение влияния современных климатических трендов на природные комплексы Южного океана, современную биологическую продуктивность, структуру и пространственную организацию пелагических и донных экосистем Антарктики с целью оценки потенциальных возможностей изъятия биологических ресурсов и иных форм антропогенного воздействия [1, 2].

Экстремальные условия Антарктических морей, обусловленные большими глубинами, сильными течениями, сложным рельефом донной поверхности, дрейфующими айсбергами и ледовым покрытием, сильно ограничивают использование телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА), связанных с судном-носителем гибким кабелем связи. Под влиянием негативных гидродинамических воздействий со стороны окружающей водной среды этот кабель не только затрудняет перемещения ТНПА [3], но и может попасть в лопасти винтов маршевого и подруливающих движителей обеспечивающего судна.

В условиях подводных гор и сильных течений разнообразные исследовательские операции успешно выполняются ТНПА рабочего класса Comanche-18, оснащенным буксируемым блоком-заглубителем [4, 5], соединяющим жесткий кабель-трос лебедки с гибким кабелем связи аппарата. При обследовании больших площадей или протяженных маршрутов этим ТНПА необходимо перемещать судно-носитель в нужном направлении, что не всегда возможно в сложной ледовой обстановке. Кроме того, использование аппаратов такого класса в комплексных полярных экспедициях сдерживается высокими требованиями к судну-носителю, высокой стоимостью транспортировки и погрузки на судно многотонной лебедки и другого оборудования робототехнического комплекса.

[1] 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: +7 (423) 243-25-78. E-mail: vau2000@mail.ru, konoplin@marine.febras.ru

[2] 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8. Тел.: +7 (423) 243-23-15. E-mail: alex-scherba@yandex.ru,

Отечественными и зарубежными исследователями уже накоплен опыт использования автономных необитаемых подводных аппаратов в арктических и антарктических экспедициях [2, 6–9]. Даже подо льдом АНПА способны транспортировать группы датчиков, которые позволяют получить непрерывную картину распределения физических и гидрохимических параметров окружающей среды. При этом бесконтактный мониторинг морских донных экосистем с использованием АНПА является одним из самых перспективных методов глубоководных исследований. Эти аппараты могут эффективно использоваться для картирования донных биоценозов и учета численности гидробионтов без их изъятия из экосистемы.

Поэтому для проведения комплексных биологических исследований (совместно с гидрофизическими, гидрохимическими и другими работами) в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) в Атлантическом секторе Антарктики было предложено использовать АНПА ММТ-3000 [10] производства ИПМТ ДВО РАН.

Для эффективного решения научно-исследовательских задач экспедиции выполнены модернизация АНПА «ММТ-3000», оснащение этого аппарата набором датчиков для оценки параметров окружающей среды, а также проведены работы по подготовке вспомогательного оборудования. Предложена и апробирована технология выполнения исследовательских операций АНПА, которая включает в себя планирование глубоководных миссий, подготовку программного обеспечения, управление АНПА, а также организацию погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя.

1. Модернизация АНПА ММТ-3000

АНПА ММТ-3000 был спроектирован для решения осмотровых и поисковых задач на глубинах до 3000 м. [10]. Аппарат штатно оборудован бортовой комплексированной навигационной системой [11], включающей GPS, датчик глубины, доплеровский лаг, компас, эхолокационную систему и средства гидроакустической навигации и связи (ГАНС), которые позволяют не только отслеживать его перемещения в реальном масштабе времени, но и управлять параметрами движения (направление, скорость, расстояние до дна, глубина) с помощью телекоманд, подаваемых оператором с надводного поста управления.

Для выполнения экспедиционных исследований АНПА ММТ-3000 был дополнительно оснащен флюорометрами FLCDRT-926 и FLNTU-665, а также прибором CTD-NV-2406. Чтобы в процессе движения аппарата обеспечивалось беспрепятственное прохождение воды через эти датчики, они были закреплены с помощью изготовленной рамы на верхней части корпуса АНПА параллельно его продольной оси (см. рис. 1). Также на аппарате был закреплен отдельный герметичный контейнер с батареей питания и одноплатным компьютером, осуществляющим логирование информации от датчиков. С помощью USB-WiFi-модема этот управляющий компьютер, когда АНПА не находится в воде, подключается к общей сети АНПА для синхронизации времени с бортовым компьютером аппарата, а также выгрузки накопленных данных на компьютер оператора.

Рис. 1. АНПА ММТ-3000 с установленными датчиками на палубе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Установленный комплект автономных океанографических датчиков позволил формировать таблицу измерений следующих параметров морской среды: концентрация растворенных органических веществ (CDOM) и хлорофилла, проводимость, температура и мутность воды, а также скорость звука. Все измерения привязаны к навигационной информации АНПА, включающей его текущие координаты, курс, крен, дифферент, глубину и скорость движения.

В рамках подготовки к работам в Антарктической зоне выполнен ряд мероприятий по модернизации навигационного комплекса АНПА ММТ-3000,

связанный предполагаемым использованием аппарата в области «высоких широт», в том числе вблизи Южного магнитного полюса, в зонах с низкой напряженностью магнитного поля или в зонах с высокой степенью изменчивости магнитного склонения. В таких местах возрастает погрешность измерения курса бортовым магнитным компасом, поэтому было принято решение об установке на борт АНПА оптоволоконного гироскопа ВГ-035 для корректировки магнитного курса. Запуски АНПА вблизи берегов Антарктиды производились в районе с координатами 62º южной широты и 54º западной долготы. Данный район характеризуется большой величиной магнитного склонения – 60ºW, которое было учтено перед запусками АНПА. Место погружений АНПА располагалось на достаточном удалении от магнитного полюса (см. рис. 2), что позволило использовать в качестве бортового датчика курса штатный магнитный компас MTI X-Sense.

Необходимая точность измерения координат на борту АНПА обеспечивалась применением ГАНС с ультракороткой базой (УКБ) Evologics. На АНПА был установлен модем S2C M 18/34, предназначенный для обмена данными по гидроакустическому каналу связи. На судне обеспечения размещался модем USBL S2C 18/34 с интегрированной антенной ГАНС УКБ. Во время движения АНПА под водой его координаты в реальном масштабе времени с периодом 2–4 с определялись средствами УКБ ГАНС на судне и передавались на аппарат по акустическому каналу для дальнейшей коррекции ботовой системы счисления пути. Особенностью ГАНС УКБ АНПА ММТ-3000 является то, что в его составе для измерения ориентации обеспечивающего судна применяется спутниковая система определения местоположения и пространственной ориентации Applanix POS MV V5. Такое решение по сравнению с измерением курса судна магнитными компасами или инерциальными навигационными системами имеет определенные преимущества именно в условиях Арктики или Антарктики, поскольку обеспечивает высокую точность измерения курса (0,1º) независимо от географической широты района работ.

Также АНПА ММТ-3000 был оборудован цифровой фотосистемой на базе камеры Prosilica GC1380 с импульсным светильником. Система позволяет делать высококачественные снимки с разрешением 2Мп и частой до одного кадра в две секунды. Все сделанные камерой кадры привязываются программным обеспечением (ПО) к общему бортовому времени АНПА, за счет чего для каждого кадра с помощью программы постобработки данных IMTPLooker можно получить любые сопутствующие параметры движения аппарата: координаты, высоту над грунтом, глубину, скорость движения и др. В ходе экспедиции ПО IMTPLooker было доработано с целью отображения поверх фотокадра линейки для оценки геометрических размеров подводных объектов. Кроме того, был реализован режим поточной обработки фотографий, который позволяет выгрузить выбранные снимки с заданным прорежением и нанесением поверх каждой фотографии выбранной пользователем информации.

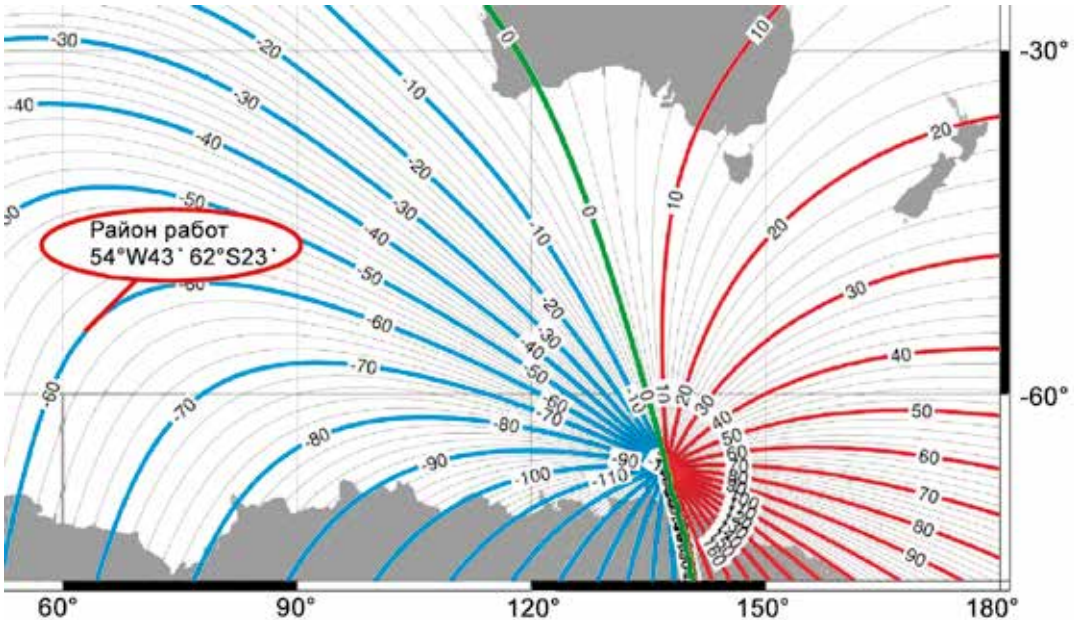

Рис. 2. Карта магнитных склонений в районе проведения работ

Для получения данных о рельефе дна и характере грунта в состав АНПА ММТ-3000 штатно входят гидролокатор бокового обзора (ГБО) и акустический профилограф производства ИПМТ ДВО РАН. Гидролокатор бокового обзора имеет рабочую частоту 470 кГц, полосу обзора 70 м на борт, разрешающую способностью по дальности – 5 см, по азимуту – 0,5°. Акустический профилограф позволяет производить профилирование дна на глубину до 40 м.

Для повышения маневренности АНПА и обеспечения его движения в режиме фотосъемки на малых скоростях (от 0,1 м/с) вблизи дна (до 0,5 м) была изготовлена секция с вертикальным подруливающим движителем, обеспечивающим тягу не менее 7 кгс. Эта секция установлена в центральной части аппарата (см. рис. 1), причем продольная ось движителя перпендикулярна продольной оси АНПА. Благодаря подруливающему движителю можно осуществлять качественную фотосьемку без смазывания изображения с более точной стабилизацией высоты над дном, что позволяет идентифицировать и определять точные размеры донных животных на полученных фотоизображениях.

Перед экспедицией была выполнена комплексная модернизация ПО АНПА с добавлением отдельных модулей, разработанных на базе программной платформы RCE [12]. Были написаны драйверы для фотосистемы и комплекта автономных океанографических датчиков, доработана динамическая модель АНПА с учетом новой секции с подруливающим движителем, высокоуровневая система планирования миссии [13] адаптирована под аппаратно-программное обеспечение АНПА ММТ-3000.

Для эффективного взаимодействия с экипажем судна-носителя был разработан интерфейс навигационной программы для судового мостика. Этот простой и понятный web- интерфейс наглядно отображает взаиморасположение и траектории перемещений АНПА и судна, а также все параметры движения аппарата.

Кроме того, был выполнен ряд работ по установке вспомогательного оборудования робототехнического комплекса, включая:

- подготовку лабораторного контейнера;
- подготовку корпусной конструкции, механических элементов и забортных магистралей АНПА;
- изготовление штанги для крепления антенны ГАНС УКБ;
- подготовку поста управления и связи;
- изготовление маяка для калибровки ГАНС УКБ;
- подготовку комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей комплекса АНПА.

Выполненные морские испытания АНПА ММТ-3000 в бухте Патрокл подтвердили работоспособность всех систем аппарата и его готовность к проведению экспедиционных исследований.

2. Особенности выполнения подводных работ

Для достижения поставленных целей научных исследований с помощью АНПА необходимо решать важные задачи обследования больших глубоководных полигонов. При этом требуется выполнять высококачественную фотосъемку, съемку ГБО, профилирование, а также измерение параметров окружающей водной среды на протяжении маршрутов движения аппарата в условиях сложного рельефа и сильных придонных течений.

С 2007 г. АНПА ММТ-3000 использовался при выполнении различных глубоководных работ, в частности в гидрографических исследованиях для проектных работ по прокладке подводных коммуникаций в Охотском море [14]. На основе накопленного опыта предложена технология использования АНПА для решения исследовательских задач, которая затрагивает вопросы планирования подводных работ, управления АНПА, организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя.

Перед погружением АНПА в районе работ выполняются промеры судовым эхолотом, на основе этих измерений строится уточненная карта глубин интересующих полигонов и формируется миссия (маршрут и режимы движения) АНПА с учетом поставленных задач. При этом маршрут движения обеспечивающего судна задается таким образом, чтобы в процессе выполнения миссии АНПА всегда находился в радиусе действия ГАНС с УКБ. Проводится проверка работоспособности всех подсистем АНПА и надводного управляющего комплекса. Для проверки выполняется симуляционный прогон миссии аппарата, в ходе которого оператором контролируется правильность отработки всеми механизмами и оборудованием АНПА команд миссии, а также отсутствие программных и аппаратных сбоев.

После выхода судна в заданную точку полигона в соответствии с погодными условиями обеспечивается безопасный спуск АНПА с удержанием судна в этой точке в условиях дрейфа, обусловленного ветром и течением (рис. 3). С помощью моторной лодки аппарат отводится на безопасное расстояние от судна, чтобы избежать затягивания в лопасти винтов маршевого и подруливающих движителей. После этого оператор по радиоканалу связи посылает

Рис. 3. Спуск АНПА в воду в проливе Брансфилда

команду на запуск выполнения миссии, и АНПА начинает погружение.

На основе навигационной информации с помощью графического интерфейса отображаются треки перемещений обеспечивающего судна и АНПА, а также данные телеметрии, передаваемой по гидроакустической системе связи. При этом реализована возможность задавать целевые точки и указывать местоположения подводных объектов посредством ввода географических координат или с помощью отметок на загруженной карте зоны работ. Причем указанный графический интерфейс отображается не только на мониторе оператора АНПА, но и на бортовом компьютере вахтенного штурмана судна, что позволяет в реальном масштабе времени корректировать маршруты судна. При движении АНПА по запланированным траекториям оператор заблаговременно дает необходимые команды экипажу судна-носителя для его перемещения в заданном направлении на заданное расстояние, чтобы АНПА не вышел за пределы действия ГАНС-УКБ.

Для картирования донных биоценозов и учета численности гидробионтов без их изъятия из экосистемы предложено формировать миссии АНПА с использованием методики выполнения аналогичных работ с использованием ТНПА в Японском, Охотском и Беринговом морях, а также в Тихом океане [4, 5, 15]. Для проведения количественного учета объектов в ходе погружений необходимо делать фото разрезы при прямолинейном движении АНПА на расстоянии около 1 м от дна с постоянной скоростью около 0,5 м/с. При этом программное обеспечение позволяет выполнять сшивку фотоизображений, а также определять площадь донной поверхности на каждом кадре. Предварительные экспериментальные исследования в бухте Патрокл показали, что такой метод позволяет получить адекватную информацию о составе и распределении животных размерами более 1 см.

Для съемки ГБО и получения данных от акустического профилографа и эхолокационной системы АНПА должен двигаться со скоростью около 1,5м/с на расстоянии 7 м от грунта. Полученные данные могут использоваться для картирования зоны работ, определения сложности рельефа донной поверхности и состава грунта. При выполнении комплексных экспедиционных работ на основе этой информации должны приниматься решения о целесообразности траления тралом Сигсби на исследуемом полигоне, а также драгирования и использования дночерпателей.

Кроме того, оснащение АНПА набором датчиков для оценки параметров окружающей водной среды позволяет определять гидрофизические и гидрохимические характеристики воды при движении АНПА по маршруту, а также в процессе погружения и всплытия аппарата.

Необходимо отметить, что в процессе выполнения миссии АНПА на обеспечивающем судне, удерживающемся в заданной точке, могут параллельно проводиться другие забортные экспедиционные работы, например опускание дночерпателей или океанологического зонда «Розетта».

Закончив выполнение миссии, АНПА всплывает и по радиоканалу передает на пост оператора координаты своего местонахождения. После обнаружения аппарата он буксируется моторной лодкой к судну и поднимается на борт.

3. Результаты экспедиционных исследований

Предложенные технологические решения нашли применение при проведении экспедиционных работ на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) по изучению биоразнообразия донных сообществ в экстремальных условиях южных морей. Предварительно перед началом работ были проведены калибровки океанографических датчиков АНПА и ГАНС-УКБ. Также была выполнена миссия с целью

балластировки АНПА в режиме зависания аппарата на глубинах 0,5 и 5 метров. В ходе этой миссии оценивалась остойчивость аппарата, а также работа маршевых и подруливающих движителей. По результатам проведенной оценки была выполнена балластировка АНПА для работы в условиях Антарктики.

В качестве примера выполнения рабочей миссии АНПА ММТ-3000 рассмотрим результаты его погружение на комплексной станции с координатами S61.4325, W52.2258 и глубиной 570 м. В данной миссии АНПА выполнил два прямолинейных прохода (галса) длиной 1 км и расстоянием между ними 100 м. На рис. 4 изображены траектории движения аппарата на 3D-модели рельефа дна, построенной по показаниям бортового эхолокатора. При движении по этим галсам аппарат выполнил профилографическую и ГБО-съемку рельефа дна. Затем была выполнена маршрутная фотосъемка дна при движении заданным курсом на высоте 1 м над грунтом. В результате фотосъемки были получены изображения гидробионтов, позволяющие провести оценку особенностей их распределения. На основе полученных данных (рис. 5) сотрудниками бентосного отряда экспедиции было принято решение выполнить траление (тралом Сигсби) вдоль траектории движения АНПА.

Также в процессе выполнения миссий АНПА производились измерения параметров водной среды набором океанологических датчиков (CTD, CDOM, Хлорофилла, датчик мутности). Пример таких измерений изображен на рис. 6.

В качестве примера, описывающего определение сложности рельефа донной поверхности, на рис. 7 приведен фрагмент движения АНПА в режиме стабилизации заданной высоты над дном с помощью подруливающих движителей. На данном участке протяженностью 187 м зафиксированы перепады высот не более 3 м.

На рис. 8 показаны результаты автономной работы бортовой комплексированной навигационной системы АНПА. При выполнении первой половины рассматриваемой миссии произошла временная потеря связи с судном обеспечения, и в этот период коррекция координат аппарата по данным ГАНС УКБ не производилось. На данном участке можно оценить погрешность системы счисления пути бортовой навигационной системы АНПА. Продолжительность автономной работы указанной системы без коррекций от ГАНС УКБ составила 17.5 минут. За это время была накоплена погрешность определения координат, равная 25 м, что соответствует 3%

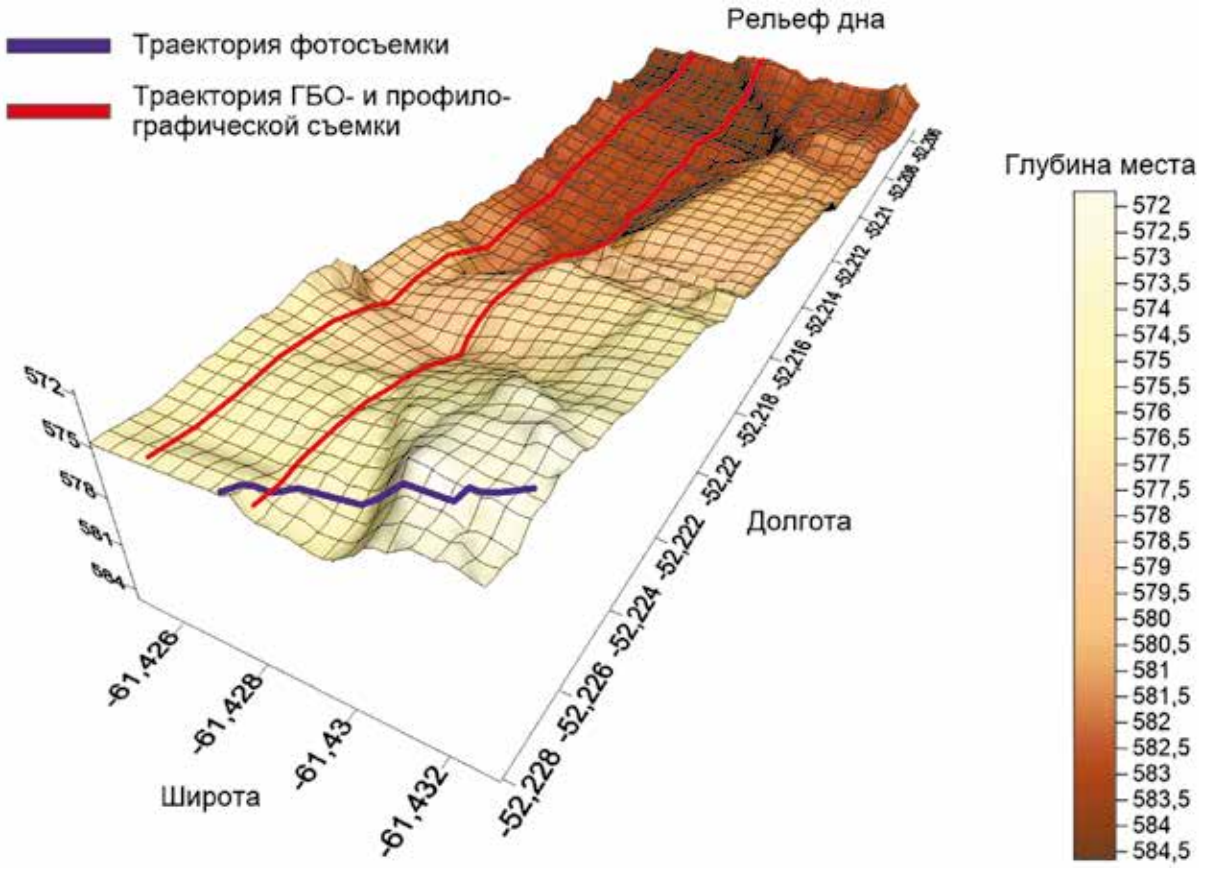

Рис. 4. 3D-модель рельефа дна, построенная по показаниям эхолота АНПА

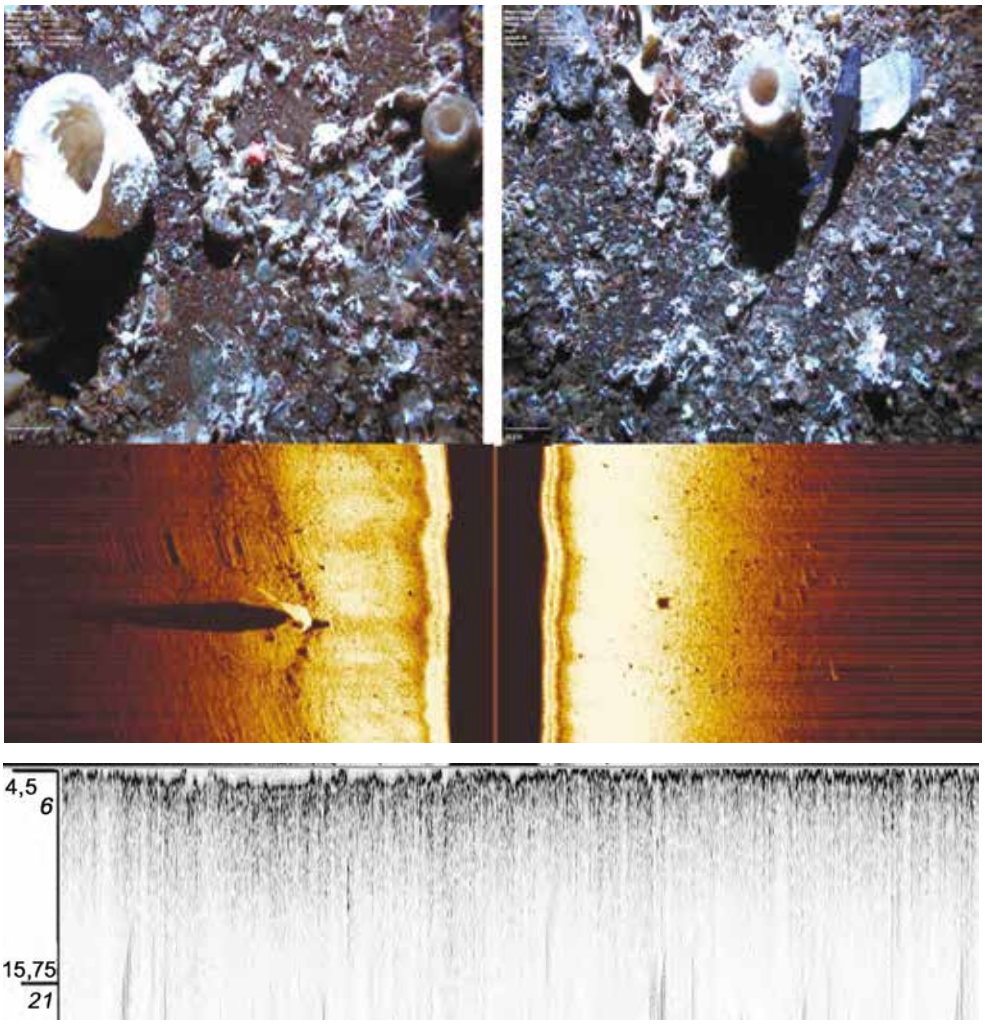

Рис. 5. Данные (сверху вниз: фотосистемы, ГБО, профилографа), собранные АНПА

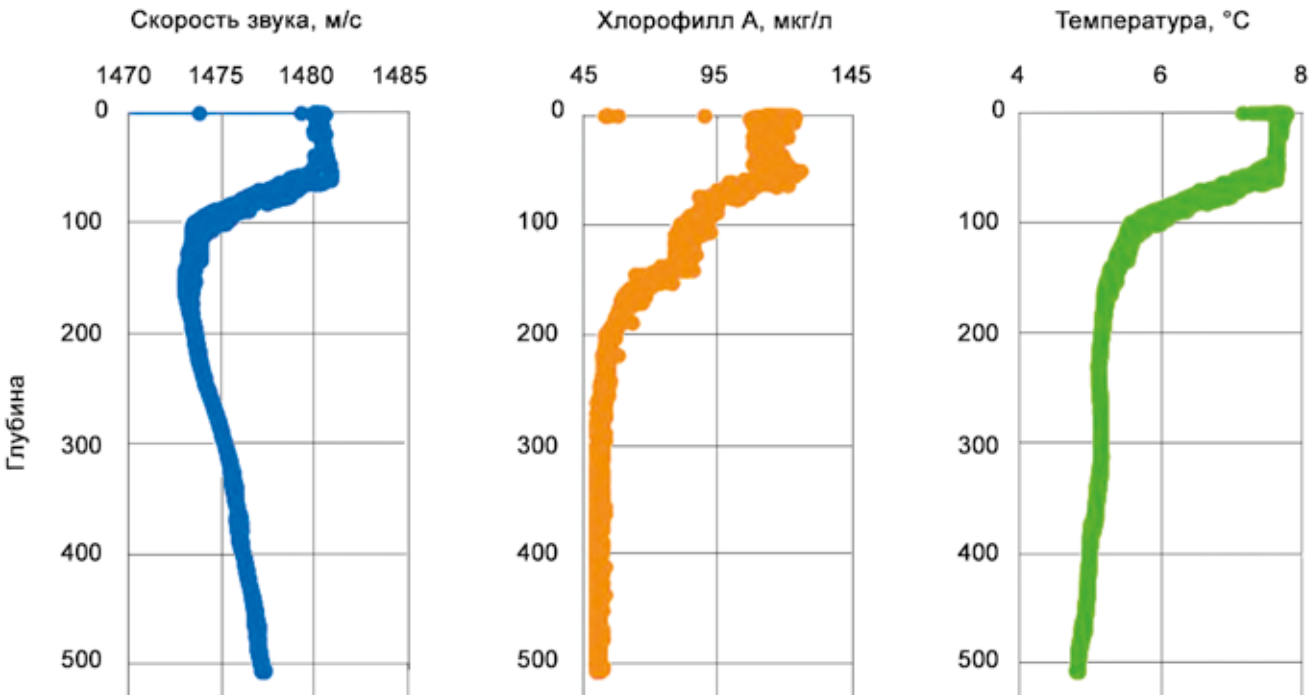

Рис. 6. Пример некоторых данных, полученных от океанографических датчиков в ходе выполнения миссии АНПА

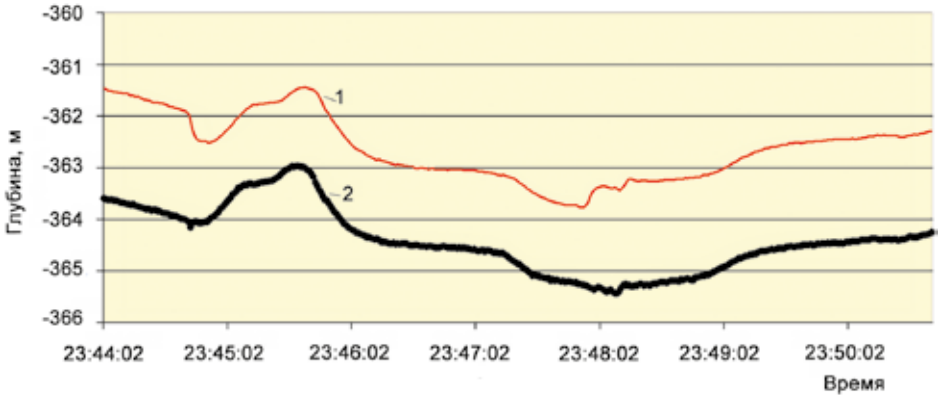

Рис. 7. Фрагмент движения АНПА в режиме стабилизации заданной высоты над дном

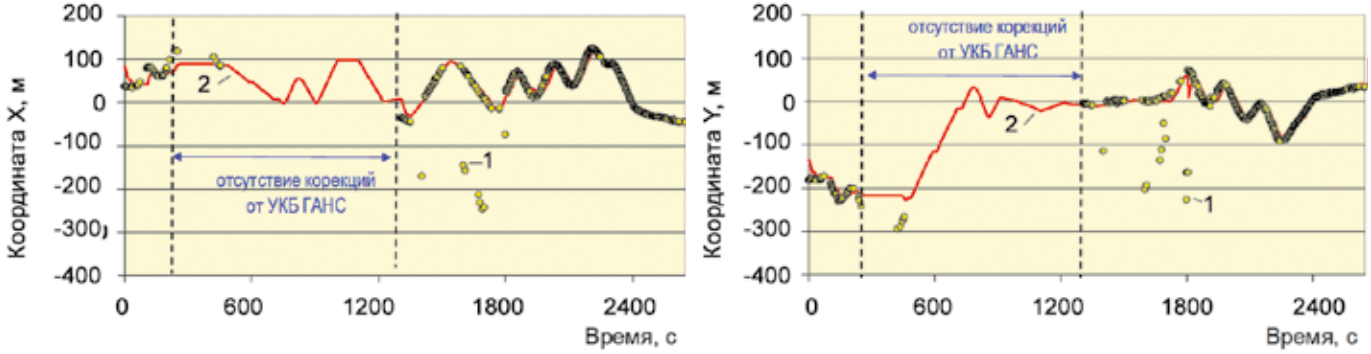

Рис. 8. Координаты АНПА по данным ГАНС УКБ и бортовой коммплексированной навигационной системы: 1 – ГАНС УКБ, 2 – КНС

от пройденного пути. Эти значения демонстрируют удовлетворительную работу бортовой навигационной системы АНПА в полностью автономном режиме в сложившихся условиях. Потеря связи между судном и АНПА, вероятно, связана с маневрами судна и недостаточной величиной заглубления антенны ГАНС УКБ, установленной на внешней погружной штанге и вертикально закрепленной по борту судна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим основные результаты применения АНПА ММТ-3000 в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) в Атлантическом секторе Антарктики.

Технологические решения, принятые в процессе модернизации аппарата и его предварительных испытаний апробированы в ходе экспедиции для выполнения довольно широкого класса исследовательских работ в специфических условиях Антарктики. Основное значение имеют исследования в области морской биологии, гидрофизики и гидрохимии, изучения характера рельефа и структуры морского дна.

К числу конкретных технологических результатов можно отнести:

- средствами исследовательского оборудования АНПА обеспечивается визуальная оценка распределения донных животных в прибрежных экосистемах Антарктики и глубоководных биологических ресурсов южных морей;
- подтверждена эффективность программного обеспечения и специальных алгоритмов для оценки распределения и учета донных биоресурсов на большой площади, а также оценки плотности скопления зоопланктона в толще воды;
- комплекс гидрофизических и гидрохимических измерителей позволяет дать оценку состояния окружающей среды;
- для общей экологической оценки реализуется возможность определения концентрации хлорофилла в верхних слоях воды, определяющей условия для воспроизводства первичной продукции антарктических экосистем.

Авторы выражают благодарность экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш» за высокопрофессиональное обеспечение запусков АНПА. Мы признательны всем сотрудникам ИПМТ ДВО РАН,

принимавшим участие в подготовке, модернизации и предварительных испытаниях АНПА ММТ-3000.

Совершенствование программного обеспечения поста оператора для работы в реальных условиях эксплуатации выполнено при финансовой поддержке программы Президиума РАН №7 «Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники». Реализация алгоритмов обработки данных от бортовых сенсоров выполнена при финансовой поддержке программы «Дальний Восток» (грант 18-5-054).

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов Е.Г., Флинт М.В., Спиридонов В.А., Тараканов Р.Ю. Программа комплексных экспедиционных исследований экосистемы Атлантического сектора Южного океана (декабрь 2019 г. - март 2020 г.) // Океанология. 2019. Т. 59, № 6. С. 1086–1088.

2. Боженов Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011. Т. 4, № 1. С. 47–68.

3. Костенко В.В., Мокеева И.Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 1 (7). С. 22–27.

4. Галкин С. В., Виноградов Г. М. Видим дно! // Природа. 2019. №. 6. С. 16–22.

5. Коноплин А.Ю., Денисов В.А., Даутова Т.Н., Кузнецов А.Л., Московцева А.В. Технология использования ТНПА для комплексного исследования глубоководных экосистем // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 4–12.

6. Dowdeswell J.A., Evans J., Mugford R. et al. Autonomous Underwater Vehicles and Investigations of the Ice-Ocean Interface in Antarctic and Arctic Waters // J. Glaciol. 2003. Vol. 54, No. 187. P. 661−672.

7. Stephen McPhail. AUTOSUB Operations in the Arctic and the Antarctic // Proc. Intern. Sci. Workshop. Cracow, Poland, 2007. P. 28–39.

8. Инзарцев А.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 2 (4). С. 5–14.

9. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / под ред. Л.В. Киселева. Владивосток: Дальнаука, 2018. 367 с.

10. Горнак В.Е., Икзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф. ММТ-3000 - новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат Института проблем морских технологий ДВО РАН // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 1 (3). С. 12–20.

11. Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф. Интегрированная система навигации и связи АНПА «ММТ-3000» и опыт ее использования в работах на глубоководных протяженных трассах // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 14–19.

12. Боровик А.И., Наумов Л.А. Компонентно-ориентированная система управления АНПА ММТ-2012 // Известия ЮФУ. Технические науки. Таганрог, 2014. № 3. С. 102–112, ISSN 1999-9429

13. Багницкий А.В., Инзарцев А.В. Автоматизация подготовки миссии для автономного необитаемого подводного аппарата в задачах обследования акваторий // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 2 (10). С. 17–24.

14. Михайлов Д.Н., Сенин Р.Н., Дубровин Ф.С., Борейко А.А., Стыркул Р.И., Храмов О.А. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для гидрографических исследований в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2017. №. 2 (24). С. 4–13.

15. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю., Коноплин Н.Ю. Разработка и натурные испытания системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА // Подводные исследования и робототехника. 2018. № 2 (26). С. 12–20.