

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ПОПОВ Николай Николаевич

МЕТОДЫ СОПРЯЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ДАННЫХ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОГО МОРЯ

Специальность: 25.00.35 – Геоинформатика

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2014

Работа выполнена на кафедре Морских информационных систем Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Митько Валерий Брониславович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Давыдов Владимир Сергеевич,  
Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

кандидат технических наук, доцент

Елифанов Андрей Владимирович,  
Санкт-Петербургский  
Государственный Технологический  
Университет Растительных Полимеров

Ведущая организация – Санкт-Петербургский Государственный  
политехнический университет

Защита состоится «29» апреля 2014 года на заседании диссертационного совета ДС 212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, аудитория 102

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 года

Ученый секретарь диссертационного совета

Доктор географических наук, доцент



Попова Е.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В эпоху резкого возрастания интенсивности освоения Арктического региона проблема увеличения количества потенциально опасных объектов и возникновения чрезвычайных ситуаций в водной среде и на её поверхности, а также на морском дне и в донных осадках особенно актуальна. Увеличившиеся объемы и разнообразие информации, поступающей сегодня в системы мониторинга, в значительной мере изменили требования к её комплексированию и представлению в геоинформационных системах различного масштаба. Большое значение имеет при этом оптимизация систем подводного мониторинга применительно к конкретным регионам. Практически очевидным является тот факт, что за счёт повышения эффективности информационного обеспечения систем управления в различных областях морской деятельности может быть достигнут эффект не меньший, чем в результате технического совершенствования систем и их элементов. Всё вышеизложенное является основанием для проведения исследований, направленных на разработку способов повышения качества информационного обеспечения шельфовой зоны.

**Состояние исследования проблемы.** Применительно к рассматриваемому направлению можно указать на работы ГосНИНГИ МОРФ (Новиков И.А., Виноградов К.А., Федотов А.В.), Военно-Морской академии им. Н.Г. Кузнецова (Зарайский В.А., Некрасов С.Н., Ярошенко С.А.), ВВМУРЭ имени А.С.Попова (Сапрыкин В.А., Ковтуненко С.В.), в области объектно-ориентированных геоинформационных систем работы лаборатории объектно-ориентированных ГИС СПИИРАН (Попович В.В., Ивакин Я.А.), УНЦ «ГИС технологии» ЛЭТИ (Алексеев В.В., Куракина Н.И.), в области ГИС работы ГМА им. С.О.Макарова (Биденко С.И.). Из зарубежных исследователей следует указать на разработки в области гидродинамических моделей и систем освещения обстановки в береговой зоне CoreLab и FTZ (Kiel University) Майерли Р. и Гургель К.-В. и работу ежегодной конференции «День Балтийского моря» в Санкт-Петербурге.

Однако существуют резервы повышения качества освещения подводной обстановки, которые определяются всё более точными системами дистанционного зондирования Земли из космоса и моделями управления с применением объектно-ориентированных ГИС. Таким образом, **объектом** настоящего исследования являются современные системы информационного обеспечения морской деятельности, а **предметом** исследования – система подводного мониторинга и принятия решений в управлении морской деятельностью в шельфовой зоне.

**Целью** диссертационного исследования является разработка геоинформационных технологий поддержки управленческих решений и на их основе способов повышения качества информационного обеспечения различных служб Арктических регионов РФ в соответствии с критериями, принятыми в мировом сообществе.

**Для достижения указанной цели решаются следующие задачи:**

- анализ факторов, определяющих качество информационного обеспечения, при решении различных задач и применении средств локального и дистанционного зондирования;

- разработка геоинформационной модели прогнозирования гидрофизических характеристик мелкого моря с учетом влияния среды и технических характеристик средств, составляющих ее основные элементы, выявление технических и природных факторов, влияющих на эффективность функционирования системы;

- обоснование предложения по оптимизации информационного освещения гидроакустической обстановки, основанного на удовлетворении выбранным критериям качества;

- выработка рекомендаций по рациональному пространственному распределению баз данных и знаний в соответствующих слоях ГИС;

- обоснование целесообразности внедрения разработанных предложений в предлагаемые системы гидрофизической аттестации Арктического региона.

**Научная задача** состоит в разработке геоинформационной модели информационного обеспечения при проведении работ в мелком море (на примере Баренцева моря), чувствительной к изменению характеристик гидрофизических полей и параметров применяемых сигналов в информационных системах, что служит основанием для разработки технических предложений по совершенствованию структуры гидрофизического мониторинга в мелком море.

**Основными методами исследований** являлись анализ и обобщение данных, формирование базы данных в геоинформационной системе, аналитический расчёт, алгоритмизация и программирование и имитационное моделирование. Основным инструментом реализации указанных методов явилось применение объектно–ориентированное моделирование, машинный эксперимент и сопоставление его результатов с данными, полученными в ходе исследования. Разработанные модели, алгоритмы и методики программно реализованы на персональном компьютере.

**Основным инструментом** реализации указанных методов явилось применение общей теории гидроакустики, объектно–ориентированное моделирование, имитационный машинный эксперимент и сопоставление его результатов с данными, соответствующими реальным условиям, полученным в ходе многочисленных экспедиций (промысловых и научных) в Баренцевом море.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- Концепция построения системы гидроакустического мониторинга при управлении морской деятельностью в шельфовой зоне на базе ГИС-технологий, учитывающая новые факторы развития систем дистанционного мониторинга.
- Метод применения данных дистанционного зондирования морской поверхности для уточнения гидроакустических условий в мелком море (на примере Баренцева моря).
- Геоинформационная модель прогнозирования гидрофизических характеристик мелкого моря, применяемая при решении ресурсных, спасательных и экологических задач.

**К основным практическим результатам** относятся:

- анализ, обобщение и оценка данных по гидрофизическим характеристикам Баренцева моря, влияющим на информационное обеспечение;
- рекомендации по выбору параметров структуры гидрофизического мониторинга, типам используемых сенсоров.

**Научная новизна исследования:**

- Впервые предложено усовершенствование концепции построения системы освещения гидроакустической обстановки путем уточнения гидрометеорологических условий с помощью данных, полученных со спутников.
- Метод применения данных дистанционного зондирования морской поверхности для уточнения гидроакустических условий в мелком море, что позволяет рассчитывать вертикальное распределение скорости звука в любой точке.
- Разработана геоинформационная модель прогнозирования гидрофизических характеристик мелкого моря, позволяющая повысить точность прогнозирования ожидаемой дальности действия гидроакустических станций, как основного параметра, и глубины залегания оси подводного звукового канала на 2 и 1 % соответственно.

**Теоретическая значимость** исследований заключается в разработке геоинформационной модели системы гидроакустического мониторинга и концепции её интеллектуализации с учетом влияния среды и технических характеристик средств, составляющих ее основные элементы.

**Практическая значимость** исследований заключается в обосновании предложений по оптимизации системы подводного мониторинга в конкретных районах Крайнего Севера и выработке рекомендаций по рациональному оборудованию отдаленных районов Арктической зоны России элементами систем гидрофизического мониторинга.

**Достоверность** научных положений и выводов подтверждена непротиворечивостью полученных результатов данным в литературных

источниках, корректным применением современных методов математико-статистической обработки исходных данных, согласием с экспертными оценками.

**Личный вклад автора** заключается в формулировке задач, методическом обеспечении их решения, формировании баз данных, аналитическом расчете, проведении имитационного моделирования и анализе полученных результатов.

**Использование результатов исследований.** Автор участвовал в ряде НИР, относящихся к оптимизации систем мониторинга акваторий северных морей. Основные результаты работы использованы в НИР «Мировой океан», учебном процессе РГГМУ, ООО «Прогноз-Норд».

**Апробация работы.** Результаты исследований обсуждались на международных конференциях: «День Балтийского моря 2011», «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов 2010, 2011», «ИНФОГЕО-2012, 2013» и межвузовских (2011г., 2012г., 2013г.) конференциях ТРТУ, СГТУ, РГГМУ.

**Результаты опубликованы** в научно-технических статьях, трудах конференций, в отчётах по НИР и ОКР, тезисах докладов на научных конференциях. Опубликовано 18 научных трудов общим объёмом 4,18 печатных листа, из них по теме диссертации 15 научных трудов общим объёмом 3,24 печатных листов.

**Объём и структура работы.** Работа объёмом 124 страниц состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 110 наименований, содержит 57 рисунков, 4 таблицы и 2 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы, формулируется целевая установка, определяется содержание научных исследований в интересах исследовательских и ресурсных задач.

**В первой главе** рассматриваются современные требования к качеству информационного обеспечения комплексного управления шельфовой зоной, выявляются негативные факторы, влияющие на эффективность гидрофизического мониторинга мелководных регионов, и их характеристики. Анализируются и обобщаются данные по современным способам и средствам мониторинга, по гидрофизическим условиям районов применения предлагаемых решений, обосновываются направления повышения эффективности гидрофизического мониторинга. Представлены основные результаты по усовершенствованию концепции гидрофизического мониторинга за счет добавления элементов, учитывающих влияние передовых методов и средств дистанционного зондирования Земли из космоса, что стало первым научным результатом.

Баренцево море является регионом со сложными погодными условиями, что осложняет задачу гидрологического мониторинга акватории. Большинство научных экспедиций проводят наблюдения в летние месяцы, когда ледовая обстановка и погода позволяют применить исследовательскую аппаратуру. Однако, различные промышленные работы в водном бассейне осуществляются круглогодично, что ставит перед исследователями задачу непрерывного освещения гидроакустической обстановки, точное и своевременное моделирование которой не осуществимо без натуральных данных. Их учет может быть осуществим путем применением дистанционных методов наблюдения за морской поверхностью и атмосферой в связке с установленными в море измерительными станциями и буями.

До недавнего времени все знания о гидрофизических полях, их структуре и пространственно-временной изменчивости базировались на полевых данных. Сейчас перед исследователями стоит две задачи: развитие гидродинамических моделей, адекватно отражающих состояние моря и совершенствование методов и средств измерения, их разрешающей способности и точности.

Рассмотрев все имеющиеся средства и методы изучения океанологических, гидрофизических и метеорологических характеристик, были выделены те,



которые могут быть применимы для решения поставленной задачи в акватории мелкого с акустической точки зрения моря. Была сформулирована концепция системы информационной поддержки управления морской деятельностью в шельфовой зоне на базе ГИС-технологий с учетом новых факторов, регистрация которых была не осуществима без развития систем спутникового мониторинга земной поверхности (рисунок 1)

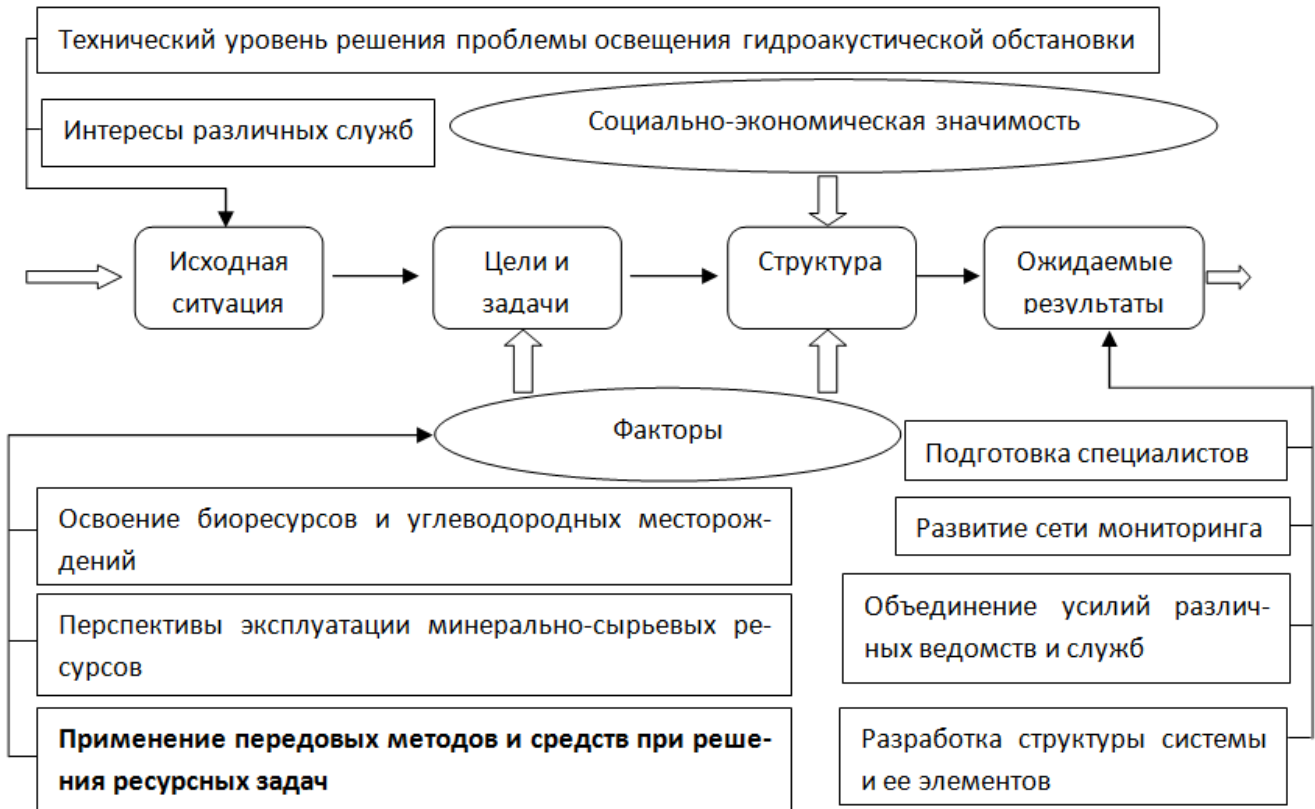


Рисунок 1 – Концепция построения системы информационной поддержки

В основе исследования лежат полевые данные, полученные как контактными, так и дистанционными методами. Возникает необходимость учитывать качество натуральных данных – известно, что дистанционные методы позволяют покрывать большие территории при относительно невысокой (по сравнению с контактными методами) точности измерений. В свою очередь применение контактных методов сильно лимитировано погодными условиями, наличием волнения и льда, высокими финансовыми затратами. Другой серьезной проблемой является то, что большинство средств, покрывающих обширные территории (спутниковые измерения, FerryBox, дрейфующие буи) производят

наблюдения только в приповерхностном слое, что малоприменимо в гидроакустике. При большом количестве полевых данных, полученных с помощью разных методов и средств, они могут быть взаимно скорректированы и улучшены. Так, имея сеть буйковых станций, можно уточнять данные, полученные со спутника.

**Во второй главе** описывается метод применения данных дистанционного зондирования для уточнения гидроакустических условий, который стал вторым научным результатом. Для этого были рассмотрены несколько проектов наблюдения за морской поверхностью из космоса. Выделены сильные и слабые стороны, описана возможность их применения в различных районах Арктики. Особое внимание уделяется дистанционному измерению солености, как наиболее молодому направлению.

Было выдвинуто предположение, что для оценки возможности прогнозирования вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) могут быть использованы архивные данные, скорректированные измеренными на поверхности значениями температуры и солености.

Обсуждаемый метод использует данные, поступающие из различных источников, следовательно, необходимо рассмотреть механизмы ввода данных, а также их взаимного дополнения и коррекции. Метод состоит из следующих этапов:

1) Все поступающие в базу данных профили температуры и солености преобразовываются в вертикальные распределения скорости звука, с помощью формулы Лероя.

$$c = 1492,9 + 3(T - 10) - 0,006(T - 10)^2 - 0,04(T - 18)^2 + \\ + 1,2(S - 35) - 0,01(T - 18)(S - 35) + z / 61 \quad (1)$$

где  $c$  – скорость звука (м/с),  $T$  – температура (°C),  $S$  – соленость (‰),  $z$  – глубина (м).

2) Для нахождения максимально вероятного профиля в заданной точке, акватория покрывается сеткой с заданным шагом, и выбирается ячейка, для

которой необходимо построить вертикальное распределение скорости звука. Для расчетов используются все профили, найденные на первом шаге и попадающие в выбранный район. Обработка всего объема информации с использованием аппарата статистических решений, критериев согласия, подтвердила допущение о том, что все гидрометеорологические данные распределены по нормальному закону, что позволяет рассчитывать медиану на каждом горизонте для нахождения максимально вероятного профиля.

3) При отсутствии натуральных измерений в интересующей точке производится расчет профилей скорости звука в соседних и их значения интерполируются в заданную с помощью метода обратных взвешенных расстояний.

4) Оперативные данные о температуре и солености, измеренные со спутников, применяются для расчета скорости звука на поверхности с помощью формулы Вильсона, что позволяет скорректировать прогностическое распределение.

5) Для этого применяется формула Колесникова, учитывающая наиболее вероятное ВРСЗ, разность между рассчитанным и измеренным значением скорости звука на поверхности и глубину, на которой совмещаются все профили характеристики:

$$V(h) = V_1(h) \pm \Delta v \left( 1 - \frac{h}{H} \right), \quad (2)$$

где  $V_1(h)$  - наиболее вероятное вертикальное распределение скорости звука для искомой точки;  $\Delta v$  - разность между измеренным и предполагаемым значением скорости звука на поверхности, принадлежащим вертикальному распределению  $V_1(h)$ ;  $h$  - глубина в точке;  $H$  - фиксированная глубина, ниже которой совмещаются все вероятные распределения скорости звука.

После проверки гипотезы оказалось, что для Баренцева моря этот метод не может быть применим в связи с большим разнообразием профилей скорости звука в одной точке в течение месяца, что не позволяет определить фиксированную

глубину ( $H$ ). Это обусловлено гидрологическим режимом и глубинами, которые большей частью не превышают 100-350 м. Для поиска глубины, до которой необходимо проводить интерполяцию, была использована спираль Экмана и рассчитывалась глубина трения ( $D$ ) - горизонт, на котором течение направлено противоположно поверхностному, а его скорость практически затухает:

$$D = \pi / a = \pi \sqrt{\frac{\mu}{\rho \omega \sin \varphi}}, \quad (3)$$

где  $\mu = 0,43 \cdot W^2$  кг/(м·с) – динамический коэффициент турбулентной вязкости;  $\rho = 1025$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды;  $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5}$  с<sup>-1</sup> – угловая скорость вращения Земли;  $\varphi$  – географическая широта места;

Следующим шагом исследований можно считать оценку влияния погрешности значения вертикального распределения скорости звука на прогнозирование одной из основных тактических характеристик гидроакустических средств – дальности действия в различных режимах работы. На основании таких оценок можно обосновать критерий приемлемости предлагаемого метода сопряжения статистических данных и данных оперативного дистанционного мониторинга.

**В третьей главе** приводятся основные положения по проектированию геоинформационной модели прогнозирования гидрофизических характеристик мелкого моря с учетом дополнительных факторов, регистрация которых стала возможна с развитием систем дистанционного зондирования Земли из космоса. Приводится обоснование принципов построения базы данных по источникам информации в геоинформационной системе, принципы построения слоёв геоинформационной системы, способы обработки и визуализации информации в геоинформационной системе.

В.В. Ольшевский описал модель, отражающую основные связи акустических и океанологических элементов. Он также предложил использовать метод декомпозиции для последовательной детализации элементов этой модели и их детерминированно-стохастических связей до момента, когда она может быть

реализована на базе программно-аппаратного комплекса. Выделяя из модели три основные блока - среда распространения сигналов, измерительный прибор и объект локации, получаем схему их взаимной связи (рисунок 2):

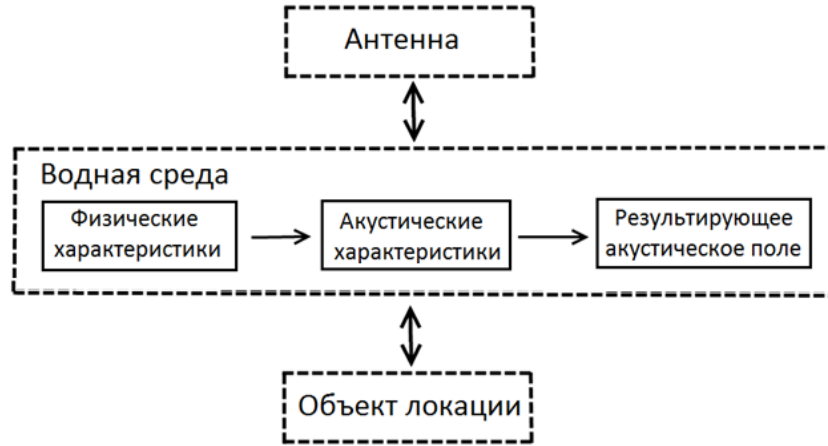


Рисунок 2 – Структурная схема акустической модели Баренцева моря

Физические характеристики водной среды могут быть представлены совокупностью состояния атмосферы, океана и дна, их взаимодействием, наличием солей и газов, гидродинамическими процессами, а так же физическими характеристиками биологических объектов, находящихся в среде. Акустические характеристики подводных шумов описываются совокупностью энергетических характеристик источников шумов и их направленными свойствами. Описание акустических характеристик морской толщи формируется из взаимодействия акустических волн с поверхностью и дном моря, объемного рассеяния и поглощения акустических волн водной средой. Результирующее акустическое поле представляется совокупностью шумов, реверберации (обусловленной рассеянием акустических волн на неровностях раздела океан-атмосфера, воздушных пузырьках в толще воды и биологических объектах, а также дном) и эхо-сигналов.

$$\vec{X}(\vec{\sigma}) = \vec{C}(\vec{\sigma}) + \vec{N}(\vec{\sigma}) + \vec{F}(\vec{\sigma}) + \vec{S}(\vec{\sigma}), \quad (4)$$

где  $\vec{C}(\vec{\sigma})$  - акустические поля прямых сигналов;  $\vec{N}(\vec{\sigma})$  - акустические поля подводных шумов;  $\vec{F}(\vec{\sigma})$  - акустические поля океанской реверберации;  $\vec{S}(\vec{\sigma})$  - акустические поля эхо-сигнала.

Общая схема геоинформационной системы должна включать: модуль первичной обработки поступающей из различных источников информации (устранение значений, выходящих за пределы  $3\sigma$ , и проверка на попадание в допустимые диапазоны изменения характеристик); базу данных, на основе которой происходит расчет характеристик, а также взаимная проверка и дополнение блоков данных; модуль управления потоками данных, отвечающий за добавление и устранение источников; блок формирования слоев ГИС и блок информационной поддержки оператора.

Геоинформационная система должна обязательно иметь следующие слои:

1) **Тип грунта** - для учета влияния дна на акустический сигнал необходимо учитывать физико-механические свойства грунта. Сведения о типе грунта хранятся в базе данных, содержащей информацию о широте и долготе точки, типе грунта, диаметре частиц, плотности, скорости звука в нем, пористости и коэффициенте поглощения. Отражение от дна существенно влияет на механизм образования акустического поля в мелком море, формируя дополнительно к потерям на распространение фронта волны потери при отражении от дна. Величина потерь при отражении звука от дна может быть представлена следующим соотношением:

$$P_0 = 10 \lg \frac{I_{nad}}{I_{omp}} = -10 \lg V^2 = -20 \lg V, \quad (5)$$

где  $I_{nad}$  и  $I_{omp}$  – интенсивности падающей и отраженной волны;  $V(\varphi)$  – коэффициент отражения от дна, обладающего потерями:

$$V = \frac{m \sin \varphi - \sqrt{n^2 - \cos^2 \varphi}}{m \sin \varphi + \sqrt{n^2 - \cos^2 \varphi}} \quad (6)$$

где  $n = C/C_1 = 0,86$  – коэффициент преломления;  $m = 1,95$  – зависимость модуля коэффициента отражения от угла скольжения ( $\varphi$ ).

2) **Шумы** - слой формируется для учета всего многообразия факторов: шум летательных аппаратов, атмосферные явления, волнующаяся водная поверхность, динамические явления ледового покрова, динамические явления, происходящие в приповерхностном слое водной среды, динамические процессы, происходящие на

дне океана, шум судов и промышленных объектов. Данные о ветре, ледовом покрове, волнах и сейсмической активности можно получить со спутников. Данные о размещении стационарных промышленных объектов хранятся в базе данных и представлены в следующем виде: широта и долгота точки, тип объекта, уровень шума. Так же необходимо учитывать воздушные и морские суда, присутствующие в районе. Для этой цели используются Интернет - сервисы слежения за ними, содержащие информацию о местонахождении объекта, его скорости, траектории движения и типе.

Акустическое поле подводных шумов описывается с помощью вектор-функции  $\vec{N}(\vec{\sigma})$ , входящей в уравнение (4):

$$\vec{N}(\vec{\sigma}) = [\vec{N}_1(\vec{\sigma}_1), \vec{N}_2(\vec{\sigma}_2) \dots \vec{N}_8(\vec{\sigma}_8)], \quad (7)$$

где  $\vec{N}_1(\vec{\sigma}_1) \dots \vec{N}_8(\vec{\sigma}_8)$  описывают совокупность лучевых пучков акустического поля подводных шумов, создаваемых атмосферными явлениями, динамическими процессами на поверхности моря, биологическими объектами, сейсмической активностью, летательными аппаратами и судами.

3) **Вертикальное распределение скорости звука** - наиболее важный параметр в гидроакустике. Для его прогнозирования используются архивные данные наблюдения за температурой и соленость, скорректированные информацией со спутников с помощью описанного во второй главе метода.

4) **Волны / ледовый покров** - для учета взаимодействия акустического сигнала с неровностями морской поверхности, необходимо сформировать слой, содержащий информацию о волнах и наличии ледового покрова. Эти данные поступают из различных спутниковых систем.

Также немаловажно иметь систему интеллектуальной поддержки оператора, способную предоставить ответы на нестандартные вопросы или дать исчерпывающее описание процессов, происходящих в акватории Баренцева моря. Для этих целей необходимо внедрение электронно-библиотечной системы, агрегирующей издания, относящиеся к исследованию и описанию морей

Арктического региона. Монографии, атласы, учебные материалы и методические указания должны быть собраны в единую базу данных.

**В четвёртой главе** представлены результаты экспериментальной проверки разработанных основных теоретических положений, предложенных технических решений и моделирования условий применения разработанных методов и методик, обоснованных принципов гидрофизической аттестации мелководных регионов в ГИС для решения различных задач. Для проверки изложенной выше методики были проанализированы данные, собранные в рамках научных и рыболовецких экспедиций в Баренцевом море в период с 2000 по 2013 года.

Для расчета использовались данные из различных слоев ГИС. Глубина погружения антенны задавалась равной 30 м, а глубина погружения объекта наблюдения - половине глубины места. Для каждой станции предложено сравнение лучевых картин и зон наблюдений в вертикальной плоскости, рассчитанных по приведенным входным данным.

Результат имитационной проверки для одной из станций Кольского меридиана (центральная часть Баренцева моря) приведен на рисунке 3 и показывает хорошую схожесть. Максимальная разность измеренной и рассчитанной скоростей звука для большинства станций составляет не более 2,5 м/с, что позволяет достаточно точно спрогнозировать распространение звуковых лучей в водной толще и оценить дальность действия ГАС.

Для оценки качества метода производилось сравнение погрешностей при прогнозировании ожидаемой дальности действия гидроакустических станций, как основного параметра, и глубины залегания оси подводного звукового канала. Как видно из приведенной таблицы 1, данный метод позволяет улучшить результаты на 2 и 1 % соответственно в сравнении с расчетом, базирующемся на использовании типовых распределений, приведенных в атласах.

Таким образом, с помощью геоинформационной модели можно структурировать, систематизировать и проанализировать разнородные данные, объединив их на единой картографической основе. Методом наложения



известных источников шума на карту гидроакустических характеристик возможно выработать стратегию по анализу и выявлению техногенных и природных катастроф, а также использовать полученные знания в практики судоходства. Эта база данных фактически является гидрофизическим паспортом региона, адекватно отображающим его океанологический паспорт, а база знаний в ГИС позволяет прогнозировать и выбирать варианты действий в регионе при решении ресурсных, навигационных, исследовательских и других задач.

Таблица 1 - Количественная оценка эффективности применения методики

Характеристика	Погрешность, %	
	Данные атласов	Расчет
Ожидаемая дальность действия ГАС	5	3
Ось подводного звукового канала	7	6

**В заключении** приводятся итоги работы, перечисляются полученные научные и практические результаты, раскрывается степень их достоверности, новизны и вклада в науку и практику, указываются сведения о реализации научных результатов, а также предложения по дальнейшему использованию результатов исследования, отмечаются нерешённые вопросы, которые могут служить предметом дальнейших исследований.

**В приложении** приведены графические материалы и результаты расчётов, полученных в ходе выполненного исследования.

**Результаты работы предполагается реализовать по следующим направлениям:**

- разработка предложений по перспективному развитию технических средств гидрофизического мониторинга (в ГосНИНГИ, ГУНиО МО РФ);
- обоснование рациональных способов использования средств гидрофизического мониторинга (в РГГМУ);
- в учебном процессе РГГМУ и других учебных заведений соответствующего профиля;

- при создании руководящих документов в области гидроакустического мониторинга.

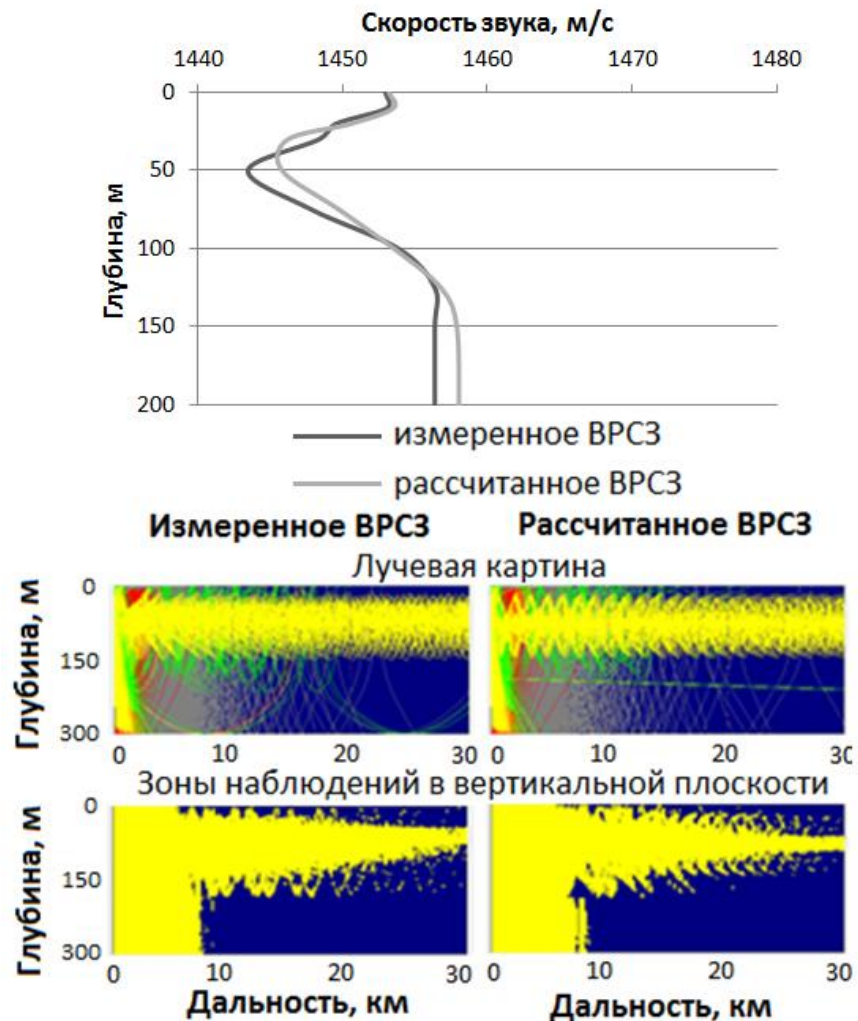


Рисунок 3 – Сравнение рассчитанного и измеренного ВРСЗ и построение их лучевых картин и зон наблюдения в вертикальной плоскости

**Целесообразно продолжить** работу по дальнейшему уточнению и экспериментальной проверке геоинформационной модели в условиях мелкого моря со случайно изменяющимися параметрами, а также проверке эффективности метода.

#### **Выводы:**

Решение задач диссертационного исследования позволило получить новые научные и практические результаты, составляющие концепцию построения системы гидроакустического мониторинга.

1. Предложенная концепция системы информационной поддержки управления морской деятельностью в шельфовой зоне на базе ГИС-технологий, учитывающая новые факторы развития систем дистанционного мониторинга позволяет объединить архивные отчеты, данные дистанционного зондирования и систему информационной поддержки. Это помогает не только проводить мониторинг и выявлять нештатные ситуации, но и давать их описание на основе опыта предыдущих поколений исследователей.
2. Разработанный метод применения данных дистанционного зондирования морской поверхности для уточнения гидроакустических условий позволяет рассчитывать вертикальное распределение скорости звука в любой точке моря.
3. Реализация предложений по организации структуры базы данных геоинформационной модели прогнозирования гидрофизических характеристик мелкого моря позволяет проводить анализ, обобщение и взаимную корректировку данных, поступающих в систему и принимать решение о добавлении/удалении источника.
4. Применение описанной структуры геоинформационной модели управления информационным обеспечением позволяет визуализировать трехмерную динамическую структуру морской среды, наглядно представить пространственное залегание подводного звукового канала, точечные неравномерно распределенные пространственные данные, что значительно упрощает их анализ.
5. Полученные с помощью имитационного моделирования результаты показывают, что система позволяет достаточно точно прогнозировать распределение звуковых лучей в водной толще. Для оценки качества метода производилось сравнение погрешностей при прогнозировании ожидаемой дальности действия гидроакустических станций и глубины залегания оси подводного звукового канала. Данный метод позволяет улучшить результаты на 2 и 1 % соответственно, по сравнению с использованием типовых ВРСЗ районов, приведенных в различных атласах.

**Список публикаций по теме диссертации:****Издания из списка ВАК:**

1. Александрова Л.В., **Ткаченко Н.Н.** Геоинформационная система мониторинга акватории Балтийского моря. Известия ЮФУ. Технические науки. №9. 2011 с. 8-11
2. Малик С., Седова А.П., **Ткаченко Н.Н.** Технологии информационной поддержки управления безопасной эксплуатацией газопроводов в гидрометеоусловиях Республики Пакистан. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 23. РГГМУ. СПб. 2012. с. 177-182

**Другие:**

1. Митько В.Б., **Ткаченко Н.Н.** Гидрофизические методы в геопространственной модели исследования океанологических характеристик // Инфокоммуникации в решении задач тысячелетия. Материалы научно-практической конференции. 2010. с 240-244
2. **Ткаченко Н.Н.** Использование геоинформационной модели и гидрофизических методов для решения задач информационного обеспечения и мониторинга бассейна Балтийского моря // XII Международный экологический форум «День Балтийского моря». 2011. с 127-128
3. Колесниченко В.В., **Ткаченко Н.Н.** Возможности гидрофизического мониторинга в Финском заливе// XII Международный экологический форум «День Балтийского моря». 2011. с 70-71
4. Александрова Л.В., **Ткаченко Н.Н.** Разработка Геоинформационной системы мониторинга морфологических и океанологических характеристик акватории прибрежной зоны Балтийского моря. Сборник трудов конференции «Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания». Материалы II Всероссийского научно-практического форума. 2011. с 71-73
5. **Ткаченко Н.Н.** Применение данных дистанционного зондирования при разработке геоинформационной системы мониторинга морфологических и океанологических характеристик акватории Баренцева моря. Региональная информатика "РИ-2012". XIII Санкт-Петербургская международная конференция. 2012. с 339
6. **Попов Н.Н.** Сопряжение архивных данных и данных дистанционного зондирования при разработке геоинформационной системы мониторинга гидрофизических характеристик акватории баренцева моря. РИ-2012. Международная конференция «Региональная информатика(РИ-2012)». Труды конференции. СПОИСУ. – СПб, 2013. – 369 с.
7. Митько В.Б., **Попов Н.Н.** Сопряжение архивных данных и данных дистанционного зондирования при создании геоинформационной системы Баренцева моря. Экология и развитие общества. №8. 2013 с. 12-18