

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П.ШИРШОВА РАН



**Римский-Корсаков Николай Андреевич**

**ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДНА АКВАТОРИЙ И ПОДВОДНЫХ  
ОБЪЕКТОВ ГИДРОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

Специальность  
25.00.28  
Океанология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва - 2011

21 АБР 2011

Работа выполнялась в Учреждении Российской Академии наук «Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН»

**Официальные оппоненты:**

Доктор технических наук,  
**Владлен Иосифович Каевицер**  
Фрязинский Филиал Учреждения Российской академии наук  
Институт радиотехники и электроники им В.А.Котельникова  
РАН (г.Фрязино, Московская область).

Доктор географических наук, профессор  
**Евгений Иванович Игнатов**  
Московский государственный университет им М.В.Ломоносо  
Географический факультет, Кафедра геоморфологии и  
палеогеографии (г.Москва).

Доктор технических наук,  
**Алексей Витальевич Богородский**  
Открытое акционерное общество «Концерн Океанприбор»,  
(г.Санкт-Петербург).

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт по  
проблемам гражданской обороны и чрезвычайных  
ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и  
высоких технологий), (г.Москва).

Защита состоится « 20 » мая 2011 г. в 14:00 часов

На заседании Диссертационного совета Д.002.239.03 по специальности «океанология» при  
Учреждении Российской Академии наук «Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН» по  
адресу 117997, Москва, Нахимовский проспект, 36, большой зал конференций

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской Академии наук  
«Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН»

Автореферат разослан « 05 » апреля 2011 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета

кандидат биологических наук, доцент



Т.А.Хусид

## **Общая характеристика работы.**

### **Актуальность проблемы.**

Все природные и антропогенные процессы, происходящие в океане, в прибрежных областях суши, в толще вод, в глубинах Земли отражаются в рельефе дна акваторий.

Кроме того, антропогенные воздействия, такие как добыча полезных ископаемых, сброс сточных вод, строительство морских сооружений и т.д., имеющие место в придонном слое акваторий, так или иначе, определяют морфологию поверхности дна либо характер ее изменения во времени.

К актуальным задачам исследования акваторий следует отнести картирование и количественную оценку форм рельефа дна океана, шельфа и внутренних водоемов, а также обследование и мониторинг состояния подводных объектов - потенциальных источников загрязнений акваторий и создания угрозы жизни населению.

Наиболее эффективными средствами исследования морфологии дна акваторий и дистанционного мониторинга подводных объектов являются средства, реализующие метод гидролокации: системы бокового обзора, акустического профилирования и эхолотирования. Производительность таких систем достигает 15000 кв.км/сутки, ширина полосы обследуемой поверхности дна - 40км, размеры регистрируемых неоднородностей - от долей метра до нескольких километров. Рабочая глубина применения таких средств - от нескольких метров до максимальных глубин в океане.

Первоначально метод гидролокации бокового обзора (ГБО) разрабатывался для поиска затонувших военных объектов. Впоследствии локация донной поверхности позволила получить уникальные данные о морфологии ряда интереснейших геологических провинций: рифтовые зоны, подводные горы, абиссальные равнины, поля железно-марганцевых конкреций и т.п. С помощью ГБО были найдены исторические подводные объекты: «Титаник», «Бисмарк» и др., обследованы многочисленные районы дна, представляющие археологический интерес. Для России огромный практический интерес имеет развитие метода гидролокации для мониторинга подводных продуктопроводов, проходящих по дну крупных рек и окраинных морей, плотин ГЭС, дамб, затонувших судов-носителей токсичных веществ и нефтепродуктов и т.п.

Наиболее крупный блок задач исследования дна акваторий носит мезо-масштабный характер. Это подводные объекты и формы рельефа с горизонтальными размерами от единиц до сотен метров, а также тонкая структура первых десятков метров осадочной толщи. К этому классу объектов можно отнести все затопленные объекты и результаты антропогенных

воздействий, инженерные гидротехнические сооружения, трубопроводы и навигационные опасности.

Для исследования мезорельефа дна и мезо-масштабных подводных объектов, используются эхолоты и гидролокаторы бокового обзора, в том числе батиметрические, с рабочей частотой от 50 до 500кГц. Для исследования объектов в толще донных осадков и изучения их тонкой структуры применяются высокочастотные акустические профилографы с рабочей частотой 1 – 12 кГц.

Удельный вес и практическая значимость работ по исследованию дна акваторий, обследованию гидротехнических сооружений, трубопроводов и других подводных объектов, особенно на морском шельфе и во внутренних водоемах, постоянно возрастает, в том числе в связи с морской добычей углеводородов, необходимостью предупреждения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и мониторингом экологической обстановки.

В то же время остается недостаточно обобщенным имеющийся опыт использования гидролокационных средств с исследовательскими целями и слабо разработана методическая основа таких исследований. Ограниченное число публикаций, касающихся этих вопросов, посвящено в основном результатами конкретных исследований и конструированию приборов.

Таким образом, актуальны исследования, разработки и обоснования технологии изучения дна акваторий и разнообразных подводных объектов, в том числе потенциально опасных, методом гидролокации в океане, на шельфе и во внутренних водоемах с целью повышения эффективности подводных исследований, а также предупреждения чрезвычайных ситуаций и мониторинга экологической обстановки. При этом под технологией понимается совокупность аппаратно-программных комплексов, а также научно обоснованная методика их формирования и использования для исследований, включающих картирование рельефа, объектов, их фрагментов, изучение морфологии, регистрацию конфигураций и размеров форм рельефа и объектов, а также фактов и тенденций их изменения. Под гидролокационными методами, в основном, понимается гидролокация бокового обзора на средних для этого метода частотах, высокочастотное акустическое профилирование и эхолотирование.

#### **Цель и задачи работы.**

Целью настоящей работы является создание высокоэффективной технологии широкого спектра применения для исследования дна и подводных объектов гидролокационными методами в различных условиях и акваториях.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе требовалось решить следующие задачи:

1. Исследовать структуру и состав технологии изучения дна акваторий и подводных объектов с помощью гидролокационных средств.
2. Провести анализ существующих основных и вспомогательных технических средств исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами.
3. Определить основные требования к построению технологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами.
4. Провести анализ существующих средств навигационной привязки местоположения плавсредств и объектов на акваториях.
5. Разработать и теоретически обосновать методику координатно-временной привязки результатов исследований дна акваторий и подводных объектов, с использованием гидролокационных средств.
6. Разработать методические основы формирования исследовательских аппаратурно-программных комплексов на базе основных и вспомогательных, гидролокационных и навигационных технических средств исследования дна акваторий и подводных объектов.
7. Разработать научно обоснованную методику использования аппаратурно-программных гидролокационных комплексов для исследований дна акваторий и подводных объектов и определить основные параметры и режимы процесса исследований.
8. Разработать основные принципы построения системы сбора и обработки получаемой информации и представления ее в виде, удобном для анализа специалистами.
9. Создать образцы исследовательских аппаратурно-программных комплексов для проведения натурных испытаний и практических исследований на акваториях.
10. Внедрить разработанную технологию при проведении всего спектра работ по исследованию дна и подводных объектов различных акваторий в океане, на шельфе и во внутренних водоемах.

В процессе решения отмеченных задач автором использовались методы анализа и синтеза технологий научных исследований с использованием гидролокационных средств на основе:

1. Теории гидролокации.
2. Теории интегральных навигационных систем.
3. Теории получения, обработки, а также интерпретации гидролокационной информации и ее хранения.
4. Положений механики буксируемых систем на океанских глубинах, мелководье и в речных условиях.

## 5. Теории геологического строения океанского дна, шельфовой зоны и русел крупных речных систем.

Все теоретические положения тщательно проверялись экспериментально на созданных под руководством и при участии автора образцах гидролокационных систем и методиках их применения в многочисленных океанских и региональных экспедициях.

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Разработаны основные требования к построению технологий исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами на основе сравнительного анализа технических средств подводных исследований.
2. Разработан, теоретически обоснован и реализован на практике метод координатно-временной привязки результатов исследований дна акваторий и подводных объектов, получаемых гидролокационными методами.
3. Разработаны методические основы формирования исследовательских аппаратурно-программных комплексов для изучения широкого спектра подводных объектов и дна акваторий гидролокационными методами.
4. Разработана научно обоснованная методика применения аппаратурно-программных гидролокационных комплексов для исследования дна акваторий и подводных объектов, сбора, обработки данных, и представления результатов.
5. Созданы образцы исследовательских аппаратурно-программных гидролокационных комплексов.
6. Разработанная технология в целом внедрена при решении всего спектра задач исследований подводных объектов и дна акваторий при выполнении работ, в том числе разнообразных контрактов, в океане, на шельфе и во внутренних водоемах.

### **Научная новизна работы.**

Новизна диссертационной работы состоит в научном обобщении опыта, а также разработке и теоретическом обосновании технологии исследования дна и подводных объектов гидролокационными методами, широкого спектра применения, которая включает формирование исследовательских аппаратурных комплексов и организацию процесса их использования, а также процесса сбора, обработки и отображения информации в виде, удобном для анализа специалистами.

Разработана и внедрена система сбора и обработки исследовательской информации о дне водоемов и подводных объектах, полученной гидролокационными методами, которая основана на максимальном сокращении и упрощении специализированного оригинального

оборудования и программного обеспечения. Такой подход делает процесс обработки более гибким, позволяет не ограничиваться опциями, заложенными разработчиками специального программного обеспечения с одной стороны, а с другой стороны дает возможность специалистам исследователям совершенствовать пути использования и представления информации самостоятельно.

Разработана и внедрена методика составления геоморфологических схем на основе данных гидролокационной съемки, вначале вручную, а впоследствии и с использованием ПЭВМ, специализированных и стандартных пакетов программ.

В работе предложен эффективный метод расчета местоположения глубоководного буксируемого носителя гидролокационной аппаратуры, основанный на знании параметров состояния буксирной линии, а также метод расчета временного графика безопасного разворота плавсредства с носителем, буксируемым на длинном кабель-тросе.

#### **Обоснованность научных результатов, положений и выводов.**

Достоверность научных результатов, положений и выводов обоснована использованием апробированных научных методов, проведением натурных испытаний, а также результатами внедрения разработанных технологий в ходе комплексных экспериментальных и плановых работ по исследованию подводных объектов и дна акваторий.

В диссертации разработана технология работ по исследованию всех основных видов подводных объектов, масштабом начиная от генеральных форм рельефа океанского дна – подводных гор - и заканчивая мезо и микроформами руслового рельефа – песчаными грядами и рифелями, а также техногенных объектов, таких как затонувшие суда и подводные лодки, контейнеры с отходами, подводные кабели и продуктопроводы, гидротехнические сооружения, дамбы и плотины ГЭС, подводные части транспортных и судостроительных сооружений.

В ходе разработки технологии предусмотрены, а при испытаниях и внедрении решены все возможные задачи исследований, такие как картирование поверхности дна по морфологическим признакам, поиск конкретных объектов по предварительно известным данным, поиск и площадное картирование разнородных объектов на обширных акваториях и трассах, уточнение местоположения подводных объектов, определение конфигурации и положения объектов на дне или контроль их состояния.

Эти исследования в соответствии с разработкой проводились в разнообразных условиях, таких как глубоководные районы океана с глубинами до 6000м, районы континентального склона океана и внутренних морей, шельф и морское мелководье, а также

внутренние водосемы начиная от озера Байкал и Великих Сибирских рек и заканчивая небольшими протоками в дельте Волги шириной менее 10 метров.

Таким образом, разработанная технология исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами обоснована для всего диапазона подводных объектов, районов и решаемых задач. Полученные экспериментальные материалы характеризуются высоким разрешением и навигационной достоверностью.

#### **Личный вклад автора.**

Личный вклад автора состоит в определении и постановке проблемы исследований, теоретической и экспериментальной разработке конструкторских и методических решений технологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами широкого спектра применения, а также в создании на основе разработанных решений и внедрении в практику морских исследований серии образцов буксируемых и бортовых гидролокационных систем «Звук», «Микросанд», «Мезоскан», «МКС», «АП-5» и других однотипных с ними систем.

В личном планировании, организации, проведении и руководстве многочисленными прибрежно-морскими, морскими и океанскими экспедициями, а также НИОКР РАН, МЧС, МО, Минобрнауки и контрактными работами, в ходе которых исследовались и внедрялись все основные части настоящей работы.

#### **Апробация работы.**

Результаты работы многократно докладывались на Всесоюзных, Российских, отраслевых и Международных конференциях в нашей стране и за рубежом:

1. «Технические средства освоения океана», ИО АН СССР, Геленджик, 1977, 1979, 1980, 1983, 1985, 1987, 1990.
2. «Современные методы и средства океанологических исследований», ИО РАН, Москва, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009.
3. Российская научно-техническая конференция «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии», ГНИНГИ, С.-Петербург, 1995, 1998, 2001.
4. «Intervention/ROV», Берген (Норвегия) 1987, Сан-Диего (США), 1989 Холивуд (США) 1991
5. «Black Sea», Варна (Болгария), 1990, 1992, 1994, 2010.
6. «XIV Тихоокеанский научный конгресс», Хабаровск, 1979
7. Съезд советских океанологов, Москва 1979, Севастополь 1982, Ленинград 1987

8. Всесоюзная школа по морской геологии, ИО АН СССР, Геленджик, 1986, 1988, Москва, 2007.
9. «X Всесоюзная акустическая конференция», Москва, 1983.
10. «I Всесоюзное совещание-семинар «Глубоководные системы и комплексы», Черкассы, 1986
11. Всесоюзное совещание «Современные методы геологических исследований», ИО АН СССР, Светлогорск, 1987.
12. Симпозиум «Геологическая история Черного и Балтийского морей», ИО БАН, Варна, 1987.
13. «IV конференция Проектирование и строительство объектов океанотехники», Щецин, 1987.
14. Симпозиум «Инженерная геология шельфа и континентального склона морей и океанов мира», АН ГССР, Тбилиси, 1988.
15. Всесоюзное совещание «Автоматизация процессов управления техническими средствами исследования Мирового океана», ГКНТ, г.Калининград, 1989.
16. Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на море и водных бассейнах России», МЧС России, С.-Петербург, 1995.
17. Всероссийское совещание «Пути обеспечения надежности и безопасности подводных переходов магистральных газопроводов РАО «Газпром», ИРЦ Газпром, Самара, 1997.
18. «Шукинские чтения», Географический факультет МГУ, 2000.
19. «Пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозийных, русловых и устьевых процессов», Краснодар, 2002.
20. Научно-практическая конференция «Спасение на воде и подводные работы специального назначения», Москва, МЧС РФ, ноябрь 2006.
21. Прикладные проблемы гидроакустики и гидрофизики, СПб, 2006, 2008, 2010.
22. 10 Международный Симпозиум по речной седиментации, 1-4 августа 2007 г., Москва.
23. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. IX научно-практическая конференция, Москва, 2009.

#### **Практическая ценность работы.**

Практическая значимость работы состоит в разработке комплекса научно обоснованных конструкторских и методических решений по организации процесса

исследования дна и подводных природных и техногенных объектов в разнообразных акваториях в океане, на шельфе и во внутренних водоемах гидролокационными методами. Практическое значение работы подтверждается: а) уникальными достижениями в области создания образцов глубоководной буксируемой техники в интересах ВМФ; б) новыми данными о местоположении и состоянии подводных потенциально опасных объектов в Карском, Балтийском и Черном морях, а также на озере Байкал, полученными в ходе их обследования гидролокационными методами при выполнении 11 контрактов МЧС России; в) новыми данными о морфологии руслового рельефа рек Волга и Кубань, а также геоэкологии эстуариев Белого моря, полученными при выполнении 15 проектов РФФИ с использованием разработанной технологии исследования дна акваторий; г) новыми данными о тектоническом строении таких геологических объектов, как хребет Рейкьянис и поднятие Горриндж в Северной Атлантике, хребет Барони в Средиземном море, подводная гора Афанасия Никитина в Индийском океане и целым рядом других уникальных результатов фундаментальных исследований дна океана, полученных с использованием технологии глубоководной гидролокационной съемки, разработанной автором.

#### **Область применения результатов.**

Область применения результатов включает:

1. Формирование исследовательских аппаратурно-программных гидролокационных комплексов широкого спектра применения.
2. Методическое и техническое обеспечение разноплановых работ по исследованию дна акваторий, а также подводных объектов, в том числе потенциально опасных, подводных сооружений и трубопроводов океане, на шельфе и во внутренних водоемах.

#### **Структура и объем диссертационной работы.**

Объем диссертационной работы 262 стр.

Текст включает 183 рисунков и 16 таблиц.

Диссертационная работа состоит из введения, списка сокращений, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 206 наименований.

## Основное содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется цель исследования и задачи, которые решаются для достижения цели работы.

В первой главе исследуется структура и состав технологии изучения дна акваторий и подводных объектов с помощью гидролокационных средств, проведен сравнительный анализ существующих основных и вспомогательных технических средств и разработаны основные требования к построению технологии, в том числе к разработке методических основ формирования аппаратурных комплексов и их использования.

Технология исследования дна с помощью гидролокационных средств состоит из двух частей: материальной и методической.

Материальная часть включает силы (обученный персонал) и средства, состоящие в свою очередь из аппаратуры и программного обеспечения. Аппаратура делится в свою очередь на исследовательскую и вспомогательную. Исследовательская аппаратура представляет собой гидролокационные приборы с помощью которых собирается исследовательская информация. К ней можно отнести также программно-аппаратные комплексы сбора, отображения и обработки получаемой информации в реальном времени и камеральном режиме. Вспомогательная аппаратура и оборудование обеспечивает работу аппаратурных комплексов в целом. Это прежде всего навигационные приборы, а также плавсредства, подводные носители, системы электропитания, линии связи, спускоподъемное и палубное оборудование.

Методическая часть технологии представляет собой научно-обоснованный способ и последовательность формирования и применения элементов материальной части. Она включает сбор предварительных сведений об исследуемых объектах, месте и условиях работ. На основе этих сведений и поставленных задач исследования выбираются гидролокационные и навигационные приборы, определяются параметры процесса съемки, а также сбора и обработки информации. В заключение подготавливаются результирующие материалы съемки: текстовый отчет, схемы, карты, гидролокационные изображения отдельных объектов, мозаики и т.п.

В главе проведен сравнительный анализ гидролокационных средств, которые используются для исследования дна акваторий и подводных объектов, в океане, на шельфе и во внутренних водоемах. В связи с возможностью решать эти задачи анализируются свойства и принцип действия основных технических средств: гидролокаторов бокового обзора (ГБО), в том числе батиметрических, акустических профилографов (АП), эхолотов (ЭХ), а также программно-аппаратных средств сбора, отображения и обработки получаемой информации.

В связи с разнообразными способами использования, а также неизбежной интеграцией отдельных приборов в аппаратурные комплексы в главе рассматриваются и анализируются технические решения систем общего назначения, таких как подводные носители приборов и антенн, судовое спускоподъемное и буксировочное оборудование, кабели и буксирные линии связи, системы электропитания и вспомогательное электронное оборудование. Анализируется значение информационно-временной структуры технологий, которая определяется последовательностью действий и принятия решений по способу сбора гидролокационной информации.

#### **Выводы по главе 1.**

Основными составляющими частями технологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами являются: гидроакустические средства; средства навигационной привязки данных; вспомогательное оборудование, в том числе плавсредства, а также методика формирования аппаратурно-программных комплексов сбора и обработки информации и методика их использования для проведения исследований.

Технология исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационным методами должна удовлетворять следующим требованиям:

- позволять решать широкий спектр задач, таких как геоморфологическое картирование, картирование глубин и мощности осадочного покрова, поиск и картирование мест расположения подводных объектов, их фрагментов и деталей, регистрация выделений газов и флюидов, определение целостности, габаритов, ориентации и формы объектов, а также заглубления их в грунте;

- позволять исследовать разнообразные подводные объекты природного и техногенного происхождения, такие как формы рельефа дна и их совокупности, береговые линии, осадочный покров дна, навигационные опасности, рифы, подводные части инженерных сооружений, подводные коммуникации, затопленные суда и подводные потенциально опасные объекты;

- позволять вести исследования дна и подводных объектов в условиях акваторий открытого океана, морей, шельфа, и внутренних водоемов;

- содержать методологию формирования исследовательских аппаратурно-программных гидролокационных комплексов сбора и обработки информации о дне акваторий и подводных объектах, а также комплексов вспомогательного оборудования;

- содержать научно обоснованную методику использования аппаратурно-программных комплексов и определения параметров процесса исследований подводных объектов и дна акваторий гидролокационными методами;

- технология должна быть апробирована в процессе формирования образцов аппаратурно-программных комплексов и проведения с их помощью экспериментальных и плановых исследований дна и подводных объектов.

Основными средствами исследования дна акваторий и подводных объектов являются гидролокаторы бокового обзора (ГБО), акустические профилографы (АП) и эхолоты (ЭХ). Для картирования форм рельефа и подводных объектов применение АП и ЭХ не эффективно, но важно для интерпретации данных, получаемых с помощью ГБО.

Сравнительный анализ технических средств позволяет сделать вывод, что основной прогресс в части совершенствования аппаратуры связан с разработкой качественных гидроакустических антенн, в том числе многочастотных и параметрических, с применением тонких одножильных, в том числе оптических буксирных кабелей, минимизацией числа аналоговых компонентов и переходом на программируемую цифровую технику сбора и обработки информации. Улучшение основных тактико-технических показателей аппаратуры связано с применением сложных сигналов зондирования и их корреляционной обработкой, использованием параметрических эффектов и интерферометрической техники. Снижение стоимости аппаратуры связано в основном с использованием вычислительной техники и программного обеспечения массового производства. Повышение эффективности навигационного обеспечения связано с повсеместным использованием дифференциальных приемников КНС и применением гидроакустических систем с ультракороткой базой. Важен учет принципов модульности и компактности, что необходимо для оперативной сборки нужных конфигураций аппаратуры, в том числе для условий малых плавсредств.

Применение эффективной методики проведения работ и гибкой системы обработки получаемой информации для получения хороших результатов подчас выгоднее совершенствования конструкции и электронных схем аппаратуры.

Во второй главе проведен сравнительный анализ технических средств навигационной привязки плавсредств и объектов на акваториях, и разработана научно обоснованная методика координатно-временной привязки данных, получаемых с помощью гидролокационных средств при исследовании дна акваторий и подводных объектов.

Каждая точка маршрута плавсредства, на котором исследовалось дно акватории, должна быть привязана к географической или местной системе координат. Для определения местоположения обеспечивающих плавсредств в настоящее время, за редким исключением, используются космические радионавигационные системы (КНС). Точность определения места с помощью КНС составляет 12 м в прямом режиме, 2-5 м - в дифференциальном режиме при использовании стационарных станций поправок и <1 м при использовании космических поправок и локальных станций, привязанных геодезическими методами. Для

определения местоположения подводных буксируемых носителей, используются гидроакустические навигационные системы (ГАНС). Точность ГАНС может достигать 0.1% от дальности действия. В случае, когда необходима привязка к географическим координатам, используется комбинация ГАНС и КНС. Применение КНС и ГАНС позволяет автоматизировать и синхронизировать процесс координирования и сбора гидролокационной информации. Для определения местоположения судна могут быть использованы оптические угломерные и дальномерные системы в случаях, при которых использование КНС невозможно, например, на акваториях без открытого неба.

Для определения местоположения подводных буксируемых носителей относительно судна-буксировщика в ряде случаев применяются системы, использующие теоретические модели конфигурации буксирной линии. В главе предложена упрощенная модель для расчета местоположения подводного буксируемого носителя (ПА). Основным теоретическим предположением расчета является то, что ПА и судно перемещаются по параллельным траекториям, что справедливо для случая равномерного устойчивого движения «системы ПА+судно» на прямолинейных галсах. Для расчета используются данные, получаемые в основном с помощью штатных устройств плавсредства и ПА. С помощью судовых устройств (компас, гидрокомпас и GPS) определяется курсовой угол (ориентация) судна – Фкк. По серии обсерваций определяется направление пути - Фпк. С помощью глубомера ПА определяется - Н - глубина его погружения. При буксировках ПА вблизи дна можно считать Н равной глубине места.

К измеряемым параметрам состояния буксирной линии относятся ее длина L и угол схода с буксирного рола в горизонтальной плоскости Фкб. Длина L определяется по показанию датчика вытравленного троса буксирной лебедки. Измерение Фкб представляет собой наибольшую сложность. При отсутствии специальных датчиков, величина Фкб может оцениваться визуально с использованием угломерных устройств типа астроябни или теодолита. Важно, что измерение перечисленных параметров при установившемся движении системы «ПА+судно» требуется производить не более 2-3 раз на одном галсе, что в свою очередь не требует обязательной автоматизации измерений.

Местоположение ПА ( $X_{па}; Y_{па}$ ) определяется на основе данных о местоположении судна буксировщика ( $X_{с}; Y_{с}$ ), и составит

$$X_{па} = X_{с} - S \sin(\Phi_{кк} - \Phi_{кб}) \quad (1)$$

$$Y_{па} = Y_{с} - S \cos(\Phi_{кк} - \Phi_{кб}) \quad (2)$$

, где  $S = \sqrt{L^2 - H^2}$ , а  $(\Phi_{кк} - \Phi_{кб})$  - угол между направлением на север и проекцией буксирной линии в горизонтальной плоскости (S).

Предложенный способ и полученные соотношения легко используются в среде навигационных программных продуктов реального времени и постобработки гидролокационной информации. Отдельные экспериментальные измерения местоположения буксируемого аппарата «Звук-Комплекс» разными системами позволяют утверждать, что ошибка координирования с помощью рассмотренной схемы не хуже 3-4% от дальности.

При расчете координат подводных объектов, зарегистрированных с помощью гидролокатора бокового обзора (ГБО), используются известные координаты положения носителя антенн  $(x; y)$  и его ориентация в пространстве в горизонтальной плоскости – угол  $\alpha_1$  между осью антенны и осью Y – направлением на север ( $0^\circ$ ). Координаты объекта  $(x_0; y_0)$ , в момент регистрации его с помощью ГБО вычисляются из соотношения:

$$x_0 = x + r \cdot \cos \alpha_1 \quad (3)$$

$$y_0 = y - r \cdot \sin \alpha_1 \quad (4)$$

где  $r$  – дальность до объекта, регистрируемого ГБО в горизонтальной плоскости.

При разработке технологии исследования дна и подводных объектов гидролокационными методами актуальным является исследование связи параметров процесса исследования и величины погрешности определения координат объектов или их элементов. Погрешность определения координат объекта  $(x_0; y_0)$  связана с погрешностью определения величин  $(x; y)$ ,  $r$  и  $\alpha_1$ .

Горизонтальная дальность  $r$  определяется из наклонной дальности до объекта  $L$ . Если для обследования поверхности дна используется так называемый батиметрический ГБО, позволяющий определять угол прихода эхо-сигнала ( $\beta$ ) на основе измерений его фазы, то ошибка в определении по наклонной дальности до объекта  $L$  составляет 1-2%.

При использовании обыкновенных ГБО горизонтальная дальность  $r$  до объекта рассчитывается из соотношения:

$$r = \left( H \cdot \operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{L^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) - H^2} \right) (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \quad (5)$$

, где  $H$  – расстояние антенны до дна по вертикали, а  $\alpha$  уклон дна. Среднее значение уклона дна материковой отмели составляет  $1^\circ$ , континентального склона –  $3^\circ$ - $7^\circ$  и редко достигает  $20^\circ$ - $30^\circ$ . При поперечных направлению перемещения антенны ГБО углах наклона поверхности дна, значения которых превышает  $15$ - $20^\circ$ , изображения дна, получаемые с помощью ГБО, качественно ухудшаются. Как правило, съемку дна ведут по направлениям с меньшими поперечными углами. Таким образом угол  $\alpha$  не превышает  $20^\circ$ . Тогда соотношение (5) преобразуется к виду:

$$r = H \cdot \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{L^2 - H^2} \quad (6)$$

Оценим относительную погрешность определения дальности  $\Delta = [r(\alpha) - r(0)]/r(\alpha)$  при разных типичных соотношениях  $L$  и  $H$  для  $\alpha=20^\circ$ . Наилучшее качество гидролокационных изображений соответствует соотношению  $L=(5+10)H$ ; часто на мелководье приходится работать при  $L=(15+30)H$ ; соотношений  $L=(2+3)H$  стараются не допускать и исключают путем заглубления носителя ГБО. На рис.1 приведены графики значения  $\Delta(L/H)$  для разных значений  $\alpha$ . Как видно из графиков в основной рабочей области относительная погрешность определения дальности не превышает 5%.

Вторая составляющая погрешности в определении  $r$  связана с тем, что фиксация цели в горизонтальной плоскости происходит в пределах угла раскрыва  $\theta$  основного лепестка характеристики направленности антенны ГБО. Для подавляющего числа моделей ГБО этот угол составляет  $1^\circ$ , а максимальная погрешность  $\Delta r/(\Delta r + r) = 0.5 \sin^2(\theta/2)$  соответственно – 0.004% от дальности до объекта. То есть эта составляющая ничтожна.

Теперь рассмотрим точность определения координат объекта, обуславливаемую погрешностью  $\Delta\alpha_1$  определения угла ориентации ( $\alpha_1$ ) антенны ГБО в горизонтальной плоскости. В соответствии с выражениями (3) и (4) координаты объекта примут вид:

$$x_{0\Delta} = x + r \cdot \cos(\alpha_1 + \Delta\alpha_1) \quad (7)$$

$$y_{0\Delta} = y - r \cdot \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha_1) \quad (8)$$

Ошибка в определении координат составит  $\Delta_{xy} = \sqrt{(x_{0\Delta} - x_0)^2 + (y_{0\Delta} - y_0)^2} \approx 2 \cdot r \cdot \sin(\Delta\alpha_1/2)$ .

На рис.2 приведены графики значений  $\Delta_{xy}$  в зависимости от  $\Delta\alpha_1$  для ряда значений  $r$ .

Приведенные на рис.2 зависимости  $\Delta_{xy}(\Delta\alpha_1, r)$  показывают, что ошибка в определении угла ориентации антенны ГБО существенно влияет на определение координат объектов. Угол же ориентации антенны ГБО может определяться непосредственно с помощью датчиков курса – магнитных (погрешность до  $0.5^\circ$ ) и гироскопических (погрешность до  $0.05^\circ$ ), а также вычисляться по координатам точек обсерваций (погрешность  $<5^\circ$ ). При этом используются космические навигационные системы (GPS, ГЛОНАСС), позволяющие автоматизировать процесс сбора навигационной информации.

### **Выводы по главе 2.**

Космические навигационные системы GPS и ГЛОНАСС являются основными средствами определения местоположения надводных плавсредств и реперов, обеспечивающих морские исследования.

Определение местоположения подводных носителей гидролокационной аппаратуры ведется с помощью гидроакустических подводных навигационных систем (ГАНС), а также с использованием математических моделей буксирных линий.

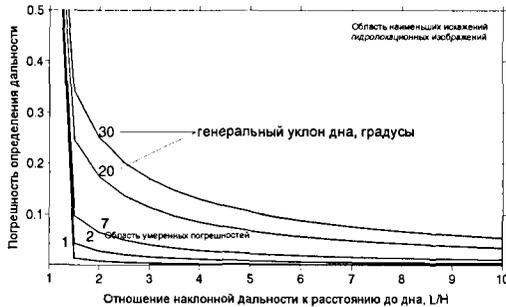


Рис.1. Графики зависимости относительной погрешности определения дальности до объекта с помощью гидролокатора бокового обзора в зависимости от отношения наклонной дальности к расстоянию до дна при различных значениях генерального уклона дна в районе исследований.

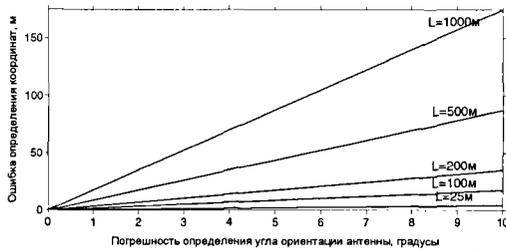


Рис.2. Величина отклонения координат объекта в зависимости от ошибки определения угла ориентации антенны ГБО для ряда значений дальности до объекта.

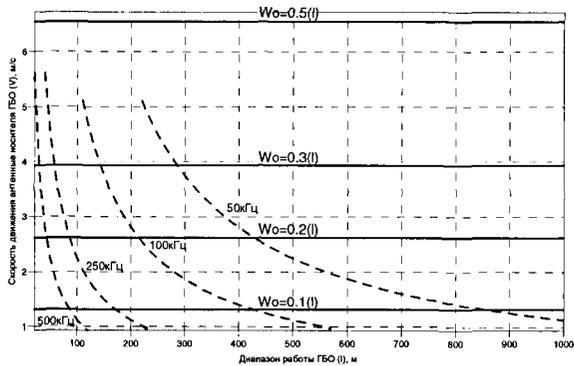


Рис.3. Графики зависимости максимальной скорости движения носителя ГБО, при которой обследование поверхности дна происходит без пропусков: — для дальней зоны антенны ГБО и - - - - - для ближней зоны антенны ГБО с волновым размером  $\approx 50\lambda$ ;  $\square$  - область значений V, при которой обследование дна с помощью ГБО с рабочей частотой 100 кГц и волновым размером антенны  $\approx 50\lambda$  будет вестись без пропусков начиная с дистанции  $w_0$ , составляющей 20% от выбранного диапазона дальности

Разработанные методические основы координатно-временной привязки результатов исследования дна акваторий и подводных объектов, гидролокационными методами позволяет:

- вести расчет координат любой точки на дне акватории по соответствующему гидролокационному изображению и навигационным данным в географической или относительной системе координат;
- сформировать программные комплексы для автоматического масштабирования гидролокационных изображений и определения координат подводных объектов;
- разрабатывать научно-обоснованные методики исследования дна акваторий и разнообразных подводных объектов гидролокационными методами в условиях различных акваторий;
- оценивать качество определения координат элементов рельефа и подводных объектов при исследованиях с использованием гидролокационных средств;
- в отсутствии космических и подводных систем навигации вести расчет местоположения гидролокационных средств традиционными методами и по конфигурации буксирной линии

Разработанная методика координатно-временной привязки позволяет методически повысить качество и эффективность привязки результатов исследований за счет:

- правильного выбора ориентации галсов маршрута гидролокационной съемки с учетом уклонов дна, глубин и диапазона дальности,
- выбора способа установки или буксировки, а также степени стабилизации носителей гидроакустических антенн в пространстве,
- использования датчиков ориентации антенн и систем навигационной привязки подводных носителей согласованной точности.

Использование разработанной методики позволило организовать эффективное навигационное обеспечение разнообразных работ по исследованию дна акваторий и подводных объектов в глубоком море, на мелководье и во внутренних водоемах.

Дальнейшее совершенствование метода и средств определения координат подводных объектов, связано с внедрением позиционирования подводных носителей ГБО с помощью обращенных гидроакустических навигационных систем, интегрированных с КНС.

В третьей главе разработана научно обоснованная методика организации процесса исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами, включающая формирование исследовательских аппаратурно-программных комплексов на базе основных и вспомогательных, гидролокационных и навигационных технических

средств, процесс использования этих комплексов для исследований, а также принципы построения системы сбора и обработки получаемой информации и представления ее в виде, удобном для анализа специалистами.

Аппаратурные комплексы для исследования дна акваторий и подводных объектов формируются из исследовательских гидролокационных приборов, ГБО, АП, ЭХ, навигационного и вспомогательного оборудования с учетом конкретных поставленных задач исследования, места и условий проведения работ, а также характеристик природных и техногенных объектов предназначенных к обследованию. В главе анализируются связи задач и условий исследований разнообразных подводных природных и техногенных объектов с возможностями существующей гидролокационной, навигационной и вспомогательной аппаратуры. Анализ позволяет выделить четыре основных типа исследовательских аппаратурных гидролокационных комплексов: а) аппаратурный комплекс для на морского мелководье и внутренних водоемов в составе высокочастотного ГБО, АП и ЭХ, антенны которых жестко закрепляются на корпусе плавсредства, а также дифференциального приемника КНС; б) аппаратурный комплекс для районов шельфа в составе среднечастотного и высокочастотного ГБО, АП и ЭХ, антенны которых устанавливаются на буксируемых носителях и, в общем случае, оборудованы предварительными усилителями сигналов, а также дифференциального приемника КНС; в) аппаратурный комплекс для глубоководных районов в составе буксируемого аппарата, несущего комплект гидролокационной аппаратуры, вспомогательного оборудования (система передачи данных и электропитания, глубоководная кабельная лебедка и СПУ), а также подводной навигационной системы, интегрированной с КНС; г) аппаратурный комплекс для исследования форм генерального рельефа дна и фоновых исследований мест нахождения подводных объектов с поверхности океана в составе буксируемого носителя низкочастотного гидролокатора бокового обзора большой дальности действия, инерциальной системы определения углов ориентации носителя и приемника КНС.

Разработка методических основ использования аппаратурно-программных гидролокационных комплексов для проведения исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами включает:

- исследование структуры исходных данных, необходимых для формирования сил и средств исследований, планирования процесса исследований, а также обработки данных и представления результатов работ; к исходным данным относятся цель и задачи исследования, ориентировочный объем работ, а также характеристики объекта, его места расположения и местных условий организации исследований;

- определение структуры результирующих материалов исследований, к которым относятся схемы обследования полигона; таблицы с координатами объектов и станций и содержанием работ; гидролокационные мозаики и отдельные гидролокационные изображения дна, объектов и разрезов донных отложений, первичные файлы гидролокационных и навигационных данных, пояснительная записка с описанием перечисленных материалов;

- формирование материальной составляющей, которая включает средства исследований или аппаратно-программный комплекс, обслуживающий персонал, численность которого сильно варьируется в зависимости от режима сменности, а также финансовое и юридическое обеспечение работ;

- разработка универсальной методики использования аппаратно-программных комплексов для сбора гидролокационной информации, включающей расчет основных параметров и режимов, а также определение состава и последовательности предварительных и основных действий по исследованию дна акваторий и подводных объектов.

- разработка аспектов построения системы сбора и обработки информации, а также форм ее интерпретации и представления в виде удобном для анализа специалистами.

Важным параметром процесса исследования дна и подводных объектов с помощью ГБО является междугалсовое расстояние (МГР), которое определяется из требования сплошного покрытия съемкой поверхности дна без пропусков. Для расчета МГР получено соотношение  $МГР = \left(2 \cdot \sqrt{L^2 - h_{\min}^2}\right) - db$ , где  $L$  – диапазон рабочей дальности ГБО;  $h_{\min}$  – высота антенны ГБО над дном,  $db$  – зона перекрытия полос обзора ГБО на соседних галсах. Минимальное значение величины  $db$  соответствует максимальному возможному отклонению носителя антенны ГБО от маршрута галса в плане. Использование этого соотношения показало хорошие результаты при планировании и проведении морских работ.

Важным параметром технологии гидролокационного обследования дна является скорость движения носителя ГБО. Вместе с периодом следования зондирующих импульсов скорость движения определяет детальность съемки и условие обследования поверхности дна без пропусков, что является особенно важным при поиске объектов. В главе получены соотношения для расчета оптимальной скорости в области ближней зоны (зона Френеля) работы антенны ГБО -  $V \leq 25 \cdot c^2 / (l \cdot f)$  - и в области дальней зоны (зона Фраунгофера) работы антенны ГБО -  $V \leq c \cdot w_0 \cdot (\pi / 360) / l$ , где  $c$  – скорость звука,  $l$  – диапазон дальности ГБО,  $f$  – рабочая частота ГБО,  $w_0$  – дистанция, начиная с которой обследование ведется без пропусков. Графики соотношений приведены на рис.3.

Для планирования глубоководных работ получено соотношение для расчета места точки начала буксировки и спуска за борт подводного буксируемого носителя (ПБН) ГБО. Точка должна находиться на маршруте первого галса маршрута и отстоять от границы полигона на величину:  $S \geq V(T + H/0.85v)$ , где  $V$  - скорость движения плавсредства,  $H$  - глубина горизонта буксировки полигона),  $v$  - скорость вытравливания буксирного кабель-троса,  $T$  - время, затрачиваемое на выполнение операции спуска ПБН за борт плавсредства.

Важным элементом маршрута исследования является разворот и переход на соседний галс. Для больших глубин и больших длин буксирной линии этот процесс продолжителен (до 10 часов). Для глубоководных буксировок с неспециализированных судов разработан расчет пространственно-временного графика безопасного разворота судна, буксирующего ПБН, который был неоднократно апробирован при проведении экспедиционных исследований. Разворот, начинается резким изменением (на 70-80°) направления движения, продолжается движением по окружности (циркуляционной) вплоть до пересечения соседнего обратного галса и заканчивается переходом на этот галс.

Разворот выполняется по маршруту в виде ломаной линии, вписанной в окружность с пошаговым изменением курса на угол  $\Delta\phi$ . Основными параметрами траектории разворота при этом являются:  $\Delta\phi_0$  - начальный угол поворота траектории плавсредства;  $\Delta\phi$  - элементарный угол поворота плавсредства на циркуляции;  $V$  - скорость плавсредства на циркуляции;  $\Delta t$  - время удержания плавсредства на прямолинейном участке циркуляции. Основным положением при расчете графика поворота, которое обеспечивает устойчивость буксирной линии, является равенство  $R=D$ , где  $R$  - радиус циркуляции, а  $D$  - начальное расстояние от плавсредства до ПБН в плане.

Исходными данными для расчета графика разворота на соседний обратный галс являются:  $D$ ;  $l$  - МГР;  $V_0$  - скорость буксировки на галсе;  $\Delta\phi_{0\max}$  - максимальное значение угла поворота плавсредства (70-80°) в начальный момент разворота.  $\Delta\phi$  выбирается из условия  $\Delta\phi=180/n$ , где  $n$  - целое число. Рекомендуемое значение  $\Delta\phi$  составляет 15°. Курс плавсредства после первого поворота рассчитывается из соотношения:  $\phi_1=\phi_{г0}+\Delta\phi_0+\Delta\phi/2$ , где  $\phi_{г0}$  - курс плавсредства при движении по исходному галсу;  $\Delta\phi_0=\arccos(l/2D)$ , при этом  $\Delta\phi_0 \leq \Delta\phi_{0\max}$ . Скорость плавсредства на циркуляции рассчитывается из соотношения:  $V = \pi \cdot D \cdot V_0 / [D + \pi \cdot (l/2)]$ . Время движения на прямолинейных участках циркуляции рассчитывается из соотношения:  $\Delta t=2(D/V)\sin \left| \Delta\phi/2 \right|$ . После перехода на обратный галс после времени  $\Delta t$  производится торможение плавсредства до скорости  $V_0$  и продолжение съемки.

Важным параметром режима исследования является расстояние ПБН до дна, которое в условиях ровного дна поддерживается равным  $(0.1-0.2)L$ , где  $L$  – диапазон дальности ГБО. Однако для выполнения требований безопасности буксировки ПБН ГБО вблизи дна должно также выполняться условие  $(V/V_c) \geq tg\beta$ , где  $V_c$  – скорость движения плавсредства;  $V_s$  – скорость всплытия ПБН при максимальной скорости выборки кабель-троса буксирной лебедкой;  $\beta$  – максимальный возможный уклон элементов рельефа.

Основные принципы построения системы сбора и отображения информации заключаются в том, что: специализированная аппаратная часть системы сбора информации реального времени должна быть минимальна и содержать в основном цифровые устройства; максимальная часть преобразований должна осуществляться в цифровом виде на серийных ПЭВМ; на экране ПЭВМ должна в реальном времени отображаться гидролокационная и основная навигационная информация, а также может вестись вывод информации на графический самописец; привязка гидролокационных данных к географическим координатам должна производиться через единое время ПЭВМ, синхронизированное с Гринвичским временем GPS; к единому времени привязывается каждая точка изображения; пользовательский интерфейс программы сбора информации реального времени должен отображать определенный необходимый минимум информации и позволять оператору управлять процессом сбора информации; помимо сквозной записи всей информации должна быть предусмотрена возможность оперативного запоминания изображений и координат обнаруженных объектов и явлений; интерфейс навигационной программы должен отображать запланированный маршрут, путь судна и буксируемого носителя; текущие координаты судна и носителя, отклонение судна от запланированного маршрута.

Процесс обработки гидролокационной информации включает подготовку данных и собственно обработку, что схематично представлено на рис.4. Подготовка данных это минимальная обработка, которая приводит данные к виду удобному для обработки стандартными пакетами программ. Результатом подготовки являются масштабированные изображения поверхности дна с объектами и разрезы донных отложений, привязанные к географическим координатам. Собственно обработка данных это представление их в виде, удобном для анализа потребителями. При этом используются стандартные графические и картографические пакеты программ (AUTOCAD, SURFER, GRAPHIC, CORELDRAW и др.).

Такой подход делает процесс обработки более гибким, позволяет не ограничиваться опциями, заложенными разработчиками специального программного обеспечения с одной стороны, а с другой стороны дает возможность специалистам совершенствовать пути использования и представления информации самостоятельно.

Пример реализации этого процесса приведен на рис.5 и 6. На рис.5а приведено масштабированное гидролокационное изображение участка дна. Дно характеризуется массивными выходами коренных пород. На рис.5б приведена результирующая геоморфологическая схема того же участка. На рис.6а приведено изображение разреза донного грунта, полученное с помощью АП. Разрез характеризуется расчлененной поверхностью подстилающих скальных пород, нивелированной осадочными отложениями мощностью до 12 метров. На рисунке 6б приведена схема строения дна, интерпретирующая изображение на рис.6а.

### **Выводы по главе 3.**

Разработаны методические основы формирования аппаратурно-программных комплексов для исследования дна акваторий и подводных объектов, с учетом характеристик основных типов подводных объектов, районов их возможного расположения и задач исследования, на базе основных и вспомогательных, гидролокационных и навигационных технических средств.

К основным объектам исследований относятся подводные объекты природного и техногенного происхождения, такие как формы рельефа дна и их совокупности, береговые линии, осадочный покров дна, навигационные опасности, рифы, подводные части инженерных сооружений, подводные коммуникации, затопленные суда и подводные потенциально опасные объекты.

Основными районами, морфология которых определяет параметры технологии исследований гидролокационными методами, являются: глубоководные районы, шельф, морское мелководье от уреза воды до глубин 20-30м, озера, водохранилища и реки.

Содержанием типичных задач исследования дна акваторий, влияющим на структуру гидролокационной технологии является: картирование дна, природных и техногенных объектов по морфологическим признакам, определение глубин и координат местоположения объектов, их контуров и фрагментов, поиск объектов.

Разработана научно обоснованная методика использования исследовательских аппаратурно-программных гидролокационных комплексов, определяющая совокупность необходимых условий, сил и средств, последовательность предварительных и основных действий по изучению дна акваторий и подводных объектов и позволяющая рассчитывать основные параметры движения и функционирования научного и вспомогательного оборудования.



Рис. 4. Схема, иллюстрирующая методологию построения процесса обработки гидролокационной информации

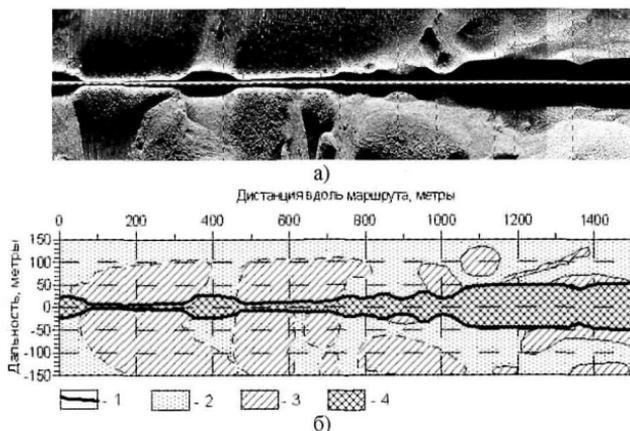


Рис. 5. Результаты обработки данных гидролокационной съемки: а) масштабированное изображение поверхности дна, сформированное с помощью программы WINRASTR, б) интерпретация изображения, выполненная с использованием программы SURFER: 1 – профиль поверхности дна вдоль маршрута съемки, 2 – осадочный покров, 3 – обнажения коренных пород, 4 – водная толща.

Основными параметрами процесса натуральных исследований дна и подводных объектов являются диапазон дальности, конфигурация и маршрута движения, междугалсовое расстояние, скорость движения на маршруте, местоположение точки начала движения по маршруту, пространственно-временной график перехода на обратный галс маршрута.

Разработана структура и методика функционирования системы сбора и обработки исследовательской гидролокационной информации, включающая этап подготовки информации с использованием специализированного программного обеспечения и последующую обработку пакетами программ общего назначения для приведения к виду удобному для анализа специалистами (геологами, экологами, спасателями, и др.). При этом основными принципами построения системы являются:

- минимизация специализированной аппаратной части системы реального времени и исполнение ее в основном на базе цифровых устройств;
- максимальное использование в системах серийных цифровых устройств и ПЭВМ;
- упрощение и минимизация процесса подготовки информации специализированными программами перед обработкой стандартными пакетами.

В четвертой главе рассмотрены образцы технических средств, созданные для исследования дна и подводных объектов в течение более трех десятков лет в условиях менявшихся в обществе приоритетов.

Для осуществления фундаментальных исследований дна акваторий, а также широкого спектра прикладных исследований подводных объектов природного и техногенного происхождения и выполнения разнообразных контрактов, в океане, на шельфе и во внутренних водоемах под руководством и при непосредственном участии автора в Лаборатории гидролокации дна ИО РАН разработаны, созданы и внедрены гидролокационные исследовательские аппаратурные комплексы, методики и технологии. Одновременно автором разрабатывались методические аспекты использования технических средств, велись испытания и осуществлялось внедрение технологии гидролокационного обследования в целом. Технические средства создавались начиная с конца 70-х годов.

Существенный прогресс был достигнут в период с 1978 по 91 годы в связи с контрактами ВМФ. В это время для решения глубоководных гидрографических задач был построен многоцелевой глубоководный буксируемый комплекс (ГБК) в составе двух глубоководных аппаратов «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ» (рис. 7) и переоборудовано судно ВМФ. Отличительная черта комплекса – полная интеграция с инфраструктурой специализированного судна. Автор непосредственно участвовал в разработке

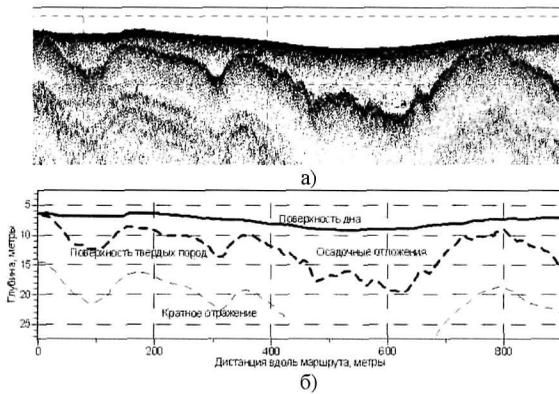


Рис. 6. Результаты обработки данных акустического зондирования донных отложений (морская зона эстуария р.Кемь): а) масштабированное изображение профиля зондирования, сформированное с помощью программы WINRASTR; б) интерпретация изображения, выполненная с использованием программы SURFER.

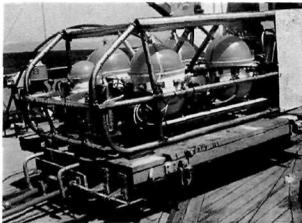


Рис. 7. Глубоководный (6000м) буксируемый аппарат «Звук-МАФТ» (1991г.)

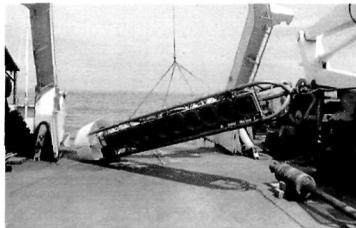


Рис. 8. Буксируемый носитель ГБО дальнего действия «Звук-Д».



Рис. 9. Гидролокационный комплекс МКС: наборный носитель антенн ГБО и эхолота (черный цвет), электронный блок (внизу), в центре цифровой модуль ввода-вывода и вверх ПЭВМ типа Ноутбук.

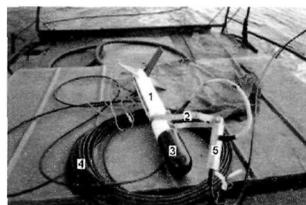


Рис. 10. Буксируемый подводный носитель комплекса «Микросонд»: 1 – антенный модуль, 2 –подвеска, 3 – отсек усилителя сигналов, 4 – буксирный кабель-трос, 5 – грузонесущая заделка кабель-троса

Таблица 1

Характеристики гидролокационных приборов, созданных для разработки технологии исследования дна акваторий и подводных объектов.

№	Характеристика	ГБО						
		МКС	Микро-саунд	Звук-4	Звук-Л, Звук-Л2	Звук-Д	Звук-Комплекс, МАФТ	Мезо-скан
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Рабочая частота, кГц	240	240/500	70	70	5.1/4.9	70	70/240
2	Раскрыв главного лепестка характеристики направленности на уровне половинной мощности, град	1°х60°	1°х60°	0.75°х60°	0.75°х косеканс	5°х60°	0.75°х60°	0.75°х60°, 1°х60°
3	Длительность зондирующего сигнала, мс	0.2/1.0	0.2/1.0	1	0.5/1.0	5/10 и 150-ЧМ	0.5/1.0	0.05/0.2/1.0
4	Тип зондирующего сигнала	тон.посыл.	тон.посыл.	тон.посыл.	тон.посыл.	тон./ЧМ	тон.посыл.	тон.посыл.
5	Тип подводного носителя	бортовой	буксир.	буксир.	буксир.	буксир.	буксир.	буксир.
6	Максимальная рабочая дальность, м	200	300/75	750	750	15000	750	750
7	Максимальная глубина обследуемого водоема, м	40	200	4000	6000	4000	6000	2000
8	Максимальная частота следования зондирующих импульсов, Гц	20	20	2	2	0.08	2	5/10
9	Максимальная электрическая мощность в импульсе, Вт	200	300/500	300	500	10000	400	300
10	Максимальная скорость движения, узлы	7	6	4	4	5	2	6
11	Частота аналогово-цифрового преобразования, кГц	100	100	*	30	30	30	100
12	Разрядность аналогово-цифрового преобразования	8	8	*	4	4	4	8
13	Тип системы сбора и отображения информации	ПЭВМ	ПЭВМ	аналог.	аналог./ЭВМ	аналог./ЭВМ	аналог./ЭВМ	ПЭВМ
14	Масса подводного носителя, кг	3	9	200	300	900	1200	60
15	Габариты подводного носителя, м	D 0.65x0.7	D 0.1x0.9	2.7x1x1	2.5x1x0.5	5.8x0.8x0.8	3x1.1x0.9	1.9x0.3x0.3
16	Масса судового блока, кг	1.5	2	10	10	30	"	2.5
17	Габариты судового блока, мм	60x260x310	120x260x310	500x300x200	500x300x200	500x300x600	в сост.компл. с р	250x150x300
18	Электропитание	+12В, 1.5А	+12В, 2.5А	220В	220В	220В	220В	220В

Таблица 1 (продолжение)

№	Характеристика	АП				Эхолот		
		Звук-4	Звук-Л, Звук-Л12	Мезо- скан	АП-5	"Звук"	МКС	"Микро- саунд"
1	2	10	11	12	13		14	15
1	Рабочая частота, кГц	7	4.96	5	5	80	190	500
2	Раскрыв главного лепестка характеристики направленности на уровне половинной мощности, град	60° тор	35° тор	60° тор	60° конус	5°x5°	20°x20°	8°x8°
3	Длительность зондирующего сигнала, мс	0.5	22,8 див. 1.12кГц	0.5	0.2/1.0	0.5	0.2/1.0	0.2/1.0
4	Тип зондирующего сигнала	тон.посыл.	чм посыл.	тон.посыл.	тон.посыл.	тон.посыл.	тон.посыл.	тон.посыл.
5	Тип подводного носителя	буксир.	буксир.	буксир.	бортовой	буксир.	бортовой	буксир.
6	Максимальная рабочая дальность, м	100	100	100	100	350	100	100
7	Максимальная глубина обследуемого водоема, м	4000	6000	2000	100	6000	40	200
8	Максимальная частота следования зондирующих импульсов, Гц	2	2	5	10	2	20	20
9	Максимальная электрическая мощность в импульсе, Вт	1000	250	500	4000	300	200	300
10	Максимальная скорость движения, узлы	4	4	6	6	4	7	6
11	Частота аналогово-цифрового преобразования, кГц	"	30	100	100	30	"	100
12	Разрядность аналогово-цифрового преобразования	"	4	8	8	4	"	8
13	Тип системы сбора и отображения информации	аналог	ЭВМ коррелят	ПЭВМ	ПЭВМ	ЭВМ	ПЭВМ	ПЭВМ
14	Масса подводного носителя, кг	300	400	60	6	"	"	"
15	Габариты подводного носителя, м	2.7x1x1	2.5x1x0.5	1.9x0.3x0.3	D 0.5x0.17	"	D 0.65x0.7	D 0.1x0.9
16	Масса судового блока, кг	"	"	"	4	"	"	"
17	Габарты судового блока, мм	"	"	"	120x260x310	"	"	"
18	Электроснабжение	220В	220В	220В	220В	220В	+12В	+12В

гидролокационной аппаратуры, а с 1987 по 1992 год руководил внедрением, опытной эксплуатацией и модернизацией комплекса и провел на ГиСу «Зодиак» несколько морских и две океанские экспедиции. Технические характеристики гидролокационного оснащения аппаратов приведены в таблице 1.

Для глубоководных исследований с борта научно-исследовательских судов созданы ГБК серии «Звук» с рабочей глубиной 4000-6000м, не привязанные к конкретному судноносителю. Облик и структура аппаратуры определяются условиями работы на морских научно-исследовательских судах неограниченного района плавания водоизмещением 2-6 тысяч тонн, имеющих лабораторные помещения для установки аппаратуры, оборудованных электросетью 220В 50Гц, кабельными лебедками и спускоподъемными устройствами (краны, А- и П-рамы). Технические характеристики гидролокационного оснащения приведены в таблице 1. Эти аппараты использовались для научных исследований в океанских экспедициях ИО РАН до начала 90-х годов.

Для исследования и картирования генеральных форм рельефа дна океана в Лаборатории гидролокации дна ИО РАН разработан и построен гидролокационный комплекс «Звук-Д», представляющий собой низкочастотный ГБО, использующий тональные и частотно-модулированные посылки с центральной частотой 5кГц. Основной частью является буксируемое тело размером 5.5х0.8х0.8 метра, и массой 0,9т нейтральной плавучестью (рис. 8). Характеристики приведены в таблице 1. В 1991 году «Звук-Д» прошел полномасштабные испытания в районе Бермудских островов.

В начале 90-х годов экономическая ситуация изменилась. Актуальными стали инженерные, инженерно-геологические, инженерно-гидрографические и поисковые работы на мелководье, и во внутренних водоемах. Большой интерес приобрели задачи мониторинга подводных потенциально опасных объектов, подводных сооружений в шельфовых морях России, гидротехнических сооружений и подводных продуктопроводов, а также задачи исследования русловых процессов, осложняющих прибрежную геоэкологическую обстановку.

В соответствии с этими потребностями в ИОРАН был разработан и создан **новый приборный парк**, основным требованием к которому была мобильность, малые габариты и независимость от внешних источников питания.

Для исследований на мелководье и во внутренних водоемах создан комплекс МКС, облик и структура которого определяются полевыми условиями работы в труднодоступных местах с борта неспециализированных маломерных судов и лодок. Отличительные особенности: **бортовое крепление антенн, автономное электропитание =12В,**

использование ПЭВМ типа Notebook. Изображения элементов и характеристики аппаратуры приведены на рис.9 и в таблице 1.

Для морских исследований на глубинах до 200 м создан шельфовый аппаратурный комплекс «Микросаунд». Облик и структура аппаратуры определяются глубинами и условиями работы на морских судах малого тоннажа, имеющих сухие помещения для установки аппаратуры, в ряде случаев электросеть 220В 50Гц и элементы палубного оборудования (лебедки и стрелы). Отличительные особенности: буксируемые антенны ГБО и АП, два частотных диапазона ГБО (240 и 500 кГц), универсальное электропитание (~220В и =12В), портативная ПЭВМ. Изображения элементов и характеристики комплекса приведены на рис. 10 и в таблице 1.

Для решения исследовательских задач в территориальном море России созданы гидролокационные комплексы «Мезоскан» (рис.11) и «Мезоскан-М» с глубиной погружения до 2 км, оборудованные двумя ГБО (70кГц и 240кГц), АП (5 кГц) и навигационным маяком-ретранслятором. Комплексы снабжены углубительными устройствами гидродинамического и гравитационного типа. Отличительные особенности: двухчастотный ГБО, малые габариты, простота транспортировки, возможность работ на разных скоростных и глубинных режимах.

Для исследования рыхлых осадочных отложений и погребенных объектов созданы акустические профилографы (АП), для комплексов «Звук», «Мезоскан», «Микросаунд» и «МКС», а также автономный АП-5. Ключевыми аспектами разработок автора в части АП являются: разработка гидроакустических антенн на базе кольцевых преобразователей, применение ЧМ посылок и корреляционной обработки эхо-сигналов, а также дифференциальных детектирующих устройств.

Для повышения качества представления гидролокационных изображений в реальном времени, их динамического диапазона и детальности, а также объемов и долговечности архивирования и возможностей обработки в ИО РАН с 80-х годов ведутся разработки цифровых методов регистрации гидролокационной информации. В первых образцах на базе ЭВМ СМ1420 и модуля КАМАК гидролокационные изображения отображались на экранах телевизионных мониторов и выборочно сохранялись на жестких дисках. В 90-х годах созданы устройства вначале с 4-х, а потом с 8-ми разрядным аналого- цифровым преобразованием для шины ISA PC. В настоящее время разработаны и используются модули связи с ПЭВМ на основе портов LPT (EPP) и USB 2.0, что связано, в том числе с широким использованием ПЭВМ типа Notebook (рис.12).

Программа реального времени, управляющая процессом сбора и отображения информации гидролокационной аппаратуры через модуль ввода-вывода, преобразовывалась

неоднократно в связи с модернизацией модулей и переходом к более современным операционным системам. Последняя версия программы создана для среды Windows'98/XP.

Программа подготовки гидролокационной информации (WINRASTR), позволяет просматривать сохраненные изображения поверхности и профилей дна на экране ПЭВМ и создавать масштабированные твердые копии этих изображений. При просмотре изображений предусмотрена возможность создания файлов координат профилей дна, контуров областей и точечных объектов, видимых на изображении с использованием манипулятора «мышь». Программа также поддерживает функции формирования равно-масштабных изображений при выводе, коррекции на наклонную дальность и формирования гидролокационных мозаик.

Для всех образцов гидролокационной техники, автором разработаны конструкции гидроакустических антенн. При этом решены задачи формирования требуемой направленности и герметизации в условиях высоких давлений до 600 атм, а также обеспечена возможность изготовления антенн в условиях опытного производства.

#### **Выводы по главе 4.**

Под руководством и при непосредственном участии автора созданы образцы аппаратурно-программных комплексов для проведения натуральных испытаний и практических исследований на акваториях, а именно:

1. Многофункциональный стационарный глубоководный буксируемый комплекс в составе двух подводных буксируемых аппаратов (ПБА) «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ», позволяющий вести комплексные гидрографические исследования на глубинах до 6000м.

2. Глубоководные буксируемые комплексы «Звук-4», «Звук-Л1» и «Звук-Л2», позволяющие вести исследование и картирование дна и подводных объектов по гидролокационным и фотографическим данным на глубинах до 4000 и 6000 м соответственно.

3. Низкочастотный гидролокатор бокового обзора дальнего действия «Звук-Д» для исследования и картирования генеральных форм рельефа дна океана.

4. Аппаратурный комплекс для мелководья и внутренних водоемов «МКС» в составе ГБО, эхолота и АП с бортовым креплением антенн для исследований дна и подводных объектов на глубинах до 30м.

5. Шельфовый аппаратурный комплекс «Микросонд» в составе буксируемого двухчастотного (240/500кГц) ГБО и АП для исследований на глубинах от 10 до 200 м.

6. Глубоководные мобильные аппаратурные комплексы «Мезоскан» и «Мезоскан-М», с двухчастотным ГБО (80/240 кГц) и АП (5 кГц), позволяющие вести исследование дна и картирование подводных объектов на глубинах до 2000м.

7. Программно-аппаратные средства реального времени для сбора и отображения информации, поступающей от гидролокационных и навигационных средств, а также управления их работой с помощью настольных и портативных ПЭВМ.

8. Программно-математическое специальное обеспечение для камеральной обработки и подготовки собранной информации к анализу и обработке пакетами программ общего назначения.

В пятой главе рассмотрены результаты внедрения разработанной технологии исследования дна акваторий и подводных объектов при проведении натурных работ с использованием созданных аппаратурно-программных комплексов.

Рассмотренные в предыдущих главах результаты были использованы при проведении автором непосредственно и в ходе руководства океанологическими исследованиями и подводными работами по тематике РАН, контрактам с РФФИ (15 проектов), Федеральным Агентством по науке и инновациям, Министерством обороны, а также частными компаниями и фирмами. Крупный блок представлен морскими экспедиционными работами, которыми руководил автор, выполненными по 11 контрактам МЧС России, по обследованию подводных техногенных объектов, представляющих потенциальную опасность жизни людей и экологии окружающей среды.

В 1978 году с помощью ГБО «Звук-4» был проведен поиск выходов коренных пород и осадочных «караманов» в рифтовой зоне Красного моря, в 1980 году – впервые выполнено геолого-геоморфологическое картирование вершины подводной горы Афанасия Никитина в Индийском океане, в 1982 году – выполнены комплексные геолого-геофизические исследования хребта Рейкьянис в Северной Атлантике. С помощью ГБО «Звук-Л» в 1986 году были проведены исследования бровки континентального склона и шельфа на разрезах и полигонах Болгарского сектора Черного моря, в 1987 году было выполнено геолого-геоморфологическое картирование центральной части банки Горринжд в Северной Атлантике и хребта Барони в Средиземном море. В 1993 году по контракту с Департаментом археологии и экологии Мексики с помощью ГБО «Звук-Л2» был обследован и закартирован обширный район (600 кв.км) на банке Кампече в Мексиканском заливе; при этом впервые синтезирована цифровая геоморфологическая схема района.

В 1991 году с помощью буксируемого гидролокационного аппарата «Звук-Л2» было уточнено местоположение затонувшей атомной подводной лодки "Комсомолец" на глубине 1700м и судна «Титаник» на глубине 3800 м. В 1995 году с помощью ГБО «Звук-Л2» были выполнены работы по проекту ORCA – поиск японской дизельной подводной лодки, затонувшей в период Второй мировой войны в центральной Атлантике на глубине 5000м.

Совместно с Институтом водных проблем севера КНЦ РАН в 2001-2009 годах была разработана и внедрена технология промера, гидролокационной съемки и акустического зондирования (рис.6) при комплексных гео-, био-, экологических исследованиях эстуариев рек Белого моря в рамках 4 грантов РФФИ. Получены уникальные данные в районе Кемской губы, Кандалакшского залива, в районе п.Беломорск и в восточной части Белого моря. В 1995-2004 годах ИО РАН совместно с Географическим факультетом МГУ была разработана и внедрена технология картирования морфологии и оценки количественных параметров форм рельефа дна русел рек с помощью ГБО. На рис.13 приведен пример гидролокационного изображения руслового рельефа дна Волги в районе г.Астрахань. Технология была внедрена при выполнении 9 проектов РФФИ в 1995-2004 гг. имеющих целью исследовать морфолитодинамику руслового рельефа и разработать прогноз тенденций эрозионно - аккумулятивных процессов в Нижней Волге и в ее дельте в условиях нестабильности уровня Каспийского моря. По результатам этих исследований опубликован ряд основных работ, в том числе монография «Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика», а также в 2009 году издан «Атлас русловой морфодинамики Нижней Волги (Волгоград-Астрахань)». В 2010 году работы продолжены при поддержке РФФИ с целью получения дополнительных данных для составления атласа дельтовых рукавов Волги. В 2001 году русловые исследования с гидролокационной аппаратурой были проведены в нижнем течении р.Кубань и ее рукава Протоки (2 проекта).

В 1993 году технология обследования морского дна с помощью ГБО, была впервые использована автором во внутреннем водоеме для обследования подводных переходов магистральных трубопроводов через р.Енисей вблизи п.Дудинка. Позже аналогичные работы выполнялись на реках Обь, Волга (рис.14), Ока, Печора, Вычегда и др. Обширные работы выполнены в интересах компаний нефтегазового комплекса: в 1998 и 2003 годах обследованы участки шельфа и мелководья у полуострова Медынский в Печерском море в рамках оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) строительства нефтяных терминалов; в 1999-2000 г. проведены гидролокационные исследования и акустическое зондирование на семи разрезах участка побережья Новороссийск-Анапа и полигоне в районе пос.Озеревка на Черном море в рамках ОВОС строительства нефтяных терминалов Каспийского трубопроводного консорциума; в 2004-2005 году проведены глубоководные работы в Каспийском море по гидролокационному обследованию поверхности дна на площадках «Яламо-Самур» и «Центральная» в процессе инженерно- геологических изысканий мест установки полу - погруженных буровых установок.

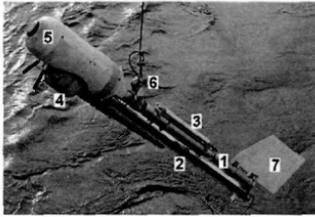


Рис. 11. ГБА «Мезоскан»: 1 – прочный корпус (труба); 5 – обтекатель; 6 – узел подвески; 7 – стабилизатор. Антенны: 2 – ГБО 80кГц, 3 – ГБО 240кГц, 4 – АП.

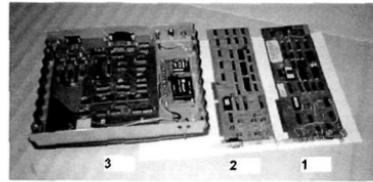


Рис. 12. Модулей ввода-вывода гидролокационной информации ИО РАН: 1 – 4 разрядный модуль для разъема ISA PC; 2 – 8 разрядный модуль для разъема ISA PC; 3 – автономный модуль RAD-EPP/USB.

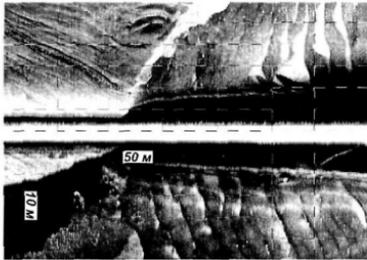


Рис. 13. Песчаные гряды и выходы коренной глины в русле Волги.

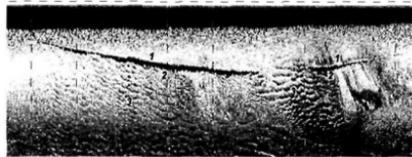


Рис. 14. Изображение оголенного участка подводного перехода магистрального газопровода через р.Волга.

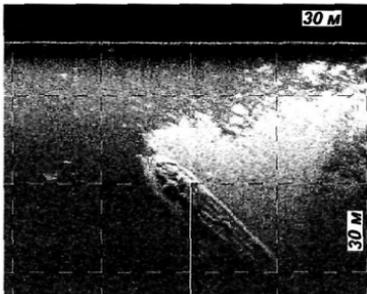


Рис. 15. Гидролокационное изображение затонувшего эсминца в Черном море в районе Мысхако. Сетка графления 30х30м. Справа светлый тон – аккумулятивное осадочное пятно.

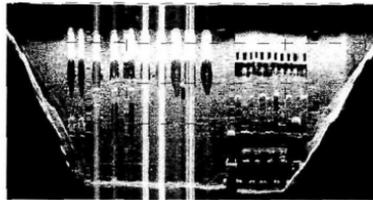


Рис. 16. Изображение напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС со стороны водохранилища, полученное с помощью "перевернутого" ГБО.

В 1998-2010 годах в рамках задач МЧС России по ведению Реестра подводных потенциально опасных объектов (ППОО) в автором была разработана технология поиска и обследования ППОО с использованием ГБО, телеуправляемых аппаратов и прямых методов отбора проб. Технология была внедрена при выполнении контрактов МЧС России. В 1998 и 2000 годах осуществлялся гидролокационный поиск и обследование мест захоронения химического оружия (ХО) в проливе Скагеррак и Борнхольмской котловине в Балтийском море; в 2002-2004 годах по заданию МЧС России было проведено три экспедиции в район Малого моря, Баргузинского и Чивыркуйского залива оз. Байкал с целью поиска и выборочного подъема затонувших судов, авто-техники, и прочих подводных объектов, представляющих опасность чистоте вод озера Байкал; в 2005-07 годах по контрактам с МЧС России был поведен поиск кораблей и судов, внесенных в Реестр ППОО, затонувших в районе п.Калининград и Борнхольмской котловины в Балтийском море; в 2006,2008-10 годах проведено обследование затонувших судов и ППОО на Черном море (рис.15), а в 2007 году – в Карском море. Целью работ являлся поиск, подтверждение наличия, уточнение местоположения объектов и исследование состояния окружающей среды в непосредственной близости от них.

В 1993-95 годах автором, при проведении совместных с Инженерным Центром «Глубина» работ, была разработана технология контроля состояния гидротехнических сооружений ГЭС и прилегающих к ним участков речного дна с использованием ГБО. Экспериментальные работы по обследованию гидротехнических сооружений проводились на Волжской ГЭС им.В.И.Ленина и Саяно-Шушенской ГЭС (рис.16). Различные аспекты гидролокационной технологии апробировались в 1999 году при обследовании подводных оснований опор железнодорожного моста через реку Оку (г.Коломна), а также при обследовании рельсового слипа судостроительного завода «Вымпел» в г.Рыбинск в 1997 году.

В сентябре 2005 года гидролокационный комплекс «Микросонд-500» и «МКС» использовались для обследования озера Сюрзи в труднодоступном месте на границе Архангельской области и Республики Коми с целью поиска на дне объектов, связанных с несколькими случаями гибели рыбаков. Предполагалось, что в озеро могли упасть отделяющиеся части ракет-носителей, содержащих токсичное вещество гептил. Однако были обнаружены многочисленные специфические углубления в донном грунте - следы естественных выбросов природного газа, в среде которого люди могли задохнуться.

## **Выводы по главе 5.**

Результаты, представленные в главе свидетельствуют о том, что автором успешно разработана в полном объеме и внедрена в практику экспедиционных работ технология широкого спектра применения для исследования дна акваторий и подводных объектов с помощью гидролокационных средств.

Эта технология, включающая гидролокационные аппаратно-программные гидролокационные исследовательские комплексы, сформированные и использованные в соответствии с разработанной методологией организации процесса исследований, позволила полностью решить поставленные задачи при выполнении:

- океанологических исследований дна океана, морского шельфа и мелководья в соответствии с фундаментальными задачами, решаемыми РАН;
- определения местоположения объектов на дне, на больших глубинах;
- обследования участков дна, предназначенных для строительства ответственных подводных сооружений и инженерных объектов;
- исследований и картирования объектов морфологии и морфолитодинамики дна морского мелководья, водохранилищ и русел рек, позволяющих, в том числе оценить прессинг придонных процессов на инженерные сооружения;
- поиска, и обследования ППОО в территориальном море России, содержащих отравляющие и взрывчатые вещества, а также твердые радиоактивные отходы;
- обследования, контроля состояния и поиска повреждений подводных переходов продуктопроводов через водные преграды;
- обследования ответственных подводных элементов и конструкций гидротехнических, транспортных и других подводных инженерных сооружений.

В заключении сформулированы выводы, которые сделаны по выполненной диссертационной работе.

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке эффективной технологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами. В процессе разработки решены следующие основные задачи, в том числе защищены основные положения диссертационной работы:

1. Исследована структура и состав технологии изучения дна акваторий и подводных объектов с помощью гидролокационных средств. Технология включает гидролокационные и навигационные средства; вспомогательное оборудование лавасредств и подводных аппаратных комплексов; цифровые программно-аппаратные системы сбора, отображения и комплексной обработки гидролокационной и навигационной информации; программы и методики использования технических средств;

- методики камеральной обработки данных, в том числе программными пакетами общего назначения для представления их к виду удобному для анализа и отчетных материалов.
2. Проведен сравнительный анализ существующих основных и вспомогательных, в том числе навигационных технических средств исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами. Основными исследовательскими средствами являются ГБО, АП и эхолоты. Основными средствами надводной навигации являются КНС GPS и ГЛОНАСС, а подводной - ГАНС.
  3. **Определены основные требования к построению технологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами, а именно: широкий спектр решаемых задач исследования разнообразных объектов в условиях различных акваторий, разработка методических основ организации процесса исследований, разработка технических средств и апробация технологии в целом.**
  4. **Разработан теоретически обоснован и реализован на практике метод координатно-временной привязки результатов исследований дна акваторий и подводных объектов, с использованием гидролокационных средств.**
  5. **Разработаны методические основы формирования исследовательских аппаратурно-программных комплексов на базе основных и вспомогательных, гидролокационных и навигационных технических средств исследования дна акваторий и подводных объектов.**
  6. **Разработана научно обоснованная методика применения аппаратурно-программных гидролокационных комплексов для исследований дна акваторий и подводных объектов и определены основные параметры и режимы процесса исследований. При этом определяются объекты, цели, объем и материально-техническое обеспечение работ; содержание отчетных материалов; требования к месту, метеоусловиям и навигационно-гидрографическому обеспечению работ; порядок и методика использования ГБО, АП, ЭХ и ГАНС при обследовании подводных объектов, в том числе выбор направления галсов съемки, определение расстояния между галсами, выбор скорости движения и расстояния до дна, определение места начала съемки, расчет траектории разворота на соседний галс; навигационное обеспечение проводки плавсредства по маршруту.**
  7. **Разработаны методические основы построения системы сбора и обработки получаемой информации и представления ее в виде, удобном для анализа специалистами. При этом определены принципиальные технические решения программно-аппаратных средств системы реального времени, и структуры камеральной обработки информации исходя из требований к отчетным материалам.**

8. Под руководством и при непосредственном участии автора созданы, испытаны и внедрены образцы технических средств, а именно: глубоководные исследовательские многофункциональные и гидролокационные комплексы «Звук-Комплекс», «Звук-МАФТ», «Звук-4», и «Звук-Л», «Звук-Л2», «Мезоскан» и «Мезоскан-М»; шельфовый исследовательский гидролокационный «Микросаунд»; аппаратный комплекс для мелководья и внутренних водоемов «МКС»; цифровые программно-аппаратные средства, позволяющие отображать, накапливать и обрабатывать в реальном времени и в режиме постобработки информацию, поступающую от гидролокационных и навигационных средств, а также управлять их работой с помощью настольных и портативных ПЭВМ;
9. Разработанная технология исследования дна и подводных объектов гидролокационными методами внедрена при проведении всего спектра работ на различных акваториях в океане, на шельфе и во внутренних водоемах. Эта технология, включающая гидролокационные, навигационные и программно-аппаратные средства, методологию организации морской съемки, а также сбора и обработки данных, позволила полностью решить поставленные задачи при выполнении картирования и исследования морфологии рельефа и морфолитодинамики морского дна и русел рек; обследовании подводных переходов продуктопроводов через водные преграды; поиске и обследовании ППОО в территориальном море России, поиске объектов, затонувших на больших глубинах; обследовании ответственных подводных конструкций инженерных сооружений и участков дна, предназначенных для их строительства.

Таким образом автором решены поставленные задачи, создана эффективная технология широкого спектра применения для исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами.

#### Список основных публикаций по теме диссертации.

1. Римский-Корсаков Н.А., Шрейдер А.А. Опыт геологического картирования на вершине горы Афанасия Никитина с ПА "Звук-4". *Океанология*. 1982. Т.22. вып.4.С.
2. Римский-Корсаков Н.А. Акустический профилограф. В кн. «Принципы построения технических средств освоения океана», М, Наука, 1982 с.190-200.
3. Шрейдер А.А., Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А., Трухин В.И. Комплексные детальные геофизические исследования в рифтовой зоне Красного моря. *Океанология*, 1982, т.22, вып.3, сс.439-445.
4. Римский-Корсаков Н.А. Особенности геологических исследований дна акустическими профилографами с борта подводных буксируемых аппаратов. *Океанология*, 1983, т.23, вып.5, сс.887-892.

5. Айбулатов Н.А., Димитров П.С., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Шахов М.Н. Мезо- и микроформы донного рельефа шельфа и верхней части континентального склона западного сектора Черного моря. *Океанология* (БАН), №19, 1988, с.107-112.
6. Сборщиков И.М., Шрейдер А.А., Ястребов В.С., Римский-Корсаков Н.А. Хребет Горриндж и тектоника Азоро-Гибралтарской зоны. *Океанология*, т. XXVII, 1988, вып.6, сс.967-973.
7. Шрейдер А.А., Трухин В.И., Римский-Корсаков Н.А., Бирюков С.Г., Попов В.А. Опыт использования буксируемого подводного аппарата «Звук-4». В кн. «Рифтовая зона хребта Рейкьянис», М, Наука, 1990, с.89-98.
8. Римский-Корсаков Н.А., Нафиков В.М. Некоторые результаты использования подводного буксируемого аппарата для крупномасштабного геолого-геоморфологического картирования. *Океанология*, 1992, т.32, вып.3, сс.594-599.
9. Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Система передачи гидролокационной информации глубоководного буксируемого аппарата. *Океанология*, 1992, т.32, вып.4, сс.774-775.
10. Rona P.A., Bogdanov Y.A., Gurvich E.G., Rimski-Korsakov N.A. Relict Hydrothermal Zones in the TAG Hydrothermal Field, Mid-Atlantic Ridge 26°N, 45°W. *Journal of Geophysical Research*, Vol.98, No. B6, 1993, pp.9715-9730.
11. Сагалевич А.М., Римский-Корсаков Н.А., Павлов Р.Б. Комплексные детальные исследования поверхности дна на шельфе Мексиканского залива с использованием подводных аппаратов. *Океанология*. 1994. Т.34. №6. С.924-927.
12. Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А., Зайцев А.А., Сычев В.А. Морфология русла и стратиграфия отложений в западной подсистеме водотоков дельты р.Волги. *Вестник Московского университета, серия 5, География*, 1996, №2, сс.53-60.
13. Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Акустический профилограф с дифференциальным выходным приемным устройством. - *Океанология*, 1998, том 38, №2, сс.315-317
14. Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Использование ЧМ- сигналов при зондировании донных осадков. *Навигация и гидрография*, 2002, №14, 154-160
15. Зайцев А.А., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А. и др. *Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика*. М.:ГЕОС, 2002, 242с. с ил.
16. Dolotov Y.S., Filatov N.N., Nemova N.N., Shevchenko V.P., Rimski-Korsakov N.A. et. al. Studies of the Water and Suspended Matter Dynamics, Anthropogenic Pollution, and Ecosystem Living Conditions in the Estuaries (from the Example of the Karelian Coast of Wite Sea). *Oceanology*, Vol.42, Suppl. 1, 2002, pp.S135-S147.

17. Смирнов Г.В, Римский-Корсаков Н.А., Челышев В.А. VII Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований». - **Океанология**, 2002, том 42, №4, с.632-633
18. Долотов Ю.С., Новигатский А.Н., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Телековский А.А., и др. Особенности рельефа, поверхностных донных осадков и строения осадочной толщи в различных зонах эстуария реки Кемь (Белое море). **Океанология**, 2005, том 45, №6, с.927-935.
19. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Немова Н.Н., Римский-Корсаков Н.А. и др. Мониторинг приливно-отливных обстановок в эстуариях карельского побережья Белого моря. - **Водные ресурсы**, 2005, том 32, №6, с.670-688.
20. Иванов В.В., Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А., А.В.Чернов. Атлас русловых деформаций Нижней Волги. **Водные ресурсы**, 2006, том 33, №5, с.580-588.
21. М.В.Флинт, А.Г.Зацепин, Н.В.Кучерук, Н.А.Римский-Корсаков, С.Г.Поярков. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (54-рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»). - **Океанология**, 2008, том 48, №6, с. 947-951.
22. Римский-Корсаков Н.А., Ю.С.Долотов, А.А.Пронин. Технические средства исследования рельефа дна и эстуарных зон Белого моря. - **Океанология**, 2009, том 42, с. 468-473.
23. Sagalovich A.M., Rimskiy-Korsakov N.A. MIR Submersibles Explore The Bottom of Russia's Lake Baikal. **Sea Technology**, December 2009, pp.15-19
24. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н., Римский-Корсаков Н.А., Сагалевич А.М., Черняев Е.С. Разрушение глубоководных метановых пузырей. - **Океанология**, 2010, том 50, №4, с.505-514.
25. Ю. С. Долотов, Н.Н.Филатов, Н.А.Римский-Корсаков, Р.Э.Здоровеннов, и др. О проявлении морского и речного факторов в фазы прилива и отлива на береговых участках разной конфигурации Белого моря. **Океанология**, 2011, том 51, № 1, с. 110–122.
26. Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А., Фролов Д.П. Акустический профилограф с использованием ЧМ-сигналов и дисперсионных ультразвуковых линий задержки. Сб. **«Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»**, СПб, 2006, «Наука», с.151-153.
27. Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Розман Б.Я. Некоторые результаты работ по поиску и обследованию подводных потенциально опасных объектов в Карском море в 54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». В сб. **«Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»**, СПб, 2008, «Наука», с.141-144.

28. Алексеев С.П., Ашик И.М., Воронова Т.В., Римский-Корсаков Н.А. и др. Справочник технических средств изучения параметров природной среды Мирового океана. Изд. ГНИНГИ МО РФ, СПб 2009, 183 с., ил.
29. Вялышев А.И., Мельников В.И., Римский-Корсаков Н.А. Аспекты технологии и стратегии обследования ППО в Балтийском море. - «Подводные технологии», 2006, №5-6, сс50-56.
30. Gusev V.K, Naficov V.M., Pavlov R.B., Rimski-Korsakov N.A. Application of image processing system RASTR. В ж. Martech, vol.2, N 5, December 1992, 3/4, pp.7-12.
31. Римский-Корсаков Н.А. Обследование дна водоемов с использованием гидролокационной аппаратуры. Технология и оборудование. - ОКТОПУС ПРО, М, 2002, номер 5, с56-58.
32. Римский-Корсаков Н.А. Аспекты технологии использования спутниковой навигационной системы при гидролокационной съемке на мелководье. Матер.конф."3-я Российская науч.-тех. Конф. "Соврем. сост., проблемы навигации и океанограф. (НО-98)", С.-Петербург, 20-23 мая 1998 г., изд. Государ. науч.-исслед. навигационно-гидрограф. ин-т МО РФ, с.88.
33. Римский-Корсаков Н.А. Применение океанологической гидролокационной аппаратуры для обследования плотин ГЭС. Деп.ВИНИТИ 14.06.96, № 1965-В96.
34. Римский-Корсаков Н.А., Фролов Д.П., Абрамович В.П., Якович И.И. Некоторые результаты использования акустического профилографа с частотно-модулированной посылкой. В сб. «Подводные технические средства исследования океана», М, 1988, изд. ИО АН СССР, с.119-121.
35. Rimski-Korsakov N.A., Korotaev V.N., Ivanov V.V.. Channel Bed Sediments And Thickness Of Alluvium At The Lower Volga River And Its Delta. Сб. «Proceedings of the 10 International Symposium in River Sedimentation» Session IV, August 1-4, 2007, Moscow, Russia, Vol. 4, pp.116-123.
36. Rimski-Korsakov N.A., Sychov V.A. LR Sonar Zvuk-D design and observation results. Black Sea 92 Conf. Proceedings, 1992, Varna, Bulgaria, pp.33-34.
37. Костин А.Б., Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С. Гидролокационная аппаратура МИКРОСАУНД для поиска, обследования и контроля состояния объектов на дне морского шельфа и внутренних водоемов В сб.тез. док. Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на море и водных бассейнах России», С.-Петербург, 1995, изд. МЧС России, с.68.

38. Римский-Корсаков Н.А. Гидролокационное обследование мелководных акваторий. Сб. трудов IV Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» Изд. ИО РАН, 1998, сс.LXXVIII-LXXXI.
39. Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С. Цифровой модуль ввода-вывода гидролокационной информации RAD98. Там же, с.114.
40. Верчеба О.А., Лежнин В.А., Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А., Руссак Ю.С. Гидролокатор бокового обзора МКС 004. Там же, с.112
41. Римский-Корсаков Н.А., А.А.Пронин, В.А.Сычев Технология прибрежной гидролокационной съемки в Печорском море осенью 1998 г. Сб. Материалы V международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», М, изд. ИОРАН, 1999, сс.56-57
42. Кортаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А., Зайцев А.А., Иванов В.В., Сычев В.А.. Комплексные геолого-геофизические исследования Волго-Каспийского канала. Там же, сс. 125-126.
43. Римский-Корсаков Н.А., Телековский А.С. Первичная обработка гидролокационной информации при исследовании рельефа дна водоемов Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2001), 21-23 ноября 2001г., сс. 120-122.
44. Кортаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А., Иванов В.В. Некоторые результаты исследования грядового рельефа с помощью гидролокационной аппаратуры. Там же, сс.115-117.
45. Римский-Корсаков Н.А. Структура технологии гидролокационных исследований дна и подводных объектов. В сб. материалов VIII конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», Москва, 2003 г. изд. ИО РАН. т.2. с.253-258.
46. Бушуев К.Л., Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С., Телековский А.С., Разработка систем сбора и обработки гидролокационной информации. Там же, т.2, с.258-259.
47. Долотов Ю.С., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Телековский А.А., Навигатский А.Н., Дунчевский А.С.Комплексные исследования эстуариев с применением гидролокационной техники. Там же, т.2, с.301-303.
48. Козлов И.Н., Римский-Корсаков Н.А., Розман Б.Я., Верчеба О.А. и др. Технология поиска обследования и подъема потенциально опасных подводных объектов на озере Байкал в 2002-03 годах. Там же, т.2, с.272-281.
49. Парамонов А.А., Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. ГАНС с ультракороткой базой для глубоководного буксируемого комплекса «Мезоскан». Там же, т.2, с.231-237.

50. Римский-Корсаков Н.А. Гидролокационные средства и практика подводных исследований в ИО РАН. Материалы 9 научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», М, 2005, часть 1, сс.33-46.
51. Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Многоцелевой гидролокатор бокового обзора «Мезоскан-М». Материалы 10 научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», М, 2007, т. 2, сс.15-20.
52. Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Модернизированный ГБО «Микросаунд-М». Там же, т.3, сс.94-97.
53. Римский-Корсаков Н.А., Чечко В.А. Изучение поверхностного слоя донных осадков с помощью гидролокатора бокового обзора. Там же, т. 3, сс.15-21.
54. Вяльшев А.И., Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А. Геофизическое обеспечение поиска и обследования подводных потенциально опасных объектов. Там же, т. 1, сс. 124-126.
55. Пака В.Т., Римский-Корсаков Н.А., Никитин Г.А. Оценка изученности состояния захоронений химического оружия времен 2 мировой войны в Борнхольмской впадине Балтийского моря. Там же, т.3, сс.72-75
56. Римский-Корсаков Н.А., Дозоров Т.А. Заявка на патент № 2009128300/20 от 21.07.09. на «Способ геофизической разведки на акваториях, покрытых льдом».
57. Егоров А.В., Рожков А.Н., Римский-Корсаков Н.А., Дозоров Т.А. Заявка на патент № 2010101336/03 от 28.01.10. на «Способ добычи газовых гидратных углеводородов со дна водных бассейнов и устройство для его реализации».
58. Римский-Корсаков Н.А., Дозоров Т.А. Заявка на патент №2011108599 от 04.03.2011 на «Квазиголографический способ гидролокации и устройство для его реализации».

Список не включает 53 опубликованных тезисов и 9 статей. В целом по теме диссертационной работы автором опубликовано 120 работ.

Подписано в печать 23.03.2011 г.  
Заказ № 56. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в ООО «Альянс ДокументЦентр»