

УДК 551.46.077

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

^{1,2}Римский-Корсаков Н.А., ¹Руссак Ю.С., ¹Тихонова Н.Ф.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Для геоморфологических исследований дна водоемов, а также техногенных и природных объектов на дне применяются гидроакустические средства, в том числе эхолоты и батиметрические гидролокаторы, с диапазоном дальности до 1000 м и с несущей частотой зондирующих сигналов от 50 до 500 кГц. Для изучения мелкоструктурной стратификации и обнаружения объектов в толще донных отложений используют ВЧ профилирующие акустические системы (донные профилографы) с глубиной проникновения зондирующих сигналов в грунт до 100 м и частотой заполнения импульсов 1–12 кГц. Для получения максимального эффекта применения перечисленной аппаратуры необходимо разработать методологию комплектации исследовательских программных аппаратных комплексов с использованием навигационных и гидролокационных, имеющих основное исследовательское и вспомогательное назначение. Для этого решается определенный набор методических и технических проблем. К этим проблемам следует отнести: а) селекцию гидроакустических устройств и приборов, имеющих необходимые рабочие параметры. Этот выбор зависит от цели конкретного исследования. Выбор необходим для построения структуры и обоснования состава и комплексов аппаратуры; б) выбирается способ и технические средства доставки аппаратуры в район нахождения объектов изучения. Это в первую очередь суда, катера и лодки, а также глубоководные автономные обитаемые и необитаемые аппараты, предназначенные для исследований в Мировом океане; в) важнейшей проблемой является навигационная привязка всей получаемой в ходе исследований информации к географическим координатам с точностью, требуемой при производстве данного вида работ, что позволяет по необходимости утилизировать обнаруженные исследуемые объекты либо в случае необходимости вести их долговременный мониторинг.

Ключевые слова: рельеф дна, донные отложения, подводный объект, эхолот, гидролокатор, профилограф, аппаратный комплекс

METHODOICAL BASES FOR SOFTWARE AND HARDWARE INSTRUMENT PACKAGES FORMATION FOR RESEARCH SONAR SURVEY

^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A., ¹Russak Yu.S., ¹Tikhonova N.F.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

To study the bottom relief morphology, as well as underwater natural and artificial objects, echo sounder and side-scan sonar are used, including bathymetric ones, with a range of up to 1000 m with an operating frequency 50 – 500 kHz. To study the bottom sediments fine structure and to detect objects in the sediment stratum, high-frequency acoustic profiling systems (sub bottom profilers) are used with a soft sediment penetration depth up to 100 m and an operating frequency 1-12 kHz. For effective use of the equipment listed above, it is required to develop a methodology for the development of research instrumentation and software packages which include basic and auxiliary sonar and navigational devices. So, it is necessary to solve a number of technical and methodological tasks. These tasks include, first, the choice of sonar type and its characteristics. This choice depends on the specific purpose of the study. Secondly, the choice of the means and method of instruments delivery to the object of investigation is made. Means and method are not only vessels, but also deep-sea vehicles while studies at maximum depths in the ocean. Thirdly, the task of binding the received information to geographic coordinates with the required accuracy should be solved, allowing, if necessary, to monitor or recover the detected objects.

Keywords: bottom relief, bottom sediments, underwater object, echo sounder, sonar, profiler, instrument package

Программно-аппаратные комплексы для обследования объектов и исследования дна акваторий методами гидроакустики формируются из гидроакустических и навигационных приборов и оборудования, основного и вспомогательного. При этом учитываются основные задачи исследования, а также свойства, параметры и характеристики собственно объекта исследований и окружающей его природной среды. Условия проведения исследований определяются

и формулируются также на основе знания этой же информации об объектах и районах работ. Сказанное иллюстрируется схемой на рисунке.

Условия проведения исследований, а также состав аппаратного комплекса в свою очередь являются исходными данными для планирования хода исследований и определения основных параметров процесса.

Содержание задач исследования природных и техногенных подводных объектов

неразрывно связано с типом исследуемого объекта. В то же время типичным объектам поиска и исследований в общем случае присущи определенные районы возможного нахождения.

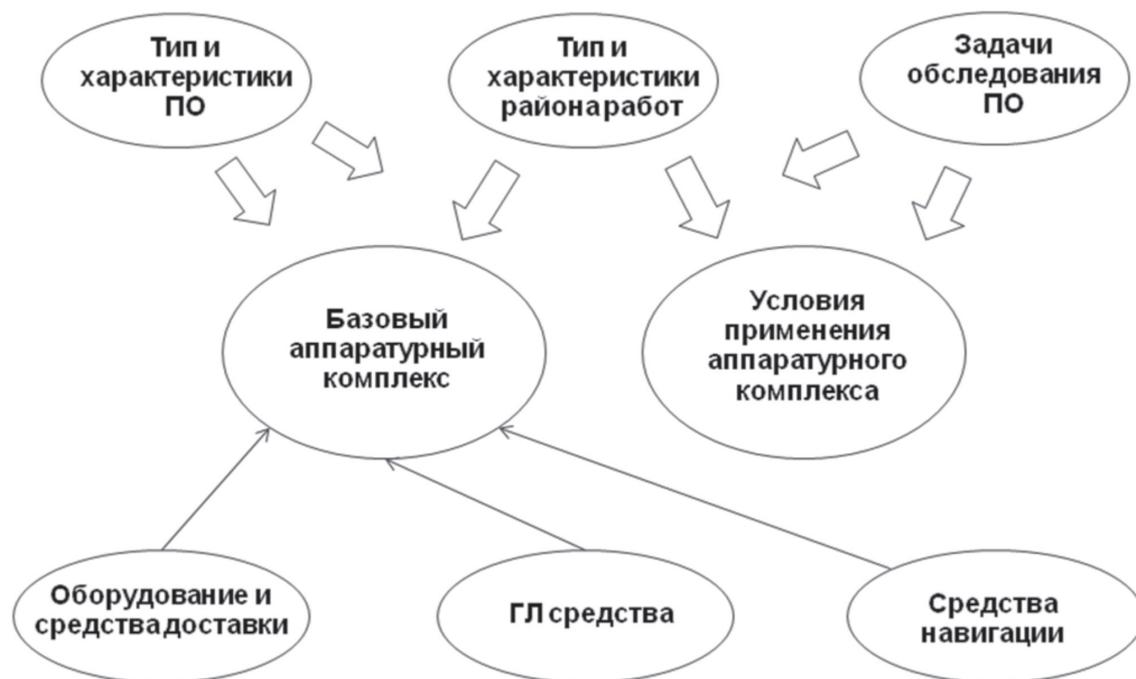
При обследовании разнообразных объектов в условиях различных акваторий решаются следующие основные задачи:

- картирование морфологии рельефа и геологических структур морского дна;
- промер и картирование глубин, а также толщи донных отложений;
- поиск объектов на дне и в координатах;
- определение координат местоположения элементов и частей подводных объектов;
- определение состояния подводных частей объектов и сооружений (глубина в грунте, целостность, отклонение формы от проектной, габариты, ориентация, выделение газов и жидкостей).

Под картированием морфологии рельефа и донных структур подразумевается съемка поверхности дна панорамными гидроакустическими приборами (ГБО) и использование получаемых изображений дна (фрагменты записей и монтажи сонограмм) для плановой фиксации координат элементов рельефа, объектов природы (совокупность мезо- и микро-форм) по признакам их происхождения, определение размеров в плане и высот относительно друг друга. В результате таких гидроакустических

плановых съемок составляются схемы, планы и карты расположения объектов на исследуемых поверхностях дна и трассах предполагаемых контактных исследований и строительства подводных коммуникаций. Такие схемы, карты и планы сопровождаются легендами и пояснениями, где указываются названия элементов объектов и их параметры.

Под плановой привязкой глубин или промером глубин подразумевается измерение глубины места с помощью эхолота (также съемка с помощью фазовых или интерферометрических гидролокаторов) участка дна. В результате промера строится карта глубин либо батиметрический план, а также строятся профили поверхности дна вдоль актуальных направлений, представляющих интерес для геологов, геоморфологов и проектантов подводных сооружений. Измерение глубин вдоль трасс предполагаемой прокладки подводных коммуникаций (профиль) требует построения разреза поверхности дна. При этом длина маршрута съемки откладывается вдоль оси X. Эти данные дополняются планами и картами с нанесенными маршрутами съемки, а также другой информацией, отражающей обеспеченность результатов съемки данными измерения глубин и подтверждающими качество и достоверность съемки.



Структура процесса построения программно-аппаратных средств, предназначенных для подводных исследований явлений и природы объектов на дне Мирового океана

Картирование осадочного покрова представляет собой процесс измерения толщины слоя рыхлых отложений с привязкой полученных данных к географическим координатам. Под измерением мощности подразумевается зондирование осадочного слоя с помощью придонного профилографа и построение разрезов осадков. С использованием этой информации строятся профили верхних отложений дна, представляющие особый интерес. Также строятся схемы залегания осадочных тел.

Операции поиска подводных объектов включают: а) собственно поиск и определение координат неизвестных объектов в районе исследований; б) подтверждение наличия в районе поиска известных объектов и уточнение координат места их нахождения. Поиск объектов на поверхности дна ведется с помощью гидролокаторов бокового обзора (ГБО). Поиск объектов в толще осадочных отложений ведется с помощью акустических профилографов. В качестве поискового средства может использоваться эхолот (ЭХ). В ходе съемки ведется постоянный сбор навигационной информации о маршруте движения обеспечивающего судна, что позволяет привязать всю получаемую информацию о подводных объектах к географическим координатам. При изысканиях на трассах предполагаемой прокладки подводных коммуникаций возникает задача поиска и фиксации местоположения объектов, представляющих опасность для проведения работ по строительству подводных коммуникация (кабели, трубопроводы).

Определение состояния объекта включает исследование объекта высокоразрешающими гидролокационными средствами (ГБО, АП и ЭХ), что позволяет

- а) идентифицировать объект;
- б) определить его целостность;
- в) зафиксировать ориентацию объекта в пространстве и тенденции ее изменения;
- г) определить относительное и абсолютное местоположение элементов объекта в пространстве и его конфигурацию;
- д) определить величину заглубления объекта и его элементов в донный грунт;
- е) зафиксировать и оценить интенсивность разгрузки газов и флюидов из объекта и на прилегающих участках дна.

По результатам обследования составляются планы, схемы и разрезы, на которых отражаются результаты исследования подводного объекта или участка донного грунта.

Очевидно, что вид гидроакустической аппаратуры определяется перечисленными задачами, которые должны быть решены при обследовании подводных объектов. Ха-

рактеристики же и параметры аппаратуры определяются типом исследуемых объектов и характеристикой района работ [1–3]. Исследования с использованием гидроакустических методов выполняются следующими средствами:

а) ГБОДД – гидролокатор бокового обзора с большой дальностью действия – 20 км на борт – (рабочая частота 5–30 кГц). ГБОДД используются для геоморфологических исследований генерального рельефа дна Мирового океана (материковый склон, каньоны, подводные горы, гайоты). Такой гидролокатор включает подводный носитель (торпеду) длиной 10 м, который буксируется судном носителем в океане на небольшой глубине (ниже термоклина) и ведет съемку (получает гидролокационные изображения) поверхности дна в полосе 40 км;

б) ГБОСД – гидролокатор бокового обзора средней дальности (дальность до 2 км, рабочая частота 50–100 кГц). ГБОСД – наиболее часто используемый тип гидролокаторов, которые используются для исследования, картирования и поиска мезомасштабных объектов. Это техногенные объекты: ПШОО, затонувшие суда, кабели, трубопроводы, подводные части морских и причальных сооружений и т.п., а также формы рельефа: песчаные полосы и волны, гравийные полосы, морены, гряды, выходы коренных пород и др. ГБОСД используются повсюду на мелководье и до границ шельфа. С их помощью картируются береговые линии в море и на реках в условиях когда плавсредство не может приблизиться к берегу;

в) ГБОВЧ – высокочастотные (рабочая частота 200–500 кГц) гидролокаторы с дальностью действия до 200 м. ГБОВЧ применяются во внутренних водоемах и на морском мелководье. ГБОВЧ имеют небольшую дальность действия. Внутренние водоемы характеризуются малыми глубинами, с одной стороны, а с другой стороны для гидролокатора бокового обзора отношение диапазона дальности к величине высоты над дном не должно превышать 10:1. Поэтому применение ГБОВЧ во внутренних водоемах целесообразно. Объекты поиска на мелководье, в том числе ПШОО и элементы инженерных сооружений, имеют небольшие размеры, а дно сложено мелкими постоянно меняющимися формами рельефа. Крупные формы уничтожаются абразией. Детальное исследование таких подводных объектов ведется с помощью высокоразрешающей аппаратуры – ГБОВЧ;

г) АП – акустические профилографы (рабочая частота 3–10 кГц) – системы с глубиной зондирования верхней толщи водонасыщенных осадков до 100 м. АП приме-

няются для измерения мощности донных осадков, покрывающих техногенные объекты, при поиске последних и их плановых исследованиях. В том случае, когда задачей зондирования являются инженерно-геологические изыскания перед строительством и проектированием инженерных сооружений, с помощью АП ведется профилирование кровли подстилающих коренных твердых пород. Акустическое зондирование эффективным и производительным способом исследования структуры и стратификации верхней водонасыщенной толщи донных отложений, и следовательно, важным инструментом познания современных процессов седиментации в океане, на шельфе и во внутренних водоемах;

д) ЭХ – высокочастотные эхолоты (рабочая частота 70–500 кГц). ЭХ применяются для получения профилей подводных объектов и промера глубин участков дна прилегающих к ним акваторий. ЭХ используются для проведения всех типов гидрографических работ, которые обеспечивают безопасность судовождения, а также для проведения инженерно-геологических изысканий и мониторинга подводных потенциально опасных объектов.

Способ и средства доставки гидроакустических приборов (датчиков, антенн) к объекту исследования являются важной частью технологий исследования подводных объектов, в том числе потенциально опасных, а также природных объектов и ландшафтов. НИС – научно-исследовательское судно – является основным средством доставки наряду с прочими плавсредствами (ПС) – катерами, лодками и т.п. НИС – это судно, подотчетное Морскому регистру. НИС имеет штатное навигационное оборудование, штатные спуско-подъемные устройства, гидрографические промерные эхолоты, лабораторные помещения, а также бортовую электросеть ~220 В 50 Гц. НИС может вести круглосуточные работы в море в течение 3–7 суток без захода в порт и без пополнения запасов воды, топлива и продовольствия. Плавсредство (ПС), как правило, не имеет штатного оборудования, лабораторных помещений и стационарных источников (бортовой сети) электропитания ~220 В 50 Гц.

Доставка гидролокационной аппаратуры к объекту исследования может осуществляться с помощью подводных аппаратов (ПА). ПА бывают обитаемые (ПОА) и необитаемые (НПА). Необитаемые ПА подразделяются, в свою очередь, на необитаемые буксируемые (БНПА), необитаемые автономные (АНПА или AUV), а также телеуправляемые необитаемые (ТНПА или

ROV). ПА применяются для обследования подводных объектов в глубоководных районах Мирового океана. На шельфе и мелководье для доставки антенн используются антенные буксируемые модули (АМБ). Использование АМБ вместо жесткого крепления антенн к борту судна позволяет заметно улучшить качество информации, получаемой с помощью гидролокационной аппаратуры, за счет компенсации влияния качки судна. Когда длина буксирной кабельной линии высокочастотных ГБО составляет более 100 м (шельф глубиной более 30–40 м), АМБ снабжаются предусилителем сигналов для компенсации затухания последних в буксирном кабеле и повышения отношения сигнал/помеха на входе приемного усилителя судовой электронной аппаратуры. Антенные модули с жестким креплением к борту (носовой части) плавсредства используются в случаях, когда волнение поверхности моря либо водоема незначительно.

Надо отметить, что антенна акустического профилографа может также крепиться жестко к борту судна при работах на шельфе и мелководье в условиях волнения поверхности моря до 3–4 баллов в силу того, что она имеет сравнительно широкую характеристику направленности. Это касается также значительного числа навигационных эхолотов. Формула из работы [4] $\alpha/2 = \psi \cdot \sin(\omega t) = \psi \cdot \sin(4\pi \cdot H/T \cdot c)$, связывает возможность использования гидроакустического прибора с заданным раскрытием характеристики направленности антенны прибора в условиях качки. Здесь α – угол раскрытия основного лепестка характеристики направленности прибора (акустического профилографа эхолота, гидролокатора) по уровню давления 0,7; T – период качки судна, ψ – амплитуда качки плавсредства (судна, носителя антенн); H – дальность действия (максимальная глубина) прибора, ω – угловая скорость качки судна; $t = (2H/c)$ – период излучения прибором зондирующих сигналов, c – скорость звука в воде. Таким образом, при разработке технологии исследования подводных природных и техногенных объектов, а также подводных частей морских сооружений с помощью гидроакустических приборов можно правильно выбрать плавсредство и параметры требуемого оборудования.

Для привязки информации, получаемой с помощью гидроакустических средств, к географическим и местным координатам используются навигационные комплексы. Эти же комплексы используются для проводки судов и плавсредств по запланированному маршруту на полигонах и разре-

зах. Навигационные комплексы включают определенный набор датчиков и приборов. На глубоководных полигонах привязка результатов работ и маршрутов ведется с помощью космических навигационных систем (КНС) и гидроакустических навигационных систем (ГАНС). С помощью КНС (GPS, ГЛОНАСС) либо дифференциальных КНС (DGPS, ДГЛОНАСС) определяется местоположение судна. При этом максимальная точность определения координат составляет 16,5 и 0,3 м [5]. Местоположение носителя гидролокационного прибора (подводного аппарата) может быть определено с помощью ГАНС с длинной базой (ГАНСДБ) в системе местных координат, которая связана с маяками-ответчиками, установленными на дне в районе полигона. На глубине 5–6 тыс. м погрешность определения может составить 10 м [6]. В 2004 году Институт океанологии (ИО РАН) выполнял работы по обследованию участка дна под установку плавучей буровой платформы в центральной части Каспийского моря. Гидролокационная съемка при этом обеспечивалась с помощью ГАНС ДБ разработки ОКБ океанологической техники РАН. Глубина места в районе работ составляла 500. Оценка точности привязки результатов исследований показала, что она составила 5 м.

При проведении исследований на протяженных шельфовых и глубоководных трассах, весьма эффективно применять ГАНС, работающие по схеме «ультракороткая база» – ГАНС УКБ. ГАНС УКБ не требует постановок на дно маяков-ответчиков. Очевидно, что навигационное обеспечение работ при этом непрерывно и не требует организации отдельных полигонов, размерами соответствующих дальности действия МО (маяков-ответчиков). Принцип действия ГАНС УКБ основан на том, что угол прихода (пеленг) сигнала маяка-ответчика, установленного на подводном аппарате, определяется по разности фаз сигналов, принимаемых отдельными элементами судовой антенны ГАНС УКБ. Погрешность определения относительного положения подводного аппарата относительно плавсредства с помощью ГАНСУКБ составляет 1–2% от дистанции. Основные погрешности определения координат подводного аппарата с помощью ГАНС УКБ связаны с точностью определения углов ориентации в пространстве приемной судовой антенны ГАНС УКБ. Для определения положения антенны в пространстве применяют лазерные гироскопы [7], которые обеспечивают погрешность измерения углов – 0,1°.

Во внутренних водоемах и на мелководье навигационное позиционирование

плавсредств осуществляется с использованием КНС (GPS и ГЛОНАСС). В этой ситуации положение акустической антенны (носителя антенн) гидролокационного прибора практически совпадает с местом установки антенны КНС или настолько мало, что может быть учтено введением постоянной поправки. Если антенна гидролокационного прибора жестко крепится к корпусу (борту) плавсредства, то, как правило, ее место установки по вертикали стараются совместить с местом установки антенны КНС. Работы, связанные с инженерными исследованиями состояния подводных частей объектов, а также мониторинг объектов и процессов природного происхождения (осадконакопление, скорость абразии и др.) предусматривают высокую субметровую точность измерений, которая принята строгостью геодезической привязки используются локальные дифференциальные GPS системы. При этом используется локальная базовая станция «reference station», которая генерирует так называемые дифференциальные поправки. Станция самостоятельно с высокой точностью привязывается вначале к географическим координатам путем накопления и статистической обработки спутниковых данных о своем местоположении либо устанавливается в точке репера геодезической сети с известными координатами и высотой в Балтийской системе (Россия). Существует также класс высокоточных геодезических приемников КНС типа С-Nav. Такие приемники используют поправки спутниковые поправочные данные и обеспечивают точность привязки в режиме движения 30 см.

Анализ перечисленных задач подводных исследований, элементов подводных гидролокационных устройств, целей и задач исследований подводных объектов естественного и искусственного происхождения позволяет оформить структуру четырех типов комплексов аппаратуры для гидролокационных исследований морфологии дна акваторий различных типов, а также разнообразных техногенных и природных объектов, в том числе потенциально опасных.

Аппаратурный комплекс для исследования объектов во внутренних водоемах и на мелководье в море. Такой комплекс включает:

- высокочастотный гидролокатор бокового обзора с модулем антенн, жестко закрепленным на корпусе плавсредства (в носу, либо к борту) на магнитах или штанге;
- акустический профилограф с судовой антенной;
- эхолот с судовой антенной;

– приемник КНС, с дифференциальным режимом работы, в том числе локальной, региональной или космической системой получения поправок;

– антенна приемника КНС, закрепленная по вертикали соосно с антеннами гидроакустических приборов;

– программно-аппаратный комплекс сбора и обработки информации на базе компьютера типа ноутбук.

Шельфовый комплекс аппаратуры в составе:

– ВЧ и (или) СЧ ГБО с антенным модулем, буксируемым на кабель-тросе и оснащенным предусилителем сигналов;

– акустический профилограф с буксируемой антенной;

– ЭХ со штатно врезанной в днище судна антенной или антенной, жестко закрепленной на штанге к борту судна;

– дифференциальный приемник КНС, использующий поправки, поступающие от региональных стационарных станций поправок;

– программно-аппаратный комплекс сбора, отображения и обработки информации на базе компьютеров типа ноутбук; при этом могут использоваться графические самописцы для получения в режиме онлайн твердых копий гидролокационных изображений.

Глубоководный гидролокационный комплекс для детальных исследований морфологии рельефа и поиска подводных объектов в Мировом океане, который включает:

– гидролокатор бокового обзора средней дальности или (и) ВЧ ГБО;

– акустический профилограф;

– ЭХ;

– глубоководный буксируемый обитаемый подводный аппарат (БНПА) – носитель аппаратной части и антенн гидроакустических систем, системы электропитания и энергопередачи, систем телеуправления и телеметрии (ТУ/ТМ), а также систем сбора данных на борту аппарата;

– ГАНС ДБ, КБ или УКБ;

– приемник КНС;

– спуско-подъемный буксировочный комплекс, включающий кабельную транзитную лебедку или лебедку с тянущей вьюшкой, а также СПУ (кран, А-, П-раму, или портал) со специальным буксировочным устройством, обеспечивающим безопасный сход кабель-троса с СПУ и предотвращающим его касание корпуса судна на разворотах;

– система датчиков, позволяющих измерять углы схода кабель-троса с буксировочного устройства (в простейшем случае – канифас-блок);

– программно-аппаратный комплекс сбора, отображения и обработки информации (навигационной, гидролокационной, магнитометрической, видео) на базе нескольких компьютеров; при этом могут использоваться графические самописцы для получения в режиме онлайн твердых копий гидролокационных изображений.

Аппаратурный комплекс для исследования генеральных ландшафтов провинций Мирового океана и наиболее крупных природных объектов и форм рельефа, который включает:

– гидролокатор бокового обзора большой дальности действия (ГБОДД), работающий на низких частотах;

– КНС;

– автономную бортовую навигационную систему (инерциальную), для измерения параметров движения и ориентации носителя ГБОДД в пространстве и коррекции направленности акустической антенны;

– ГАНС с УКБ для регистрации пройденного пути и высокоточной привязки гидролокационной информации к географическим координатам;

– программно-аппаратный комплекс сбора, отображения и обработки информации (навигационной, гидролокационной) на базе нескольких компьютеров; при этом могут использоваться графические самописцы.

При формировании комплексов используются геологические, батиметрические (интерферометрические и фазовые) ГБО, а также ГБО с синтезированной апертурой и ГБО, использующие в качестве зондирующих посылок сложные (частотно- и фазовомодулированные) сигналы; параметрические акустические профилографы и профилографы, использующие chirp-технологии; эхолоты различных модификаций, в том числе многолучевые и сканирующие решетки – звуковизоры. Конкретизация требований к аппаратурному комплексу осуществляется на начальном этапе организации натурных исследований участком морского дна.

Таким образом, используя основные и вспомогательные, гидролокационные и морские навигационные технические средства, учитывая характер типичных подводных объектов, мест их возможного нахождения и круга решаемых в ходе исследования задач, можно сформировать базовый набор из четырех типов гидролокационных комплексов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект Pgo_a №17-05-41041).

Список литературы

1. Шавырин И.А., Трусилов В.Т. Перспективы развития отечественной гидроакустической техники для оснащения буксируемых, телеуправляемых и автономных подводных аппаратов разработки ООО «Экран» // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XV Всерос. научно-технической конференции. – Москва, 2017. – Т. 1. – С. 217–218.
2. Суконкин С.Я. Технические средства для фундаментальных исследований Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – С. 104–117.
3. Римский-Корсаков Н.А. Технология исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами: дис. ... док. техн. наук (25.00.28) / Римский-Корсаков Николай Андреевич; Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН. – Москва, 2011. – 262 с.
4. Судовые эхолоты / Хребтов А.А. [и др.]. – Л.: Судостроение, 1982. – 232 с.
5. Суворов Е.Ф. Летопись зарождения, развития и первых шагов реализации идеи отечественной спутниковой системы. – М.: Кучково поле, 2014. – 232 с.
6. Римский-Корсаков Н.А. Определение координат подводных природных объектов методом гидролокации бокового обзора // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 12–1. – С. 148–153.
7. Ароновиц Ф.В. Лазерные гироскопы // В сб.: Применение лазеров, пер. с англ. под ред. В.П. Тычинского. – М.: «Мир», 1974. – С. 182–269.