

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТНПА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

**А.Ю. Коноплин^{1,2}, В.А. Денисов²,
Т.Н. Даутова², А.Л. Кузнецов²,
А.В. Московцева²**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН²

Статья посвящена технологии использования телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) рабочего класса «Comanche 18», позволяющей эффективно выполнять глубоководные исследовательские операции в условиях сильных придонных течений и сложного рельефа подводных гор. Приведены особенности планирования подводных работ, пилотирования ТНПА, организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя. Описаны созданные средства пробоотбора, обеспечивающие качественный сбор научного материала, а также разработанное программное обеспечение, предназначенное для интеллектуальной и информационной поддержки деятельности операторов ТНПА. Приведены результаты комплексных исследований экосистем океанических поднятий на примере гайотов и гор Императорского хребта (северная часть Тихого океана), выполненных с помощью ТНПА «Comanche 18» в глубоководной научно-исследовательской экспедиции Национального научного центра морской биологии в Тихом океане в 2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

Бесконтактный мониторинг морских донных экосистем с использованием телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) является одними из передовых методов глубоководных исследований настоящего времени. Эти аппараты незаменимы для картирования донных биоценозов и учета численности гидробионтов без их изъятия из экосистемы. В течение последнего десятилетия из-за развития глубоководных исследований с использованием ТНПА донные сообщества подводных гор северо-западной части Тихого океана и Императорского хребта становятся предметом более активного изучения. Однако донные популяции гидробионтов на горах, составляющих северную часть Императорского хребта, не были изучены ранее ни отечественными, ни зарубежными гидробиологами. При этом роль Императорской цепи подводных гор и гайотов (как части Императорско-Гавайского хребта) в распространении видов-индикаторов уязвимых морских экосистем в северной части Тихого является весьма существенной в связи с ее значительной протяженностью на север в меридиональном направлении [1].

Проведение комплексных биологических исследований уязвимых морских экосистем (совместно с гидрофизическими, геологическими и другими работами) в районе Императорского хребта необходимо для получения новых данных о состоянии биологических и других ресурсов северной части Тихого океана. Это позволит внести существенный вклад как в работу Северо-Тихоокеанской комиссии по рыболовству, так и в международное научное сотрудничество для решения множества научных вопросов и продовольственно-ресурсных проблем в регионе.

Для достижения поставленных целей научных исследований с помощью ТНПА необходимо решать важные задачи обследования больших глубоководных полигонов. При этом требуется выполнять высококачественную видео- и фотосъемку, профилирование, а также отбор проб воды, осадочных слоев грунта, образцов геологических пород и животных на всем протяжении маршрутов движения аппарата в условиях сложного рельефа подводных гор и сильных придонных течений.

¹ 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: +7 (423) 222-64-16. E-mail: konoplin@marine.febras.ru

² 690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17. Тел.: +7 (423) 231-09-05. E-mail: tndaut@mail.ru, neo503352kuzya@mail.ru, moskovtseva_a@mail.ru

В настоящее время отечественными и зарубежными исследователями накоплен опыт выполнения ТНПА перечисленных операций [2–5]. При движении по протяженным глубоководным маршрутам возможности аппаратов, связанных с судном-носителем гибким кабелем, имеющим нулевую плавучесть, сильно ограничиваются значительными гидродинамическими влияниями на этот кабель со стороны окружающей водной среды [6, 7]. Кроме того, существует возможность попадания гибкого кабеля в лопасти винта при движении судна. Для работы на больших глубинах и в условиях сильных течений используют ТНПА с жестким кабель-тросом, имеющим стальную оплетку и большой вес. На нижнем конце такого кабеля закреплен груз-углубитель (депрессор), к которому гибким кабелем длиной 100–150 м подключен аппарат [4, 8, 9]. В процессе работы ТНПА жесткий кабель с депрессором висит практически вертикально, но доступным пространством для перемещений аппарата является окружность с радиусом, равным длине гибкого кабеля. Поэтому при обследовании больших площадей или протяженных маршрутов необходимо двигать судно-носитель в нужном направлении, что возможно при наличии системы динамического позиционирования или в режиме ручного управления, когда вахтенный штурман отдает команды на передвижение судна, используя GPS, подруливающие устройства и главный движитель.

Опыт экспедиционных работ Национального научного центра морской биологии ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН) в Японском, Охотском и Беринговом морях с ТНПА рабочего класса «Sub-Atlantic Comanche 18», базирующемся на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», показал, что перемещение этого аппарата и его депрессора по глубоководным маршрутам является очень сложной задачей [4, 8, 9]. Операторам приходится принимать решения, анализируя большой объем информации и учитывая особенности сразу нескольких динамических объектов, а также условия выполнения подводных работ: течения, рельеф дна и желаемый маршрут перемещения ТНПА. При этом человеческий фактор может стать причиной снижения качества и увеличения времени выполнения научно-исследовательских подводных операций, не исключая даже аварийные ситуации.

В результате для решения обозначенной проблемы и эффективного выполнения глубоководных исследовательских операций в статье предложена технология использования ТНПА, описанная на примере ТНПА рабочего класса «Comanche 18», с помощью которого в 2019 г. были выполнены комплексные

исследования экосистем подводных гор Императорского хребта. Эта технология затрагивает вопросы планирования подводных работ, пилотирования ТНПА, организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя, создания и использования специализированных средств пробоотбора, а также использования программного обеспечения, предназначенного для интеллектуальной и информационной поддержки деятельности операторов ТНПА.

1. Оснащение ТНПА «Comanche 18» устройствами для пробоотбора

Для выполнения глубоководных экспедиционных исследований ННЦМБ ДВО РАН использует серийный ТНПА рабочего класса «Sub-Atlantic Comanche 18», спроектированный для выполнения обзорных и технологических операций. Он оснащен фото- и видеоаппаратурой, гидролокационным оборудованием, профилографом, доплеровским лагом, а также набором датчиков, измеряющих параметры окружающей водной среды, что позволяет использовать этот аппарат для решения широкого круга исследовательских задач.

Кроме того, ТНПА «Comanche 18» оборудован многозвенным манипулятором Schilling Orion 7P, способным с высокой точностью выполнять технологические манипуляционные операции. Но эффективный сбор научного материала невозможен без специальных контейнеров для образцов и пробоотборников, причем эти приспособления не должны загромождать обзор видео- и фотокамер, а также осложнять управление ТНПА и манипулятором. Для решения этой проблемы был изготовлен «скид» (рис. 1), имеющий форму короба и закрепляемый снизу на раме аппарата. Скид позволяет разместить держатель семи грунтоотборных трубок с обратными клапанами на верхних концах и контейнер для биологических образцов, которые выдвигаются в рабочее положение с помощью гидроцилиндров, подключенных к гидравлическому распределителю ТНПА. Гидроцилиндры дистанционно управляются посредством графического интерфейса оператора программы Sub-CAN. Использование выдвигающихся контейнеров позволяет собирать множество проб в процессе длительных погружений и неповрежденными доставлять их на поверхность.

Поскольку сбор схватом манипулятора очень подвижных, мелких и хрупких животных является сложной и не всегда решаемой задачей, для деликатного



Рис. 1. ТНПА «Comanche 18», оборудованный скидом с пробоотборниками

пробоотбора было изготовлено всасывающее устройство [10], являющееся аналогом прибора слэп-ган. В основу этого устройства положен оснащенный пропеллером вращательный гидропривод, прокачивающий воду через герметичный контейнер, в котором животные удерживаются сетчатыми перегородками (рис. 2, а). Этот гидропривод также подключен к гидравлическому распределителю ТНПА и дистанционно управляется оператором. К другой стороне контейнера присоединен гофрированный



Рис. 2. Контейнер всасывающего устройства (а); контейнер скида с биологическими образцами (б)

шланг, конец которого закреплен на схвате манипулятора (см. рис. 1). Такое крепление позволяет легко чередовать способы сбора проб, например отрывать схватом кораллы или актинии от камней и сразу (на весу) всасывать их через шланг в контейнер. С помощью созданного устройства удастся собрать неповрежденными такие животные, как голотурии, офиуры, морские лилии, гидроидные и коралловые полипы и др. После завершения работы ТНПА контейнер извлекается из корпуса скида и отдается научной группе для разбора и фиксации отобранных проб.

Кроме того, для сбора двустворчатых моллюсков, мелких камней и сыпучего грунта были изготовлены сачки разных размеров, которые берутся схватом манипулятора и после отбора проб убираются в выдвижный контейнер скида (рис. 2, б). Для прицельного отбора проб воды из гидротермальных источников на втором манипуляторе Orion 4R закрепляются два батометра. Такое расположение позволяет подносить эти батометры к самому жерлу горячего источника [4].

Оснащение ТНПА «Comanche 18» созданными устройствами пробоотбора позволило значительно повысить эффективность сбора научного материала.

2. Система поддержки деятельности операторов ТНПА

В процессе пилотирования ТНПА операторам приходится одновременно оценивать и сопоставлять информацию, получаемую от различных устройств и систем, отображаемую сразу на нескольких мониторах (рис. 3). Причем программное обеспечение этих устройств имеет различные пользовательские интерфейсы. Анализ больших объемов информации, получаемой в различной форме из различных источников, занимает много времени. Оператору очень сложно одновременно точно определять смещения ТНПА, его реальное местоположение на карте зоны работ, его расстояние до депрессора и другие параметры, быстро изменяющиеся в процессе выполнения поставленных задач. В результате снижается производительность его работы и возрастает утомляемость вместе с ростом вероятности ошибок и возникновение аварийных ситуаций.

В настоящее время системы поддержки деятельности операторов уже активно используются на различных типах ТНПА [8, 11, 12]. Информационно-управляющая система ТНПА «Аква-ЧС» [11] позволяет графически отображать его пространственную



Рис. 3. Пост управления ТМПА «Comanche 18»

ориентацию и конфигурацию установленного на нем подводного многозвенного манипулятора. В работе [12] описан интуитивный интерфейс операторов ТМПА, основанный на технологии виртуальной реальности, которая создает эффект присутствия человека на ТМПА и позволяет повысить эффективность управления перемещениями этого аппарата. Однако указанные системы не выдают операторам рекомендаций (предупреждений) для исключения аварийных ситуаций и не решают задачи согласованного перемещения ТМПА и его депрессора для всестороннего обследования больших глубоководных территорий.

Для обеспечения операторов ТМПА «Comanche 18» наглядными рекомендациями и предупреждениями, формируемыми на основе информации, получаемой с различных датчиков, сенсоров и навигационных систем разных производителей, разработана система интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТМПА [8, 13]. Эта система реализует алгоритмы управления согласованными перемещениями судна-носителя, ТМПА и его депрессора [14, 15]. Программная реализация указанной системы создана на основе подхода, предложенного в работе [9], при этом использованы современные средства среды .NET Framework и язык программирования C#, который позволяет эффективно разрабатывать высокопроизводительное многозадачное программное обеспечение для наиболее распространенных компьютеров под управлением ОС Windows 8, 8.1, 10.

Созданная система взаимодействует с маяками-ответчиками ТМПА и депрессора, обменивается данными с судовой навигационной системой, содержащей GPS и компас, а также с гидроакустическим навигационным комплексом, имеющим ультрако-

ротную базу Sonardyne Fusion. Это позволяет ей с помощью графического интерфейса оператора одновременно отображать на мониторе местоположение обеспечивающего судна-носителя и направление его движения, расположение депрессора относительно этого судна, а также маршрут движения ТМПА (рис. 4). Текущие данные, получаемые от датчиков и внешних устройств, сопоставляются с данными базы формализованных представлений безопасности: аварийное натяжение гибкого кабеля, сложный рельеф морского дна, возможный контакт депрессора с дном или ТМПА, выход ТМПА из желаемого сегмента его рабочей зоны и др. При этом выявляется возможность возникновения аварийных ситуаций, а также формируются рекомендации и сигналы для операторов.

Для удобства использования системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТМПА реализована возможность сохранения карт, треков, целевых точек и маршрутов для дальнейшего предоставления заказчикам подводных работ, а также возможность их загрузки в систему для выполнения повторных погружений ТМПА с целью поиска и дополнительного обследования найденных ранее подводных объектов. Дополнительно была реализована возможность сохранения и загрузки состояний системы. Причем каждое изменение ее состояния: поступление различных данных, команды операторов ТМПА, сигнализация и т.п. – автоматически



Рис. 4. Отображение ТМПА, депрессора и судна интерфейсом системы

сохраняются в файл. Эта возможность впоследствии позволяет анализировать процесс выполнения уже завершённых погружений ТНПА с целью выявления ошибок как в работе системы, так и в действиях операторов.

3. Особенности выполнения подводных работ

С 2011 г. ТНПА «Comanche 18» прошёл 7 экспедиций ННЦМБ ДВО РАН в Японском, Охотском и Беринговом морях, а также в Тихом океане (Императорский хребет) и провёл под водой более 500 ч. За это время был накоплен большой опыт работы с ТНПА и была выработана определённая технология выполнения подводных работ.

Перед погружением ТНПА в районе работ выполняются промеры судовым эхолотом, и на основе этих измерений строится уточнённая карта глубин интересующих полигонов. Эта карта загружается в программу поддержки деятельности операторов и используется в процессе управления ТНПА. Проводится проверка работоспособности всех подсистем ТНПА и надводного управляющего комплекса.

После выхода судна в заданную точку полигона определяется возможность удержания судна в этой точке в условиях дрейфа, обусловленного ветром и течением. Если погодные условия позволяют судну удерживаться, то начинается спуск ТНПА в воду. Особенностью НИС «Академик М.А. Лаврентьев» является то, что гребной винт напрямую связан с главным двигателем, а регулировка скорости и направления движения судна осуществляется посредством поворота лопастей винта регулируемого шага. Запуск и остановка главного двигателя на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» занимает 25–30 м. При погружении ТНПА с вращающимся винтом есть опасность затягивания гибкого кабеля на лопасти этого винта, но при спуске с неработающим двигателем теряется много времени на возвращение судна в исходную точку, поскольку, как показала практика, судно может снести до 1,5 мили. Поэтому была выработана следующая методика спуска.

Кормовой П-рамой на жестком кабель-тросе опускается депрессор и погружается в воду на глубину 1–2 м. Затем с правого борта судна краном опускается сам аппарат (рис. 5) и по поверхности отводится от судна за корму. Оператор наблюдает за перемещениями ТНПА с помощью палубной системы наружного видеонаблюдения. В процессе отхода ТНПА от борта судна гибкий кабель вручную выдается с



Рис. 5. Спуск ТНПА в воду

палубы таким образом, чтобы не допустить слабину и попадания на вращающиеся лопасти винта. Когда ТНПА полностью вытягивает гибкий кабель, начинается одновременное заглубления аппарата и депрессора.

Взаимное расположение ТНПА и депрессора определяется с помощью установленных на них маяков гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой Sonardyne Fusion, антенна которой размещается и фиксируется в шахте кормовой лаборатории НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с помощью изготовленной разборной штанги.

Использование ТНПА в гидробиологических целях предполагает его работу вблизи дна с посадками на грунт, при этом неизбежно поднимается ил и ухудшается видимость, что мешает фото- и видеосъемке, а также пробоотбору. Поэтому необходимо планировать работу таким образом, чтобы ТНПА был сориентирован и перемещался против течения, не возвращаясь на отработанные места, особенно в условиях сильно заиленного грунта. Чтобы при всплытии ТНПА не взмучивал придонные слои воды, он должен иметь положительную плавучесть, т.е. при отключении вертикальных движителей аппарат самостоятельно всплывает, в противном случае вертикальные движители поднимают облака мути. При движении над грунтом вертикальные движители ТНПА работают на прижим, т.е. создают поток воды, идущий вверх, что способствует снижению взмучивания воды вблизи грунта.

При планировании работы ТНПА в условиях подводных гор выбирается направление движения вверх по склону, поскольку основные сенсоры, видеокамеры, фонари и манипуляторы ТНПА расположены в его передней полусфере. Это позволяет устранять

столкновения аппарата с дном, улучшить обзор зоны работ, а также выполнять операции с манипуляторами в режиме зависания ТНПА вблизи донной поверхности в случае большой крутизны склона и невозможности приземлить аппарат.

Работа с ТНПА требует тесного взаимодействия с экипажем судна-носителя. При перемещении аппарата к месту работы и одновременно к границам его рабочей зоны депрессор необходимо перемещать в сторону ТНПА, что требует передвижения судна. Кроме того, для исключения касаний дна депрессором и гибким кабелем депрессор нужно удерживать выше ТНПА на некотором расстоянии, которое определяется экспериментально в зависимости от рельефа дна. Для осуществления этих операций налажена связь с мостиком судна и оператором спускоподъемного устройства (лебедки), на котором находится жесткий кабель. В процессе управления перемещениями ТНПА вблизи донной поверхности с поста управления аппаратом даются необходимые команды экипажу судна-носителя для перемещения этого судна в заданном направлении на заданное расстояние, а также команды на подъем или опускание депрессора с помощью лебедки.

НИС «Академик М.А. Лаврентьев» имеет ограниченные средства позиционирования (главный двигатель и носовое подруливающее устройство), при этом многолетний опыт экспедиционных работ показал, что даже в условиях ограниченной маневренности таких судов все же возможно перемещение депрессора ТНПА с точностью, достаточной для выполнения исследовательских операций [4, 8]. Однако в условиях течений и при воздействиях сильного ветра даже под управлением опытного экипажа обеспечивающего судна без точной системы его динамического позиционирования могут возникать существенные трудности перемещения депрессора в направлении ТНПА. В указанной ситуации целесообразно задавать желаемые направление и скорость движения судна и перемещать ТНПА вслед за этим судном таким образом, чтобы он все время находился в передней полусфере своей рабочей зоны, т.е. перед депрессором. Такое взаиморасположение ТНПА и его депрессора дает возможность аппарату остановиться вблизи обнаруживаемых объектов и успевать выполнять заданные операции, не требуя моментальной остановки судна-носителя. Кроме того, при движениях вверх по склону указанное взаиморасположение позволяет избежать запутывания гибкого кабеля и соударений депрессора с дном.

После окончания подводных работ дается команда на всплытие ТНПА, лебедка поднимает депрессор,



Рис. 6. Подъем депрессора на палубу

наматывая жесткий кабель, при этом оператор регулирует скорость всплытия аппарата его вертикальными движителями. Начинается процедура остановки главного двигателя судна, чтобы при достижении депрессором глубины 80–100 м лопасти винта не вращались. После остановки двигателя депрессор поднимается на палубу (рис. 6), а ТНПА своим ходом перемещается в зону захвата судового крана, при этом на палубу выбирается слабина гибкого кабеля. При подходе к борту на ТНПА вешается замок-фиксатор, и аппарат поднимается на борт, спускоподъемная команда обеспечивает безопасный спуск на палубу.

Сразу после спуска на палубу проводится проверка работы ТНПА, затем раздается добытый научный материал, аппарат опресняется, раскрепляется, и судно готовится к переходу к новому месту работы.

4. Результаты экспедиционных исследований

Предложенные технологические решения были использованы в глубоководной научно-исследовательской экспедиции ННЦМБ ДВО РАН, при участии Института проблем морских технологий ДВО РАН, по исследованию подводных гор и гайотов Императорского хребта (северо-западная часть Тихого океана) на НИС «Академик М. Лаврентьев» (рейс № 86) в июле–августе 2019 г. Целью этой экспедиции являлось комплексное исследование экосистем океанических поднятий с помощью ТНПА «Comanche 18». В ходе 19 рабочих погружений

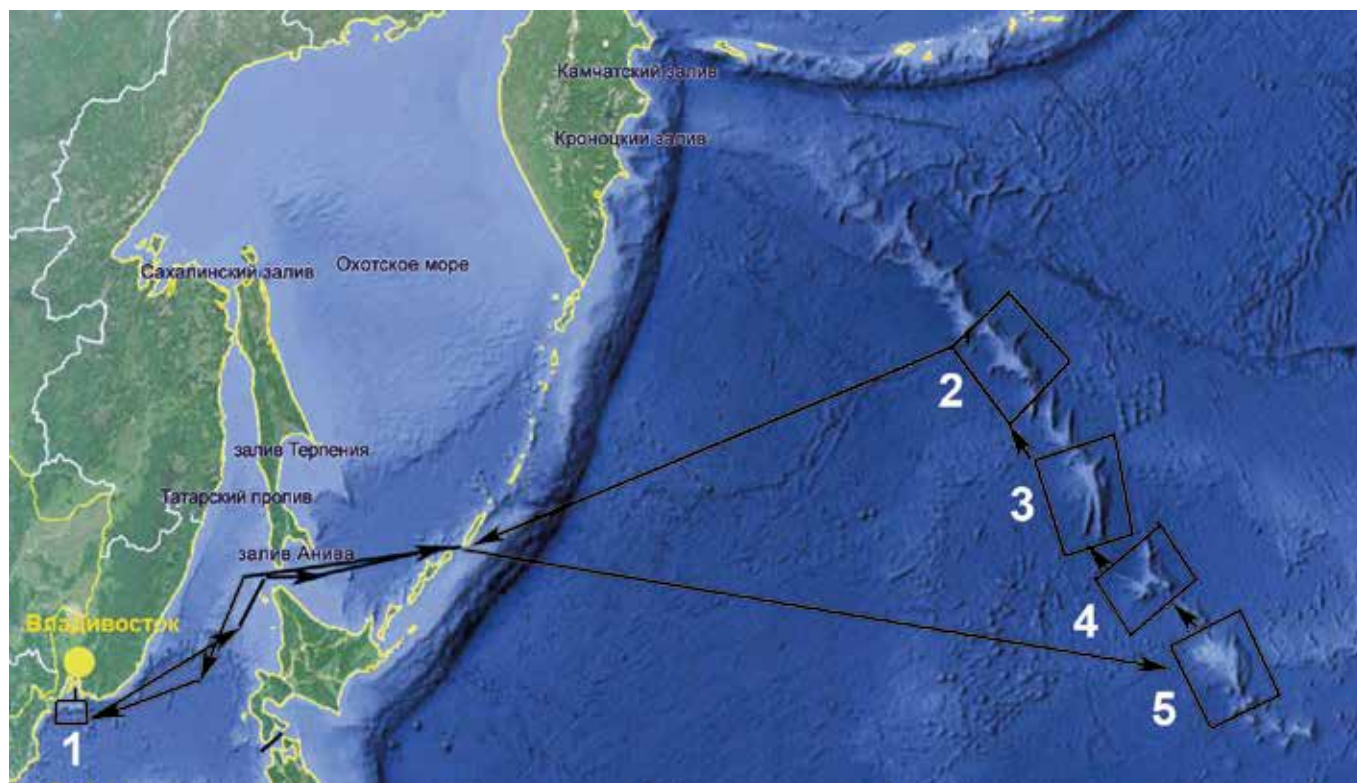


Рис. 7. Карта-схема движения судна и районов работ

аппарата впервые проведено комплексное исследование глубоководных экосистем подводных гор, распределение типичных подводных ландшафтов и ключевых обитателей уязвимых морских экосистем вершин и верхней части склонов подводных гор Коко, Джингу, Оджин и Нинтоку (рис. 7) в диапазоне глубин от 338 до 2182 м.

Главными методами исследования донной фауны в рейсе были сбор донных организмов и прямые визуальные наблюдения с помощью видеокамеры высокого разрешения ТНПА «Comanche 18», которые осуществлялись во всех погружениях непрерывно и документировались фотосъемкой и видеозаписью. Такой метод позволяет получить адекватную информацию о составе, распределении и поведении животных размерами более 1 см, а в особых случаях и 0,5 см. Сбор макробентоса производился манипулятором ТНПА (рис. 8, а), для сбора мейобентоса использованы металлические трубки (рис. 8, б).

Для измерения размеров животных в естественных условиях и оценки плотности их распределения использовалась лазерная шкала 10 см, образованная параллельными лучами двух лазеров, закрепленных на корпусе видеокамеры. Для проведения количественного учета объектов в ходе погружений делались видео-разрезы. Все видеоразрезы проводились при стандартных настройках видеокамеры при пря-

молинейном движении аппарата на минимальном расстоянии от дна с постоянной средней скоростью около 0,5 узла (0,25 м/с). В зависимости от обстановки, длина видеотрансект составляла от 50 до 400 м (в среднем около 200 м); ширина полосы обзора – от 1,3 до 2,6 м (в среднем 1,8 м).

Прицельный пробоотбор проводился с целью определения трофической специализации животных. Отобранные для трофоэкологических исследований материалы замораживали при $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы, предназначенные для молекулярно-биологических, гистологических, биохимических и других исследований, подготавливались и фиксировались по соответствующим методикам.

Кроме того, для выполнения геологических исследований на протяжении маршрутов движения

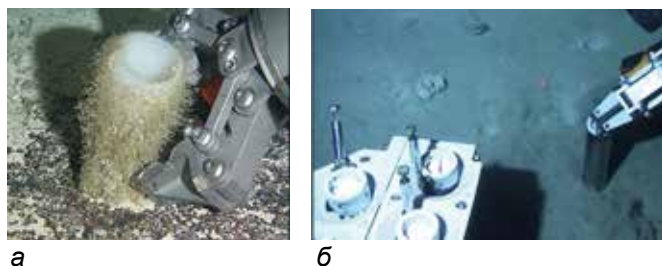


Рис. 8. а – сбор макробентоса; б – сбор мейобентоса

ТНПА выполнялось профилирование, съемка гидролокатором кругового обзора, а также отбор проб осадочных слоев грунта и геологических пород.

Разработанная система поддержки деятельности операторов использовалась в процессе всех погружений ТНПА, позволяя планировать маршруты, задавать целевые точки и указывать местоположения подводных объектов посредством ввода географических координат или с помощью отметок на загруженной карте зоны работ. Отобранные геологические образцы и морские организмы отмечались на карте работ нумерованными маркерами с текущими координатами и идентифицирующими подписями (см. рис. 4). При этом система добавляла в лог файл погружения запись, содержащую координаты объекта, его глубину, идентифицирующую подпись, а также время и дату, что упростило учет обнаруженных объектов. На основе навигационной информации разработанная система с помощью графического интерфейса отображала треки перемещений судна, ТНПА и его депрессора. Эти треки сохранялись в лог-файлы, формат которых позволил легко загружать их в различные программы для построения трехмерных поверхностей и рельефов. Возможность системы планировать маршруты перемещений с учетом изменяющейся рабочей зоны ТНПА и генерируемые предупреждения и рекомендации позволили повысить эффективность и безопасность выполнения поставленных задач в условиях сильных течений и сложного рельефа подводных гор.

Всего в процессе решения задач экспедиции ТНПА провел 52 ч вблизи дна при выполнении подводных работ. Получено 1789 высококачественных фотографий разрешением 5 Мп и 49 ч видеозаписей глубоководных экосистем в формате Full HD (см. рис. 5). С помощью установленных на ТНПА «Comanche 18» многозвенного манипулятора Schilling Orion 7P и специальных пробоотборников выполнено 158 станций для отбора бентосных организмов, донных осадков и образцов геологических пород, при этом было отобрано 679 отдельных проб животных. В ходе экспедиции было отобрано и законсервировано 253 пробы уникальных биобразцов, которые будут снабжены обширным информационным паспортом, размещенным на сайте «Морского биобанка» [16], и будут перспективным материалом для дальнейших исследований, а также качественным референсным материалом.

В результате применения ТНПА было впервые изучено биоразнообразие и распределение кораллов *Ostocorallia* и губок *Hexactinellidae*, значительно расширен список родов морских перьев *Pennatulacea*

Императорского хребта, сделаны уникальные и важные для биогеографии находки видов-индикаторов уязвимых морских экосистем.

Получены новые данные о биоразнообразии макробентоса исследованной группы подводных гор и гайотов. Впервые показано изменение фауны кораллов в широтном направлении в районе Императорского хребта [1]. Использование ТНПА не только обеспечило щадящий бесконтактный мониторинг донных сообществ, но и увеличило возможности целенаправленного сбора донных организмов. Необходимо отметить, что исследования показали как перспективность фаунистических и биогеографических исследований в данном районе, так и крайне малую степень его изученности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспедиционных работ, выполненных в 2019 г. в глубоководной научно-исследовательской экспедиции в Тихом океане на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», показали, что предложенная технология использования ТНПА рабочего класса «Comanche 18» позволяет этому аппарату успешно решать поставленные научно-исследовательские задачи обследования больших глубоководных полигонов. При этом на всем протяжении маршрутов движения аппарата в условиях сложного рельефа подводных гор и сильных придонных течений качественно выполнялись операции:

- видео- и фотосъемка;
- съемка гидролокатором кругового обзора;
- профилирование;
- отбор проб воды;
- отбор осадочных слоев грунта;
- отбор образцов геологических пород;
- отбор животных.

Выражаем благодарность капитану В.Б. Птушкину и экипажу НИС «Академик М.А. Лаврентьев» за высокопрофессиональное обеспечение глубоководных работ ТНПА. Благодарим коллектив отдела глубоководного оборудования ННЦМБ ДВО РАН за оснащение ТНПА «Comanche 18» устройствами для пробоотбора и успешное выполнение сложных подводных операций этим аппаратом. Также выражаем благодарность Н.Ю. Коноплину за программную реализацию системы поддержки деятельности операторов ТНПА.

Разработка и программная реализация системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА выполнены при финансовой поддержке

РНФ (проект №17-79-10064). Алгоритмы управления согласованными перемещениями ТНПА и депрессора разработаны при финансовой поддержке РФФИ (проекты 16-29-04195 оф м и 18-08-01204 а). Тестирование программного обеспечения системы выполнено при финансовой поддержке программы президиума РАН № 7 «Новые разработки в перспективных

направлениях энергетики, механики и робототехники». Экспериментальные исследования выполнены при финансовой поддержке программы «Дальний Восток» (грант 18-5-054). Экспедиция ННЦМБ ДВО РАН на борту НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (июль–август 2019 г.) профинансирована Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Даутова Т.Н., Галкин С.В., Табачник К.Р., Минин К.В., Киреев П.А., Московцева А.В., Адрианов А.В. Первые сведения о структуре уязвимых морских экосистем Императорского хребта – индикаторные таксоны, ландшафты, биогеография // Биология моря. 2019. № 6.
2. Дуленин А.А., Кудревский О.А. Использование легкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2019. № 48. С. 6–17.
3. Казанин А.Г., Казанин Г.С., Иванов Г.И., Саркисян М.В. Инновационные технологии при выполнении инженерно-геологических работ на арктическом шельфе России // Научн. журн. рос. газового общества. 2016. № 3. С. 13–18.
4. Галкин С.В., Виноградов Г.М. Видим дно! // Природа. 2019. № 6. С. 16–22.
5. Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря // Океанол. исследования. 2017. Т. 45, № 1. С. 171–186.
6. 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.
7. Костенко В.В., Ляхов Д.Г., Мокеева И.Г. К вопросу оценки эффективности использования телеуправляемых подводных аппаратов обследовательского класса // Материалы 4-й Всерос. науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения Мирового океана». 2011. Т. 4. С. 97–104.
8. 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.
9. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю., Коноплин Н.Ю. Подход к разработке информационно-управляющей системы для телеуправляемых подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 1 (23). С. 44–49.
10. Пат. РФ Устройство для сбора гидробионтов с помощью водного потока / Денисов В.А., Серин Ю.М.; № 88511; 20.11.2009, Бюл. № 32.
11. Вельтишев В., Кропотов А., Николаев Е., Чельшев В., Ходкин А. Информационно-управляющая система необитаемого подводного аппарата // Современные технологии автоматизации. 1997. № 2. С. 46–49.
12. Garcia J.C., Patrão B., Almeida L., Pérez J., Menezes P., Dias J., Sanz P.J. A Natural Interface for Remote Operation of Underwater Robots // IEEE Computer Graphics and Applications. 2017. Vol. 37. P. 34–43.
13. Filaretov V.F., Konoplin A.Yu., Konoplin N.Yu. Development of Intellectual Support System for ROV Operators // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272 (032101). DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032101.
14. Filaretov V., Konoplin A., Konoplin N. System for cooperative movements of ROV and its supporting vessel // Proc. of the 28th DAAAM Int. Symp. Zadar. Croatia, 2017. P. 513–516.
15. Коноплин А.Ю. Разработка алгоритмов управления перемещениями ТНПА и блоком-заглубителем // Сб. тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект». Железногорск, 2018. С. 44–49.
16. Морской биобанк. Ресурсная коллекция, центр коллективного использования. – URL: <http://marbank.dvo.ru> (дата обращения: 11.11.2019).

