

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи

Попов Николай Николаевич

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

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Специальность: 25.00.35 – Геоинформатика (Науки о Земле)

Научный руководитель
докт.техн.наук, профессор

В.Б. Митько

Санкт-Петербург 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Введение.....	4
1 Анализ и обобщение современных методов и средств обеспечения подводного мониторинга акватории Баренцева моря.....	11
1.1 Гидрологические и акустические особенности региона	11
1.2 Характеристика негативных факторов, влияющих на адекватное описание акустических полей в водном бассейне Баренцева моря..	16
1.3 Анализ современных подходов к измерению и расчету вертикального распределения скорости звука.....	17
1.4 Разработка алгоритма создания геоинформационной системы акустической обстановки Баренцева моря.....	31
Выводы по главе 1.....	32
2 Метод применения данных дистанционного наблюдения за морской поверхностью для уточнения гидроакустических условий	35
2.1 Метод сопряжения эмпирических данных и дистанционного зондирования на основе ГИС.....	35
2.2 Основные направления применения геоинформационной модели в решении задач прогнозирования гидрофизических характеристик..	60
Выводы по главе 2.....	62
3 Геоинформационная модель гидрофизических характеристик акватории Баренцева моря.....	64
3.1 Акустическая модель Баренцева моря и принципы построения ГИС на ее основе.....	65
3.2 Применения архивных данных для формирования слоев ГИС.....	69
3.3 Применение данных дистанционного зондирования для уточнения прогнозируемых профилей.....	73
3.4 Учет потерь при отражении акустической энергии от дна. Слой ГИС, описывающий типы грунта.....	79
3.5 Учет источников шума в акватории Баренцева моря.....	81
Выводы по главе 3.....	89

4	Результаты экспериментов по проверке основных теоретических положений.....	91
4.1	Проверка полученных результатов путем сравнения их с полевыми данными.....	91
4.2	Проверка полученных результатов путем имитационного моделирования.....	98
4.3	Предложения по внедрению системы.....	104
	Выводы по главе 4.....	105
	Заключение.....	107
	Список сокращений и условных обозначений.....	110
	Список использованных источников.....	112
	Приложение А – Карты районов Баренцева моря с похожими вертикальными распределениями скорости звука	127
	Приложение Б – Осредненные вертикальные распределения скорости звука в районах с одинаковыми типами.....	129

ВВЕДЕНИЕ

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. Большее 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.

Несмотря на трудности, переживаемые Россией, она продолжает оставаться морской державой с протяжённостью морских границ 38,8 тыс. км. и площадью континентального шельфа 4,2 млн. кв. км. Прибрежная зона становится ареной сосредоточения ресурсных, экологических, оборонных усилий государств. В этой зоне сосредоточено 60% населения и 90% мегаполисов, стратегических, включая ядерные объектов, причём тенденция роста этих данных продолжается. Необходимость решения важнейших задач в этой зоне сопряжена с резким снижением информативности подводных систем наблюдения в связи с резким усложнением информационной обстановки. Это связано со сложными условиями формирования информационных полей различной физической природы, в первую очередь гидрофизических, обусловленных интенсивными возмущениями

естественного и антропогенного происхождения, а также сложными условиями формирования информационных и шумовых составляющих.

Всё вышеизложенное является основанием для проведения исследований, направленных на разработку способов повышения качества информационного обеспечения шельфовой зоны. Известно, что повышение качества информационных структур непосредственно связано с уточнением моделей сигнально–помеховой обстановки, которая в мелком море имеет специфические особенности. Практически вся шельфовая зона России с акустической точки зрения является мелким морем, то есть удовлетворяющая условию соизмеримости глубины моря с рабочей длиной волны. Это предполагает исследование влияния таких факторов, как гидроакустические условия, влияние поверхности и дна, источников акустико–сейсмических полей антропогенного происхождения, помехи, обусловленные носителем и естественными полями в регионе.

Интенсивно развиваемое направление «Комплексное управление прибрежной зоной», где сосредоточены основные противоречия не только прибрежных, но и других государств в условиях прогнозируемого подводного терроризма привело к интенсивной разработке многих вопросов в этой области.

Состояние исследования проблемы

Применительно к рассматриваемому направлению можно указать на работы ГосНИНГИ МОРФ (И.А. Новиков, К.А. Виноградов, А.В. Сковородников) [1 – 5], Военно-Морской академии им. Н.Г. Кузнецова (В.А. Зарайский) [6], в области объектно-ориентированных геоинформационных систем работы лаборатории объектно-ориентированных ГИС СПИИРАН (В.В. Попович, Я.А. Ивакин) [7 – 8], УНЦ «ГИС технологии» ЛЭТИ (В.В. Алексеев, Н.И. Куракина) [8 – 12], в области ГИС работы ГМА им. С.О.Макарова (С.И. Биденко) [13], в области гидродинамического

моделирования РГГМУ и ИО РАН (И.А. Неелов, В.А. Рябченко, Т.Р. Еремина, Р.Е. Ванкевич) [14 – 15]. Из зарубежных исследователей следует указать на разработки в области гидродинамических моделей и систем освещения обстановки в береговой зоне CoreLab и FTZ (Kiel University) (Р. Майерли и К.-В. Гургель) [16 – 19] 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 решены следующие задачи:

- осуществлён анализ факторов, определяющих качество информационного обеспечения, при решении различных задач и применении средств локального и дистанционного зондирования;
- разработана геоинформационная модель с учетом влияния среды и технических характеристик средств, составляющих ее основные элементы, выявлены технические и природные факторы, наиболее существенно влияющие на эффективность функционирования системы;

- обоснованы предложения по оптимизации информационного освещения гидроакустической обстановки, основанные на удовлетворении выбранным критериям его качества;
- выработаны рекомендации по рациональному пространственному распределению баз данных и знаний в соответствующих слоях ГИС;
- обоснована целесообразность внедрения разработанных предложений в предлагаемые системы гидрофизической аттестации Арктического региона.

Научная задача состоит в разработке геоинформационной модели информационного обеспечения акватории 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, имитационное моделирование и статистический анализ. 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.

К числу основных научных результатов, полученных в работе и выносимых на защиту, относятся:

- Концепция 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 оценку данных по гидрофизическим характеристикам Баренцева моря, влияющим на информационное обеспечение;
- рекомендации по выбору параметров структуры гидрофизического мониторинга, типам используемых сенсоров.

Научная новизна заключается в усовершенствовании концепции информационной поддержки освещения гидроакустической обстановки в акватории Арктических морей РФ на базе объектно-ориентированной геоинформационной модели и метода сопряжения данных дистанционного зондирования и эмпирических данных для уточнения гидрофизических условий в любой точке моря.

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 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 134 страниц состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 130 наименований, содержит 57 рисунков, 4 таблицы и 2 приложения.

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.

Целесообразно продолжить работу по дальнейшему уточнению геоинформационных моделей в условиях мелкого моря со случайно изменяющимися параметрами и разработке оптимальных структур обработки сигналов и формирования баз данных и знаний.

1 Анализ и обобщение современных методов и средств обеспечения подводного мониторинга акватории Баренцева моря

На первом этапе исследования проблематики информационной поддержки решения ресурсных, навигационных, исследовательских и других задач является анализ и обобщение данных по существующим принципам и методикам различного направления от прямых измерений *in situ* до наблюдения за характеристикой со спутников, а также использования гидродинамических моделей различного масштаба. Так же должны быть сформированы единая база данных и база знаний, агрегирующие имеющиеся источники информации с характеристиками и факторами, определяющими качество получаемых данных на различных этапах измерения или расчетов. Сравнительный анализ смоделированных полей распределения океанологических характеристик и измеренных гидрофизических данных наиболее приемлем в геоинформационной системе, поскольку предполагает пространственный анализ и обобщения. Методом наложения известных источников шума на карту гидроакустических характеристик можно выработать стратегию по анализу и выявлению техногенных и природных катастроф, а также использовать полученные знания в практики судоходства. Сформулирована постановка задачи, вытекающая из целевой установки на выполнение исследования. Дан обстоятельный обзор существующих методов решения, а так же проанализированы в ретроспективном плане методики решения похожих задач. Проанализированы геоакустические модели дна.

1.1 Гидрологические и акустические особенности региона

Баренцево море, в акустическом отношении, является характерным представителем «мелкого моря», в котором формирование акустических

полей происходит под влиянием границ среды в области низких, низких звуковых и инфразвуковых частот [20]. Глубина основной части Баренцева моря - 150-300 м, увеличивается по мере приближения к острову Медвежий (до 600 м). Преобладание небольших глубин обуславливает значительную изменчивость скорости звука во времени и пространстве на всей территории Баренцева моря. С акустической точки зрения, «мелкому морю» соответствует неравенство $kh < 10$, где k – горизонтальное волновое число, а h – глубина. Также «мелким морем» ряд авторов называют районы, где звуковое поле формируется за счет многократных отражений от дна и поверхности.

Оценка гидроакустических условий в таком море является сложной задачей, так как все характеристики поверхности, водной толщи и дна являются изменчивыми в пространстве и времени [21 – 23]. Немалое влияние на значение таких параметров, как критические частоты и оптимальные частоты распространения, оказывает структура дна. В зависимости от свойств подстилающей поверхности акустическое поле в мелком море может формироваться только за счет донных отражений, что приводит к снижению влияния вертикального распределения скорости звука при его формировании.

Формирование акустического поля происходит за счет многократного отражения лучей от границ среды, а как же взаимодействием с ними. Приповерхностный слой, насыщенный пузырьками воздуха, интенсивно рассеивает акустическую энергию. Отдельно следует рассмотреть взаимодействие акустических лучей с морским дном [24]: при наличии приповерхностного звукового канала, большая часть энергии остается в верхнем слое воды, в дно проникают только лучи с большими углами скольжения. В случае пятого типа распределения скорости звука по глубине возникает рефракция акустической энергии вниз, что приведет к ее взаимодействию с дном - акустические лучи будут попадать в грунт, преломляться в осадках, вызывая в ряде случаев подпитку акустического поля за пределами ближней зоны акустической освещенности.

Потери при распространении акустической энергии в грунте определяются акустическими и механическими свойствами среды и частотой сигнала.

Баренцево море является сложным в отношении гидроакустических условий. После анализа распределение скорости звука от поверхности моря до дна исследователями прошлых лет были выделены два района - северная и южная части Баренцева моря, граница между которыми проходит по семьдесят четвертой широте (рисунок 1.1). Типовые зимние и летние распределения скорости звука для обоих районов приведены на рисунке 1.2. Зимой в северной и южной частях наблюдается положительная рефракция, в летнее время преобладают типы 2 и 5 [25 – 32].

ПЗК существует только в северной части свободной ото льда и только с июня по сентябрь с осью залегания порядка 50 м. В октябре ось подводного звукового канала выходит на поверхность моря.



Рисунок 1.1 – Районирование Баренцева моря по типам ВРСЗ [33]

Для более точного прогнозирования распространения акустической энергии в грунте необходимо знать его физические характеристики: толщина слоев, их профиль, коэффициент поглощения звука, пористость, модуль упругости, скорости распространения продольных и поперечных волн, плотность грунта, его структура, диаметр частиц.

Дно Баренцева моря в основном состоит из песчаного ила, илистого песка и ила. Местами встречаются ракушка, галька, гравий и камень (рисунок 1.3). Большая часть дна относится к алевроитовым илам со скоростью звука 1400-1700 м/с [34]. В основу районирования положено выделение гранулометрических типов грунтов, определяемых по преобладающей фракции.

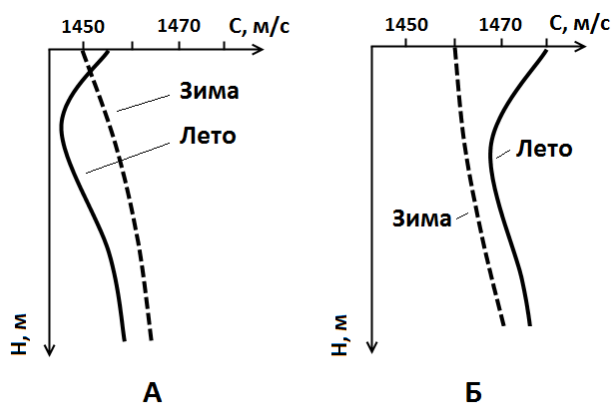


Рисунок 1.2 – Распределение скорости звука в северной (А) и южной (Б) частях Баренцева моря [35]

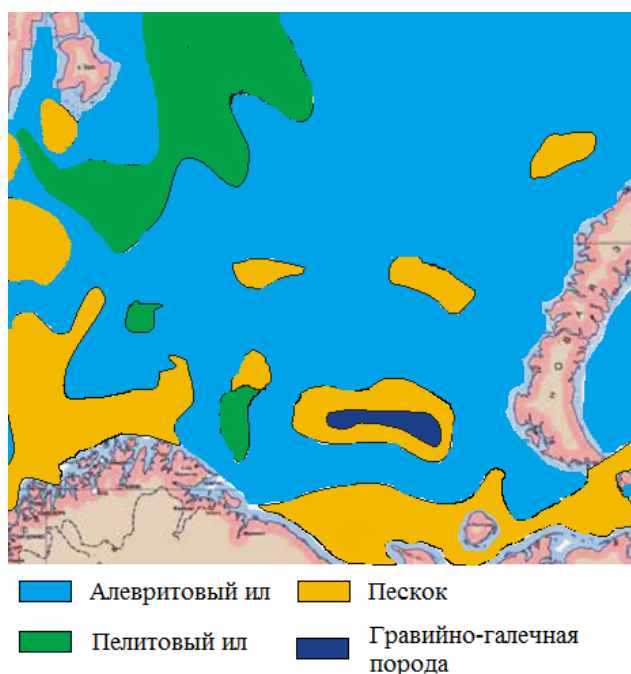


Рисунок 1.3 – Районирование дна Баренцева моря по типам донных отложений

В таблице 1.1 приведены физико-механические свойства осадков, определяемые размером слагающих частиц. Значения плотности, скорости, пористости и коэффициента поглощения даны в широких пределах. Связано это с тем, что значения увеличиваются с увеличением диаметра осадка. Стоит обратить внимание и на тот факт, что коэффициент затухания может существенно меняться в зависимости от места. Так, в районе острова Медвежий коэффициент затухания в диапазоне частот 8÷80 Гц варьируется от 1 до 6 дБ/км, а в центральной части от 0,01 до 0,2 дБ/км, следовательно, можно говорить о существовании оптимальных частот для акватории Баренцева моря, определяющих минимальные потери при распространении сигналов на большие расстояния.

Таблица 1.1 – Значения геоакустических параметров дна Баренцева моря

Тип осадков	Диаметр частиц, мм	Плотность, г/см ³	Скорость, м/с	Пористость, %	Коэф-т поглощения, дБ/м
Пелитовые илы	<0,01	1,6	1500	65	0,05÷0,14
Алевритовые илы	0,01÷0,1	1,4÷1,8	1400÷1700	70÷55	0,1÷0,6
Пески разнородные	0,1÷1	1,6÷2,1	1500÷2000	65÷40	0,12÷0,7
Гравийно-галечные и плотные породы	>1	1,8	1800	50	0,4÷0,7

1.2 Характеристика негативных факторов, влияющих на адекватное описание акустических полей в водном бассейне Баренцева моря

Интенсификация освоения Арктики в целом и Баренцева моря в частности ставит задачу освещения надводной и подводной обстановки в разряд наиболее приоритетных. Создание и непрерывное совершенствование сплошной зоны непрерывного мониторинга, включая систему контроля за повседневной промысловой и промышленной деятельностью в регионе, позволит прогнозировать и выбирать варианты действий при возникновении нештатных ситуаций [36 – 37]. Эффективность применения комплексных гидроакустических станций, являющихся основой системы освещения подводной обстановки зависит от гидроакустических условий среды.

К сожалению, учет только вертикального распределения скорости звука с глубиной не обеспечивает достоверного прогнозирования дальности действия гидроакустических средств. Должны быть учтены такие факторы, как влияния дна, состояние раздела сред, физическое и химическое состояние среды, влияние которых особо велико в условиях мелководных районов.

При расчетах с помощью математических моделей звуковых полей, дальности действия и мертвых зон наблюдения необходимы оперативные данные, обычно измеряемые прямыми методами. Однако, при значительном усовершенствовании моделей и вычислительных комплексов, точность полевых данных, полученных посредством гидроакустических измерений скорости звука оказывается недостаточной [38 – 39].

Как было показано в работе В.И. Бабия [40], при стремительном развитии науки и техники – разработке программно-аппаратных комплексов, методов и приборов, за последние пятьдесят лет инструментальная погрешность средств измерения прямым методом скорости звука не

изменилась и составляет $0,4 \pm 0,6$ м/с. Основная причина – использование импульсно-циклических измерителей, получивших широкую известность благодаря своей простоте и дешевизне, и достигших предела своего совершенствования из-за принципиальных недостатков метода. По мнению В.И. Бабия [41], для достижения существенного повышения пороговой чувствительности и точности прямых измерений скорости звука следует использовать время-пролетный метод, принципиальное преимущество которого состоит в полном исключении нестабильности времени задержки сигнала в акустиэлектронном тракте.

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, следовательно, система наблюдения за акустическими полями должна работать непрерывно. Точное и своевременное моделирование звуковых полей не осуществимо без полевых данных, постоянно поступающих на вход системы. Это осуществимо только с применением дистанционных методов наблюдения за морской поверхностью и атмосферой в связке с установленными в море измерительными станциями и буями.

1.3 Анализ современных подходов к измерению и расчету вертикального распределения скорости звука

Океан интенсивно изучается, исследуются гидрофизические поля. Разрабатываются гидродинамические модели, адекватно отражающие

акустические, температурные, соленостные, плотностные поля, течения и волны и их взаимосвязь. Обогастилось знание о динамике вод океана, открыты мезомасштабные синоптические вихри, наблюдаются и исследуются внутренние волны.

Скорость звука – важнейшая акустическая характеристика, определяющая условия распространения звука в океане [24]. Она зависит от температуры, солености, гидростатического давления и плотности и носит анизотропный и случайный, флуктуационный характер. Именно этот параметр волнового уравнения связывает гидроакустику и гидрофизику [42]. Упругие волны являются основными носителями информации о состоянии океана. Связано это с тем, что они затухают меньше оптических и электромагнитных.

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 достоверности, разрешающей способности и точности [43].

С начала 50-х годов XX века расчет дальности действия гидроакустических систем осуществлялся по номограммам, графикам и планшетам. Точность таких расчетов оставляла желать лучшего. Более того, не до конца была изучена морская среда: отражающие свойства дна и влияние его структуры.

Первая относительно полная методика расчета дальности действия гидроакустических систем на основе лучевой теории, учитывающая многочисленные факторы, влияющие на эффективность ГАС, была опубликована в начале 60-х. К ее недостаткам следует отнести невозможность учета профиля и наклона дна, а так же расчета потерь при распространении в условиях мелкого моря.

В 80-х годах прошлого века была разработана методика расчета дальности действия гидроакустических систем в инфразвуковом диапазоне частот [44], в которой были учтены значения коэффициентов пространственного затухания звука в мелководных районах, но проблема описания влияния параметров подстилающих слоев на акустическое поле, формируемое в водном слое, осталась нерешенной. Так же не было учтено и наличие оптимальных частот распространения в мелководных районах.

В настоящее время при обсуждении вопроса о повышении достоверности прогнозирования дальности действия гидроакустических систем рассматриваются два направления:

- Достоверность оценки потенциала обнаружения гидроакустических систем
- Достоверность оценки потерь при распространении

Скорость звука может быть измерена косвенными (рассчитана из параметров температуры, электропроводности и давления) и прямыми (фазовыми и импульсно-циклическими) методами [45, 46]. Основное внимание в большинстве публикаций по прямым методам уделяется анализу физических принципов и совершенствованию методов прямого измерения скорости звука в морской среде. Изучается мелкомасштабная структура гидрофизического поля [47]. Необходимость дальнейшего исследования структуры звуковых полей обусловлена необходимостью калибровки и проверки гидродинамических моделей, которые тем качественнее, чем точнее начальные условия.

Первые исследования вертикального распределения скорости звука проводились с использованием косвенных методов – наблюдениями за температурой, соленостью и гидростатическим давлением. Позже были разработаны и внедрены прямые контактные методы, основанные на измерении длины звуковой волны или измерении времени многократного

прохождения высокочастотным звуковым импульсом эталонного расстояния. К достоинствам метода можно отнести точность и возможность оценки мелкомасштабных вертикальных флуктуаций скорости звука. Однако он имеет и ряд серьезных недостатков, среди которых низкая производительность и ряд сложностей, связанных с наблюдениями в морях со сложными погодными условиями, а также высокая дискретность точек промеров.

В основе дистанционных методов лежит импульсная звуковая локация неоднородностей океана. По характеристикам отраженного, рассеянного или прошедшего сигнала оцениваются свойства рассеивателей, их размеры и положение в пространстве. Знание о том, что океаническая среда является рассеивающей в любой точке своего объема, может быть использовано для оценки вертикального распределения скорости звука (путем сопоставления пространственных координат рассеивающего объема и времени прихода рассеянных сигналов). Рассеиватели океана имеют разную природу и могут быть изучены звуковыми волнами в широком диапазоне частот. Для этих целей подходят параметрические антенны [59], т.к. обладают широкополосностью.

Как было показано в работах [49 – 53], поля температуры, солености и скорости звука имеют явно выраженную вертикальную стратификацию. Практически на всех глубинах наблюдаются тонкие слои толщиной от сантиметров до нескольких метров с высоким градиентом этих параметров. Оценка амплитуды отраженных волн показывает, что эта микроструктура может быть обнаружена параметрическими локационными системами.

При отсутствии возможности совершенствования индивидуальных измерителей, В.И. Бабий предложил использовать метод групповых измерителей (совокупность измерительных средств, применяемых как единое целое) (рисунок 1.4). Он состоит некоторого количества одиночных

измерительных каналов, на входы которых действует физическая характеристика, а полученные сигналы с их выходов поступают в вычислительное устройство, проводящее оценку погрешности измеренной величины и восстанавливающей ее значение. Также возможно реализовать различные математические и статистические обработки в этом блоке.

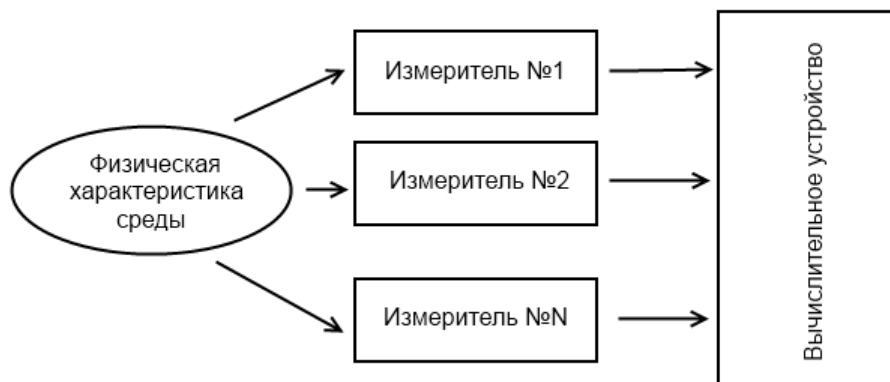


Рисунок 1.4 – Схема группового измерителя параметров ГФП [40]

Схема подобного включения измерительных приборов позволяет выполнять новые функции, не свойственные индивидуальным средствам, входящим в его состав. Преимуществом таких систем является осуществление непрерывного текущего контроля собственных инструментальных шумов. За счет структурной и информационной избыточности можно повысить надежность и точность измеренных *in situ* параметров.

Отдельно стоит вопрос о носителях измерительной аппаратуры, способных выдержать непростые эксплуатационные условия, для создания автономных измерительных станций. Одной из основных проблем применения измерительной техники в Баренцевом море является ледовый покров, который наблюдается здесь до 8 месяцев. Интересное техническое решение предложил В.П. Дегтярев [54] – размещать измерительные комплексы на арктических льдинах, которые находятся в постоянном движении. Предложенная им схема дрейфующего автоматизированного поста представлена на рисунке 1.5:

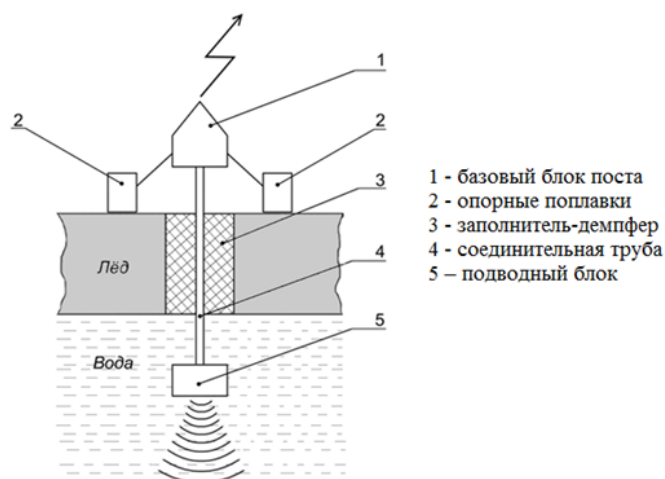


Рисунок 1.5 – Схема дрейфующей автоматизированной станции [54]

К основным достоинствам такого подхода следует отнести низкую стоимость обслуживания системы дрейфующих станций – передача накопленной информации осуществляется по радиоканалу на летательный аппарат, который за один вылет может собрать сведения о характеристиках среды со всех имеющихся автономных постов. Более того, во время сложных погодных условий, мешающих вылету, данные зондирования могут накапливаться во внутреннюю память устройства. Подобная система может быть легко демонтирована и перенесена в другой район для выполнения наблюдений, а сетью таких постов за сезон может быть обследовано более 50000 км шельфа.

Наиболее современным измерительным комплексом является система FarryBox, разработанная Helmholtz-Zentrum Geesthacht и компанией «4N Jena Engineering GmbH» несколько лет назад. Это автоматическая система измерения физических и био-химических параметров приповерхностных вод.

Оперативные наблюдения за характеристиками морской воды в прибрежных районах шельфовых морей осуществляется, в основном, в рамках исследовательских программ (экспедиций, использования дрейфующих буев и пр.). Такие исследования требуют серьезных финансовых затрат (аренда исследовательских судов), и постоянного обслуживания измерительных

средств – защита от обрастания и загрязнения датчиков. На протяжении последних лет ученые и исследователи стараются использовать попутные суда в качестве носителя измерительной аппаратуры. Свою нишу здесь занимают паромы, чьи пути остаются неизменными на протяжении десятков лет, и которые ходят практически непрерывно. Такой подход имеет ряд преимуществ [55]:

- Система защищена от суровых воздействий среды (льда, волн, течений)
- Защита от обрастания измерителей осуществляется с помощью встроенных датчиков
- Система питается от энергетической сети судна, что позволяет исключить скачки напряжения и обесточивание приборов
- Сравнительная легкость обслуживания приборов при возвращении судна в порт приписки
- Районы наблюдения зависят от траектории движения судна, а не от системы течений (как в случае с буйами)
- Система имеет функцию удаленного управления с берега
- Присутствует система автоматической очистки датчиков
- Наличие функции отбора проб в заданном районе (по показаниям GPS)
- При необходимости, можно легко доукомплектовать систему необходимыми датчиками (например, ADCP)

Принципиальная схема показана на рисунке 1.6. Вода закачивается через специальное отверстие под днищем судна и попадает в измерительную цепь, где на первом этапе происходит удаление частиц взвеси и воздушных пузырьков. На следующем шаге происходит измерение температуры, солености, рН, количества растворенного кислорода, мутности, содержания

хлорофилла, определения видов водорослей и нитратов. Часть отобранных образцов воды отправляется на заморозку для дальнейшего изучения в лаборатории. После системы фильтров вода попадает в блок химических анализаторов для определения NO_3 , NH_4 , o-PO_4 , SiO_2 . На последнем этапе происходит очистка системы серной кислотой и чистой водой, а отработанные образцы выбрасываются за борт.

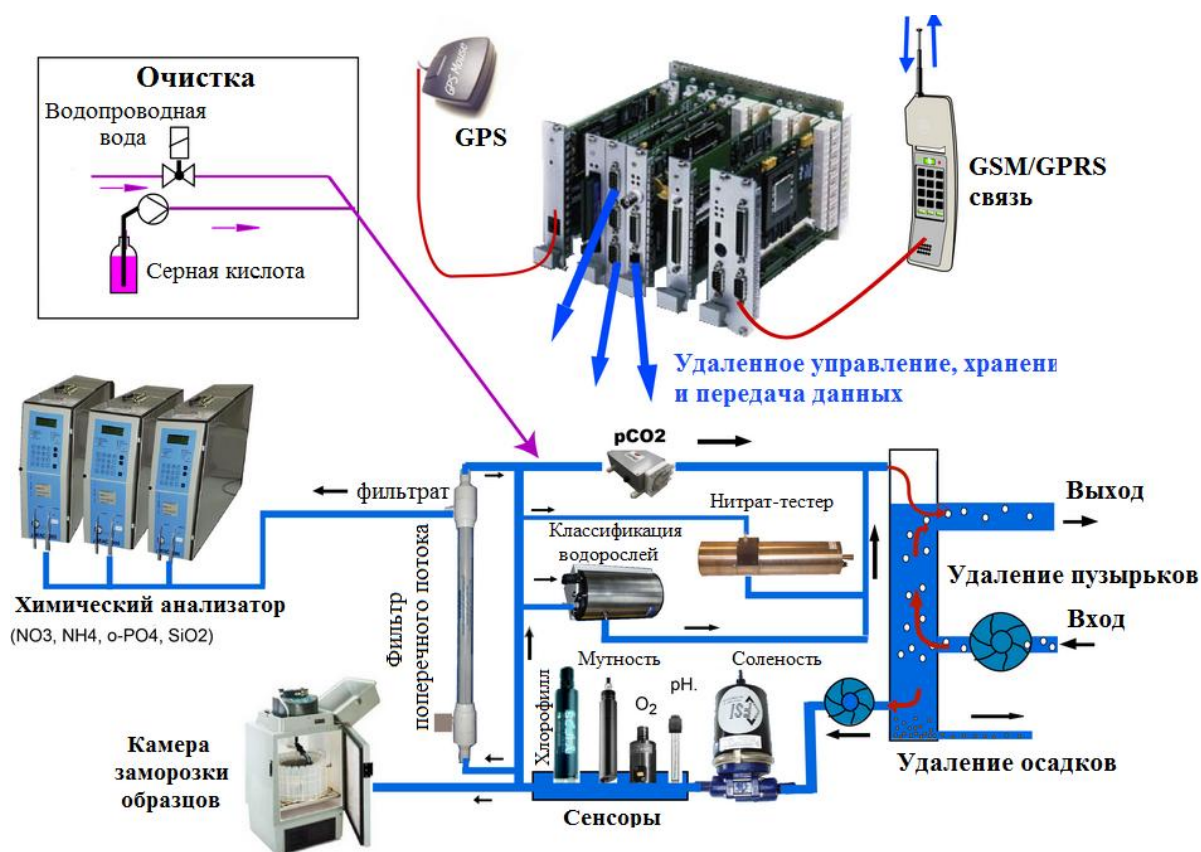


Рисунок 1.6 – Принципиальная схема системы FerryBox [56]

Система состоит из двух компонентов: береговой пункт управления, сбора и анализа данных и сам FerryBox, установленный на борту паррома. Схема их взаимодействия приведена на рисунке 1.7.

Функции приема, обработки и хранения информации на борту судна и на станции может выполнять любой компьютер под управлением операционной системы MS Windows, к аналоговому входу которого подключены флюориметр и измерители электропроводности, температуры, растворенного

кислорода и pH. К последовательным портам подключаются: приемник системы глобального местоположения, GSM-модуль для связи с береговой станцией, контроллер управления прточной системой и различные приборы для химического и биологического анализа морской воды. Взаимодействие ЭВМ с периферийными устройствами осуществляется по средствам системы LabView, позволяющей выводить измеренные параметры на экран в реальном времени. Через канал связи собранные данные поступают в базу данных береговой станции, где анализируются и могут быть доступны через Интернет.

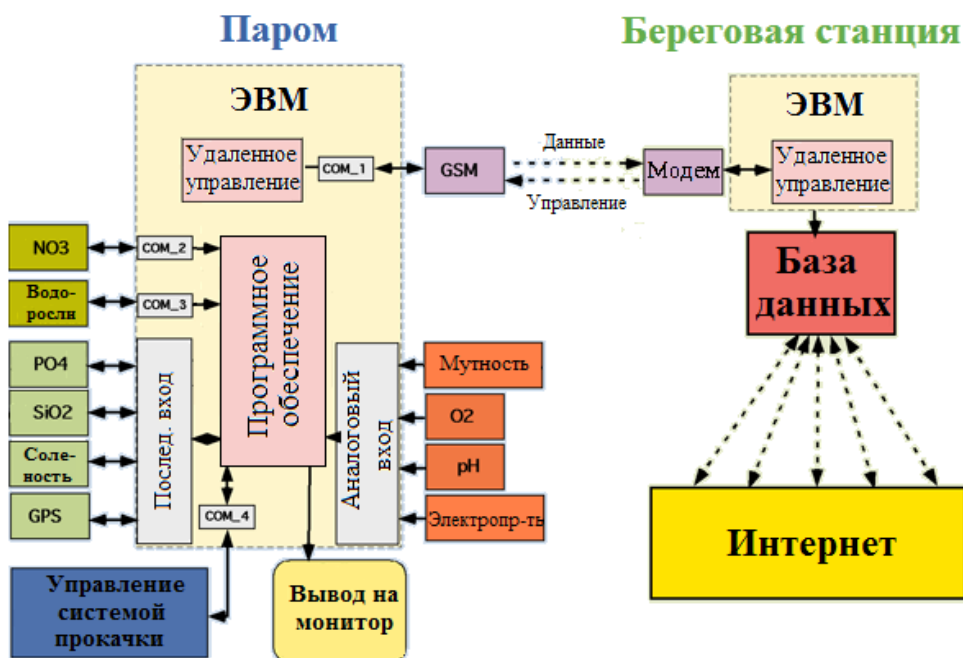


Рисунок 1.7 – Схема взаимодействия береговой станции и FerryBox [55]

Для дистанционного наблюдения за направлением ветра, течениями и волнами в море был разработан радар WERA (Wellen Radar) [57, 58], используемый на восточном побережье Северного моря близ города Бюзум (Германия).

Система работает на частотах в диапазоне от 5 до 50 МГц. Радар излучает вертикально поляризованные электромагнитные волны в сторону наблюдаемой морской поверхности и получает сигнал обратного рассеивания,

отраженный от неровностей морской поверхности, который может быть зарегистрирован на расстояниях свыше 200 км [59]. Карта покрытия радара WERA показана на рисунке 1.8. Система покрывает более половины Гельголандской бухты, а полученные данные могут быть интерполированы в начальные условия для гидродинамических моделей расчета течений и волн. Это позволит уменьшить расчетное время и увеличить точность [60].

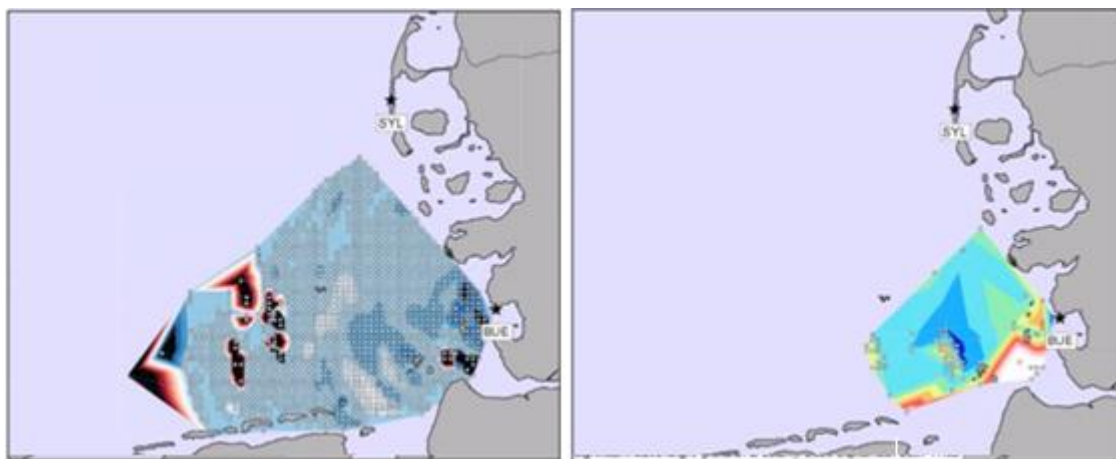


Рисунок 1.8 – Наблюдения за течениями и высотами волн в Гельголандской бухте, выполненные с помощью радара WERA

Для расчета полей температуры, солёности, давления и скорости звука могут быть использованы гидродинамические модели. Одна из таких система была разработана и внедрена лабораторией CoreLab Кильского университета Кристиана-Альбрехта для моделирования Северного моря. За основу был взят программный комплекс, разработанный в Дельфтском университете – Delft3D [61 – 63].

Delft3D содержит набор взаимодополняемых модулей, необходимых для расчета различных параметров. Модуль течений позволяет учитывать приливные процессы и метеорологические условия, проводя расчеты в 2D и 3D режимах.

Двумерная модель течений основана на решении уравнений Навье — Стокса для несжимаемой жидкости и условий мелкого моря с учетом

приближений Буссинеска, как наиболее популярная для описания конвекции.

Уравнение движения для турбулентного потока в направлении x и y :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho U) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U U) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho U V) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho U W) = \\ = \sum \frac{F_x}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\sigma_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\tau_{xz}}{\rho} \right) \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho V) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V U) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V V) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho V W) = \\ = \sum \frac{F_y}{\rho} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{P}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\sigma_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\tau_{yz}}{\rho} \right), \end{aligned} \quad (1.2)$$

где U, V, W – скорость жидкости в направлениях x, y и z ;

P – давление жидкости;

ρ – плотность жидкости;

t – время;

σ – давление Рейнольдса;

τ – напряжение Рейнольдса;

F – внешние движущие силы;

Двумерное уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V) = 0 \quad (1.3)$$

Точность численных расчетов напрямую зависит от выбора временного шага и размера ячейки грида.

Волновой модуль программного комплекса Delft3D используется для расчета волн в различных типах прибрежной зоны – в устьях рек, каналах,

открытом море и приливных зонах. Он позволяет производить расчеты на основе двух моделей: модели второго поколения HISWA [64] и модели третьего поколения SWAN (Simulating Waves Nearshore) [65].

Течения в значительной степени влияют на рост и разрушение волн. В условиях сильного встречного потока наблюдается значительный рост высоты и крутизны волны. Эти изменения могут быть очень скоротечными при блокировании волн течением.

Ниже приведено уравнение, описывающее факторы, учитываемые при расчетах:

$$S = S_{in}(\sigma, \theta) + S_{ds,w}(\sigma, \theta) + S_{ds,b}(\sigma, \theta) + S_{ds,br}(\sigma, \theta) + S_{nl4}(\sigma, \theta) + S_{nl3}(\sigma, \theta), \quad (1.4)$$

- где
- $S_{in}(\sigma, \theta)$ – воздействие ветра при образовании волн;
 - $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$ – рассеивание при образовании пены;
 - $S_{ds,b}(\sigma, \theta)$ – влияние придонного трения;
 - $S_{ds,br}(\sigma, \theta)$ – учет разрушения волны, вызванный уменьшением глубины;
 - $S_{nl4}(\sigma, \theta)$ – взаимодействия между волнами;
 - $S_{nl3}(\sigma, \theta)$ – взаимодействия между волнами;

Полная схема работы отлаженной гидродинамической модели прибрежной акватории показана на рисунке 1.9. На начальном процессе разворачивания системы необходимо подготовить карту глубин и сформировать грид (рисунок 1.10), на основе которого будут выполняться расчеты. Выбор типа грида и величины ячейки влияет на качество и скорость расчетов – при относительно крупных ячейка скорость расчетов будет высокой, но полученные результаты окажутся усредненными. С другой

стороны, выбор в пользу мелкой ячейки и детального грида приведет к значительным временным затратам при расчетах, что не допустимо в оперативном моделировании. Таким образом, грид формируется таким образом, чтобы учесть только значимые изменения рельефа дна.

Дальше выполняются гидродинамические расчеты с помощью сопряжения моделей – сначала моделируются течения, потом полученные результаты используются при расчетах волн.

Волновые процессы влияют на перенос донных осадков, что приводит к эрозии в одних местах и аккумуляции в других. Данный программный комплекс позволяет рассчитывать и морфологические изменения дна, что приведет к необходимости автоматической корректировки батиметрии [66].

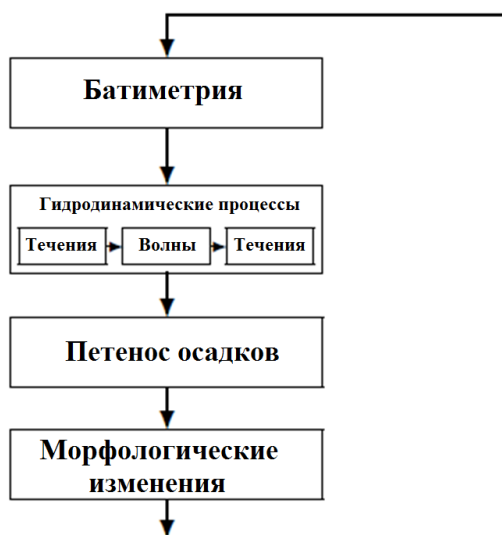


Рисунок 1.9 – Схема работы гидродинамической модели

При наличии больших открытых границ система позволяет использовать функцию «вложения» более мелкой модели в более крупную (рисунок 1.11). Метод позволяет серьезно сократить временные ресурсы расчета полей для искомой территории за счет использования результатов более грубой модели в качестве исходных условий на открытых границах более точной.

Описанная методика разворачивания гидродинамической модели может быть применима и в условиях арктических морей. Дальнейшей целью работы в развитии обсуждаемой геоинформационной модели является поиск и аттестация работающей гидродинамической модели для адаптации ее результатов к слоям ГИС.

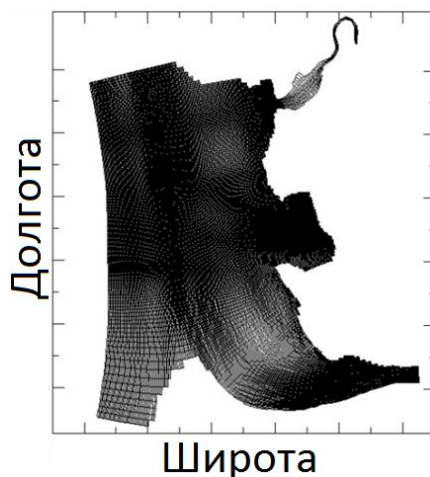


Рисунок 1.10 – Грид для гидродинамической модели бухты Дитмаршен

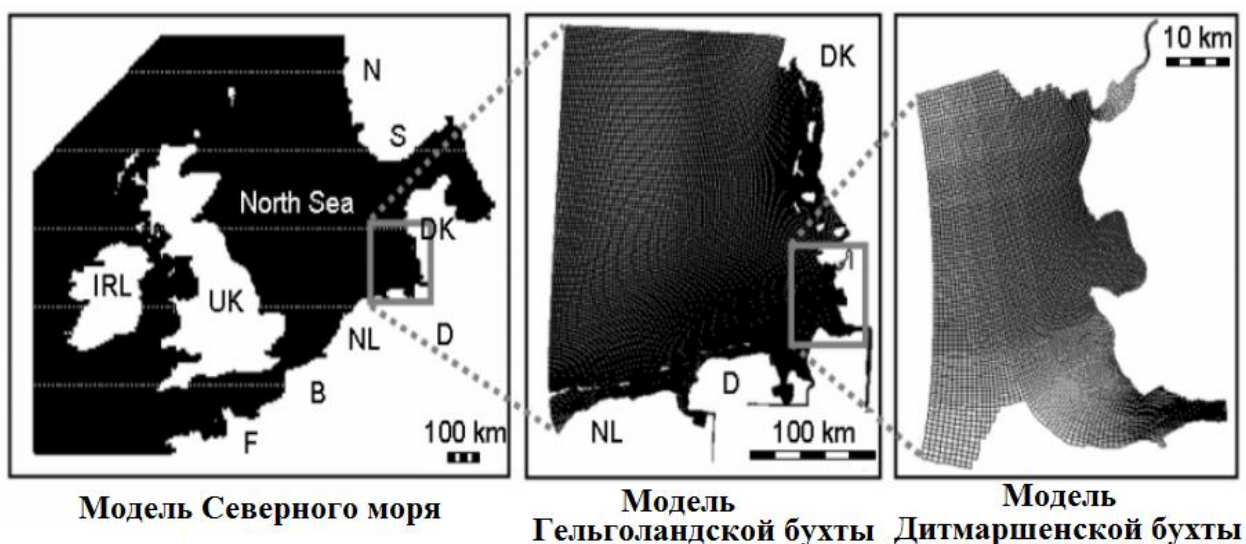


Рисунок 1.11 – Функция «вложения» моделей

1.4 Разработка алгоритма создания геоинформационной системы акустической обстановки Баренцева моря

Рассмотрев все имеющиеся средства и методы изучения океанологических гидрофизических и метеорологических характеристик, необходимо выделить те, которые могут быть применимы для решения поставленной задачи в акватории Баренцева моря. Концепция системы гидроакустического мониторинга при управлении морской деятельностью в шельфовой зоне на базе ГИС-технологий, учитывающая новые факторы развития систем дистанционного мониторинга представлена на рисунке 1.12. В данной работе она была усовершенствована путем добавления элементов, учитывающих влияние передовых методов и средств дистанционного зондирования Земли из космоса, что является первым научным результатом.

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.

На этапах создания, калибровки и проверки гидродинамической модели необходимы граничные условия и проверочные данные, требования к качеству которых чрезвычайно высоки. Отлаженная гидродинамическая модель способна рассчитывать поля океанологических и гидрофизических характеристик, выгружаемые впоследствии в геоинформационную систему для проведения комплексного анализа результатов численного моделирования океанологических характеристик.

На основе сформированных статистических карт, полей распределения гидрофизических характеристик, уровня положения горизонтов перегиба и подводного звукового канала, карты структуры морского дна и состояния морской поверхности можно точнее рассчитывать дальность действия гидроакустических средств, которая всегда была важнейшей характеристикой, от точности определения которой зависит эффективность их применения. Для ее расчета необходимо учитывать такие факторы, как вертикальное распределение скорости звука, глубину погружения измерительной аппаратуры и объекта наблюдения, а также отражающих свойств дна и морской поверхности.

Выводы по главе 1

– Одним из эффективных путей развития базы знаний геоинформационной системы, описанной в данной главе, является уточнение концепции сопряжения различных источников гидрометеорологических данных, включающей выявление влияющих факторов и тенденций их изменения для прогнозирования гидроакустических полей в различных точках акватории Баренцева моря.

– Проектирование и наполнение базы данных системы мониторинга за акустической обстановкой акватории является важнейшим условием совершенствования технологий информационной поддержки промысловых и спасательных работ в Баренцевом море.



Рисунок 1.12 – Концепция системы информационной поддержки

– Основными проблемами решения поставленной задачи, выявленными в процессе исследования, являются разрозненность информационных баз; наличие средств и методов для решения отдельных задач наблюдения за гидроакустической обстановкой, без описания их сопряжения в единую систему.

– Результатом анализа и обобщения имеющихся методик является вывод о необходимости системного подхода к организации базы знаний и базы данных геоинформационной системы при рассмотрении всех входящих в их состав элементов.

– Для создания устойчивой системы гидроакустического мониторинга акватории Баренцева моря необходимой для своевременного обнаружения и помощи в ликвидации чрезвычайных ситуаций необходима разработка геоинформационной модели, включающая детерминированные, вероятностные и логические характеристики элементов системы.

2 Метод применения данных дистанционного наблюдения за морской поверхностью для уточнения гидроакустических условий

На основе концепции, представленной в предыдущей главе, и необходимости применения передовых методов и средств для улучшения информационного обеспечения был предложен метод сопряжения данных дистанционного зондирования и эмпирических данных для уточнения гидроакустических условий. 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.

2.1 Метод сопряжения эмпирических данных и дистанционного зондирования на основе ГИС

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.

Обсуждаемая модель использует данные, поступающие из различных источников, следовательно, необходимо рассмотреть механизмы ввода данных, а также их взаимного дополнения и коррекции. Общая структура метода представлена на рисунке 2.1.

Для проверки гипотезы были использованы океанографические данные, на основе которых был сформирован архивный блок. Измерения получены из климатического атласа Баренцева моря [67], который наполнялся из следующих источников:

- Мировой Центр Данных - А по Океанографии, г. Силвер Спринг, США;
- База данных Мурманского морского биологического института, Российской Академии Наук;
- CD-ROM: Eastern Arctic Ice, Ocean and Atmosphere Data, Volume 1, 1991, National Snow and Ice Data Center, CIRES-1, University of Colorado, USA.

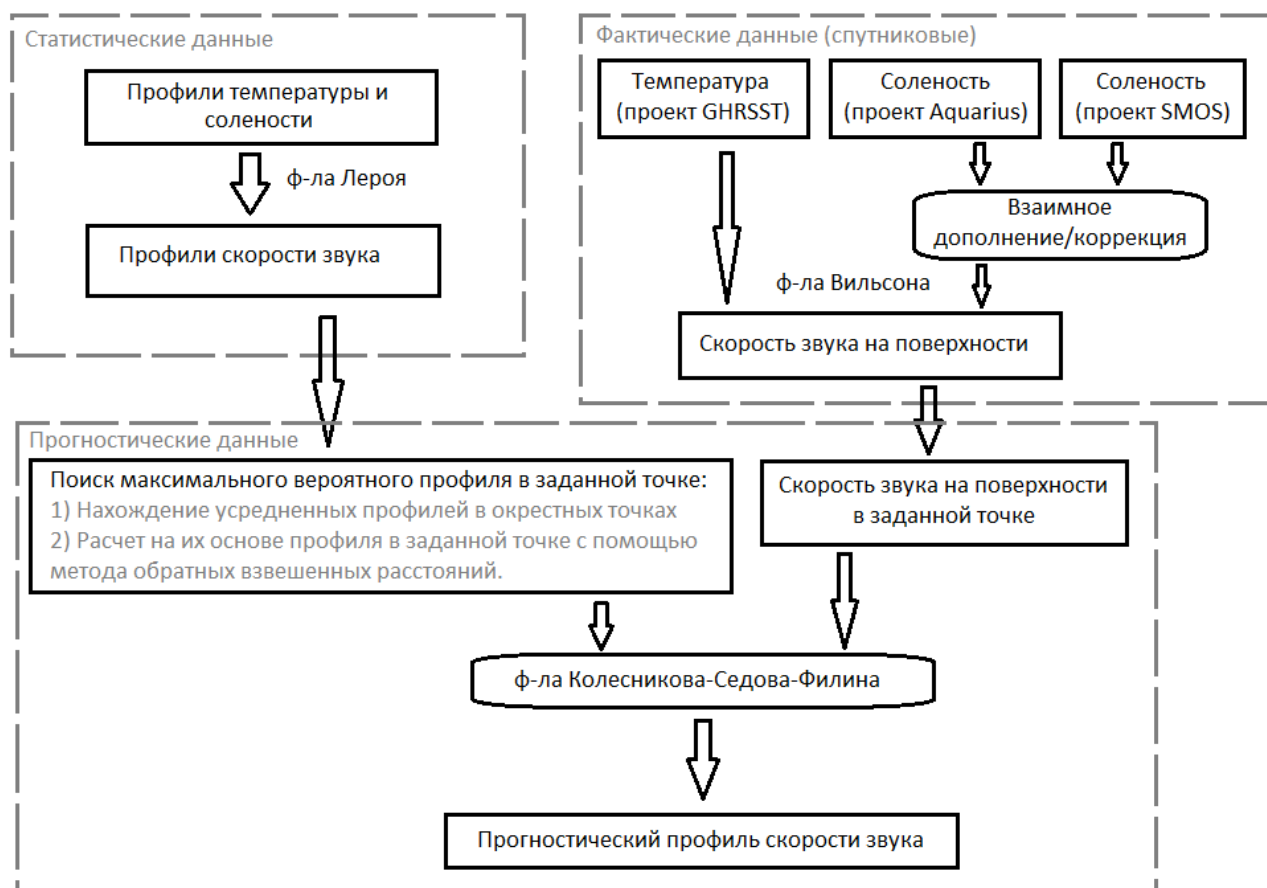


Рисунок 2.1 – Структура модели сопряжения статистических и фактических данных

После объединения всех данных и устранения авторами атласа дублирующих измерений получено 74,280 станций, находящихся в пределах акватории Баренцева моря. Далее были сформированы 12 массивов, включающих в себя станции, выполненные в пределах одного месяца. Одновременно выполнялась проверка на возрастания горизонтов наблюдений, и исключались дубликаты станций. На следующем этапе устранялись значения, выходящие за пределы 3σ [68]. Расчеты выполнены отдельно для каждого месяца и горизонта наблюдений. После этого, данные были интерполированы на различные горизонты: стандартные и регулярные (через 5 м). Для контроля данных авторами атласа были использованы критерии, приведенные в одной из последних (на тот момент) обобщающих работ по Баренцеву морю [69], которая устанавливает следующие пределы (таблица 2.1):

Таблица 2.1 – Критерии изменения характеристик

Характеристика	Минимальное значение	Максимальное значение
Температура	-2 °C	15 °C
Соленость	0 ‰	36 ‰
Глубина	0 м	550 м
Время измерения	00 часов GMT 1 января 1898 г.	24 часа 31 декабря 1993 г.

Не смотря на то, что ранние измерения датируются 1898 годом, они не могли быть использованы в расчетах в связи с отсутствием сведений о солености, необходимых для расчета скорости звука. По этой причине для

расчета были использованы замеры, начиная с 1930-х годов, но основной блок данных приходится на 1970 – 1990 года (рисунок 2.2). Карта покрытия акватории Баренцева моря станциями, на которых измерялись температура и соленость приведена на рисунке 2.3.

Для пересчета температуры, солености и глубины в скорость звука, была использована упрощенная формула Лероя [70]:

$$c = 1492,9 + 3(T - 10) - 0,006(T - 10)^2 - 0,04(T - 18)^2 + 1,2(S - 35) - 0,01(T - 18)(S - 35) + z / 61, \quad (2.1)$$

где c – скорость звука (м/с);

T – температура (°C);

S – соленость (‰);

z – глубина (м);

Считается, что эта формула обеспечивает точность порядка 0.1 м/с для $T < 20$ °C и $z < 8000$ м.

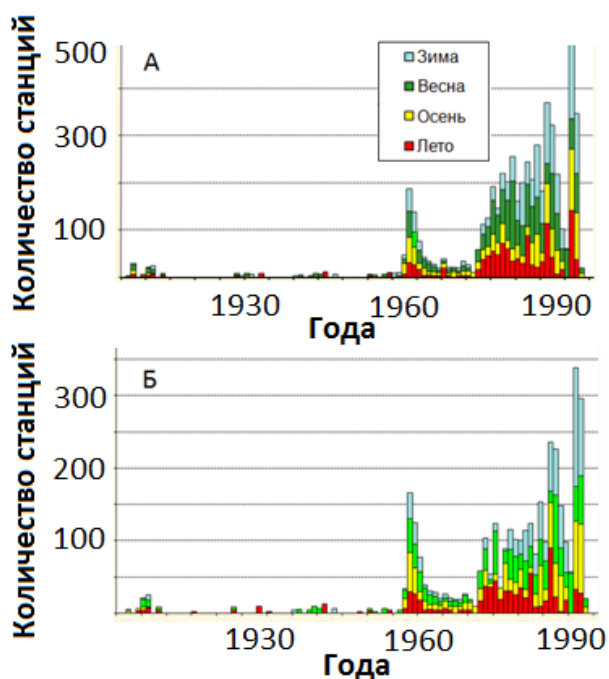
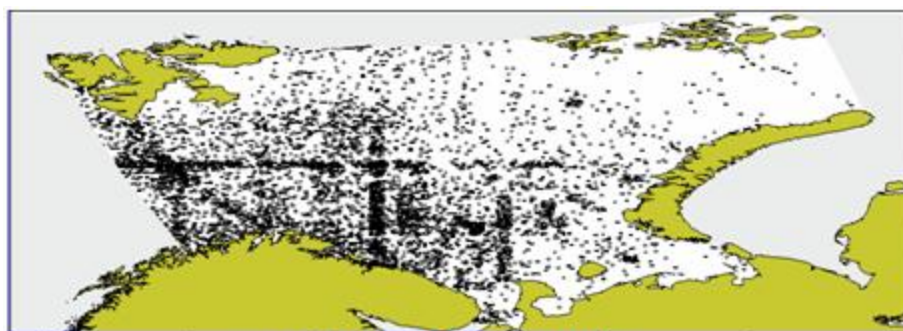


Рисунок 2.2 – Распределение измерений температуры (А) и солености (Б) по сезонам и годам [67]



1 точка = 10 станций

Рисунок 2.3 – Станции, на которых измерялись температура и соленость
[там же]

Дальнейшее использование полученных профилей предусматривает их сглаживание с помощью кусочно-линейной аппроксимации с целью уменьшения многообразия форм и определения местоположения опорных точек вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) [71 – 75]. Под опорными точками понимают начальную и конечную точку профиля, а также точки перегибов [76]. Далее, были соотнесены полученные вертикальные распределения скорости звука (ВРСЗ) с соответствующими типами (рисунок 2.4). Необходимо отметить, что в различных источниках насчитывает до 19-33 типов ВРСЗ. Распределение по 7 типам является классическим, сложившееся у практиков – гидроакустиков исторически. Именно такая типизация была принята в данной работе [77]:

Тип 1 – практически изотермия от поверхности до дна (положительный градиент скорости звука);

Тип 2 – положительный градиент скорости звука изменяется на отрицательный при глубинах порядка десятка метров;

Тип 3 – положительный градиент изменяется на отрицательный, а затем снова на положительный;

Тип 4 – дважды происходит изменение знака градиента с положительного на отрицательный;

Тип 5 – уменьшение скорости звука с глубиной (отрицательный градиент скорости звука);

Тип 6 – отрицательный градиент изменяется на положительный;

Тип 7 – отрицательный градиент изменяется на положительный, а затем вновь на отрицательный.

Далее необходимо было определить наиболее вероятное распределение групп и их вероятности. Под группой в данном случае понимают область значений ВРСЗ, содержащую наиболее близкие по конфигурации профили вертикального распределения, лежащие в заданных пределах. Дальнейшая обработка информации производилась с целью получения типичной кривой ВРСЗ, которая отражала бы наиболее часто повторяющуюся вертикальную структуру поля скорости звука в своем районе. Такие кривые могут быть получены путем осреднения значений скорости звука на характерных (ГП и ГОПЗК) и дополнительных горизонтах всех гидрологических станций преобладающего типа ВРСЗ. В результате такой обработки акватория Баренцева моря описывается своим набором наиболее вероятных профилей с соответствующими вероятностями. По наиболее вероятному профилю и судят о вертикальном профиле скорости звука в конкретном районе. Точность метода определяется статистической вероятностью существования группы, к которой принадлежит искомый профиль [78]. Тип ВРСЗ, имеющий в данном районе максимальную повторяемость, считается преобладающим в данном месяце, для него определялись положения горизонтов перегиба (ГП) и горизонтов оси подводного звукового канала (ГОПЗК). Были выделены районы с относительно однородными гидрологическими условиями. Данные о них нанесены на соответствующие слои ГИС.

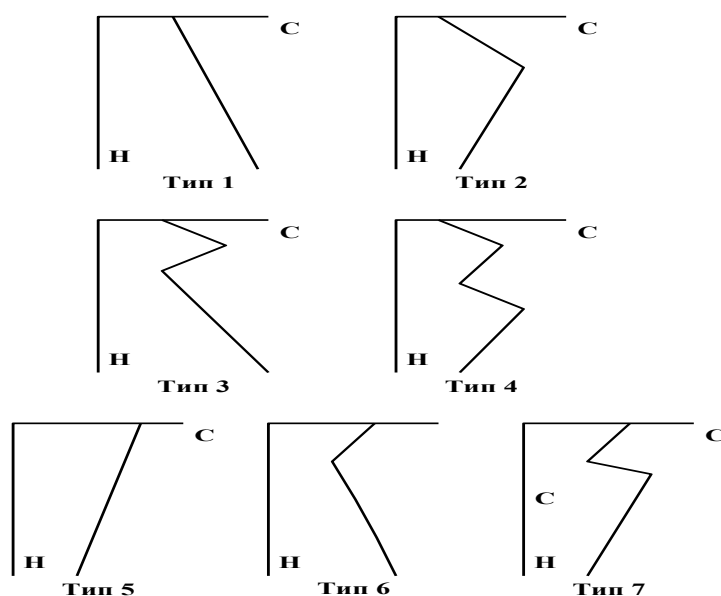


Рисунок 2.4 – Семь типов распределения скорости звука по глубине [77]

Согласно карте покрытия акватории Баренцева моря (рисунок 2.3) станциями, где были произведены замеры температуры и солености и, соответственно, может быть рассчитана скорость звука, сеть измерений является не регулярной, а в некоторых районах наблюдается нехватка данных. Для расчета вероятного ВРСЗ необходимо использовать ближайшие точки к искомой. Так как многие станции являются стандартными для проведения замеров, в них проводилось от 5 до 50 измерений за все года наблюдения. Для использования в расчете с помощью метода обратных взвешенных расстояний точек замеров необходимо для каждой из них найти наиболее вероятный профиль ВРСЗ, который далее использовать в вычислениях.

Будем различать малые и большие выборки, так как они отличаются методами обработки. Для обработки большой выборки привлекаются асимптотические методы, основанные на центральной предельной теореме. В статистической практике принято считать выборки с объемом $n > 30$ большими [79]. Для них будем рассчитывать среднее арифметическое всех профилей в точке замера (рисунок 2.5), а также широту (размах) выборки, которая будет использоваться в дальнейшем для корректировки вертикального распределения скорости звука:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (2.2)$$

где x_{\max} – максимальное значение скорости звука на горизонте;

x_{\min} – минимальное значение скорости звука на горизонте;

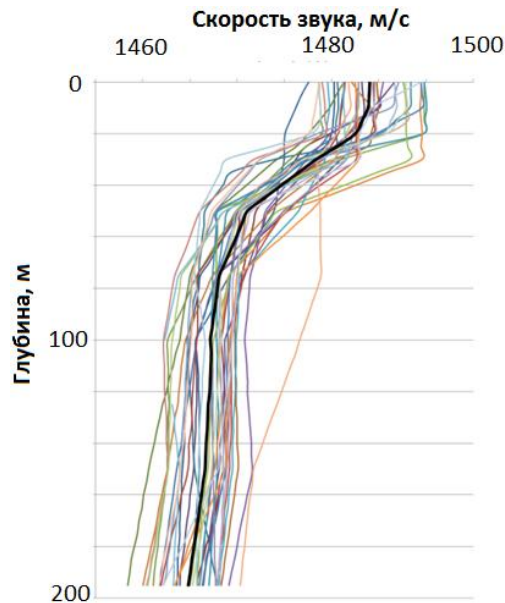


Рисунок 2.5 – Пример распределения профилей скорости звука в Баренцевом море (август). Черной жирной линией выделен средний арифметический профиль

Для малых выборок подойдут специальные методы непараметрической статистики, которые не привязаны к теоретическим законам распределения. Одним из таких методов является квантильный анализ. Для его применения необходимо:

- Перегруппировать выборку и записать вариационный ряд: $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$, где $x_{\min} = x_{(1)}$ и $x_{\max} = x_{(n)}$
- Найти размах выборки
- Определить медиану (*med*) - средний элемент вариационного ряда, если n – нечетное, или полусумма двух центральных элементов, если n – четное [80 – 83]:

$$med = \begin{cases} x_{(l+1)} & \text{при } n = 2l + 1, \\ (x_{(l)} + x_{(l+1)})/2 & \text{при } n = 2l. \end{cases} \quad (2.3)$$

Далее, проводится кривая через рассчитанные на горизонтах медианы. Она является наиболее вероятным ВРСЗ в точке (рисунок 2.6):

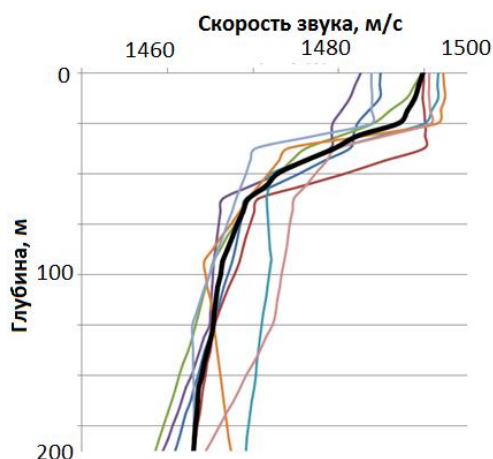


Рисунок 2.6 – Пример распределения профилей скорости звука в Баренцевом море (август). Черной жирной линией выделен профиль, полученный с применением квантильного анализа

Данный расчет проводится для всех сечений случайных функций (всех горизонтов кривых ВРСЗ) и используются для нахождения ВРСЗ в заданной точке с помощью метода обратных взвешенных расстояний [84 – 87].

Одним из наиболее часто используемых методов для вычисления заданной точки по значениям соседних является метод обратных взвешенных расстояний (ОВР) [88]. Он однозначно предполагает, что объекты, находящиеся поблизости, более подобны, чем объекты, удаленные друг от друга. Чтобы найти значение для неизвестной позиции, ОВР использует измерения вокруг рассчитываемой точки. Метод предполагает, что каждый замер оказывает локальное влияние, которое уменьшается с увеличением расстояния. Это придает больший вес точкам, расположенным ближе к вычисляемой позиции. Вес точки уменьшается как функция от расстояния.

ОВР вычисляет значения искомым точек, усредняя значения замеров, находящихся вокруг (рисунок 2.7). Чем ближе точка к центру оцениваемой ячейки, тем больший вес, или влияние, имеет ее значение в процессе вычисления среднего. Для определения значения в каждой выходной ячейке может быть использовано либо заданное число точек, либо все точки в пределах заданного радиуса. Средневзвешенное значение вычисляется следующим образом:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i, \quad (2.4)$$

- где n – число измеренных точек, используемых для расчета;
 f_i – измеренное значение в точке i ;
 $F(x, y)$ – рассчитываемое значение;
 w_i – вес измеренного значения в точке i , равный:

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}}, \quad (2.5)$$

- где p – степень уменьшения весов (обычно принимается равной 2);
 h – расстояние от измеренной до рассчитываемой точки:

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}, \quad (2.6)$$

- где (x, y) – координаты вычисляемой точки;
 (x_i, y_i) – координаты измеренной точки.

Функция веса измеренного значения варьируется от единицы (при непосредственной близости измеренной точки к вычисляемой) до нуля (по мере удаления от искомой точки). Функция нормализована таким образом, что сумма всех весов равна единице.

Для нахождения искомого значения могут использоваться как все точки массива (глобальный метод, рисунок 2.7), так и выборка ближайших позиций (локальный метод). В первом случае будут рассчитаны значения расстояний до всех точек выборки, что может привести к значительной загрузке ЭВМ (при большом количестве замеров). При локальном методе расчета определяется выборка значений, используемая для нахождения искомой точки. Обычно выбирается некоторая область вокруг рассчитываемой точки с диаметром R , покрывающая некоторое количество точек с известными значениями определяемой величины, которые используются для расчета. На рисунке 2.7 (В) представлено пять замеров, которые используются для интерполяции значения в точке, где измерения не проводились (показана красным цветом). Выбор диаметра окружности зависит от параметров изменения величины с расстоянием и, обычно, определяется эмпирически для каждой задачи. Имеется несколько особенностей при выборе области охвата измеренных точек. При написании алгоритма для расчета значения в точке по измеренным значениям, попадающим в определенную зону, ограниченную окружностью, легко заметить, что для проверки попадания/не попадания точки в окружность необходимо рассчитать расстояния до всех точек и сравнить их с радиусом окружности. Если расстояние меньше радиуса, замер используется в расчетах. С точки зрения скорости расчета (загрузки ЭВМ) удобнее эту область принять ограниченной квадратом (рисунок 2.7 (Г)). В этом случае необходимо проверить условие (2.7), при выполнении которого значение точки учитывается при расчете.

$$X_1 \leq X_i \leq X_2 \wedge Y_1 \geq Y_i \geq Y_2 \quad (2.7)$$

Для выполнения расчетов необходимо иметь определенный минимум замеров. В некоторых случаях (рисунок 2.3) наблюдается недостаток измерений, поэтому при заданной территории покрытия ни одна точка может не соответствовать условиям. В этом случае область поиска должна быть

увеличена автоматически, а процедура проверки условия (2.7) проведена еще раз.

При использовании метода обратных взвешенных расстояний могут быть заданы следующие параметры интерполяции: степень, барьеры и тип области поиска измеренных точек.

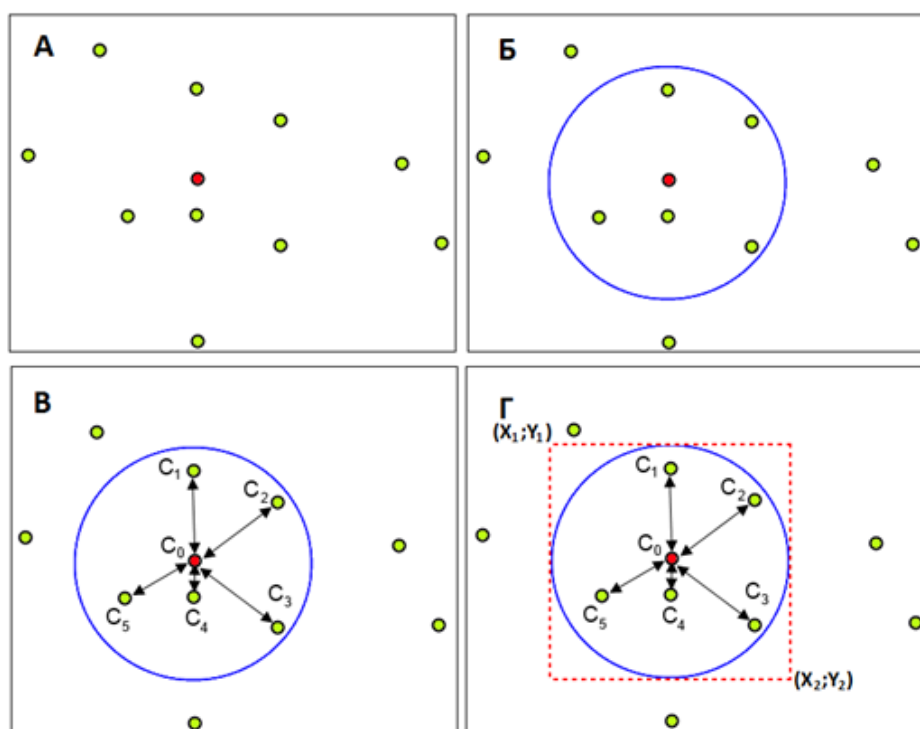


Рисунок 2.7 – Распределение замеров относительно интерполируемой позиции. А – глобальный метод; Б – локальный метод; В – расстояния от интерполируемой точки до замеров; Г – использование квадрата для определения области поиска замеров

Степень (p) позволяет контролировать влияние точек замеров на вычисляемое значение в зависимости от их расстояния до ячейки. При увеличении показателя степени влияние ближних позиций будет более значительным, а поверхность получится более детальной, но менее гладкой. Задание меньшего показателя степени увеличит влияние дальних точек, и поверхность получится более гладкой, но менее детальной [89]. Как следует из уравнения (2.5), веса пропорциональны обратным расстояниям между

интерполируемой и измеренной точками, возведенными в степень p . Поэтому вес будет стремительно уменьшаться по мере увеличения расстояния. Если принять $p=0$, веса всех замеров будут одинаковыми, а полученное значение будет равно среднему арифметическому всех точек, задействованных в вычислении. При увеличении значения p веса отдаленных точек будут стремительно уменьшаться (рисунок 2.8).

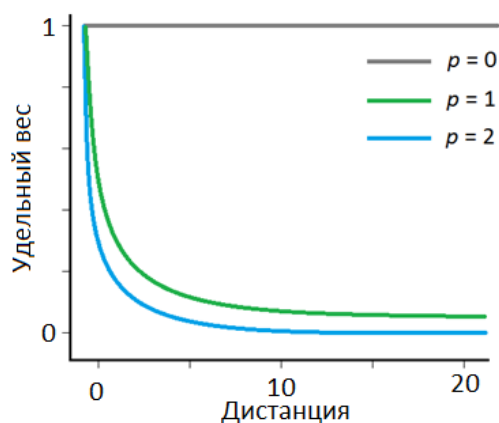


Рисунок 2.8 – Связь веса и дистанции при выборе степени (p) [там же]

Особое влияние на результат имеет выбор площади, на которой осуществляется поиск точек замеров. Форма окрестности оказывает влияние на входные данные и поверхность, которую необходимо создать. Она может быть фиксированной или переменной. В первом случае она постоянна - для всех рассчитываемых точек окрестность поиска одинакова. При использовании переменной площади поиска задается количество точек, необходимых для интерполяции значения рассчитываемой ячейки, поэтому дистанция поиска для каждой позиции индивидуальна и зависит от того, как далеко от искомой точки набирается заданное число замеров. Метод переменной площади позволяет получать более точные поверхности при различной плотности точек измерений в разных частях поверхности. В областях с редким распределением точек (см. рисунок 2.3), можно задать максимальное расстояние, которое не должен превышать поиск. Если площадь поиска измеренных точек достигла максимума не набрав нужного

количества замеров, расчет выполняется на основе того количества, которое оказалось в пределах максимальной дистанции.

Для установки границы поиска точек замеров используются наборы данных линий или полигонов, называемых барьерами. Линии могут представлять береговую линию, границу ледяного покрова или другой разрыв в ландшафте. При интерполяции будут использованы только те замеры, которые лежат по ту же сторону барьера, что и вычисляемая ячейка [90].

Метод обратных взвешенных расстояний не предусматривает вычисление стандартных ошибок интерполяции.

Для повышения точности определения ВРСЗ в заданной точке, можно использовать информации о температуре и солености на поверхности, измеренных за некоторое время до определения ВРСЗ с помощью микроволновых радиометров. Точность измерений солености невелика, не лучше одного промилле (1‰), что сравнимо по величине с естественными вариациями солености в Мировом океане, однако эти данные могут использоваться в арктических районах, где вариации достигают 10-20‰ [91]. Согласно работам Лагерлофа и Топлисса [92], при увеличении времени измерений и масштаба, возможно увеличение точности до 0.3‰. Более того, значительный вклад в расчет скорости звука дает температура, а ее определение возможно с большей точностью.

Микроволновые радиометрические методы широко применяются при дистанционном зондировании океана. Их важным отличием от инфракрасных и оптических методов является возможность проведения всепогодных круглосуточных измерений. Радиометр представляет собой радиоприемник тепловых электромагнитных волн с длинами от 1 см до 1 м. Он измеряет интенсивность тепловых электромагнитных колебаний I , которая, в соответствии с законом Кирхгофа, пропорциональна физической температуре тела T и его поглощательной способности χ [91]:

$$I \sim \chi T, \quad (2.8)$$

где χT – яркостная температура;

χ – определяет долю энергии, поглощенной телом. Иногда его заменяют коэффициентом отражения R :

$$\chi = 1 - R, \quad (2.9)$$

Таким образом, радиометр фактически измеряет яркостную температуру T_b по абсолютной шкале температур (в кельвинах):

$$T_b = \chi T, \quad (2.10)$$

Согласно формулам (2.8), (2.9) и (2.10), яркостная температура характеризует не только температуру исследуемой поверхности T , но и ее поглощательную способность χ (коэффициент отражения R).

Коэффициент поглощения зависит от диэлектрической проницаемости морской воды, частоты излучения, от угла наблюдения θ и от вида поляризации электромагнитной волны. Диэлектрическая проницаемость, в свою очередь, определяется электропроводностью и СВЧ наблюдения. Так как проводимость определяется соленостью и температурой, T_b может быть выражена как функция температуры и солености [92]. При наличии волнения на поверхности океана локальный угол падения θ' (отсчитываемый от местной нормали к поверхности) становится отличным от угла θ (отсчитываемый от нормали к средней поверхности), при этом разность $\theta - \theta'$ становится зависимой от волнения на поверхности. Бальность волнения определяют при помощи рефлектометра. Зависимость поглощательной способности χ от взволнованности поверхности определяет точность нахождения ТПО при микроволновых измерениях яркостной температуры [91]:

$$|\Delta T| = \frac{|\Delta T_b|}{\chi} + T_b \frac{|\Delta \chi|}{\chi^2}, \quad (2.11)$$

где $\frac{|\Delta T_b|}{\chi}$ – потенциальная точность;

$T_b \frac{|\Delta \chi|}{\chi^2}$ – погрешность, обусловленную поверхностным волнением.

Первая попытка измерить соленость из космоса была предпринята в середине семидесятых в лаборатории Skylab [93]. Тогда микроволновый радиометр, работающий на частоте 1,4 ГГц, собрал данные. Позднее была найдена корреляция между этими замерами и соленостью на поверхности моря.

В данной работе использовались данные дистанционного зондирования температуры и солености, предоставленные проектами GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature – группа температуры морской поверхности высокого разрешения), Aquarius/SAC-D (Sea Surface Salinity from Space – соленость на поверхности моря из космоса) и SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity – влажность почвы и соленость морской поверхности). Первый проект занимается агрегированием данных дистанционных измерения температуры морской поверхности полученных с различных спутников, что позволяет получать данные высокого разрешения. Это обусловлено тем, что отдельные спутники не в состоянии обеспечить глобальный охват территории, из-за различий спутниковых орбит и типов датчиков. Основной задачей проекта Aquarius, запущенного в 2011 году, является измерение солености из космоса. Основными инструментами являются: радиометр для измерения теплового излучения океана и рефлектометр для измерения и коррекции влияния океанских волн. Миссия SMOS ставит своей задачей наблюдение за влажностью почвы и соленостью морской поверхности.

Открытое международное научное сообщество "Температура морской поверхности высокого разрешения" (GHRSSST) занимается применением

спутников для контроля температуры воды на поверхности моря (ТПМ), объединяя производителей ТПМ данных, пользователей и ученых в рамках передовой практики. Проект предоставляет оперативные данные о температуре воды на поверхности моря с пространственным разрешением до 1 км. Данные близкие к реальному времени поступают в проект с учетом оценки погрешности в едином формате NetCDF. Несколько агентств непрерывно работают с глобальными и региональными системами обработки, объединяющими дополнительные замеры, сделанные различными спутниками и наземными (in situ) комплексами. Это позволяет проводить независимый анализ ТПМ продукции. Эта информация поступает в GHRSSST Global Data Assembly Center (GDAC) и Long Term Stewardship and Reanalysis Facility (LTSRF), которые также повторно проверяют и анализируют данные. ТПМ данные находятся в свободном доступе на Интернет-портале проекта (www.ghrsst.org).

В настоящий момент работают два оперативных полярно-орбитальных микроволновых датчика (WindSAT на спутнике Coriolis и AMSR-E на AQUA) и семь инфракрасных датчиков (AVHRR на NOAA-18, NOAA-19 и IASI на METOP, MODIS на AQUA и TERRA, и AATSR на ENVISAT). ENVISAT AATSR имеет очень узкую полосу, но обеспечивает высокую точность измерения ТПМ. AVHRRs и MODISs дополняют друг друга: когда из-за наличия облаков один спутник не может сделать измерения в инфракрасном диапазоне длин волн, следующий за ним собирает недостающую информацию. Даже при наличии десяти сенсоров, размещенных на восьми спутниках, редко удается получить полное покрытие менее чем за 2 – 3 дня.

Пространственное разрешение различных спутников резко отличаются друг от друга: инфракрасные (ИК) датчики имеют пространственное разрешение до 1 км, в то время как микроволновые (СВЧ) – 25 км. Кроме того, в наборах данных часто присутствуют пустоты из-за невозможности сделать замер (наличие облаков, дождя или аэрозолей). Для заполнения

пустот были разработаны методы объединения данных и использования дополнительных спутниковых измерений.

Следующие определения температуры поверхности моря были разработаны научной командой GHRSSST для достижения ближайших возможных совпадений между тем, что физически определено и тем, что можно измерить (рисунок 2.9). Понятие температуры на границе океан-атмосфера (SST_{int}) может быть определено, но сам параметр не может быть измерен современными методами. Температура пленки (SST_{skin}) может быть измерена инфракрасным радиометром на длинах волн от 3,7 до 12 мкм. Она представляет температуру внутри проводящего слоя толщиной от 10 до 20 мкм. Измерения температуры пленки зависят от потенциальных суточных циклов, включая эффект остывшего пленочного слоя (особенно ночью при ясном небе и слабом ветре) и эффект теплого слоя в дневное время. Температура под пленкой ($SST_{subskin}$) отражает температуру проводящего ламинарного слоя поверхности океана. Все измерения температуры воды ниже подпленочного уровня ($SST_{subskin}$) называются глубинными (SST_{depth}). Температура основы (SST_{fnd}) определяется как температура в момент, когда приток тепла от поглощения солнечной радиации превышает потери тепла на поверхности моря. Температура основания названа так, чтобы показать, что она является основой для ежедневного повышения и понижения температуры.

GHRSSST включает следующие наборы данных:

L2P – данные, собранные по ходу движения спутника. Представлены в максимально допустимом для конкретного сенсора разрешении. Набор данных содержит не только сведения о ТПМ, но и вспомогательную информацию (оценки погрешности и флаги уровня качества для каждого ТПМ значения). В основном, используются в системах усвоения данных. Пример покрытия данными этого уровня показан на рисунке 2.10.

L3 – объединенные (но не интерполированные) данные, содержащиеся в L2P. Если файл L2P был переформирован для заданной координатной сетки (гриддинг) без сопоставления с другими аналогичными данными, такой набор называется L3U (uncollated). При сопоставлении различных L2P наборов данных формируются L3C (collated) - из данных, полученных с одного сенсора; и L3S (super collated) – из данных, собранных разными приборами.

L4 – содержит объединенные данные различных спутников с наблюдениями *in situ*, что обеспечивает полное покрытие территории. В рамках проекта был разработан ряд методик для взаимного контроля данных с использованием замеров полученных от дрейфующих буев, корабельных измерителей ТПМ и различных радиометров. Пример покрытия данными уровня L4 приведен на рисунке 2.11.

Учетом суточной изменчивости поверхностной температуры занимается «группа контроля суточной изменчивости ТПМ» (DVWG). В ее задачи входит сочетание данных, собранных в различное время в течение дня несколькими датчиками.

Высокие широты характеризуются недостаточным количеством *in situ* наблюдений, большим количеством облаков, наличием ледяного покрова и сильной чувствительностью к климатическим изменениям. Группа HL-TAG занимается обработкой данных таких районов, а также стимулирует различные ведомства и институты к запуску дрейфующих буев и проведению других *in situ* наблюдений.

Соленость морской воды зависит от множества факторов: эрозия горных пород, испарение воды и выпадение осадков, формирование и таяние льда, а также впадение рек. Поэтому пристальное внимание ученых приковано к этому параметру, характеризующему крупномасштабные воздействия на водный цикл Земли и циркуляции океана.

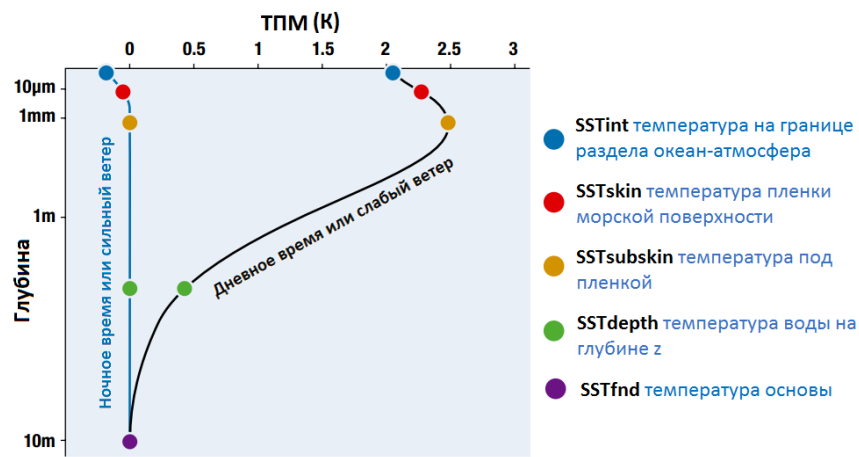


Рисунок 2.9 – Возможный вертикальных профилей температуры верхнего слоя океана толщиной 10 м в условиях сильного ветра / ночное время (синий) и слабого ветра / дневное время (черный) [94]

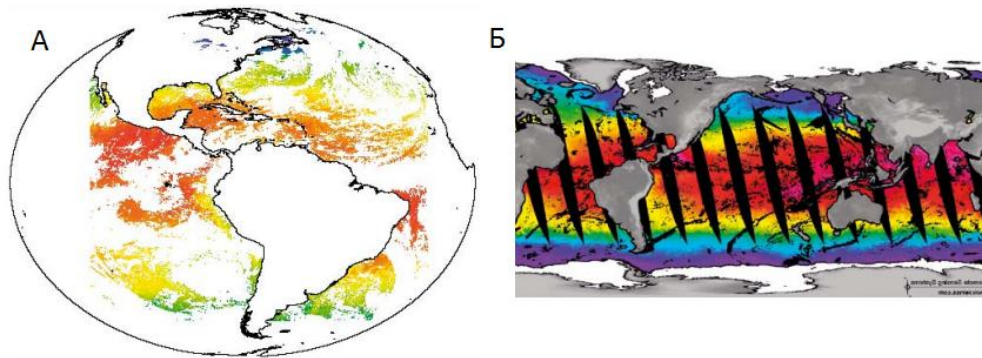


Рисунок 2.10 – Пример набора данных L2P, полученных с геостационарного (GOES) (A) и с полярно-орбитального (AMSR-E) спутников [там же]

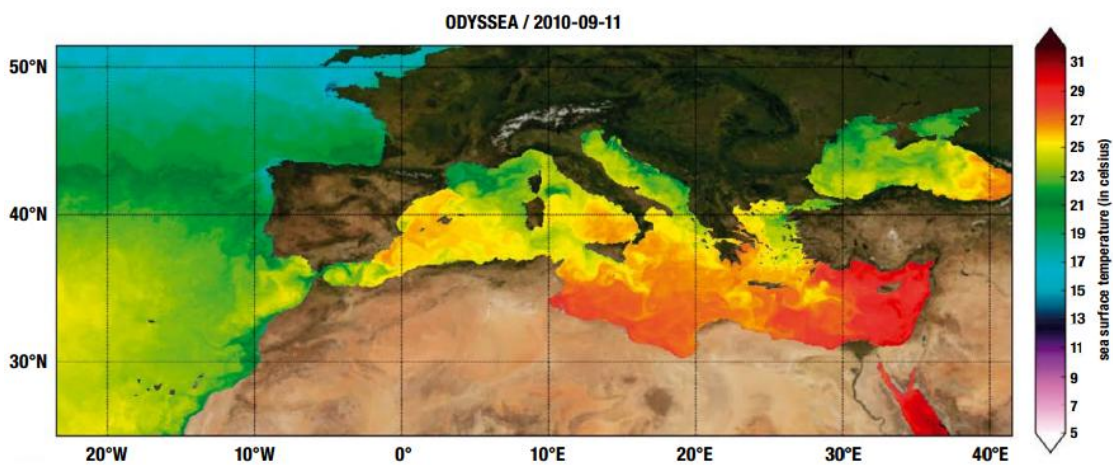


Рисунок 2.11 – Пример набора данных L4 [там же]

Проект исследования концентрации растворенных солей на поверхности океана из космоса - Aquarius/SAC-D является совместной миссией США и Аргентины. Целью проекта является предоставление нового понимания того, как водообмен между океаном, атмосферой и морским льдом влияет на циркуляцию океана, погоду и климат. Aquarius – основной измерительный инструмент (смотри таблицу 2.1), состоящий из трех пассивных микроволновых радиометров для измерения солености и активного рефлектометра для измерения волнения, SAD-D – носитель. Кроме Aquarius платформа SAC-D несет еще ряд измерительных приборов, предоставленных Французским и Итальянским космическими агентствами [95].

Соленость океанской воды колеблется между 32 ‰ и 37 ‰. Для достижения поставленной проектом задачи необходима точность в 0,2 ‰, что соответствует изменению яркости температуры в 0,1 К. Кроме того, необходимо учитывать влияние волн. Для этой цели на борту установлен рефлектометр [97].

Проект SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), запущенный в ноябре 2009 года, разработан в связи с необходимостью глобального наблюдения за влажностью почвы и соленостью океана из космоса. Полученные данные способны улучшить представления о циркуляции воды в океане, показать, как изменение климата влияет на испарения, а также найти применение в таких областях, как сельское хозяйство и управление водными ресурсами. В проекте используется полярно-орбитальный спутник Proteus, находящийся на высоте 758 км, что позволяет ему проводить качественные наблюдения за соленостью в полярных регионах [98]. Для выполнения более точных измерений и постоянной подзарядки батарей, спутник синхронизирован с солнцем.

Возможность измерения двух параметров с помощью одного инструмента (двухмерного интерферометрического радиометра) связана с тем, что и влажность почвы и соленость океана влияют на электрические свойства вещества. Так как количество электромагнитного излучения зависит

Таблица 2.1 – Научное оборудование, установленное на Aquarius/SAC-D [96]

Инструмент	Что измеряет	Разрешение
Aquarius	Соленость на поверхности моря	3 луча: 76 x 94 км 84 x 120 км 96 x 156 км
MWR Микроволновый радиометр	Осадки, скорость ветра, концентрация морского льда, водяной пар	40 км
NIRST Инфракрасный датчик	пожары, температура поверхности моря	350 м
HSC Высокочувствительная камера	Огни городов, пожары, полярное сияние	200 – 300 м
ROSA Атмосферный эхолот	Температура атмосферы и влажность	Горизонтальная: 300 км Вертикальная: 300 км
CARMEN 1 ICARE and SODAD	ICARE: влияние космического излучения на электронику SODAD: Распределение микрочастиц и космического мусора	ICARE: 256 каналов SODAD: 0,5 μ на 20 км/с
DCS Системы сбора данных	Сбор данных о состоянии среды	

от электрических свойств объекта, можно определить эти параметры, измерив его излучение. SMOS использует тот факт, что с повышением влажности и солености уменьшается излучательная способность почвы и морской воды соответственно.

Для достижения оптимальных результатов, SMOS измеряет микроволновым радиометром энергию, отраженную от поверхности Земли в L-диапазоне на частоте 1,4 – 1,427 ГГц [там же]. Частота выбрана таким образом, чтобы влияние растительного покрова, атмосферы и погодных явлений были наименьшими. С высоты 758 км антенна охватывает территорию до 1000 км в диаметре, что позволяет получить полное покрытие Земли каждые 3 дня.

SMOS способен зафиксировать изменение солености воды до 0,1 ‰ при наблюдении от 10 до 30 дней на территории 200x200 км [99].

Миссия SMOS предоставляет следующие наборы данных:

Исходные данные – полученные со спутника данные в оригинальном формате (CCSDS пакеты), состоящие из измеренных данных и телеметрии.

Level-0 – исходные данные с добавлением заголовков Earth Explorer. Хронологически упорядочены по типу: данные наблюдений и телеметрии.

Level-1a – форматированные и калиброванные наблюдения.

Level-1b – реконструкция изображения SMOS наблюдений за яркостной температурой.

Level-1c – географически отсортированные данные измерений яркостной температуры.

Наборы данных Level-2 подразделяются на два типа: карты влажности почвы и карты солености на поверхности моря.

Для пересчета данных о температуре и солености на поверхности моря использована формула Вильсона для нулевой глубины:

$$c = 1449,2 + 4,623(T) - 0,0546(T^2) + 1,39(S - 35), \quad (2.12)$$

где c – скорость звука (м/с);

T – температура ($^{\circ}\text{C}$);

S – соленость (‰);

В работе «Способ определения вертикального распределения температуры воды» [78] была описана методика сопряжения данных о температуре на поверхности со значениями на глубинах. Этот способ применим и к вертикальному распределению скорости звука. Суть его заключается в том, что с помощью измеренной на поверхности температуры, солености и рассчитанной скорости звука возможно скорректировать прогностический профиль ВРСЗ:

$$V(h) = V_1(h) \pm \Delta v \left(1 - \frac{h}{H} \right), \quad (2.13)$$

где $V_1(h)$ – наиболее вероятное ВРСЗ для искомой точки;

Δv – разность между измеренным и предполагаемым значением скорости звука на поверхности, принадлежащим вертикальному распределению $V_1(h)$;

h – глубина в точке;

H – фиксированная глубина, на которой совмещаются все ВРСЗ.

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), ниже которой все профили бы совмещались. Это обусловлено гидрологическим режимом и глубинами, которые большей частью не превышают 100 – 350 м [100]. Для нахождения горизонта, до

которого должно быть проинтерполировано значение скорости звука на поверхности, может быть применена теория Экмана [101], позволяющая рассчитать скорость дрейфового течения, инициированного касательным трением ветра о поверхность воды и силы Кориолиса. Согласно этой теории, скорость уменьшается с глубиной по экспоненте, отклоняясь вправо. На некотором горизонте течение направлено противоположно поверхностному, а его скорость практически затухает. Этот слой называется экмановским, а горизонт - глубиной трения (D):

$$D = \pi / a = \pi \sqrt{\frac{\mu}{\rho \omega \sin \varphi}}, \quad (2.14)$$

где $\mu = 0,43 \cdot W^2$ кг/(м·с) – динамический коэффициент турбулентной вязкости;

$\rho = 1025$ кг/м³ – плотность воды;

$\omega = 7,29 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ – угловая скорость вращения Земли;

φ – географическая широта места.

После подстановки полученной глубины трения (D) вместо фиксированной глубины (H) в выражение (2.13) можно рассчитать прогнозируемый профиль ВРСЗ.

Был проведен сравнительный анализ изменения ВРСЗ в точке №4 (71° с.ш 33,5° в.д) Кольского меридиана в июне 2002 года, в которой имелись 6 полевых измерений, выполненных с разных судов, с рассчитанным профилем вертикального распределения скорости звука.

Было выдвинуто предположение об использовании измеренных со спутника температуры и солёности на поверхности моря для корректировки прогнозируемого профиля ВРСЗ. Температура морской поверхности была получена с сайта проекта GHRSSST, а в качестве значения солёности на поверхности была взята среднемесячная июньская солёность 2002 года с сайта

ПИНРО. Для более поздних измерений (позже 2009 года) могут быть использованы спутниковые измерения поверхностной солености проектов Aquarius/SAC-D и SMOS. Прогнозируемый профиль модифицировался таким образом, что верхние 15 – 30 метров кривой перестраивались с учетом скорости звука на поверхности.

Исследования показали, что верхние две трети вполне объективно отражают состояние среды, в то время как нижняя часть кривой требует доработки, которую возможно провести только с помощью результатов численного моделирования.

Следующим шагом исследований можно считать оценку влияния погрешности знания 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.

2.2 Основные направления применения геоинформационной модели в решении задач прогнозирования гидрофизических характеристик

Информационное обеспечение различных видов деятельности в Баренцевом море – важная и сложная задача, необходимость решения которой продиктована интенсификацией освоения этого региона. Одним из основных инструментов получения информации о подводной обстановке являются на сегодняшний день гидроакустические средства, эффективность применения которых существенным образом зависит от знания пространственно-временных характеристик распределения скорости звука. Сложный

гидрологический режим и интенсивное вертикальное перемешивание создают неблагоприятные условия для моделирования процессов, влияющих на формирование вертикального распределения скорости звука в акватории.

Рассмотренный выше метод сопряжения данных является центральной частью системы мониторинга и принятия решений для устойчивого управления прибрежной зоной, схема которой приведена на рисунке 2.12.

На вход системы поступают данные из различных источников – спутниковые снимки, профили гидрологического зондирования, результаты численного моделирования и т.п. Система агрегирует информацию, дополняя ее, приводя к единому виду и сохраняя в банке данных. Из некоторых потоков данных сразу же генерируются слои ГИС - ледовая обстановка, волны. Более сложные характеристики, такие как ВРСЗ и глубины залегания подводного звукового канала, создаются путем переработки информации, хранящейся в базе данных с корректированием данными дистанционного зондирования [102, 103].



Рисунок 2.12 - Принципиальная схема системы прогнозирования гидрофизических характеристик

На выходе доступны карты различного целевого применения: для широкого круга потребителей – карта ледовой обстановки, оценка экологической уязвимости, штормовые предупреждения; для служебного пользования – глубины залегания горизонтов перегиба и ПЗК. На этом этапе возможны подключения различных модулей для математической и статистической обработки результатов.

Выводы по главе 2

- Геоинформационная модель гидрофизических характеристик акватории Баренцева моря, разрабатываемая согласно предложенной концепции и методу сопряжения данных, позволяет решать самые разнообразные задачи и имеет большие возможности по развитию, включая новые атрибутивные данные и знания.
- Формирование стратегии развития базы знаний является важнейшим условием совершенствования технологий информационной поддержки решения ресурсных и навигационных задач, а также планирования мероприятий по совершенствованию системы в целом и её отдельных элементов.
- Учёт негативных факторов, выявленных в процессе исследования, существенно повышает эффективность наполнения базы данных высокоточными данными и, следовательно, формирования корректных слоев ГИС.
- Системный учёт источников информации с их особенностями, погрешностями и областями применения позволяет оценить практическую ценность применения геоинформационной модели гидрофизических

характеристик для решения многих навигационных, ресурсных и поисковых задач.

– Разрабатываемая геоинформационная модель включает ряд элементов, предполагающих постоянное пополнение необходимыми данными и модификации, включающие детерминированные, вероятностные и логические характеристики элементов системы, обобщения и прогнозирования полей для эффективного применения ГАС.

3 Геоинформационная модель гидрофизических характеристик акватории Баренцева моря

Геоинформационная модель гидрофизических характеристик, учитывающая специфику влияния различных факторов на способы формирования акустического поля с требуемым качеством точности, является основой информационной поддержки при решении ресурсных, навигационных и исследовательских задач. Применительно к Арктическому бассейну в качестве примера исследуется акватория Баренцева моря и возможность получения необходимой информации за счет применения дистанционных методов наблюдения за морской поверхностью. Анализируются различные схемы обработки архивных данных и их корректировка, основанная на инновационных технологиях для измерения солености и температуры морской поверхности со спутников. Производится сравнительный анализ различных источников информации. Результатом комплексного подхода к оценке возможности применения спутниковой информации для прогнозирования вертикального распределения скорости звука и наполнения геоинформационной системы явился практический расчёт и проверка результатов с помощью полевых данных, собранных в течение ежегодных экспедициях 2012-2013 годов. Рассмотрение типовых структур формирования слоев ГИС и условий их функционирования позволяет разработать типовые модели взаимодополнения данных, учитывающие специфику влияния различных факторов на способы формирования требуемого класса точности в различных точках акватории. Анализируются различные схемы сопряжения данных, полученные с применением инновационных технологий для сравнения точности прогнозируемых характеристик.

3.1 Акустическая модель Баренцева моря и принципы построения ГИС на ее основе

В.В. Ольшевский в своей работе [53] описал модель, отражающую основные связи акустических и океанологических элементов. Он также предложил использовать метод декомпозиции [51] 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 этой модели три основных блока - среда распространения сигналов, измерительный прибор и объект локации, получаем схему их взаимной связи (рисунок 3.1).

Физические характеристики источников подводных шумов, описанные в работе [68] с помощью вектор-функции $\vec{J}(\vec{\psi})$, обуславливаются наличием природных (атмосферные явления, волновые процессы на поверхности и в толще; биологические и сейсмические шумы) и искусственных (летательные аппараты, суда и промышленные объекты) составляющих.

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.



Рисунок 3.1 – Акустическая модель Баренцева моря

$$\vec{X}(\vec{\sigma}) = \vec{C}(\vec{\sigma}) + \vec{N}(\vec{\sigma}) + \vec{F}(\vec{\sigma}) + \vec{S}(\vec{\sigma}), \quad (3.1)$$

- 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;

Для корректного моделирования гидроакустической обстановки в водном бассейне необходимо объединять информацию из разных источников и баз данных на единой картографической основе. Факторы, которые необходимо учитывать при формировании слоев ГИС представлена на рисунке 3.2, а схема формирования слоев на рисунок 3.3.

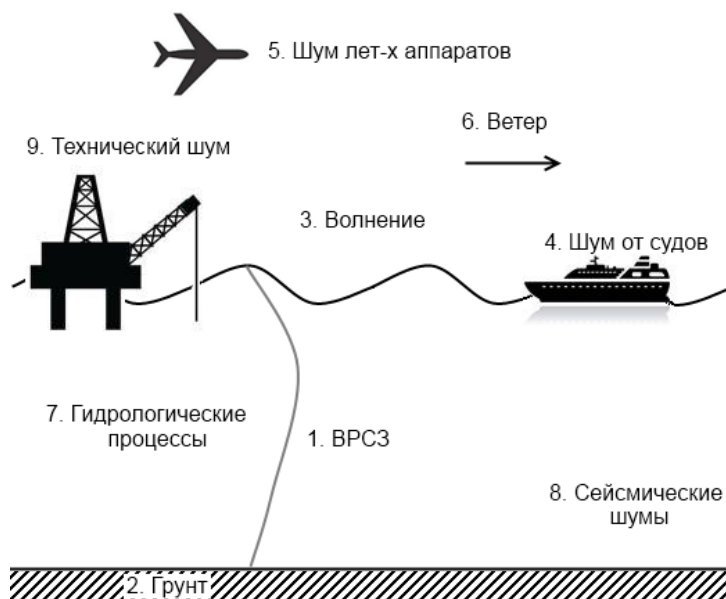


Рисунок 3.2 – Факторы, влияющие на акустическую обстановку

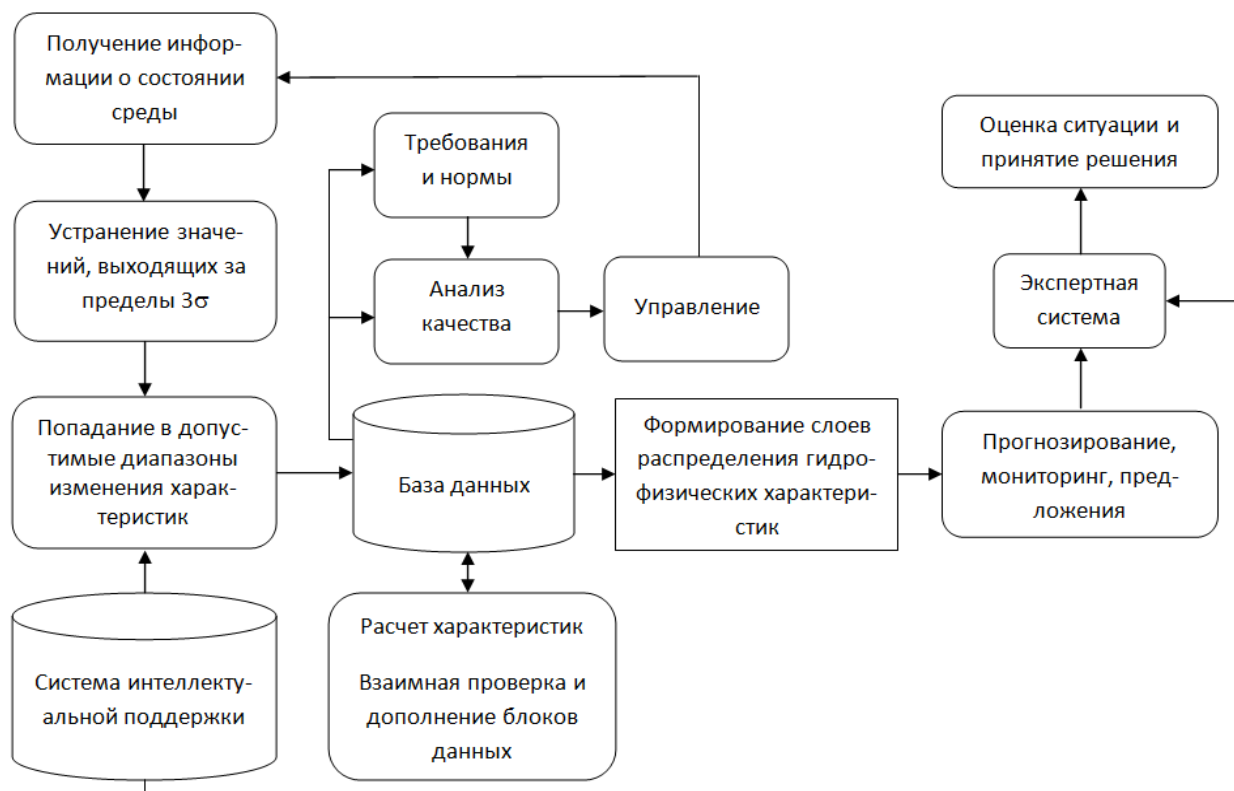


Рисунок 3.3 – Схема формирования слоев ГИС

Данные на входе в ГИС проходят проверку на наличие выбросов и попадания в допустимые диапазоны изменения характеристик, после чего агрегируются в базе данных. Так как источники информации сильно

различаются по точности и покрытию территории, необходимо провести взаимную проверку и дополнение, а также рассчитать скорость звука, применяя описанный выше метод [104 – 109].

Геоинформационная система должна обязательно иметь следующие слои:

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.

Шумы. Слой формируется с помощью данных, поступающих из разных источников, 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. Информацию о течениях и волнах способны предоставить гидродинамические модели, при этом можно получить сведения не только о ситуации в реальном времени, но и спрогнозировать ее на несколько дней вперед. 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. Они содержат информацию о местонахождении объекта, его скорости, траектории движения и типе.

Вертикальное распределение скорости звука - наиболее важный параметр в гидроакустике. Для его прогнозирования могут быть использованы архивные

данные наблюдения за температурой и соленостью, скорректированные информацией со спутников.

Волны. Для учета взаимодействия акустического сигнала с неровностями морской поверхности, необходимо сформировать слой, содержащий информацию о волнах. Эти данные доступны в гидродинамических моделях (реальное время и прогноз) и на спутниковых снимках. Информация может быть взаимно дополнена и скорректирована.

Наибольшую сложность представляет процесс формирования вертикального распределения скорости звука в акватории Баренцева моря, т.к. требует особого подхода.

3.2 Применения архивных данных для формирования слоев ГИС

Данный блок является основным и требует постоянного добавления натуральных данных. При этом срок выполнения наблюдений не имеет большого значения. Идеальным является случай, когда для расчета вертикального профиля скорости звука используются данные наблюдений этого же месяца, выполненные в окрестностях искомой точки в этом году, но данное условие сложно выполнимо. С другой стороны, при достаточно большом объеме наблюдений можно более точно спрогнозировать профиль, базируясь на данных, полученных в разные годы и даже десятилетия, скорректированные значениями разности среднемесячных температур и соленостей, как это было показано в предыдущей главе. На практике следует ожидать относительно точного прогнозирования статистических кривых в районах, где постоянно ведется съемка (например, территория близ Кольского меридиана).

Данные для обсуждаемого блока также могут быть получены из гидродинамической модели Баренцева моря, но подобные системы находятся на этапе разработки.

Также можно говорить о подобности профилей скорости звука в точках района, описываемого одинаковым типом кривой ВРСЗ. Разделения по районам приведены на рисунке 3.4, а соответствующие кривые ВРСЗ для стандартных точек Кольского меридиана на рисунке 3.5. Из них видно, что профили кривых в точках одного района похожи, а значит можно использовать недавние измерения, выполненные в границах района, для прогнозирования окружающих точек.

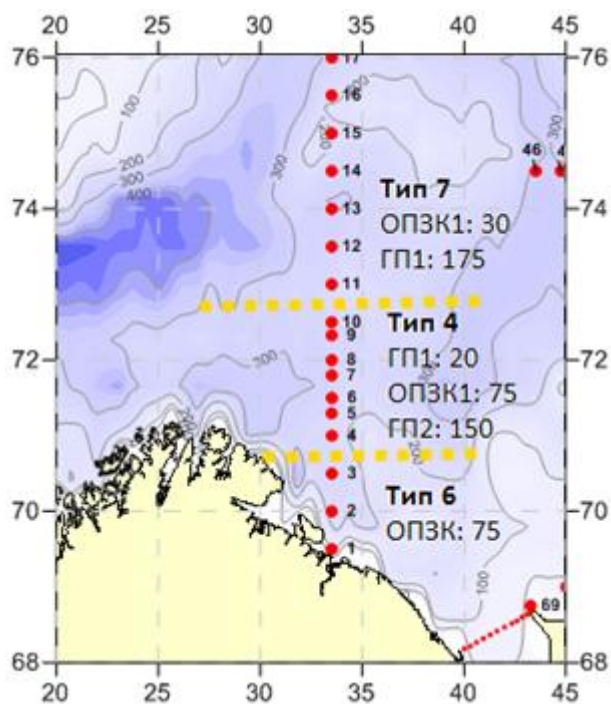


Рисунок 3.4 – Разделение на районы станций Кольского меридиана

Был проанализирован блок данных, собранных в рамках множества экспедиций рыболовецкого флота, экспедиций ААНИИ и климатического атласа Баренцева моря. Было установлено, что для каждого месяца границы районов с одинаковыми типами ВРСЗ различны и многообразнее, чем это было показано в главе 1. Районирование Баренцева моря по типам приведено

в приложении А, а вертикальные распределения скорости звука для каждого района – в приложении Б.

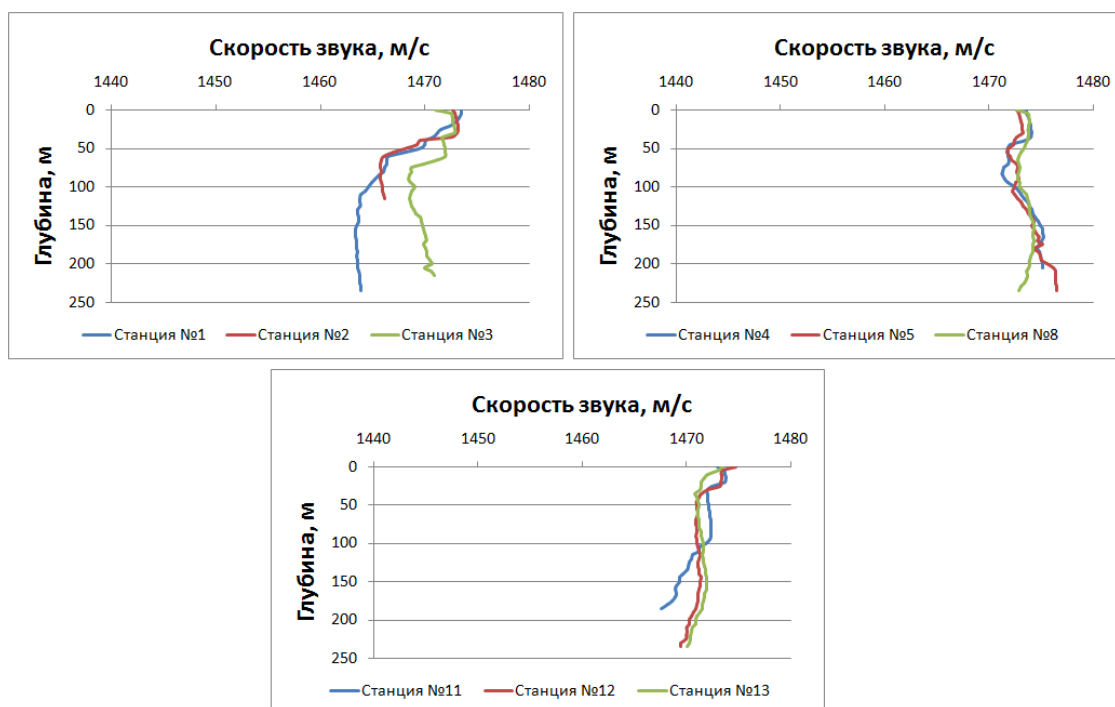


Рисунок 3.5 – Кривые вертикального распределения скорости звука на станциях Кольского меридиана

На базе архивного блока и с использованием метода обратных взвешенных расстояний были получены кривые ВРСЗ для станций Кольского меридиана. Их сравнение с экспериментальными данными, полученными в 2002 и 2012 годах, представлены на рисунке 3.6. Несложно заметить, что значения экспериментальных данных выше прогнозируемых. Была выдвинута гипотеза о том, что разность обусловлена повышением температуры в слое 0-200м (рисунок 3.7). По данным, представленным на сайте Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), средняя температура в слое 0-200м на станциях Кольского меридиана в 1970-1990 гг. – 3,84°С, в 2002 – 4,42°С, а в 2012 – 5,36°С (средняя соленость – 34,76‰, 34,75‰ и 34,79‰ соответственно) [110 – 118].

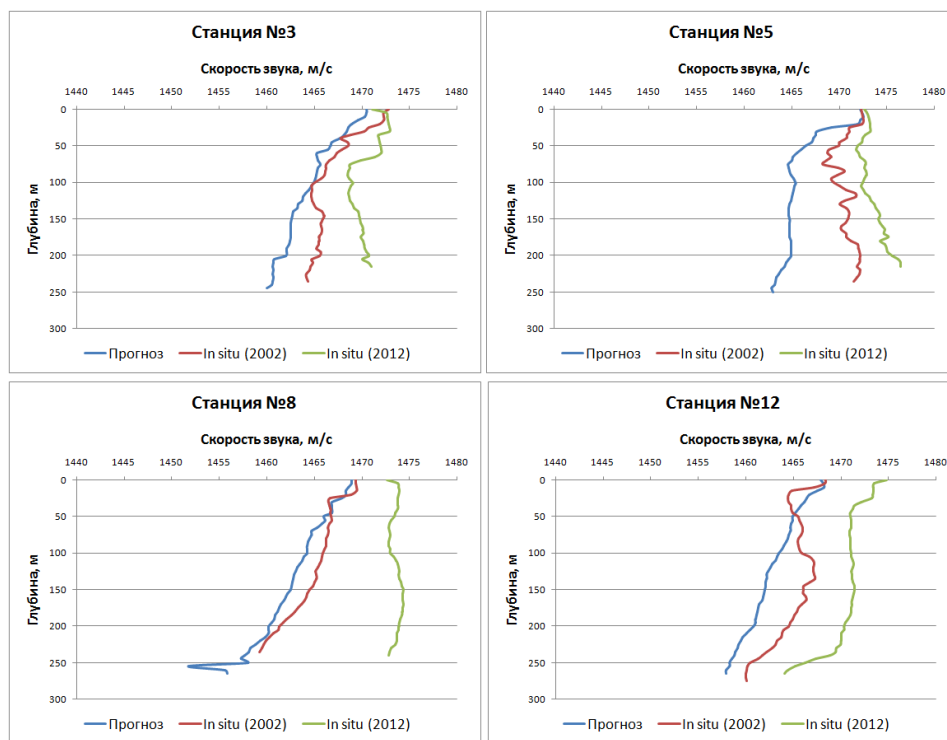


Рисунок 3.6 – Сравнение прогностических и экспериментальных данных

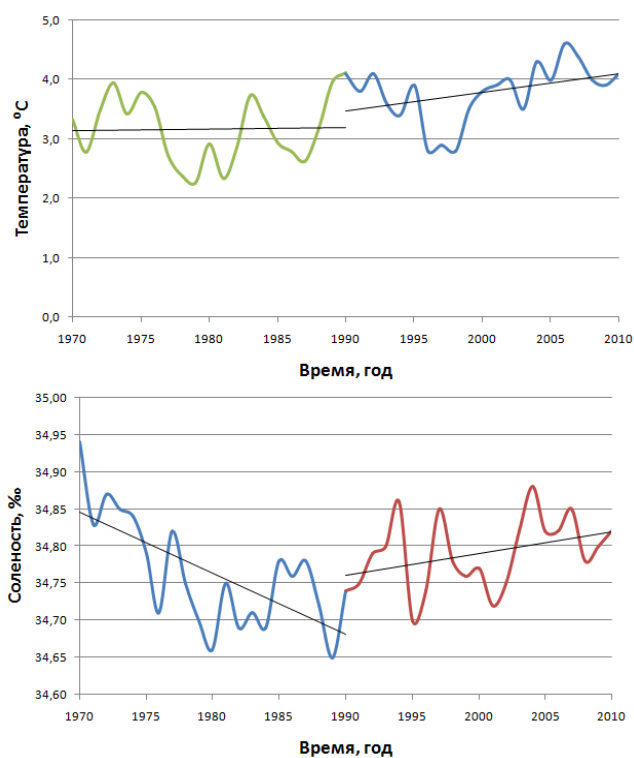


Рисунок 3.7 – Изменение среднегодового значения температуры и солености на разрезе «Кольский меридиан» в слое 0-200м (по данным www.pinro.ru)

3.3 Применение данных дистанционного зондирования для уточнения прогнозируемых профилей

Для корректирования профилей вертикального распределения скорости звука, полученных на основе статистических данных, в рассматриваемой модели предполагается использовать данные дистанционного измерения температуры и солености на поверхности Баренцева моря.

Измерение солености со спутника является относительно новым направлением и, пока, не обеспечивает достаточной точности. По этой причине в модели используются два источника данных – проекты Aquarius/SAC-D и SMOS.

Система Aquarius ежедневно покрывает большую часть акватории Баренцева моря (рисунок 3.8), т.к. траектория движения спутника проходит через полюса [119]. В разные дни можно ожидать разную территорию покрытия. Для исследовательских задач предполагается использовать данные о солености предыдущих дней для заполнения пробелов. Проект Aquarius предоставляет так же усредненные сведения о солености на поверхности Баренцева моря за неделю (рисунок 3.9). Эти наборы данных покрывают практически всю акваторию и отличаются большей точностью, но доступны только в конце каждой календарной недели и практически не могут быть использованы в оперативном моделировании.

По данным экспедиций 2012-2013 годов была проанализирована пространственная и количественная обеспеченность данными. Для этого значение солености на поверхности в каждой измеренной *in situ* станции было сравнено с данными, предоставленными проектом Aquarius (рисунок 3.10)

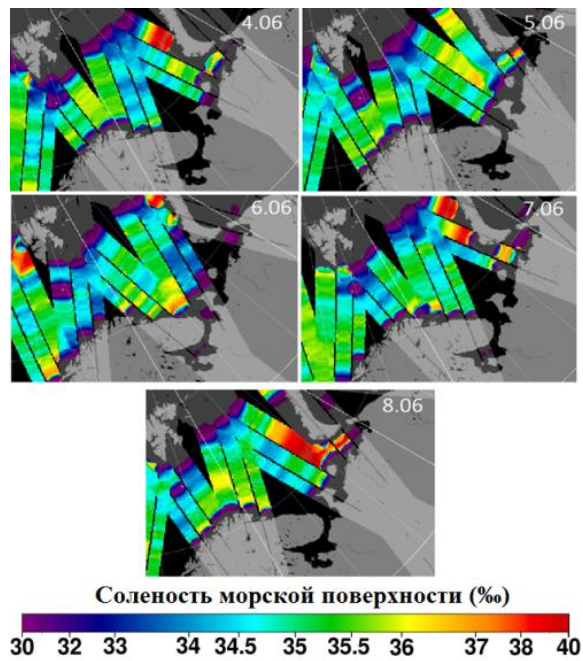


Рисунок 3.8 – Наблюдение за соленостью в 2012 году (Aquarius)

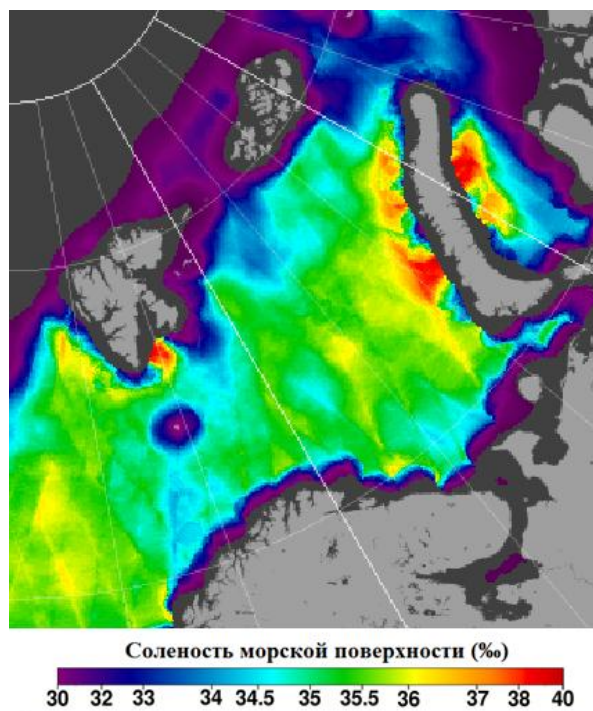


Рисунок 3.9 – Карта покрытия акватории Баренцева моря данными о солености из проекта Aquarius/SAC-D за неделю

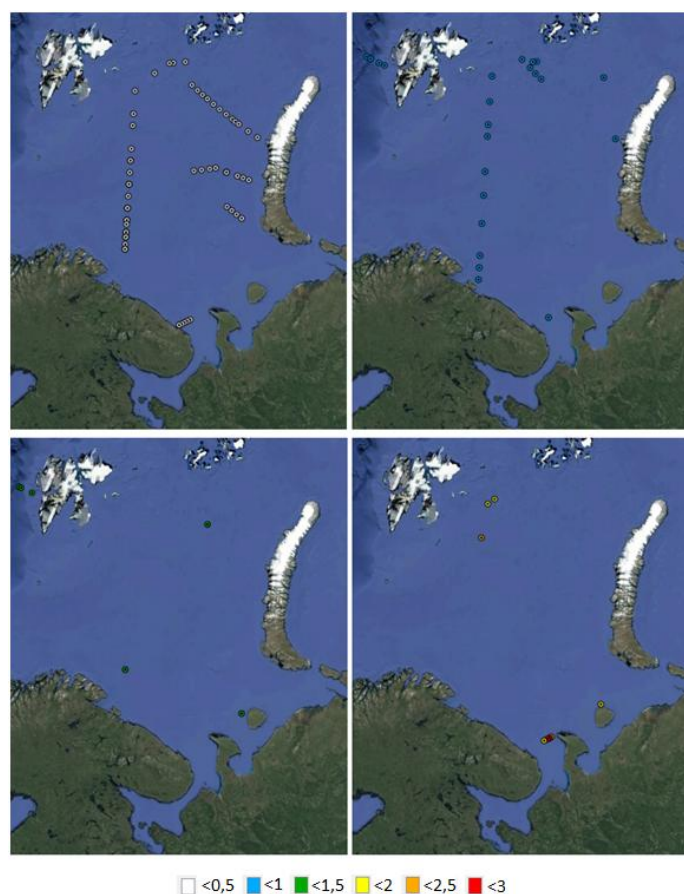


Рисунок 3.10 – Разница между соленостью измеренной *in situ* и полученной из системы Aquarius

На карте видно, что большая часть дистанционных измерений (~60%), отличается от полевых на 0,5 – 1‰. Можно выделить несколько областей, где точность будет доходить до 0,5‰. Это центральная и восточная области Баренцева моря. Отдельного внимания заслуживает пролив между Каниным и Кольским полуостровами. Точность дистанционного зондирования здесь резко отличается - у Кольского она составляет до 0,5‰, в то время как у Канина ошибка может превышать 1,5 – 2,5‰. Такое сильное расхождение может быть объяснено действием Беломорского течения. Ежедневное пространственное покрытие спутниковыми измерениями акватории Баренцева моря в системе Aquarius составляет 48% (по данным за 2012-2013 года).

После запуска программы SMOS 2 ноября 2009 года ученому сообществу стали доступны данные о солености океанов и морей на

расстоянии ~50 – 100 км от побережья. Двумерный микроволновый радиометр MIRAS стал первым устройством, фиксирующим соленость на поверхности мирового океана в полосе ~1100 км, с разрешением 32 – 100 км (в зависимости от угла падения). Учитывая радиометрическую чувствительность прибора, разработчики ожидают карты распределения солености с точностью до 0,1‰ с разрешением в 200 км.

При конвертировании яркостной температуры в соленость необходимо учитывать шероховатость поверхности. Поскольку модели влияния состояния морской поверхности на микроволновое излучение все еще разрабатываются, в продуктах второго уровня проекта SMOS были использованы сразу три из них. Как было показано исследователями из рабочей группы проекта [98], качество конвертирования яркостной температуры в соленость зависит от скорости ветра у поверхности: первая модель показывает менее точные результаты при скорости ветра выше 15 м/с.

В работе были рассмотрены данные из пакетов L3. На картах видно (рисунок 3.11), что точность измерения солености системой SMOS приблизительно такая же, как и системой Aquarius, но ежедневная территория покрытия, пока, оставляет желать лучшего - всего 30%.

Так же был было произведено сравнение обеих систем с данными полевых наблюдений. Для этого все точки были разделены на три группы и нанесены на карту:

- Значения, полученные из системы Aquarius/SAC-D более точны
- Значения, полученные из системы SMOS точнее, чем данные Aquarius
- Обе системы показывают одинаковый результат (расхождение значений не более 0,01‰).

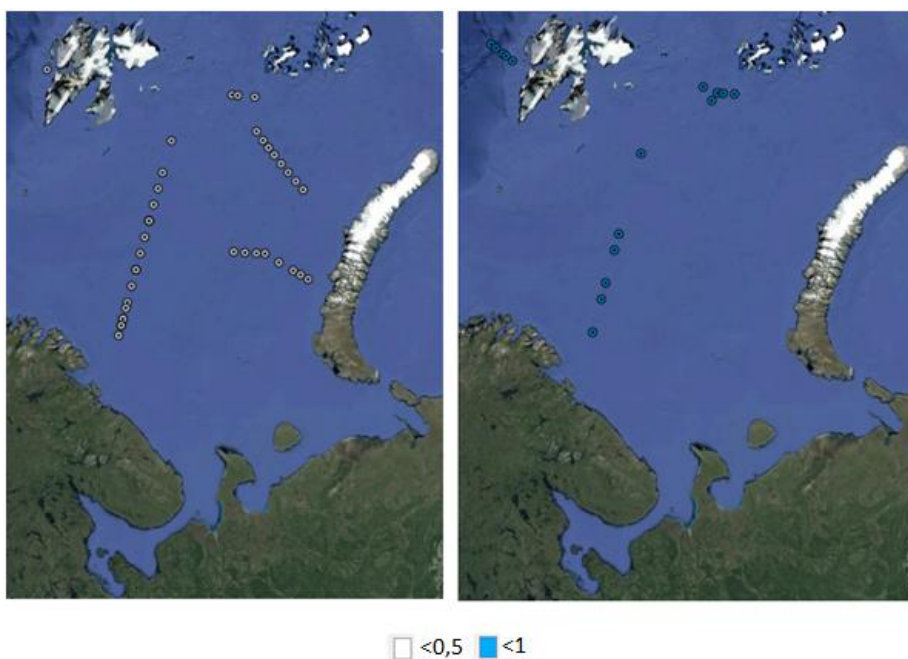


Рисунок 3.11 – Разница между соленостью измеренной *in situ* и полученной из системы SMOS

Из рисунка 3.12 следует, что для работы модели может быть использована в качестве основной система Aquarius как обладающая лучшей точностью и пространственным покрытием.

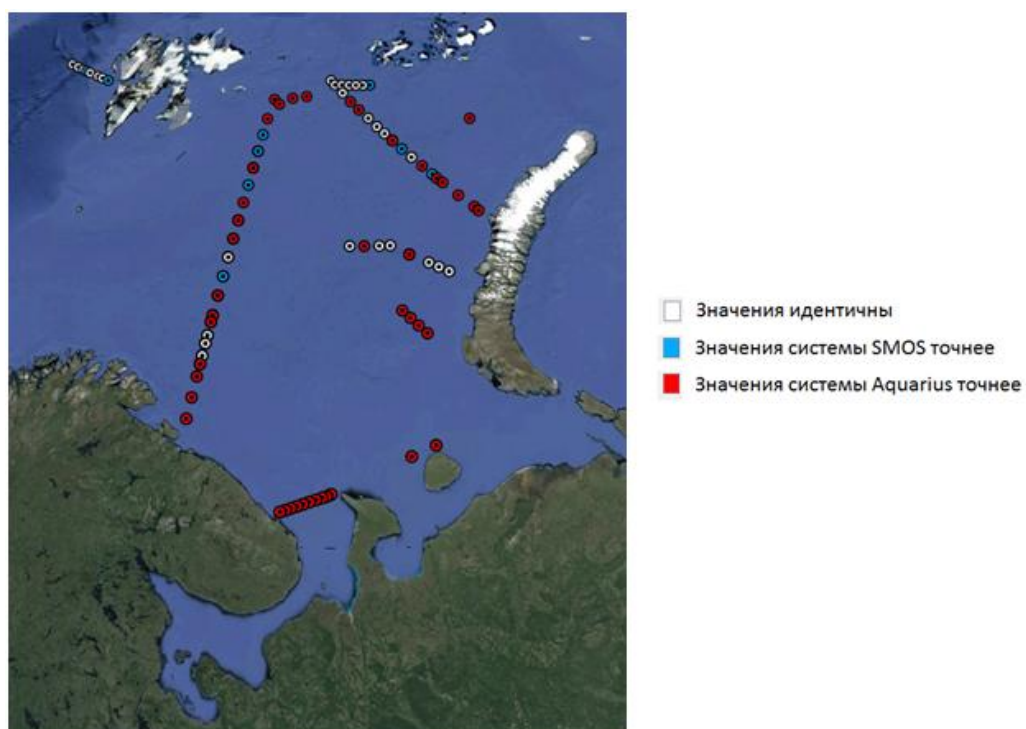


Рисунок 3.12 – Сравнение значений солености на поверхности, полученных их проектов Aquarius и SMOS

В обсуждаемой модели была принята следующая схема получения данных – если искомая точка не покрывается ежедневным блоком Aquarius, следует обратиться к базе данных SMOS за этот день. Если система SMOS также не располагает нужными данными, нужно просмотреть обе базы за предыдущие несколько дней. В случае если искомый срок приходится на начало недели, можно воспользоваться осредненными недельными картами.

Согласно формуле Вильсона для расчета скорости звука на нулевой глубине, изменение солёности на один промилле приводит к изменению скорости звука на 1 м/с, а при изменении температуры на 1°C – на 4 м/с. Таким образом, необходимо больше внимания уделить данным о температуре морской поверхности. При выполнении расчетной части работы были проанализированы разные системы, измеряющие температуру со спутника, но в конечном итоге было принято решение о целесообразности использования только базы GHRSSST, как агрегирующей данные из различных источников, что позволяет ей ежедневно покрывать всю территорию Баренцева моря.

О качестве получаемой информации можно судить из карты, приведенной на рисунке 3.13. Сравнение измерений температуры в точке и со спутника показало, что в 60% случаев данные, полученные из проекта GHRSSST, отличаются от полевых меньше, чем на 1°C. Территориально наибольшие погрешности следует ожидать, как и в случае с солёность, в проливе между Каниным и Кольскими полуостровами, а также в акватории Белого моря, что обусловлено его размерами и возможностями систем дистанционного зондирования.

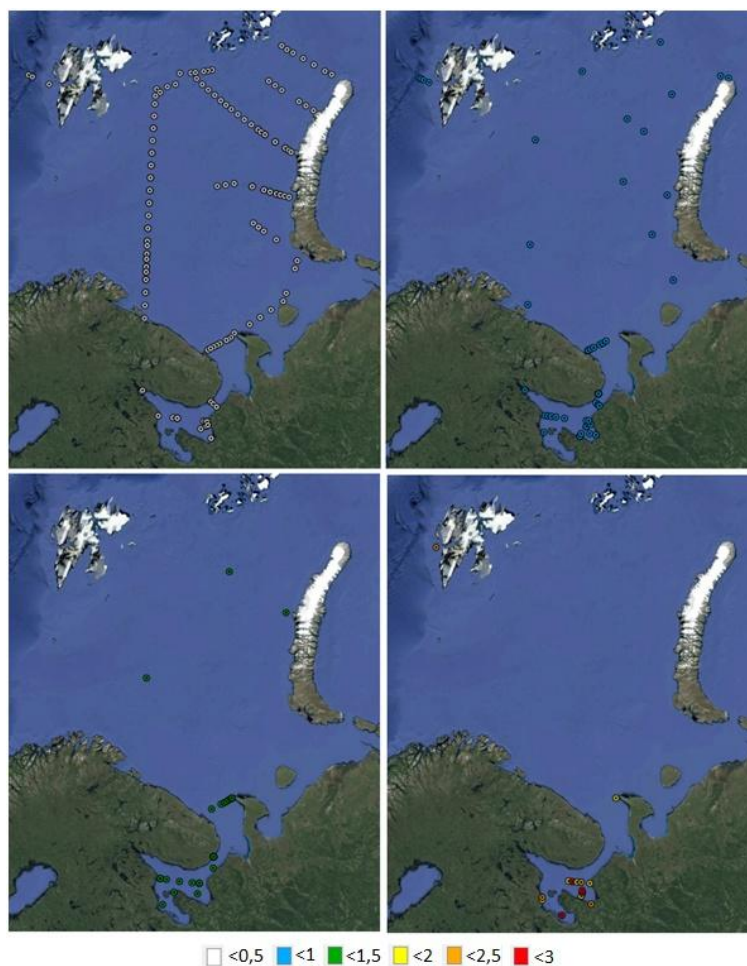


Рисунок 3.13 – Разница между температурой измеренной *in situ* и полученной из системы GHRSST

3.4 Учет потерь при отражении акустической энергии от дна. Слой ГИС, описывающий типы грунта

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:

$$П_0 = 10lg \frac{I_{пад}}{I_{отр}} = -10lgV^2 = -20lgV, \quad (3.2)$$

где $I_{пад}$ – интенсивность падающей волны;
 $I_{отр}$ – интенсивность отраженной волны;
 $V(\varphi)$ – коэффициент отражения от дна, обладающего потерями:

$$V = \frac{m \sin\varphi - \sqrt{n^2 - \cos^2\varphi}}{m \sin\varphi + \sqrt{n^2 - \cos^2\varphi}}, \quad (3.3)$$

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

Затухание звука в диапазоне частот от 0,1 до 3 кГц описывается формулой Торпа:

$$\beta = \frac{0,11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2}, \quad (3.4)$$

где f – частота звука, кГц.

Согласно этой формуле затухание низкочастотного звука очень мало.

Для водной среды глубиной h с мягкой верхней и жесткой нижней границами критическая частота l -ной нормальной волны будет:

$$f_e = \frac{C(l + \frac{1}{2})}{2h} \quad (3.5)$$

При значении частоты ниже $C/4h$ все нормальные волны затухают, и формируется акустическое поле только вокруг излучателя.

Если заменить нижнюю твердую границу водной среды жидким однородным полупространством, то часть энергии нормальных волн будет отобрана и выражение для критической частоты примет вид:

$$f_e = \frac{C(l + \frac{1}{2})}{2h\sqrt{1-n^2}}, \quad (3.6)$$

где $n=C/C_1$ – показатель преломления.

Зная параметры грунта (C_1) и толщину водного слоя h можно найти критическую частоту f_e . Например, для Баренцев моря толщина слоя (h) лежит в пределах от 100 до 300 м, скорость $C=1450$ м/с и $C_1=1500$ м/с, тогда критическая частота будет лежать в диапазоне от 13 до 42 Гц.

Существенное влияние на величину потерь при распространении оказывает влияние типа грунта. Оно минимально при хорошо отражающем дне и возрастает в районах с илистыми грунтами.

Для учета всех этих факторов проектируемая ГИС должна содержать слой распределения типа грунтов в акватории Баренцева моря.

3.5 Учет источников шума в акватории Баренцева моря

Источниками шума в акватории Баренцева моря являются различные объекты и явления, учет которых обязателен при проектировании системы мониторинга гидроакустической обстановки и геоинформационной модели региона [120 – 123].

Слой, отображающий источники шума, формируется с помощью данных, поступающих из разных источников, для учета всего многообразия факторов:

– *Шум летательных аппаратов.* Для контроля пролетающих над акваторией летательных аппаратов можно воспользоваться Интернет-сервисом [flightradar24](http://flightradar24.com), предоставляющим информацию обо всех находящихся в воздухе гражданских самолетах (рисунок 3.14). Система объединяет показания радаров, нанося полученную информацию на карту. Оператору доступна информация о типе летательного средства, его начальном и

конечных пунктах, скорости, месте положения, высоте и уровне шума. Зная эти параметры можно рассчитать уровень шума в любой точке и на любой глубине Баренцева моря. Для корректировки системы flightradar24 можно использовать аэрофотоснимки, сделанные со спутников, для учета военных и незарегистрированных в системе летальных средств. Эта мера позволит не только учитывать шумы всех летательных средств, но и выявлять нарушителей воздушных границ.

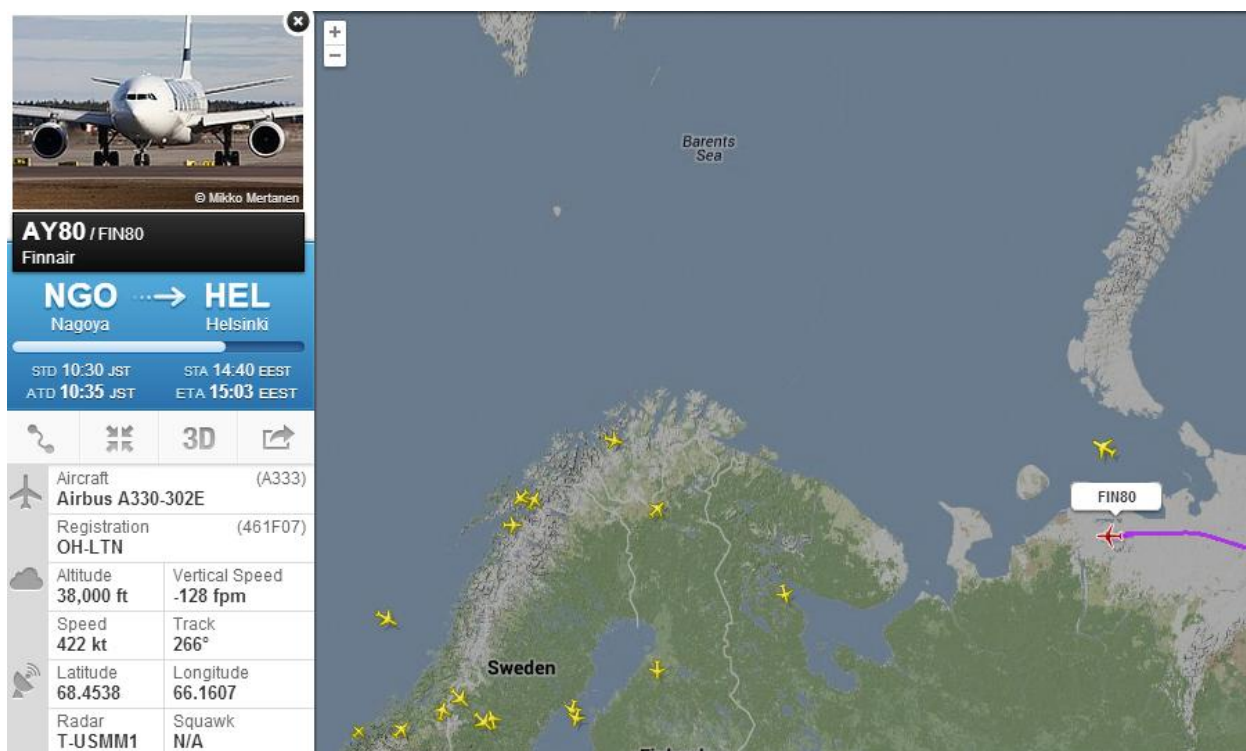


Рисунок 3.14 – Рабочее окно системы flightradar24

– *Шум судов*. Аналогично системе flightradar24 действует система наблюдения за судами в открытом море – marinetraffic. Рабочее окно этого сервиса представлено на рисунке 3.15. Можно выбрать тип отображаемых в системе судов: пассажирские, грузовые, танкеры, скоростные, буксиры, яхты, рыболовные и неопределенные. Для каждого зарегистрированного в системе судна имеется его карточка, содержащая информацию о стране регистрации, порте приписки, скорости и направлении в данный момент, физические характеристики судна и его фотография.

Так же как и в случае с летательными объектами, удобно корректировать показания системы информацией со спутников для выявления судов-нарушителей.

Этот сервис является частью открытого общественного проекта и предназначен для сбора и представления данных о движении судов, с целью повышения уровня безопасности судоходства, статистической обработки трафика портов, мониторинга и выявления загрязнений, вызванных сбросом балластных вод, разработки эффективных алгоритмов прокладки морских путей и оценки времени прибытия судов, корреляции собранной информации с метеорологическими базами данных и моделями.

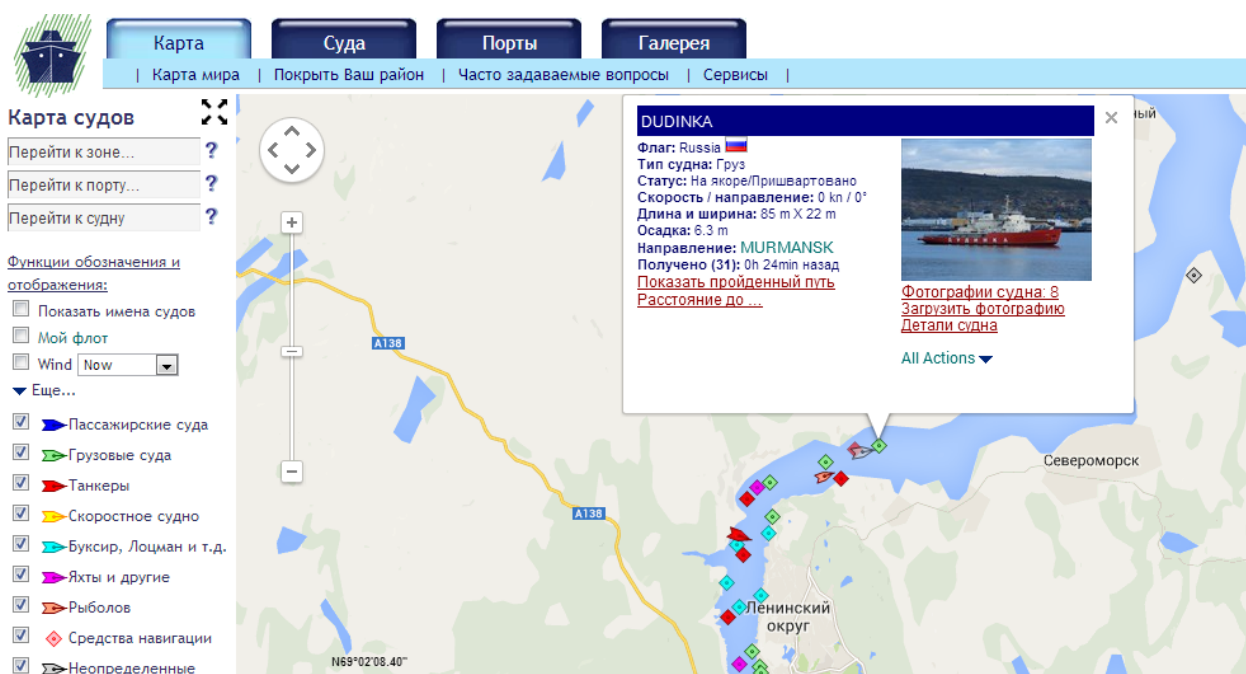


Рисунок 3.15 – Рабочее окно сервиса marinetraffic

Первоначальный сбор данных осуществляется с помощью автоматической идентификационной системы (АИС), передатчики которой устанавливаются на судах водоизмещением более 300 тонн с 2005 года по требованию Международная морская организация. Система должна передавать информацию о курсе корабля, скорости, месте положения, информацию о размерах судна и маршруте его движения.

Бортовой блок АИС состоит из GPS приемника (сбор информации о месте положения судна и его пути следования) и УКВ передатчика для трансляции собранной информации по двум каналам (на частотах 161,975 МГц и 162,025 МГц). Базовые станции и суда, находящиеся в районе, имеют возможность получить эту информацию, обработать ее с помощью специального программного обеспечения и отобразить местоположения судов на карте района.

Судно, оборудованное антенной, расположенной на высоте 15 метров над уровнем моря, может фиксировать входящий сигнал на расстоянии до 20 миль, в то время, как береговая станция слежения покрывает территорию в радиусе до 60 миль.

– *Волнующаяся водная поверхность, динамические явления ледового покрова, ветер на морской поверхности.* Для учета влияния состояния морской поверхности на распространение гидроакустического сигнала и формирование шумового поля в водной среде необходимо использовать результаты гидродинамического моделирования (при наличии) и аэрофотоснимки [124]. Информация о волнении морской поверхности, ледяном покрове и приповерхностном ветре доступны в проекте, разработанном в лаборатории спутниковой океанологии РГГМУ – Satin, рабочее окно которого приведено на рисунках 3.16 и 3.17.

– *Динамические процессы, происходящие на дне океана и в прибрежной зоне.* Для дистанционного фиксирования сейсмических шумов из космоса можно использовать интерферометро-синтетический апертурный радар (InSAR). Измерительный комплекс состоит из двух радаров, отслеживающих смещение тектонических плит. После объединения поступающей по двум измерительным каналам информации можно отследить даже незначительные смещения коры. NASA занимается созданием сети спутников, оснащенных подобными радарными, в рамках проекта GESS (Global Earth Satellite System).

Данные такой спутниковой системы могут быть объединены с базой данных наземных сейсмографов для взаимной калибровки и проверки.

– *Промышленные объекты.* Большинство промышленных объектов находится на одном месте на протяжении долгого времени, и исследователям необходимо просто занести их характеристики (местоположение, размеры и уровень шума) в базу данных, на основе которой будет сгенерирован слой геоинформационной модели региона.

Как следует из описания выше, поток данных можно разделить на три группы: полевые и дистанционные измерения параметров состояния среды, результаты работы численных моделей и сведения, поступающие из проектов слежения за передвижением летательных и морских судов. Первую группу данных удобно дублировать в локальную базу системы для обеспечения непрерывного доступа к ним и предупреждения потерь.

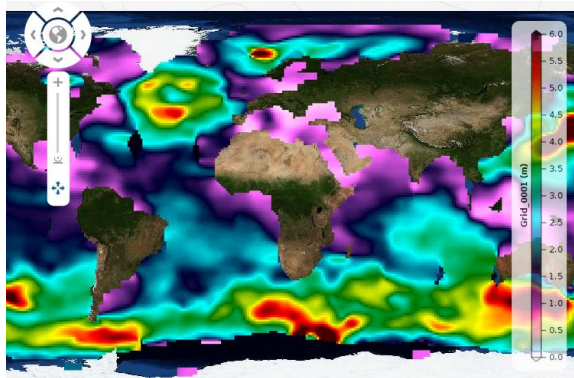


Рисунок 3.16 – Данные о высотах волн, полученные из проекта Satin

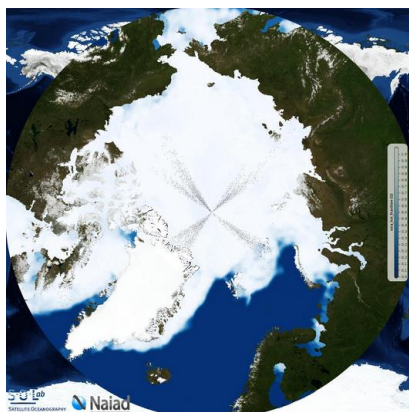


Рисунок 3.17 – Данные о ледовом покрове, полученные из проекта Satin

Разделяя источники данных на основные четыре группы, структуру формирования информационных слоев можно представить следующим образом (рисунок 3.18):

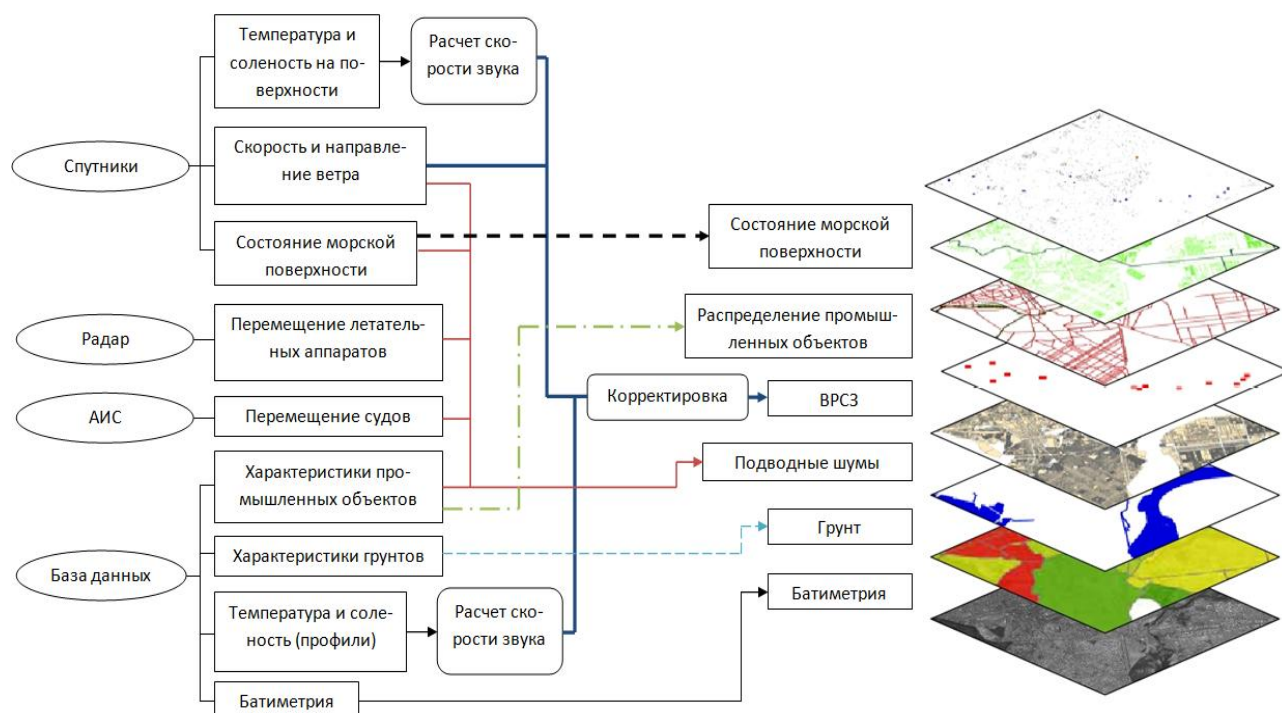


Рисунок 3.18 – Формирование слоев ГИС с использованием 4 источников данных

Как показано на рисунке 3.19, база состоит из 11 таблиц, содержащих информацию, поступающую из отчетов экспедиций и систем дистанционного зондирования земли из космоса. Основной является таблица "Вертикальное распределение скорости звука", в которую заносятся сведения *in situ* измерений с шагом в 1 метр по глубине. Для удобства пользования системой следует разделить всю акваторию на квадраты со стороной 25 км. Выбор размера ячейки грида обусловлен максимальным разрешением спутниковых систем. Каждая строка таблицы содержит информацию о месте, времени и вертикальном распределении скорости звука.

Шесть следующих таблиц содержат данные дистанционного зондирования водной поверхности. Каждый столбец такой таблицы содержит

информацию о значении характеристики в течение дня. Каждый день к этим таблицам прибавляется новый столбец. При наличии нескольких источников данных одной океанологической характеристики, система может проводить автоматический анализ, сравнивая поступающие спутниковые данные с имеющимися полевыми измерениями в точке. Это позволит выявлять преимущества и недостатки систем в различных районах акватории.

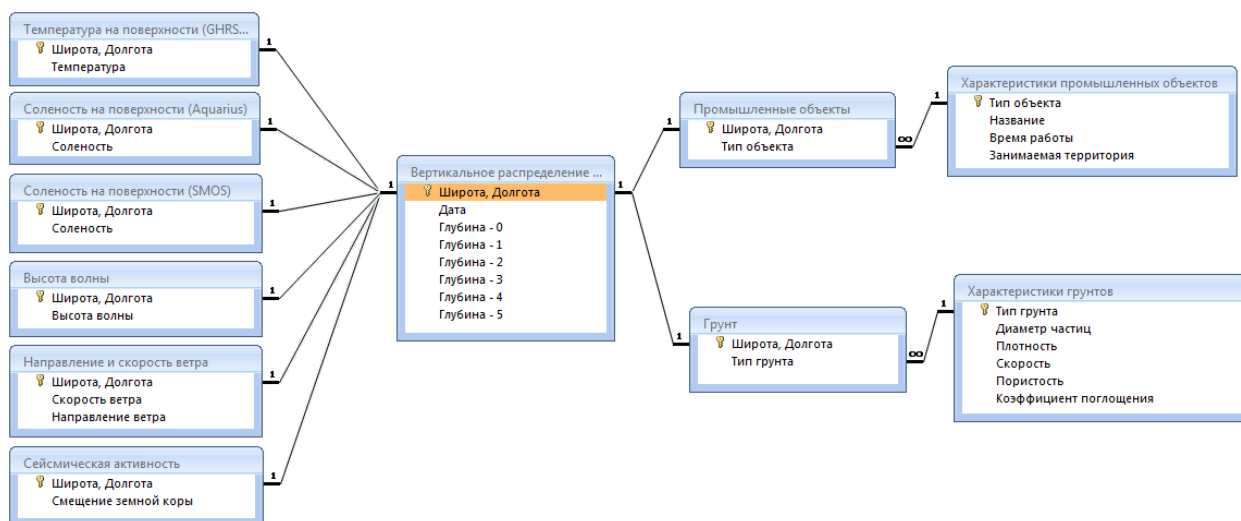


Рисунок 3.19 – База данных учета факторов, влияющих на формирование акустического поля в Баренцевом море

Для правильного расчета влияния донных отложений на формирование акустического поля необходимо иметь информацию о распределении типов грунта на дне Баренцева моря, а также их физико-химических свойств. Эти сведения хранятся в таблицах "Грунт" и "Характеристики грунтов" и корректируются при проведении донных работ.

Немалый вклад в формирование шумового поля вносит и наличие промышленных объектов, таких как порты, доки и заводы, буровые станции и нефтеналивные терминалы, находящиеся в акватории или прибрежной зоне. Подробное описание поможет учесть их вклад в формирование шумов в

водной среде. Для этого необходимы сведения о их местонахождении, физических размерах и времени работы (если они не ведутся круглосуточно).

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 (рисунок 3.20) [125].

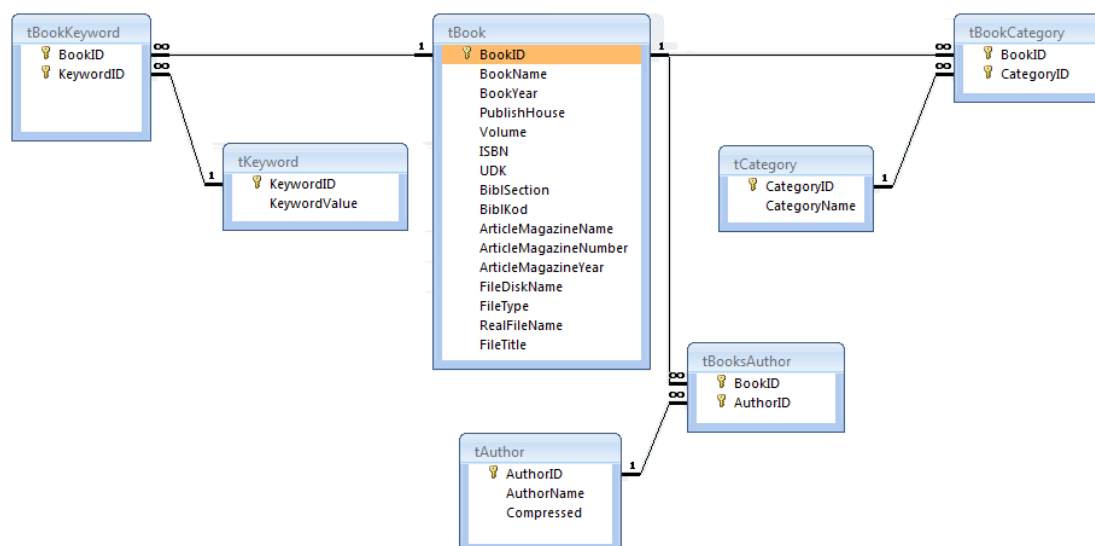


Рисунок 3.20 – Структура базы данных ЭБС

В базе реализован полнотекстовый поиск по содержанию; а также представление изданий с сохранением вида страниц (оригинальной верстки).

Поиск в системе осуществляется по 4 параметрам:

- Предметная рубрика;
- Автор;
- Ключевое слово;

– Название публикации.

Все данные подгружаются асинхронно клиенту. При вводе первый нескольких букв, система предлагает варианты из базы данных. Поиск производится по логическому оператору «и» сужением области поиска – чем точнее будут указаны данные и чем больше будет заполнено полей, тем точнее результат поиска. Во избежание перегрузки системы, ограничен показ первыми 1000 результатами поиска. Если ни одно поле не заполнено, выдаются первые 1000 книг. При выборе каталога выводятся книги, добавленные последними.

Таким образом, были описаны основные положения проектирования и наполнения базы данных и слоев геоинформационной модели акватории Баренцева моря. Данная структура позволяет учитывать большинство факторов, влияющих на формирование акустической обстановки в водной среде. Описанный метод позволяет создать систему освещения акустической обстановки без дорогостоящих и сложно реализуемых средств.

Выводы по главе 3

– Применение геоинформационной модели, реализующую автоматизированное формирование заданных слоев, существенно облегчает решение актуальной и сложной научной и практической задачи построения системы гидроакустического мониторинга Баренцева моря.

– Практическое применение геоинформационной модели для расчета различных гидрофизических характеристик облегчается тем, что все основные технологические этапы построения слоев и агрегация данных полностью автоматизированы и реализованы в программных комплексах автоматизированного структурного моделирования.

- На исследователя возлагается только задача выбора слоев ГИС. Нет необходимости ни выбора метода, ни аналитической работы по составлению и решению систем алгебраических или дифференциальных уравнений.
- С точки зрения степени адекватности, описанная геоинформационная модель обеспечивает моделирование с точным отображением случайности процессов как по их осуществлению во времени, так и по взаимосвязям. Итогом моделирования являются точно рассчитанные слои распределения выходных характеристик. Это является комплексным решением общей проблемы прогнозирования полей гидрофизических характеристик и гидроакустического мониторинга.
- Для успешного внедрения система мониторинга должна включать модули хранения и взаимной корректировки поступающих данных и модуль информационной поддержки оператора, предоставляющий исчерпывающую информацию о процессах, происходящих в акватории Арктического региона.

4 Результаты экспериментов по проверке основных теоретических положений

На основе предложенных методов формирования геоинформационной модели акватории Баренцева моря осуществляется экономическое и техническое обоснование целесообразных способов формирования базы знаний в зависимости от целевых установок. Обобщаются данные по потребителям системы. Произведён анализ предлагаемой к формированию инновационной системы мониторинга и устойчивого развития региона. Разрабатывается план внедрения инновационных технологий освещения гидроакустической обстановки и оценивается ожидаемая финансовая эффективность. Исследована целесообразность использования разработанной модели путем сравнения полученных результатов с натурными и рассчитанными путем имитационного моделирования данными.

4.1 Проверка полученных результатов путем сравнения их с полевыми данными

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.

Блок данных за период с 2000 по 2005 год был выполнен силами рыболовецкого флота России и состоит из 1228 профилей температуры и солености. Большая часть из них была выполнена на разрезах, показанных на карте (рисунок 4.1). Разрез №6 (Кольский меридиан), проходящий по долготе $33,5^{\circ}$ в.д. от 70° до 77° с.ш., выполняется большинством экспедиций и

представлен большинством измерений. Разрезы №3,7 и 29 находятся в непосредственной близости Кольского меридиана и располагаются в Южной части Баренцева моря.

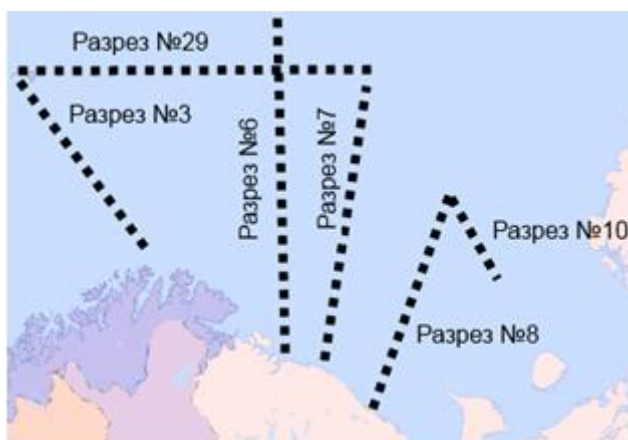


Рисунок 4.1 – Карта разрезов, выполняемых рыболовецкими судами

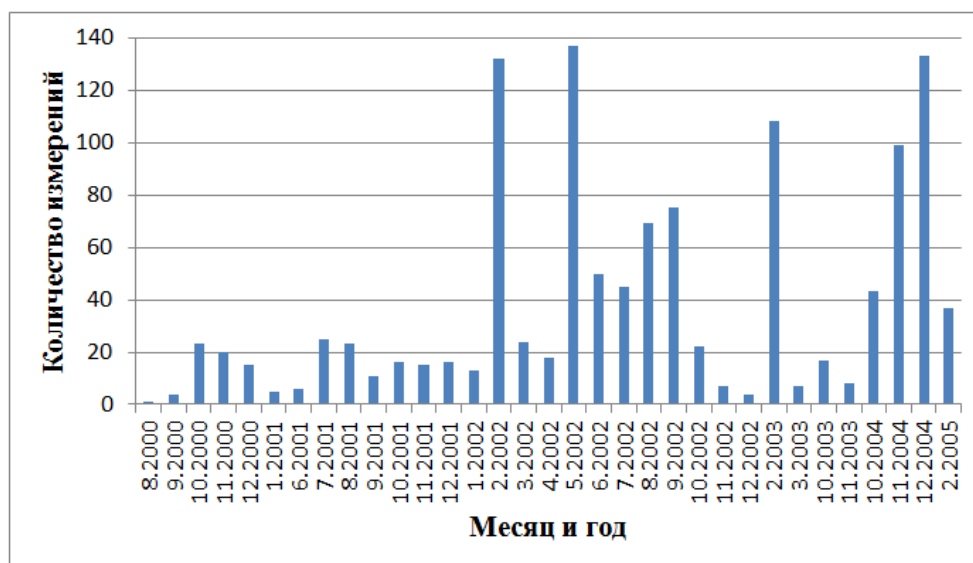


Рисунок 4.2 – Распределение измерений по месяцам

Измерения, собранные рыболовецкими экспедициями, представляют научный интерес тем, что проводятся круглый год. На гистограмме 4.2 видно, что большие объемы данных были собраны как в зимние, так и в летние месяцы, что позволяет точнее оценивать распределения гидрофизических параметров вне зависимости от сезона.

Данные научных экспедиций, собранные в рамках исследовательских рейсов научно-исследовательского института Арктики и Антарктики (АНИИ), выполнялись только в летние месяцы (июнь – июль) в 2012 и 2013 годах. Карта выполняемых разрезов приведена на рисунке 4.3. В рамках каждой экспедиции выполнялось до 80 станций в акватории Баренцева моря.

Распределение температуры на разрезе «Кольский меридиан», полученные по итогам экспедиции 2012 года показаны на Рисунок 4.4. Видно, что температура изменяется в пределах от 5,8°C на поверхности до 1,8°C у дна и от 4,6°C в Южной части моря до 2,6°C в Северной на глубине 50 м.

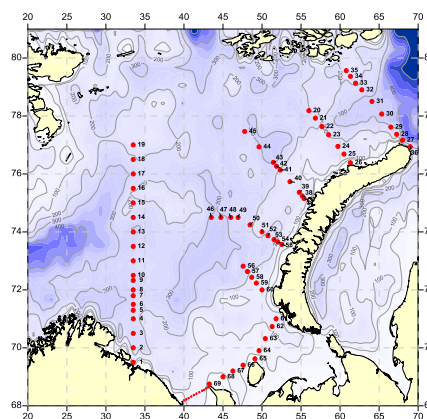


Рисунок 4.3 – Карта разрезов, выполняемых в рамках ежегодных экспедиций АНИИ

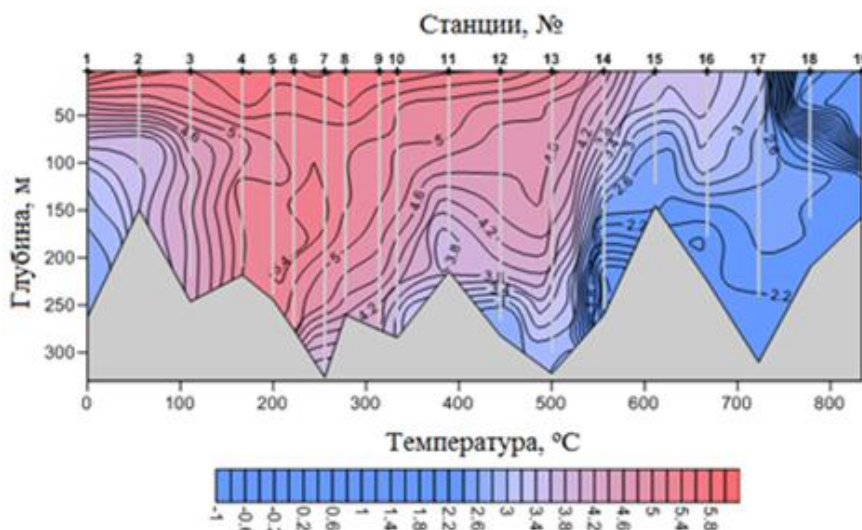


Рисунок 4.4 – Распределение температуры и солёности на разрезе «Кольский меридиан»

Соленость лежит в пределах от 34,4‰ в Южной части до 35‰ в Центральной части моря. В районе северных станций разреза (№17 – 19) соленость уменьшается до 34,4‰, что может быть объяснено таянием льда. Это подтверждается уменьшением температуры приповерхностного слоя до 0 °С. В Центральной части моря (станции №10-16) изменение скорости звука будет обусловлена изменениями температуры и гидростатического давления, т.к. соленость остается неизменной.

Для выполнения замеров (в научных и рыболовецких рейсах) были использованы гидрологические зонды трех моделей – рыболовные экспедиции имели ОЛД-1 и Sea-Bird SBE 19, для выполнения научной программы ААНИИ использовалась модификация Sea-Bird SBE 32, оснащенная кассетой батометров для отбора проб воды на заданных горизонтах.

Зонд ОЛД-1 позволяет фиксировать изменения температуры, электропроводности и гидростатического давления до глубины 2 км и рассчитывает на их основе соленость морской воды и скорость звука. Устройство выполнено в виде автономного погружаемого блока, оснащенного элементом питания и флеш-памятью для записи измеренных параметров. Обмен данными с ЭВМ осуществляется путем сопряжения зонда через последовательный интерфейс. Устройство погружается при помощи гидрологической лебедки типа ЛЭРОК с применением кран-балки и троса не менее 6 мм толщиной с грузом на конце для вертикального погружения прибора (рисунок 4.4). Зонд имеет массу 8 кг, длину 70 см и диаметр 12 см. Его технические характеристики приведены в таблице 4.1.

Вторым гидрологическим зондом, использованным при проведении наблюдений за температурой и соленостью в рамках рыболовецких рейсов, был Sea-Bird SBE 19, внешний вид и схема которого представлена на рисунке 4.5. Прибор предназначен для проведения наблюдений за изменением

температуры, электропроводности и гидростатического давления и может быть оснащен дополнительными датчиками, измеренные данные которых будут добавлены к основному отчету.

Таблица 4.1 – Технические характеристики зонда ОЛД-1

Характеристика	Диапазон	Пределы допускаемой погрешности
Температура	-2 ÷ +35 ° С	0,03° С
Электропроводность	0,3 ÷ 1,6 См/м	0,0015 См/м
Гидростатическое давление		0,0015



Рисунок 4.4 – Гидрологический зонд ОЛД-1. Пример использования

Зонд может использовать предустановленную схему измерений для более гибкого наблюдения за изменением характеристик (от 4 измерений в секунду до 1 измерения в 4 часа). Прибор оснащен флеш-памятью объемом 64 Мб, что позволяет записать до 1000 профилей без необходимости подключать прибор к компьютеру, а девять щелочных батарей обеспечивают непрерывную работу до 60 часов.

Измеренные данные могут быть представлены в виде XML таблиц, в ASCII или HEX файле. Внутренняя программа, в случае необходимости, может быть обновлена через последовательный порт, что позволяет проводить подобные технические манипуляции без вскрытия корпуса прибора.

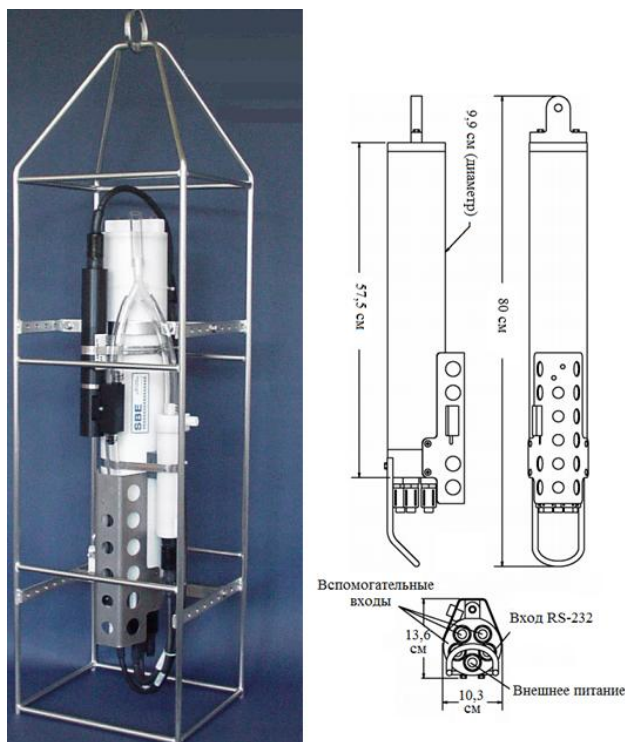


Рисунок 4.5 – Гидрологический зонд Sea-bird SBE 19 [126]

Из таблицы 4.2 видно, что гидрологический зонд марки Sea-Bird SBE 19 значительно превосходит по точности отечественный аналог.

В рамках научных экспедиций, организованных научно-исследовательским институтом Арктики и Антарктики совместно с Российским государственным гидрометеорологическим университетом, была использована модель гидрологического зонда Sea-Bird SBE 32, укомплектованная кассетой из 12 батометров объемом 5 литров (рисунок 4.6), для отбора проб воды с заданных горизонтов. Запирающий механизм кассеты спроектирован таким образом, чтобы низкие температуры или давление не могли привести к нарушению работы измерительного инструмента. Данная особенность позволяет использовать его в условиях Баренцева моря.

Таблица 4.2 – Технические характеристики зонда Sea-Bird SBE 19

Характеристика	Диапазон	Пределы допускаемой погрешности
Температура	-5 ÷ +35 ° C	0,005° C
Электропроводность	0 ÷ 9 См/м	0,0005 См/м
Гидростатическое давление	0 ÷ 7000 м	0,1 % от шкалы

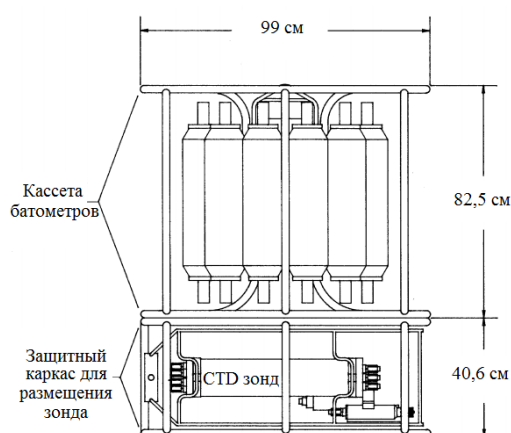


Рисунок 4.6 – Гидрологический зонд Sea-bird SBE 32, укомплектованный 12 батометрами по 5 литров каждый [127]

В отличие от модели SBE 19, данная модификация зонда использует одножильный кабель для передачи измеренной информации в бортовое устройство (рисунок 4.7) в режиме реального времени. Бортовое устройство подключается к персональному компьютеру под управлением операционной системы MS Windows для отображения измеренных характеристик на экране ЭВМ и отправки команд на закрытие батометров. Также можно подключить GPS-приемник к бортовому устройству по протоколу NMEA 0183 для добавления к выходным файлам информации о месте положения судна в момент гидрологической съемки.

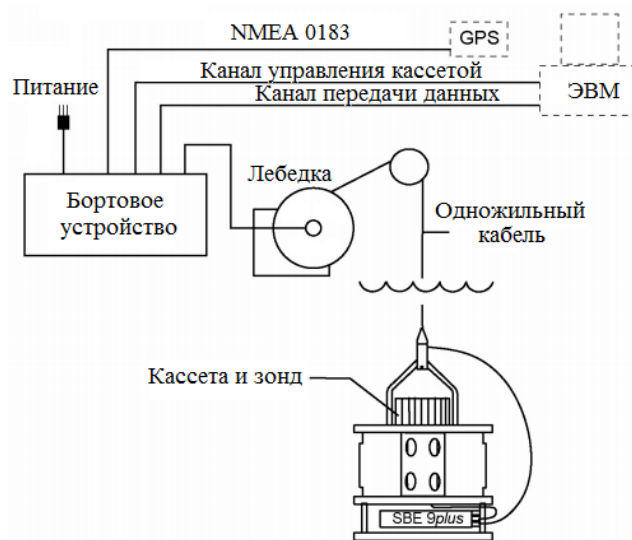


Рисунок 4.7 – Схема подключения гидрологического зонда Sea-Bird SBE 32
[там же]

На основе собранной информации была проведена аттестация описанной во 2 главе методологии расчета вертикального распределения скорости звука.

4.2 Проверка полученных результатов путем имитационного моделирования

Для имитационной проверки полученных результатов был использован программный комплекс расчета дальности действия ГАС, разработанный в Военно-морской академии им. Н.Г. Интерфейс программы представлен на рисунке 4.8

Окно разделено на несколько областей, отображающих следующие параметры:

- Поле «Наблюдатель» используется для заполнения сведений об уровне акустических помех, времени осреднения, средней частоты, полосы частот, глубина погружения антенны и максимальной дальности расчета.
- Поле «Цель» служит для описания параметров цели, таких как глубина ее погружения и шумность.
- Поле «Среда» описывает основные параметры водной среды: глубину места, тип дна, высота волн на поверхности и коэффициенты пространственного затухания. Большая часть этих параметров поступает из слоев описанной в 3-й главе геоинформационной модели.
- «Таблица ВРСЗ» содержит сведения о значениях скорости звука на горизонтах и заполняется из результатов расчета по методологии, описанной во второй главе. Полученный профиль строится в поле «График ВРСЗ»
- Поле «Результаты расчета» содержит таблицу значений ожидаемой дальности действия ГАС.
- В правой части окна программы располагаются окна отображения рассчитанной лучевой картины, зоны наблюдения в вертикальной плоскости и аномалии.

Как следует из описания, все исходные данные для расчета могут быть заполнены с использованием данных, поступающих из геоинформационной модели акватории Баренцева моря.

Как было показано во второй главе, данные о солёности, измеренной со спутника и необходимые для корректировки прогнозируемого профиля, доступны только с июня 2010 года. Таким образом, в данной работе будут приведены результаты сравнений измеренного и рассчитанного вертикального распределения скорости звука для станций, выполненных в рамках экспедиций 2012-2013 годов. Полевые данные за период 2002-2005 годов также сравнивались, анализировались и показали достаточную похожесть.

На рисунках 4.9 – 4.11 приведены рассчитанные и измеренные профили скорости звука и их лучевые картины для станций центральной части Баренцева моря лежащих в районах с разными типами ВРСЗ.

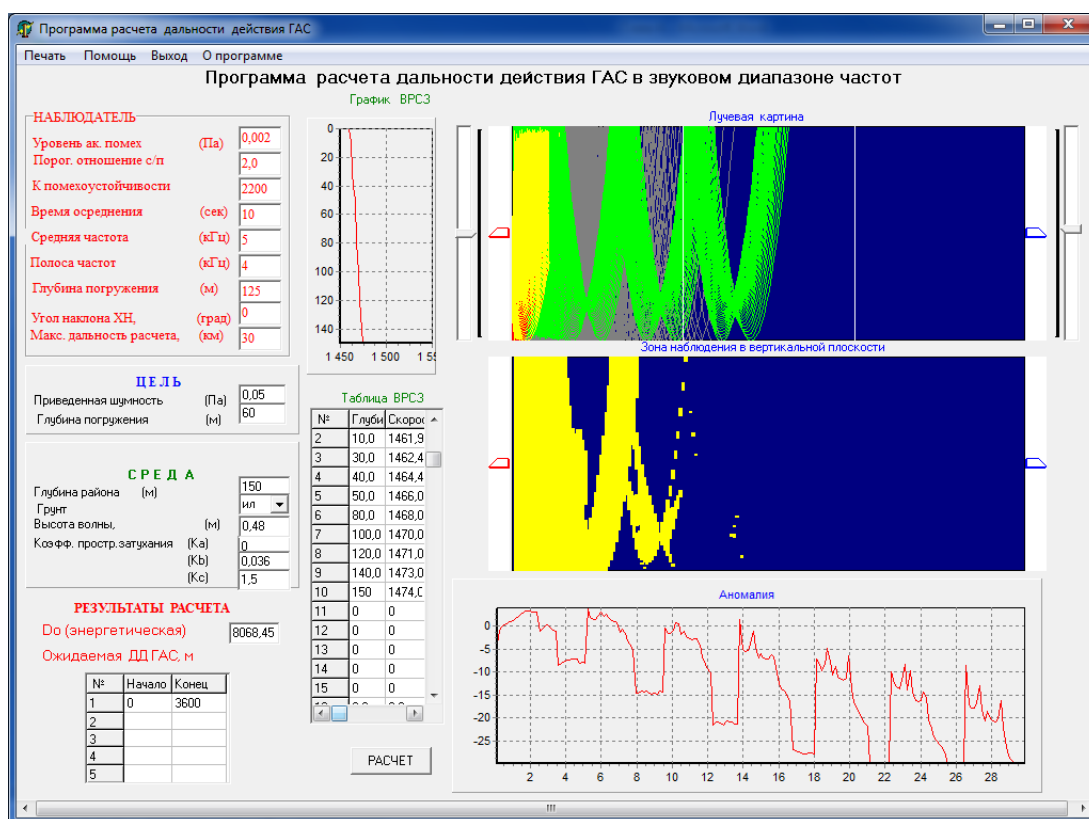


Рисунок 4.8 – Окно программного комплекса расчета дальности действия ГАС

Для расчета использовались данные из различных слоев ГИС: глубина района, тип грунта, высота волны, типичное ВРСЗ для данного района и месяца, скорость ветра, соленость и температура на морской поверхности. Глубина погружения антенны задавалась равной от 10 до 30 м, а глубина погружения объекта наблюдения - половине глубины места. Для каждой станции предложено сравнение лучевых картин, зон наблюдений в вертикальной плоскости и аномалий, рассчитанных по приведенным входным данным. Аномалия является одной из основных величин, характеризующих потери при распространении в одном направлении:

$$\text{Потери при распространении} = 20lgr + \beta r - 10lgA_f + 60, \quad (4.1)$$

где r – горизонтальное расстояние, км;
 β – коэффициент пространственного затухания, дБ/км;
 A_f – аномалия, дБ.

Первая станция лежит, согласно карте (см. приложение А) в районе со вторым типом ВРСЗ. На рисунке 4.9 видно, что рассчитанный профиль совпадает по типу с измеренным, и их максимальная разница составляет не более 1 м/с. Лучевые картины хорошо согласуются.

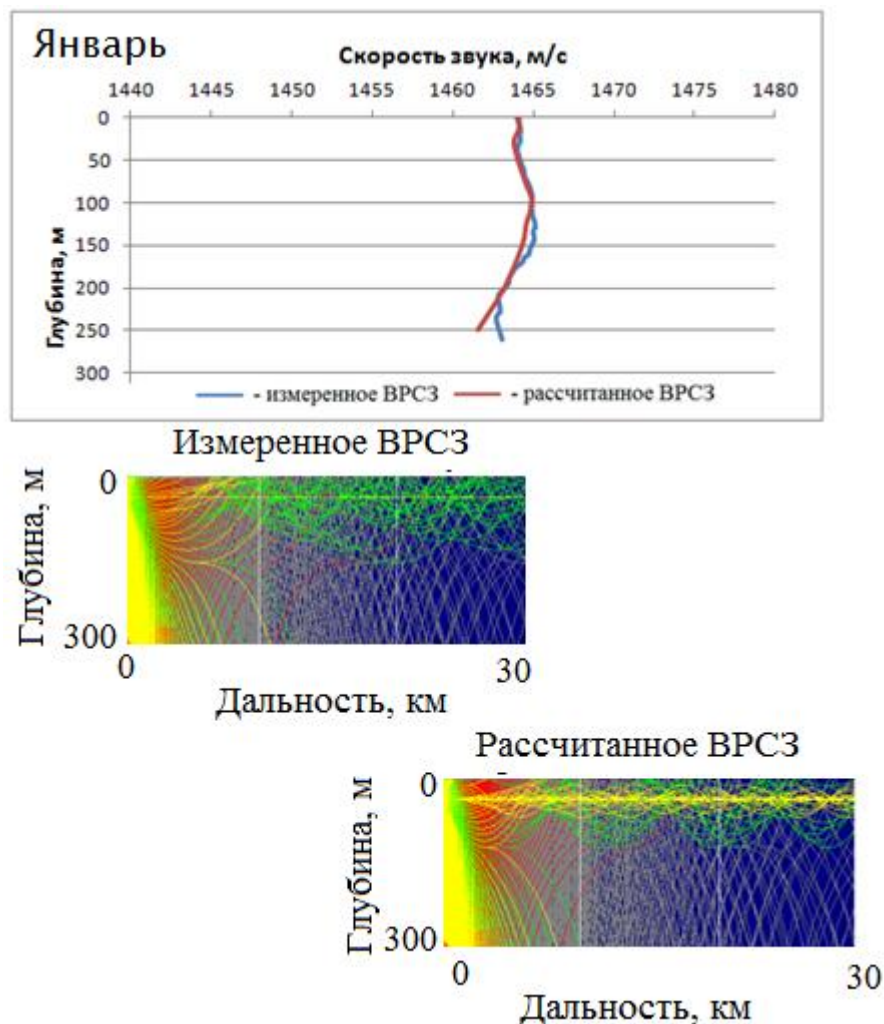


Рисунок 4.9 – Сравнение рассчитанного и измеренного ВРСЗ для станции №12. Построение их лучевых картин

На станции №43 графики совпадают по типу и достаточно точно повторяют друг друга. Также на измеренном профиле заметен подводный звуковой канал, который находится на глубине от 10 до 100 метров.

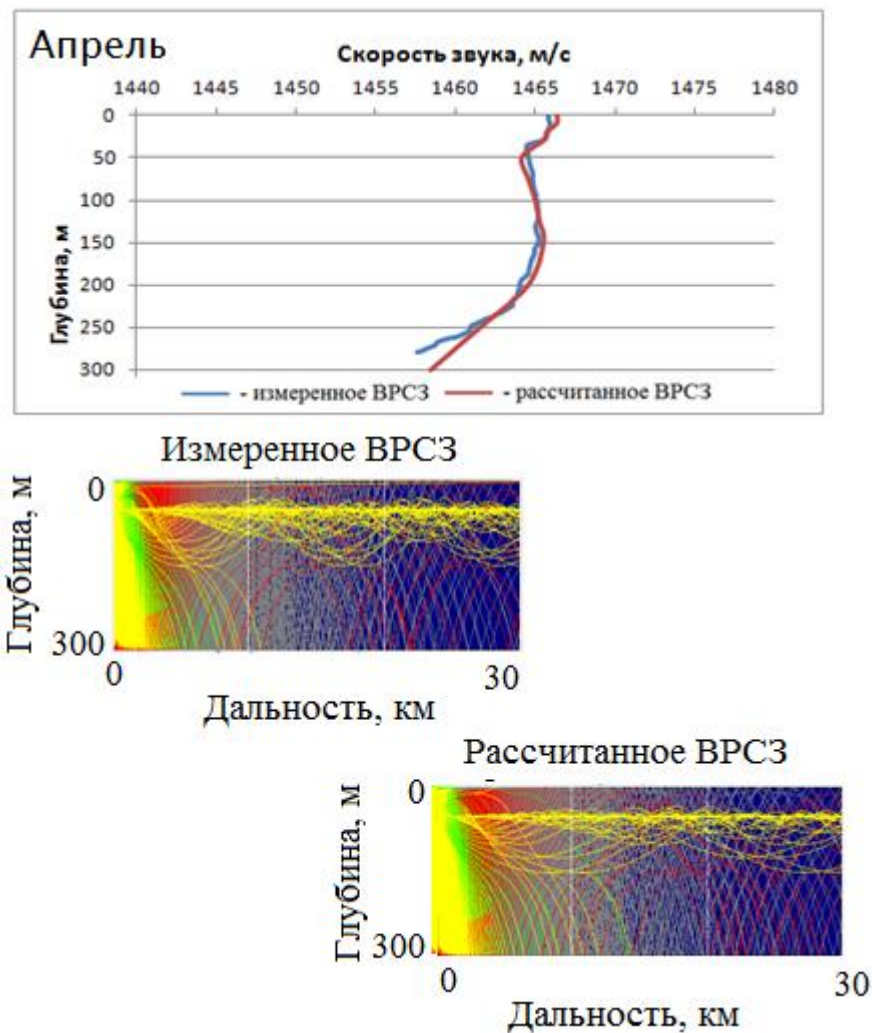


Рисунок 4.10 – Сравнение рассчитанного и измеренного ВРСЗ. Построение их лучевых картин для станции №43

Рассчитанный профиль для станции, лежащей в юго-восточной части Баренцева моря изменил тип (с 6 на 3) за счет корректировки верхнего слоя спутниковыми данными, что привело к появлению горизонта перегиба на глубине 10 метров. Это позволило точнее описать ВРСЗ. Максимальная разность для профилей составляет не более 2,5 м/с.

Для оценки качества метода производилось сравнение погрешностей при прогнозировании ожидаемой дальности действия гидроакустических станций, как основного параметра [128 – 130], и глубины залегания оси подводного звукового канала. Как видно из приведенной таблицы 4.3, данный метод позволяет улучшить результаты на 2 и 1 % соответственно в сравнении с расчетом, базирующемся на использовании типовых распределений, приведенных в атласах.

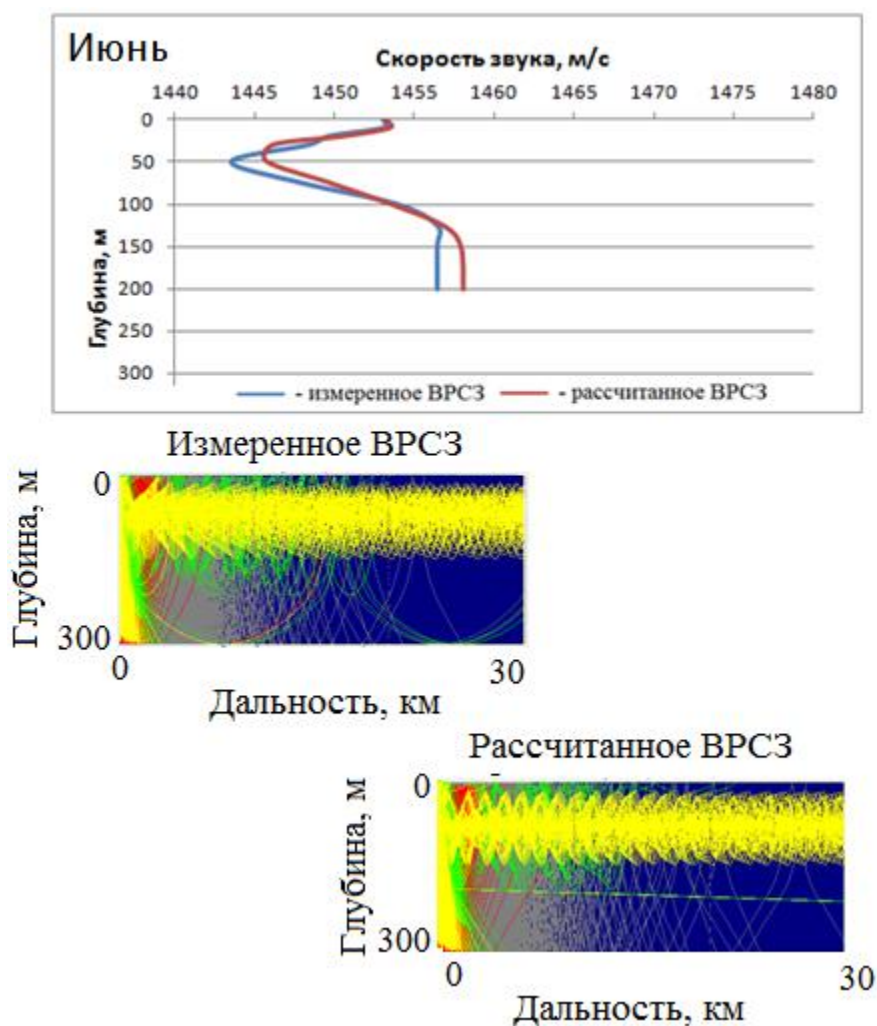


Рисунок 4.11 – Сравнение рассчитанного и измеренного ВРСЗ. Построение их лучевых картин для станции №7

Таблица 4.3 – Количественная оценка эффективности применения методики

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

4.3 Предложения по внедрению системы

Таким образом, агрегируя различные данные в базе и объединяя их между собой, возможно создать геоинформационную систему мониторинга гидроакустической обстановки Баренцева моря, способную отображать актуальное состояние акватории. На основе смоделированных полей распределения океанологических характеристик и измеренных гидрофизических данных создается трехмерная карта распределения акустических шумов в водном бассейне. В последствии на ее основе может быть создана двухмерная карта для произвольной глубины. С помощью статистических методов могут быть рассчитаны фоновые поля характеристик, особенности фоновой пространственной изменчивости характеристик на разных масштабных уровнях, различные коэффициенты корреляций, карты аномалий и др. С помощью карт корреляций можно выявлять пространственные особенности в типе взаимосвязей между различными факторами и гидрофизическими полями, оценивать вклад различных факторов в процессы формирования шумового поля Баренцева моря. 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.

Выводы по главе 4

- Анализ данных по агрегации и взаимному дополнению различных данных показывает, что они должны быть адаптированы ко многим критериям использования и наилучшей моделью технической реализации средства освещения гидроакустической обстановки является приближенная к природным условиям модель.
- Основными показателями качества средств мониторинга различного масштаба является отношение «Эффективность-стоимость». Применительно к решаемой проблеме можно отметить, что стоимость создания и эксплуатации описанной системы является низкой за счет использования, в основном, открытых источников данных.
- Продвижение на рынок разрабатываемого программного продукта на основе изложенных принципов может быть осуществлено проведением комплекса мероприятий, включающих лоббирование в органах власти и вооруженных силах.
- Для обеспечения Арктического региона информацией о состоянии водной среды необходимо создание сети наблюдательных станций, а также введение в строй гидродинамических моделей Баренцева, Карского и Белого морей.

– Привлечение научных и промышленных организаций к формированию базы данных гидрофизического состояния среды позволит расширить представление о гидрологических процессах и создаст основу для калибровки и аттестации моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом диссертационного исследования является разработанная концепция, учитывающая дополнительные факторы и особенности, данные о которых появились в связи с развитием систем спутникового исследования, метод применения данных дистанционного зондирования морской поверхности для уточнения гидроакустических условий в мелком море (на примере Баренцева моря) и геоинформационная модель освещения гидроакустической обстановки Баренцева моря, позволяющая на основе взаимного дополнения различных типов данных осуществлять эффективное управление развитием акватории. Степень достоверности определяется качеством поставляемых на вход системы эмпирических значений.

Научная и практическая новизна, отличающая представленную концепцию, состоит в способе агрегирования различных данных в единую базу с последующим взаимным анализом и дополнением.

Предложенная концепция позволяет объединить архивные отчеты, данные дистанционного зондирования и систему информационной поддержки, что помогает не только проводить мониторинг и выявлять нештатные ситуации, но и давать их описание на основе опыта предыдущих поколений исследователей.

Геоинформационная модель состоит из генерируемых с заданным шагом по глубине слоев, объединяющих всю необходимую информацию для расчета ожидаемой дальности действия гидроакустических систем и формирования шумового поля.

За предыдущие годы было написано и опубликовано большое количество атласов, учебных пособий, методических указаний, научных статей и монографий по тематике исследования Баренцева моря. Накопленные печатные источники должны быть оцифрованы и помещены в единую базу

данных для удобного и быстрого доступа к нему. Для этих целей было предложено добавить к системе мониторинга подводной обстановки электронно-библиотечную систему с функцией полнотекстового поиска, постоянно пополняемую соответствующими источниками.

Как было показано выше, корректировка профилей с помощью спутниковых наблюдений позволяет адекватно преобразовывать кривые ВРСЗ, в некоторых случаях приводящие к изменению типа кривой.

Полученные результаты показывают, что система позволяет достаточно точно прогнозировать распределение звуковых лучей в водной толще. В последующих работах на эту тему следует уделить внимание развитию гидродинамических моделей и постараться охватить весь Арктический регион.

В Арктическом регионе данная концепция может быть реализована на практике при поддержке на государственном и местном уровне. Учитывая масштабность решаемой проблемы, целесообразно проводить эксперимент с привлечением большого числа участников - исследовательских центров, институтов и промысловых организаций для увеличения сети наблюдений и, как следствие, увеличения точности прогнозов. Данный эксперимент может быть осуществлен в несколько этапов.

Одним из основных отличий разрабатываемого проекта является взаимодействие науки (Российский государственный гидрометеорологический университет, Арктическая общественная академия наук), бизнеса (Агентство по наукоёмким и инновационным технологиям) и власти (региональной).

С учетом интенсификации освоения Арктического региона можно ожидать увеличения объемов работ в шельфовой зоне. Устойчивое развитие региона не осуществимо без применения геоинформационных моделей, в том

числе и освещения подводной обстановки. Данная разработка будет полезна при проведении навигационных, ресурсных и спасательных работ. Свойство системы выявлять незарегистрированные летательные и морские суда за счет сравнения спутниковых снимков и отчетов гражданских систем слежения, будут полезны береговой и пограничной службам. При освоения углеводородных запасов шельфовой зоны все чаще применяются автоматизированные системы контроля и обеспечения подводных работ. Последние разработки таких гигантов как SAAB показывают, что автономные системы в недалеком будущем могут полностью заменить проводные. Для их информационного обеспечения необходимо точно знать тенденции распространения звуковых сигналов в водной среде. Данная система способна дать исчерпывающий ответ на поставленные вопросы. В перспективе строительство газопровода до Штокманского месторождения. Для выявления неисправностей и поломок подводных частей, также могут быть применимы гидроакустические средства. Таким образом, обсуждаемая модель будет полезна специалистам аналитических центров МЧС, береговой охраны, природоохранным организациям, а также энергетическим компаниям.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АГАС	–	автономная гидроакустическая станция
БГАС	–	береговая гидроакустическая станция
БЗАО	–	ближняя зона акустической освещенности
ВРСЗ	–	вертикальное распределение скорости звука
ГАС	–	гидроакустическая станция
ГАУ	–	гидроакустические условия
БГД	–	база геоданных
БД	–	база данных
БЗ	–	база знаний
ГИС	–	геоинформационная система
ООГИС	–	объектно-ориентированная ГИС
ООМС	–	объектно-ориентированная модель среды
ПК АСМ	–	программный комплекс автоматизированной системы моделирования
ПО	–	программное обеспечение
ДЗАО	–	дальняя зона акустической освещенности
ПЗК	–	подводный звуковой канал
КУПЗ	–	комплексное управление прибрежной зоной
ПР	–	потери на распространение
НГО	–	навигационно–гидрографическое обеспечение

- НГС – навигационная гидроакустическая система
- НИИ – научно–исследовательский институт
- НИР – научно–исследовательская работа
- ОИС – океанографическое исследовательское судно
- ПА – подводный аппарат

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградов, К. А. Современное состояние и перспективы развития отечественных и зарубежных измерителей скорости и глубины под килем. Аналитический обзор состояния / К. Виноградов, А. Сквородников. – СПб. : Гос. НИНГИ МО РФ, 1998. – 34 с.
2. Федотов А. В. Развитие морской навигации в XX веке // Навигация и гидрография / А. В. Федотов. – 1996. – 132 - 137 с.
3. Судовые измерители скорости / К. А. Виноградов [и др.] – Л.: Судостроение, 1978. – 286 с.
4. Судовые эхолоты / К. А. Виноградов [и др.] – Л.: Судостроение, 1982. – 232 с.
5. Виноградов, К. А. Гидроакустические навигационные системы и средства / К. Виноградов, И. Новиков. – Навигация и гидрография. – 1998.
6. Зарайский, В.А. Теория гидролокации / В. Зарайский, А. Тюрин. – Л.: ВМА, 1974. – 397с.
7. Интеллектуальная ГИС в системах мониторинга / В. В. Попович [и др.] – вып. 3, т. 1. – Труды СПИИРАН, 2006. – 172 - 184 с.
8. Ивакин Я. А. Интеллектуализация геоинформационных систем. Методы на основе онтологий // Монография. – Germany , Saarbruken, Labert Academic Publishing GmbH, – 2010. – 243 с.
9. Куракина, Н.И. Система мониторинга и анализа деятельности водопользователей на базе ГИС // Тезисы докладов научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных

ситуаций и их последствий» / Н.И. Куракина, А.А. Московкина, К.В. Пейчева. – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. – 46 - 48 с.

10. Алексеев А.О. Процедура численного решения систем логических уравнений // Сборник алгоритмов и программ № 14. – СПб. : ВМА, 1992. – 60 с.

11. Бескид, П.П. Геоинформационные системы и технологии / П.П. Бескид, Н.И. Куракина, Н.И. Орлова. – СПб. : Изд. РГТМУ, 2011. – 260 с.

12. Куракина, Н.И. Гидробиологический анализ качества воды с использованием геоинформационных технологий // Сборник материалов XII Конференции пользователей ESRI & Leica Geosystems в России и странах СНГ / Н. Куракина, А. Минина. – Москва, 2006.

13. Биденко, С. И. Геоинформационные системы поддержки принятия решений [Текст] : учеб. пособие / С. И. Биденко, А. А. Комарицын, А. И. Яшин - СПб. : Изд-во СПбГТУ "ЛЭТИ", СПб 2004. –35 с.

14. Neelov, I.A. simulation of the Gulf of Finland ecosystem with 3-D model // Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol. / T. Eremina, A. Isaev, V. Ryabchenko, O. Savchuk, R. Vankevich; № 52, 3. – 2003. – с. 346-359.

15. Неелов И. А. Математическая модель синоптических вихрей в океане. [Текст] // Океанология, т. 22, № 6. – 1982. – 875 - 885 с.

16. Mayerle, R. Verification of a 3D numerical simulation of the flow in the vicinity of spur dikes // Journal of Hydraulic Research / R. Mayerle, F. Toro, S. Wang S; Vol. 33, Nr. 2. – IAHR, – 1995.

17. Toro, F.M. Real time handling of in-situ measurements data using GIS and Information Technologies // River Flow 2002 - Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics / F. Toro, R. Mayerle; Louvain-la-Neuve, Belgium. – IAHR, – 2002.

18. Gurgel, K.-W. An Empirical Method to Derive Ocean Waves From Second-Order Bragg Scattering: Prospects and Limitations / H.-H. Essen, T. Sclick; IEEE Journal of oceanic engineering. – 2006.
19. Gurgel, K.-W. Wellen Radar (WERA): a new ground-wave HF radar for ocean remote sensing / G. Antonischki, H.-H. Essen; University of Hamburg. – 2006
20. Акустика дна океана; под. ред. У. Купермана и Ф. Енсена; пер. с англ. — М. : Мир, 1984. — 454 с.
21. Агеноров В.К. О динамике вод Баренцева моря. М. - Л. : Гидрометеоиздт, 1946. — 132 с.
22. Атлас поверхностных течений северной части Атлантического океана. — Л. : ГУ МО, 1967.
23. Атлас распространения льдов и айсбергов в Северо-Западной Атлантике в северных морях. – Мурманск, 1979.
24. Сташкевич, А.П. Акустика моря / А.П. Сташкевич. - Л. : Судостроение 1966. – 334 с.
25. Гебель Г.Ф. О течениях в Баренцевом и соседних морях // Экспедиция для научно-промысловых исследований у берегов Мурманска. Отчет о работах в 1904 / Г. Гебель, Л. Брейтсфул. – СПб, 1908. – 161-316 с.
26. Терзиев Ф. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 2. Белое море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия / Ф. Терзиев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 280 с.
27. Гидрометкарты Баренцева моря. – Л. : ГУНиО МО, 1984.
28. Грузинов В.М. Гидрология фронтальных зон Мирового океана. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986.

29. Матишов Г.Г. О структуре циркуляции теплых атлантических вод в северной части Баренцева моря // Докл. РАН. Т. 362. №. 4 / Г. Матишов, В. Волков, В. Денисов. – 1998. – 553 - 556 с.
30. Соколов А.В. Современные представления о гидрологии Баренцева моря (динамика вод Баренцева моря) // Природа, № 7 / А. Соколов. – 1936. – 33 - 49 с.
31. Танцюра А.И. О сезонных изменениях течений Баренцева моря / А. Танцюра. – труды ПИНРО, 1973.
32. Танцюра А.И. О течениях Баренцева моря / А. Танцюра. – тр. ПИНРО, 1959. – 35 - 53 с.
33. Баранов Е.И. Средние месячные положения гидрологических фронтов в северной части Атлантического океана , – т. 2 вып. 2. – Океанология, 1972.
34. Бойцов В. Д. Климатические границы водных масс Баренцева моря // Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна / В. Д. Боцов. – Мурманск, 1995. – 5 - 22 с.
35. Бойцов В. Д. Сезонная изменчивость основных гидрометеорологических параметров // Закономерности формирования сырьевых ресурсов побережья Баренцева моря и рекомендации по их промысловому использованию / В. Д. Боцов. – Апатиты, 1994. – 9 -16 с.
36. Адров Н.М. Очерки истории изучения и освоения Баренцева моря / Часть III (Первая половинз XX века). —Мурманск. : МГПИ, 2001. — 79 с.
37. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан, ВМФ СССР, 1980. — 184 с.
38. Бабий В.И. Мелкомасштабная структура поля скорости звука в океане. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983.

39. Бреховских Л.М. Теоретические основы акустики океана / Л. Бреховских, Ю. Лысанов. – Л. : 1982.
40. Бабий В.И. Проблемы и перспективы измерения скорости звука в океане / В.И. Бабий. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. – 142 с.
41. Бабий В.И. Скорость звука как связующее звено гидрофизики и гидроакустики // Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана: сб. докладов второй международной научно-практической конференции / НАН Украины, Научно-технический центр панорамных акустических систем. – Запорожье, 2008. – 113 - 121 с.
42. Бабий В.И. О взаимосвязи гидрофизики и гидроакустики // Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» / В. И. Бабий, А. А. Родионов. – СПб. : Наука, 2008.
43. Борисов С.А. Дистанционное зондирование океана / С. А. Борисов. – Ростов-на-Дону: ростовское книжное издательство, 2001.
44. Митько А.В. Лабораторный практикум по дисциплине морские информационные системы / А. Митько, Н. Попов. – РГГМУ, СПб, 2013 – 56 с.
45. Комляков В.А. Корабельные средства измерения скорости звука и моделирования акустических полей в океане / В. Комляков. – СПб. : Наука, 2003.
46. Серавин Г.Н. Измерение скорости звука в океане / Г. Серавин. – Л. : Гидрометеиздат, 1979.
47. Гостев В.С. Акустические характеристики тонкоструктурных образований в океане // Проблемы акустики океана / В. Гостев, Р. Швачко. – М. : Наука, 1984.
48. Новиков Б.К. Нелинейная гидроакустика / Б. Новиков, О. Руденко, В. Тимошенко. – Л. : Судостроение, 1981.

49. Клей К.С. Акустическая океанография / К. Клей, Г. Медвин. – М. : Мир, 1980. – 582 с.
50. Океанология. Физика океана, т. 1, гидрофизика океана. Под ред. А.С. Мони́на. – М. : 1978.
51. Океанология. Физика океана, т. 2, гидрофизика океана. Под ред. А.С. Мони́на. – М. : 1978.
52. Ольшевский В.В. Статистические методы в гидролокации: модели, алгоритмы, решения / В. Ольшанский. – Л. : Судостроение, 1983. – 280 с.
53. Евтютов А.П. Справочник по гидроакустике / А. Евтютов. – Л. : Судостроение, 1988. – 548 с.
54. Дегтярев В.П. Техничко-эксплуатационные характеристики перспективных моделей гидроакустических систем для непрерывного сейсмоакустического профилирования дна Арктических морей // Известия ЮФУ, Технические науки №9 / В. Дегтярев. – СПб, 2011. – 42-46 с.
55. Petersen W. Ferry-Box – application of continuous water quality observations along transects in the North Sea. Ocean Dynamics 61 / W. Petersen, F. Schroeder , F.-D. Bockelmann. – 2011. – 1541-1554 с.
56. FerryBox Monitoring of Coastal Waters. Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Flayer, 2012.
57. Helzel T. L. WERA: Remote ocean sensing for current, wave and wind direction. Introduction to the Principle of Operat ion / M. Kniephoff, L. Petersen. – Helzel Messtechnik GmbH, 2008.
58. Helzel messtechnik GMBH. WERA fors simultaneous wide area measurements of surface currents, ocean waves and wind parameters. High Resolution, Long Range System Specification, 2004.

59. Gurgel K. - W. Wellen Radar (WERA): a new ground-wave HF radar for ocean remote sensing / G. Antonischki , H.-H Essen. – University of Hamburg, 2000.
60. Tkachenko N. Effectiveness of different measuring devices for the development of the Dithmarschen Bight Wave Model. – Coastal Research Laboratory, University of Kiel, 2009.
61. WL | DELFT HYDRAULICS. DELFT3D-FLOW. User manual, Version 3.14. 2007. - 360 с.
62. WL | DELFT HYDRAULICS. DELFT3D-WAVE. User manual, Version 2.10. 2003 . - 334 с.
63. WL | DELFT HYDRAULICS. DELFT3D-WAVE. User manual, Version 3.03. 2007. - 405 с.
64. Holthuijsen L.H. A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents, Coastal Engineering / L.H. Holthuijsen, N. Booij, T.H.C. Herbers. – 1989.
65. Booij N. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation / N. Booij, R. Ris, L. Holthuijen. – Journal of Geophysical Research, 1999.
66. Wilkens J. Medium Scale Morphodynamics of the Central Dithmarschen Bight / J. Wilken. – Coastal Research Laboratory, University of Kiel, 2004.
67. Матишов Г. Климатический атлас Баренцева моря 1998: температура, соленость, кислород / Г. Матишов, А. Зуев. – ММБИ, 1998.
68. Голубев В.А. Комплекс методов статистической обработки и объективного анализа данных натуральных океанографических экспериментов / В. Голубев, А. Зуев, И. Лебедев. – Труды ААНИИ, 1992. – 7-19 с.

69. Терзиев Ф.С. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия / Ф.С. Терзиев. – Гидрометеоиздат, 1990.
70. Урик, Р. Дж. Основы гидроакустики / Р.Дж. Урик. – Пер. с англ. – Л. : Судостроение, 1978. – 448 с.
71. Матишов Г.Г. Климатический атлас Баренцева моря 1998: Температура, соленость, кислород // NOAA Atlas NESDIS 26 / Г. Матишов, В. Голубов, Н. Адров, В. Слободин, С. Левитус, И. Смоляр. – Murmansk : Silver Spring, 1998. – 62 с.
72. Океанографические наблюдения в Баренцевом море и сопредельных водах в 1900-2000 / сост. В. Д. Бойцов, В. В. Гузенко, А. Л. Карсаков. – М. : ПИНРО, 2008 а. – 377 с.
73. Океанографические наблюдения в Баренцевом море и сопредельных водах в 1900-2000 / сост. В. Д. Бойцов, В. В. Гузенко, А. Л. Карсаков. – М. : ПИНРО, 2008 б. – 541 с.
74. Океанографические наблюдения в Баренцевом море и сопредельных водах в 1900-2000 / сост. В. Д. Бойцов, В. В. Гузенко, А. Л. Карсаков. – М. : ПИНРО, 2005а. –657 с.
75. Океанографические наблюдения в Баренцевом море и сопредельных водах в 1900-2000 / сост. В. Д. Бойцов, В. В. Гузенко, А. Л. Карсаков. – М. : ПИНРО, 2005б. – 699 с.
76. Филин В. А. Принципиальные вопросы методики обработки многолетней гидрометеорологической информации / В. Филин, Г. Дягтярев, А. Колесников. – Труды ВНИ ГМИ – МНД, 1976.
77. Борисенко К.П. Автоматические системы и технические средства корабельных комплексов. Гидроакустически комплексы надводных кораблей.

Принципы построения и решаемые задачи / К. П. Борисенко, В. Б. Митько. – СПб. : СПбГМТУ, 2012. – 236 с.

78. Колесников А.Г. Патент № 2120114: «Способ определения вертикального распределения температуры воды» / А. Колесников, А. Седов, В. Филин, Е. Черниенко. – 1998.

79. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации / В. Малинин. — СПб. : изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.

80. Максимов Ю.Д. Математика. Выпуск 8. Математическая статистика. Опорный конспект / Ю. Максимов. – СПб. : изд. СПбГПУ, 2004. — 96 с.

81. Брукс К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузерс. – Л. : Гидрометеиздат, 1963.

82. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации» / С. Гордеева. – СПб. : РГГМУ, 2010. – 74 с.

83. Коплан-Дикс Н.С. Основы статистической обработки и картирования океанографических данных / Н. Коплан-Дикс. – Л. : Гидрометеиздат, 1968.

84. Максимов Ю.Д. Вероятностные разделы математики / Ю. Максимов. — СПб. : изд. Иван Федоров, 2001, — 600 с.

85. Бочков Ю.А. Методические рекомендации по статистико-вероятностному прогнозированию океанологических характеристик / Ю. Бочков. – Мурманск, ПИНРО, 1989. – 93 с.

86. Филин В.А. Статистическая модель интерпретации многолетних материалов зондирования гидросферы и атмосферы / В. Филин, Г. Дягтярев, А. Колесников. – Труды ВНИ ГМИ-МНД, 1976.

87. Филиппов Д.М. Алгоритмы климатической и статистической обработки глубоководных данных на ЭВМ / Д. Филиппов. – Труды ВНИГМИ-МНД, 1976.
88. Shepard, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proceedings of the ACM National Conference, 1968. – 517–524 с.
89. ArcGIS 9. Geostatistical Analyst. Руководство пользователя ESRI. USA, 2001.
90. Чернова И.Ю. ГИС-анализ. Учебно-методический комплекс / И. Чернова. – Томск, 2009.
91. Кравцов Ю.А. Наблюдение Океана из космоса при помощи микроволновых радиометров // Соросовский Образовательный Журнал (44) №7. – 1999 – 103 - 107 с.
92. Lagerloef G. Sea surface salinity: the next remote sensing challenge / G. Lagerloef, C. Swift, D. Le Vine. – 1995.
93. Lerner R.M. Analysis of 1.4 GHz radiometric measurements from Skylab. Remote Sens. / R. Lerner, J. Hollinger. – Environ., 6, 1977. – 251 - 269 с.
94. Minnett P.J. The Group for High Resolution Sea Surface Temperature 2011 - 2012 / P. Minnett, M. Kachi, A. Kaiser-Weiss. – GHRSSST Project Office, 2012.
95. Thorp V.L. Delta II Aquarius / SAC-D. Mission Overview. Vandenberg Air Force Base, CA, 2011.
96. Miklus N. Aquarius / SAC-D. Sea Surface Salinity from Space / N. Miklus, A. de Charon. – NASA, 2012
97. Lagerloef G., Aquarius / SAC-D Mission. Surface Salinity from Space. NASA, 2010.
98. European Space Agency. SMOS. ESA'S Water mission, 2010.

99. European Space Agency. Mission Objectives and Scientific Requirements of the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Mission. Version 5, 2009.
100. Деменицкая Р.М. Океанологическая энциклопедия / Р. Деменицкая. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 632 с.
101. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод / К. Боуден. – пер. с англ. — М. : Мир, 1988. — 324 с.
102. Малик С. Технологии информационной поддержки управления безопасной эксплуатацией газопроводов в гидрометеоусловиях Республики Пакистан. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 23 / С. Малик, А. Седова, Н. Ткаченко. — СПб, 2012. — 177-182 с.
103. 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» / Н. Ткаченко. – СПб, 2011. – 127-128 с.
104. Митько В.Б. Сопряжение архивных данных и данных дистанционного зондирования при создании геоинформационной системы Баренцева моря // Известия ЮФУ, технические науки / В. Митько, Н. Попов. – Ростов, 2013. – 86 - 90 с.
105. Митько В.Б. Гидрофизические методы в геопространственной модели исследования океанологических характеристик // Инфокоммуникации в решении задач тысячелетия / В. Митько, Н. Ткаченко. – Материалы научно-практической конференции, 2010. – 240-244 с.
106. Попов Н.Н. Сопряжение архивных данных и данных дистанционного зондирования при разработке геоинформационной системы мониторинга гидрофизических характеристик акватории Баренцева моря. //Региональная

информатика / Н. Попов. – Юбилейная XIII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика». СПОИСУ. – СПб, 2013. – 369 с.

107. Ткаченко Н.Н. Применение данных дистанционного зондирования при разработке геоинформационной системы мониторинга гидрофизических характеристик акватории Баренцева моря // Сборник трудов конференции "Арктическая зона РФ: северо-восточный вектор развития" / Н. Ткаченко. – СПб, 2012. – 99 -101 с.

108. 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 / Н. Ткаченко. – СПб, 2012. – 339 с.

109. Ткаченко Н.Н. Применение данных дистанционного зондирования при разработке геоинформационной системы мониторинга морфологических характеристик акватории Балтийского моря. Студент и научно-технический прогресс // Сборник научных работ участников международного молодежного конкурса / Н. Ткаченко. – Ростов, ЮФУ, 2012. – 67-68 с.

110. Бочков Ю.А. Ретроспектива температуры воды в слое 0-200 м на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море (1900-1981 гг.)/ Ю.А. Бочков. – тр. ПИНРО, 1982. – 113-122 с.

111. Геворкянц П.А. Колебания температуры воды на Кольском меридиане и причины этого явления // Проблемы Арктики / П. А. Геворкянц. – Мурманск, 1945. – 5 -16 с.

112. Зубов Н.Н. Средние температуры гидрологических разрезов по Кольскому меридиану и ледовитость Баренцева моря // Записки по гидрографии / Н. Зубов, —СПб, 1930. – 66 - 71 с.

113. Кудло Б.П. Многолетние изменения температуры воды у побережья Мурманска // Материалы рыбохоз. исслед. северного бассейна / Б. Кудло. – Мурманск, 1970. – 39 - 52 с.
114. Кудло Б.П. Однородные ряды солености южной части разреза по Кольскому меридиану // Материалы рыбохоз. исслед. северного бассейна / Б. Кудло. — Мурманск, 1971. – 5 - 12 с.
115. Бочков Ю.А. Методические рекомендации по прогнозированию температуры воды в северном рыбопромысловом бассейне / Ю. Бочков. – Мурманск, ПИНРО, 1979. — 173 с.
116. Мухин А.И. Тепловое состояние вод южной части Баренцева моря в 1948-1973 г.г. / А. Мухин. – ПИНРО, 1975. – 71 - 81 с.
117. Терещенко В.В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солености воды основных течений на разрезе "Кольский меридиан" в Баренцевом море / В. Терещенко. – Мурманск, ПИНРО, 1997. — 71 с.
118. Терещенко В.В. Справочный материал по температуре воды в Баренцевом море / В. Терещенко, Е. Двинина, Л. Боровая. – Мурманск, 1985. - 72 с.
119. Topliss B.J. Sea Surface Salinity from Space: A Canadian Perspective / B. Topliss, J. Gower, J. Helbig, A. Ienor, I. Rubinstein. – The Canadian Space Agency, 2002.
120. Александрова, Л.В. Геоинформационная система мониторинга акватории Балтийского моря // Известия ЮФУ, Технические науки №9. 2011 / Л. Александрова, Н. Ткаченко. — 8-11, 0,12 с.
121. Александрова Л.В. Геоинформационная система мониторинга океанологических и морфологических характеристик акватории прибрежной зоны Баренцева моря // Сборник трудов конференции «Прикладные

технологии гидроакустики и гидрофизики (МАГ-2011)» / Л. Александрова, Н. Ткаченко. —СПб, 2011. – 19-24 с.

122. Александрова Л.В. Защита геоинформационных систем и гидрометеорологических баз данных // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2011). VII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. / Л. Александрова, Н. Ткаченко. — СПб, 2011. — 179-181 с.

123. Александрова Л.В. Разработка Геоинформационной системы мониторинга морфологических и океанологических характеристик акватории прибрежной зоны Балтийского моря // Сборник трудов конференции «Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания» / Л. Александрова, Н. Ткаченко. — Материалы II Всероссийского научно-практического форума, 2011. — 71-73 с.

124. Зубакин Т.Н. Крупномасштабная изменчивость состояния ледового покрова Северо-Европейского бассейна / Т. Зубакин. – Л. : Гидрометиздат, 1987. – 160 с.

125. Новопашенный И.В. Использование системы поддержки обучения SAKAI при разработке учебной программы в области прикладных морских наук // Региональная информатика "РИ-2012" / И. Новопашенный, Э. Подгайский, Т. Федорова, О. Шевчук, Н. Ткаченко, Ж. Чао, К. Котельников. – XIII Санкт-Петербургская международная конференция, 2012. – 336 с.

126. Sea-Bird Electronics, Inc., SEACAT Profiler CTD SBE 19plus V2, 2001. - 54

127. Sea-Bird Electronics, Inc., Carousel Water Sampler SBE 32, 2000. - 62

128. Кресан Т. В. Экспериментальные исследования методов и средств прогнозирования дальности действия гидроакустических средств. Судостроительная промышленность / Т. Керсант, А. Москаленко, Н. Скрипка. – 1988.

129. Колесниченко В.В. Возможности гидрофизического мониторинга в Финском заливе / В. Колесниченко, Н. Ткаченко. – XII Международный экологический форум «День Балтийского моря», 2011. – 70-71 с.

130. Малик С. Технологии информационной поддержки управления безопасной эксплуатацией газопроводов в гидрометеоусловиях Республики Пакистан. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 23 / С. Малик, А. Седова, Н. Ткаченко. — СПб, 2012. — 177-182 с.

Приложение А

Карты районов Баренцева моря с похожими вертикальными распределениями скорости звука

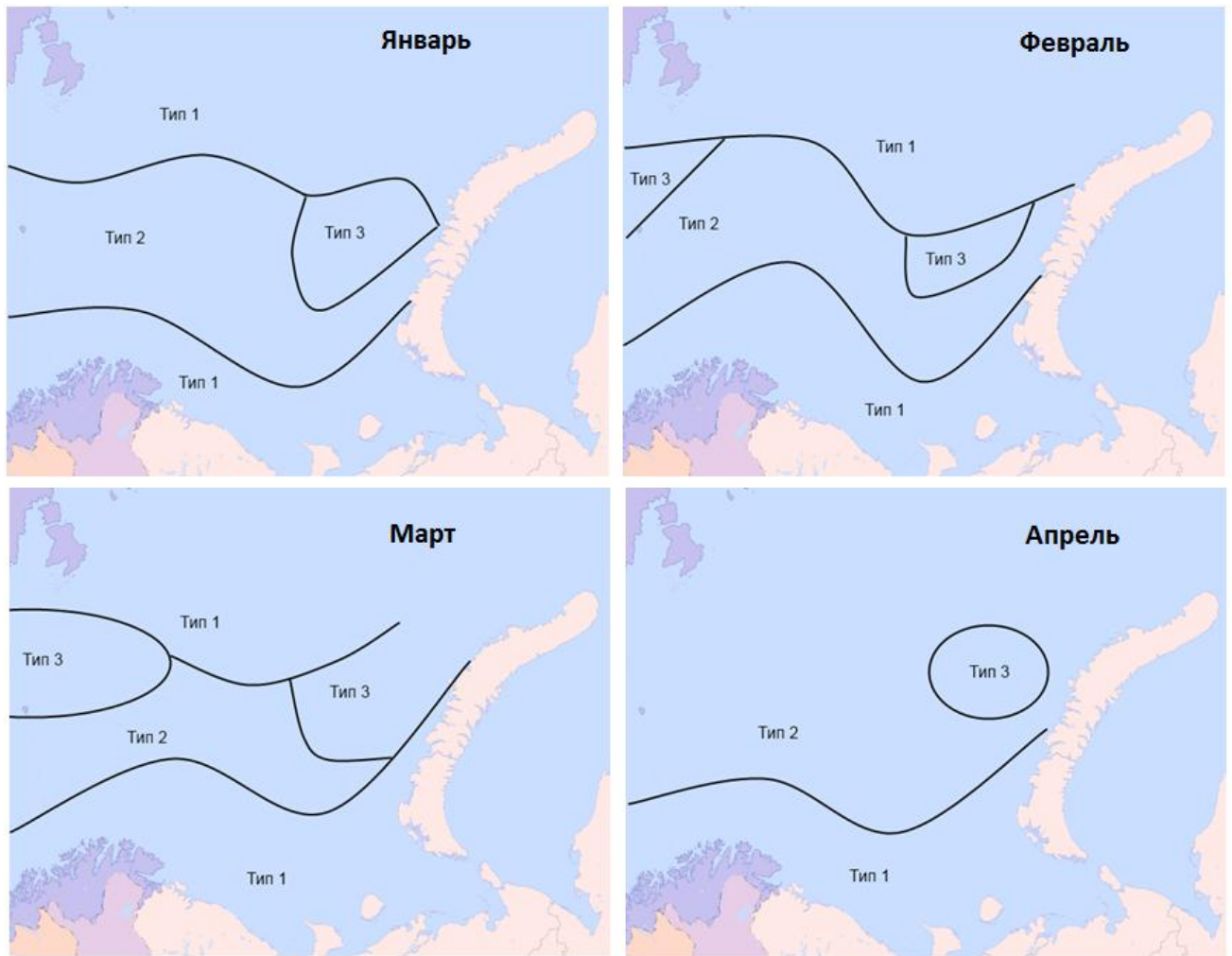


Рисунок А.1 – карта районирования Баренцева моря по типам ВРСЗ в январе, феврале, марте и апреле

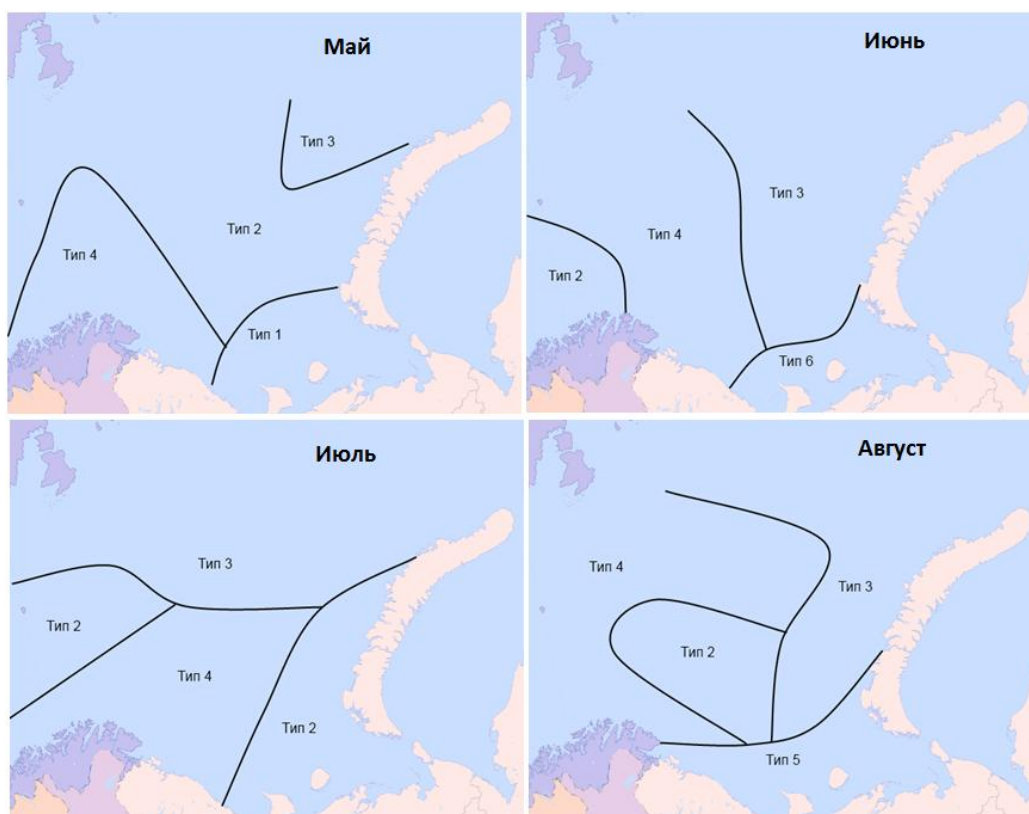


Рисунок А.2 – карта районирования Баренцева моря по типам ВРСЗ в мае, марте, июне и июле

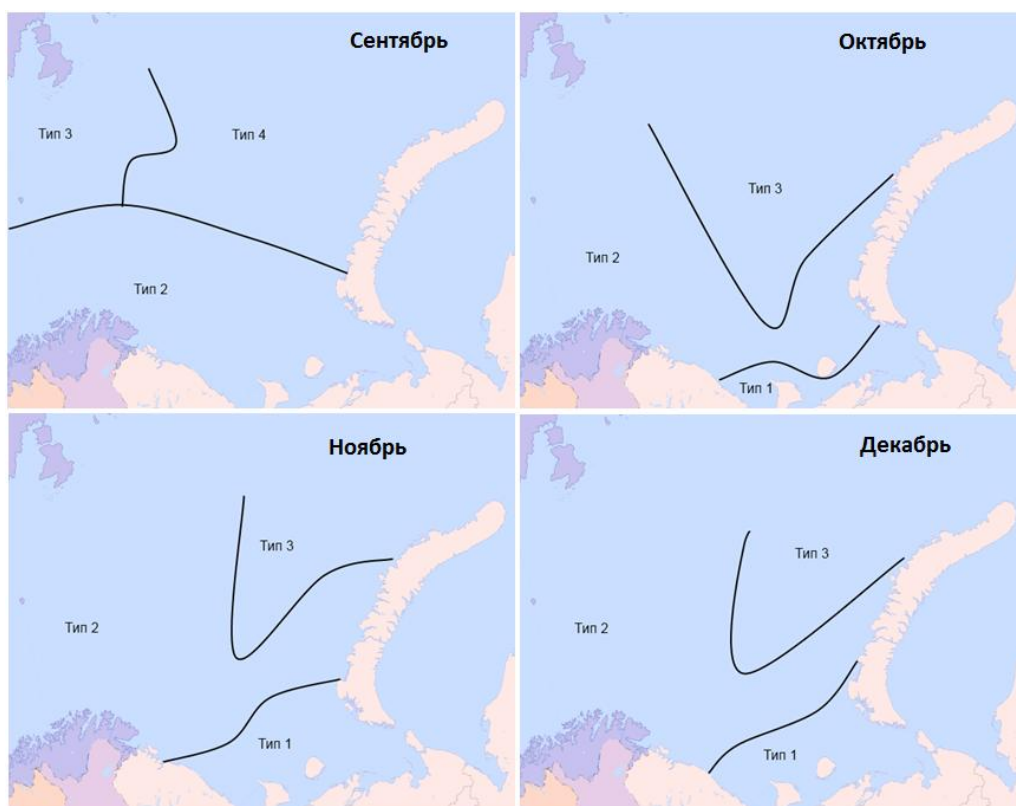


Рисунок А.3 – карта районирования Баренцева моря по типам ВРСЗ в сентябре, октябре, ноябре и декабре

Приложение Б

Осредненные вертикальные распределения скорости звука в районах с одинаковыми типами

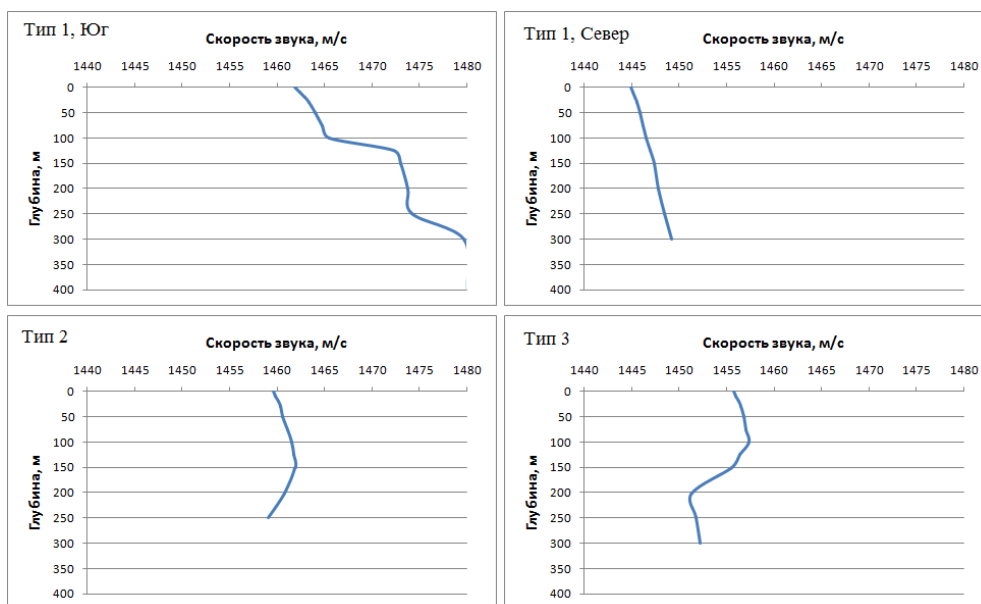


Рисунок Б.1 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в январе

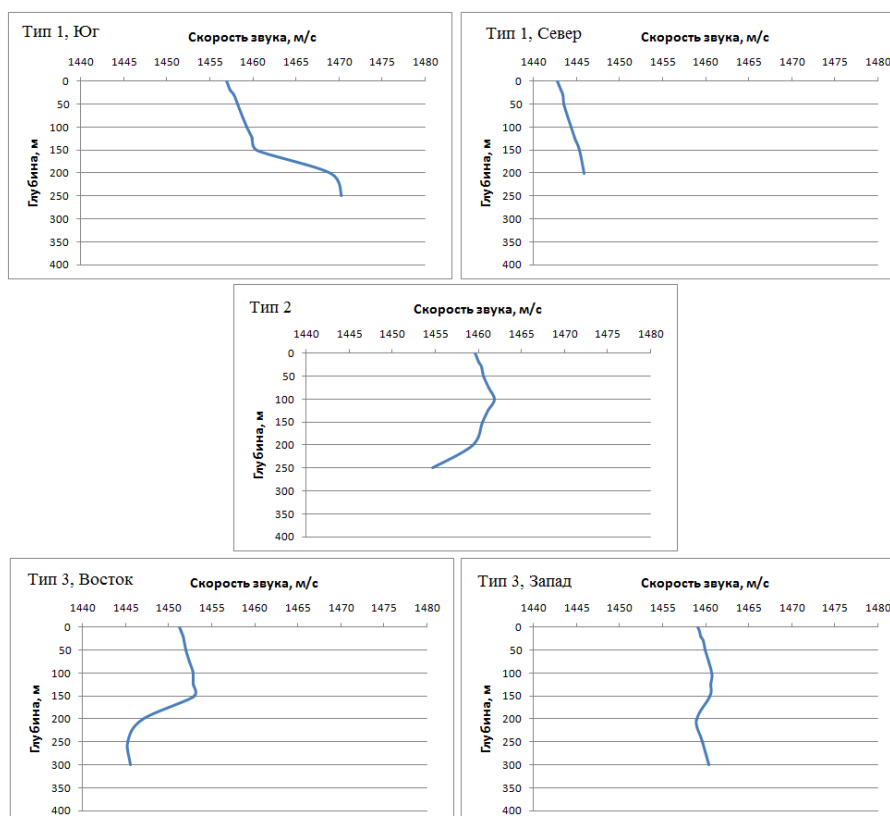


Рисунок Б.2 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в феврале

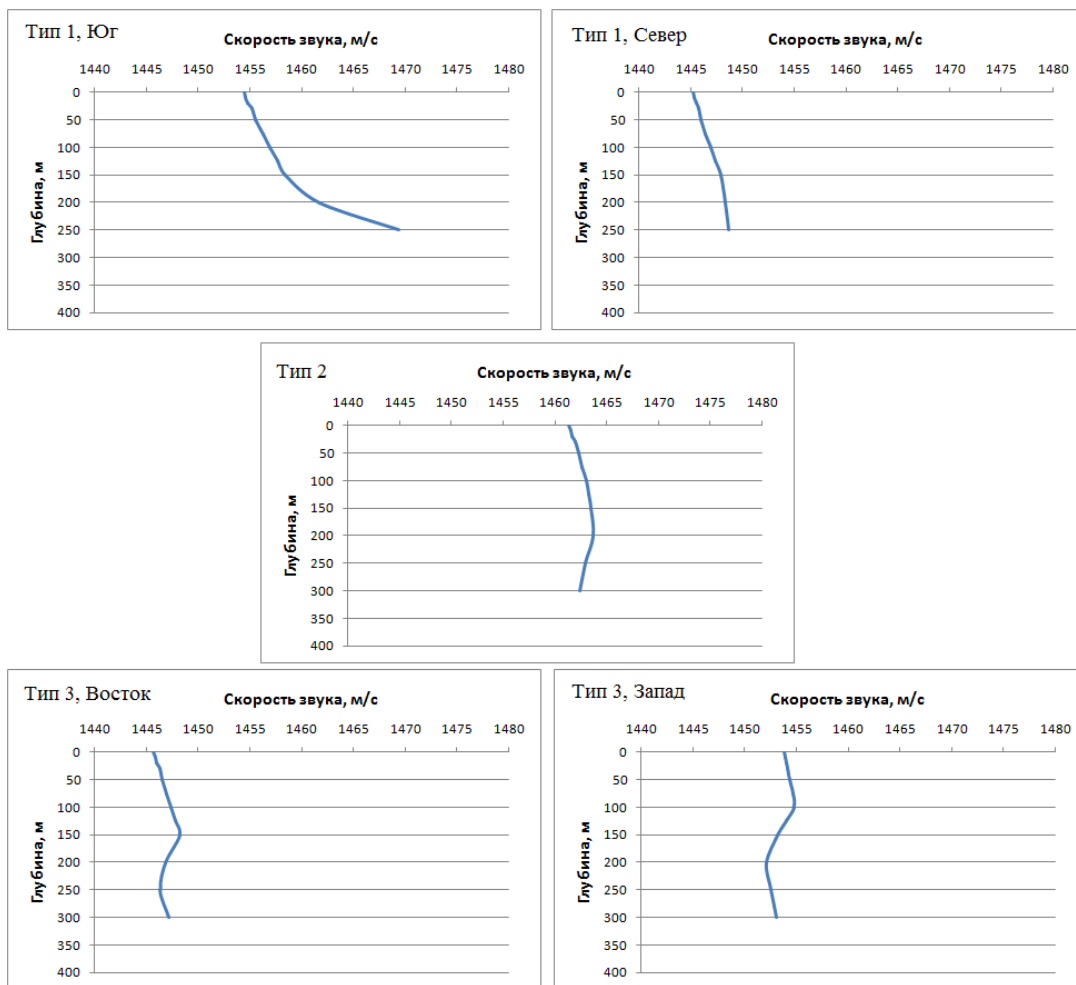


Рисунок Б.3 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в марте

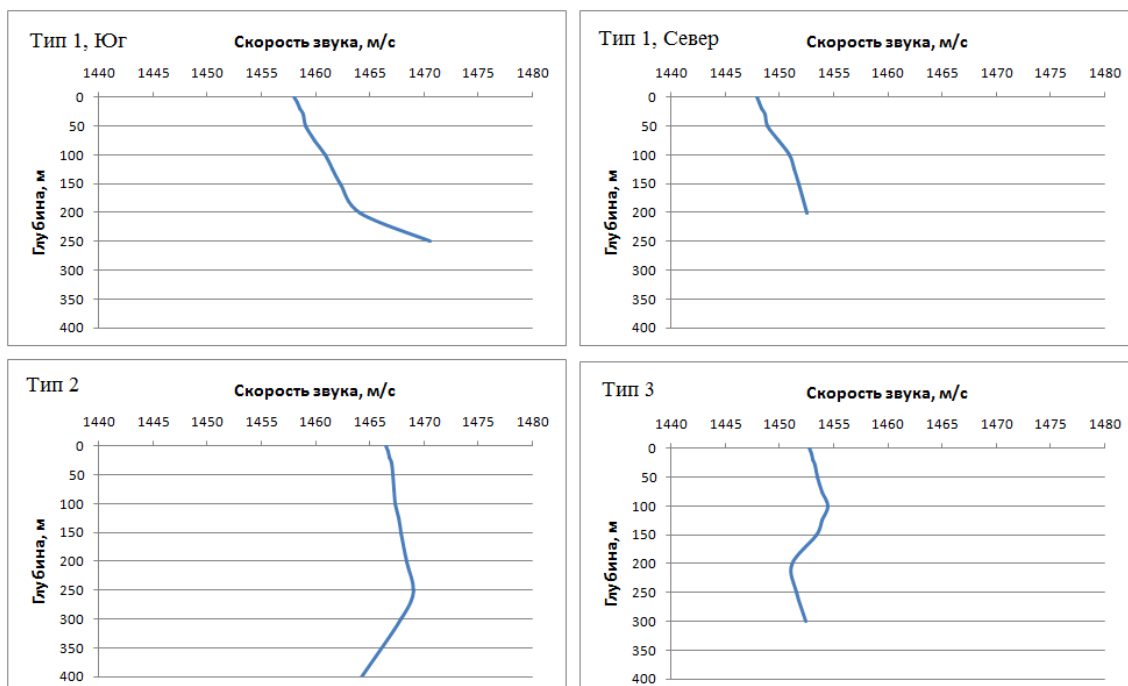


Рисунок Б.4 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в апреле

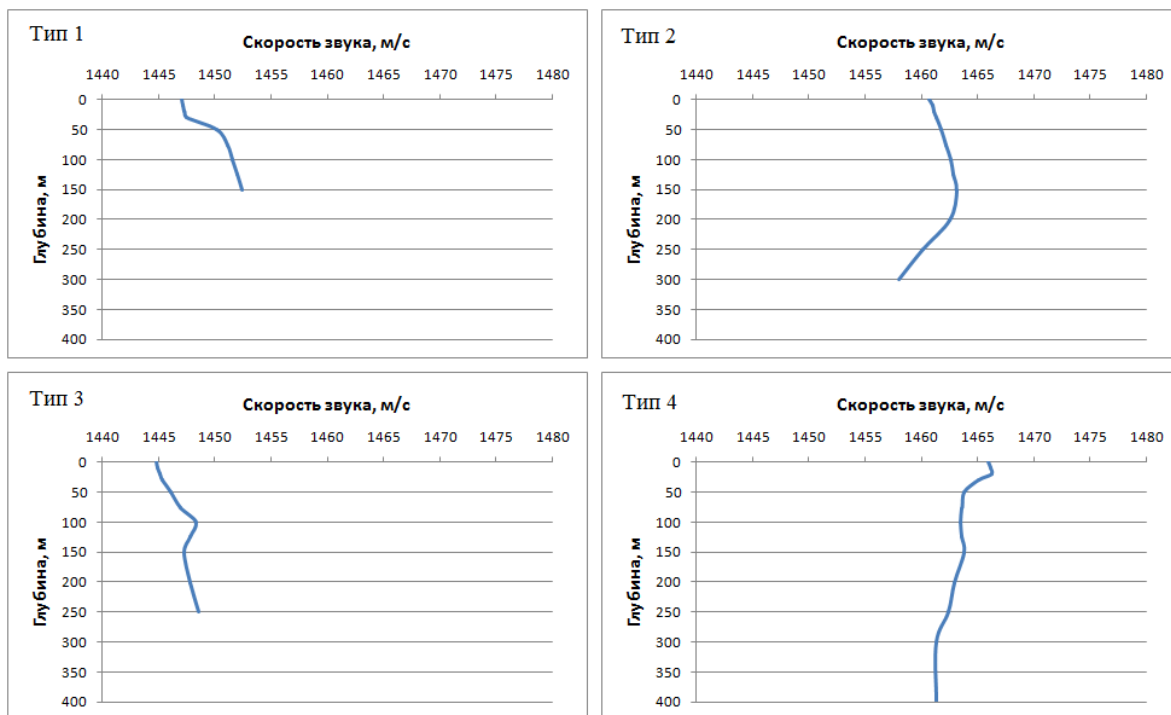


Рисунок Б.5 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в мае

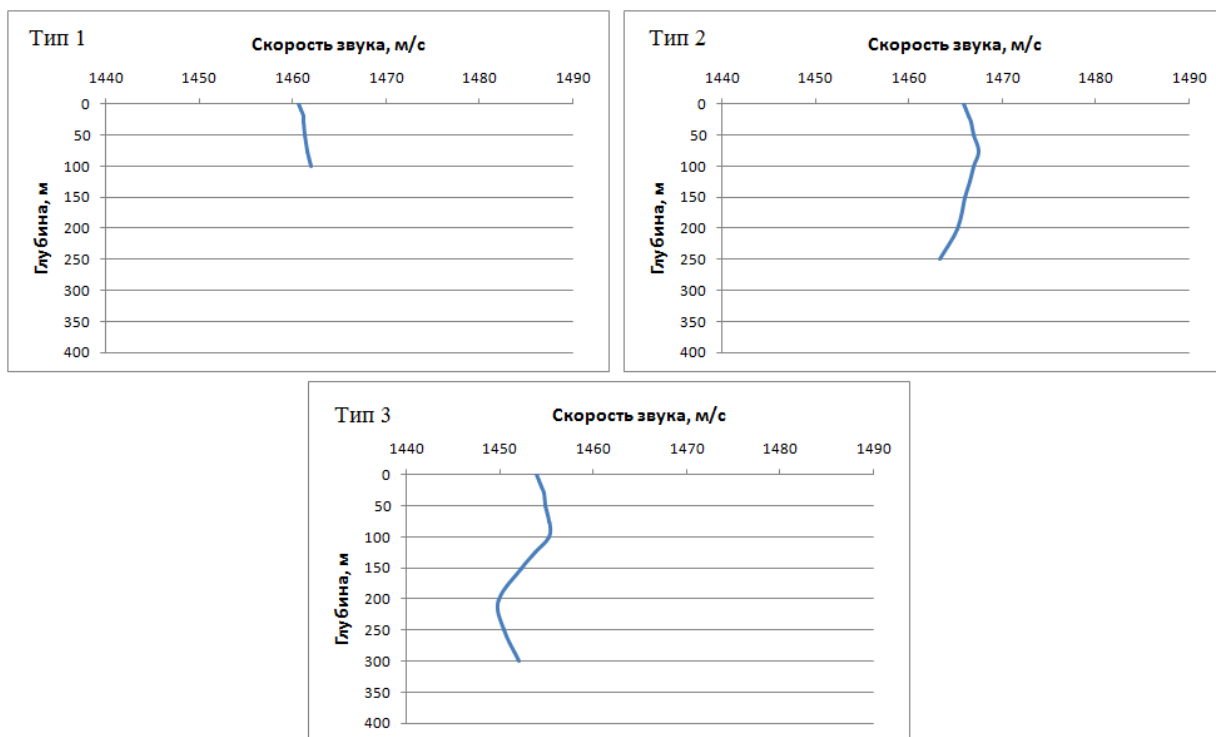


Рисунок Б.6 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в июне

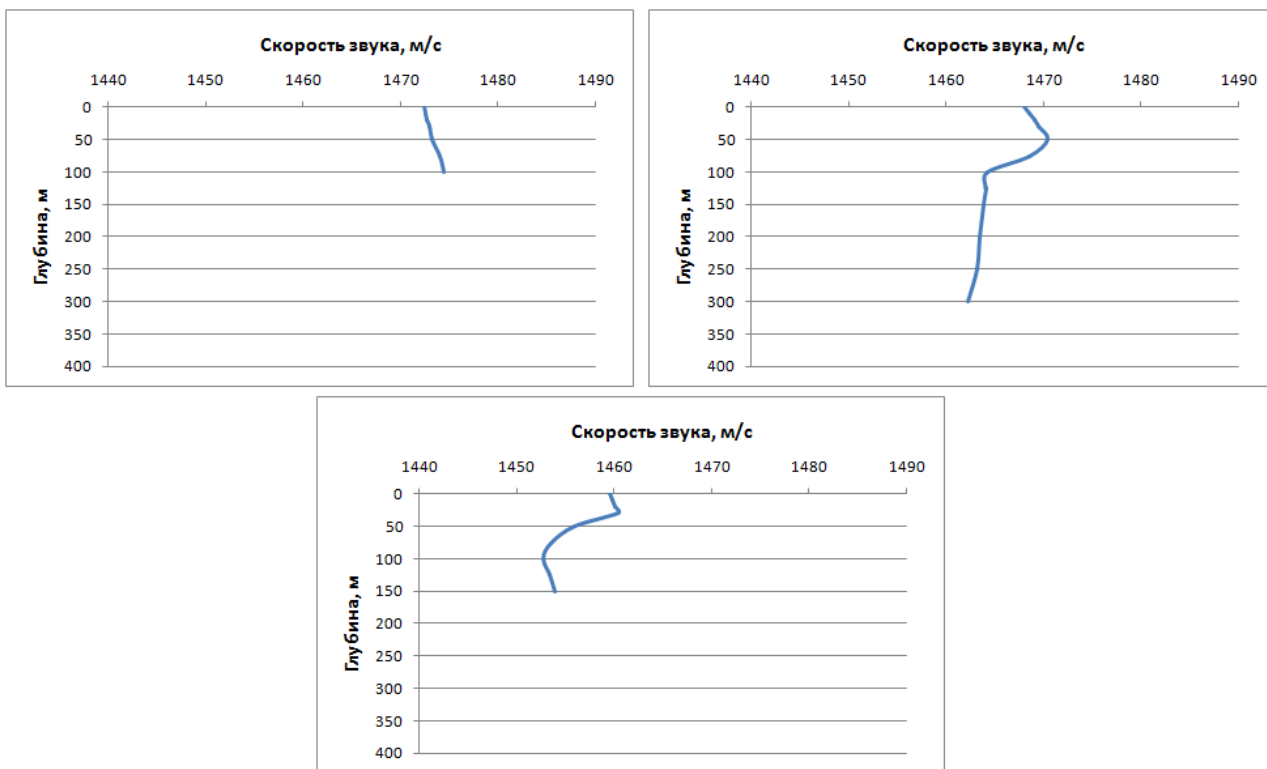


Рисунок Б.7 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в июле

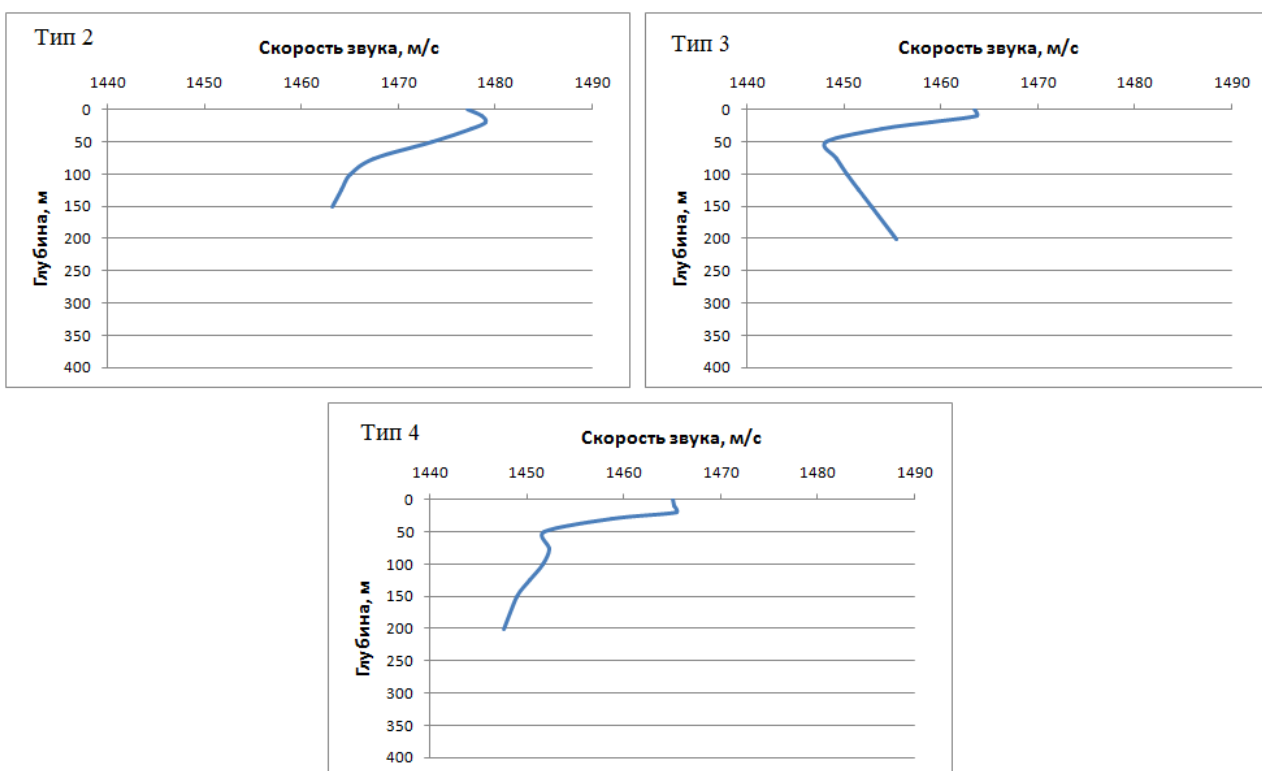


Рисунок Б.8 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в августе

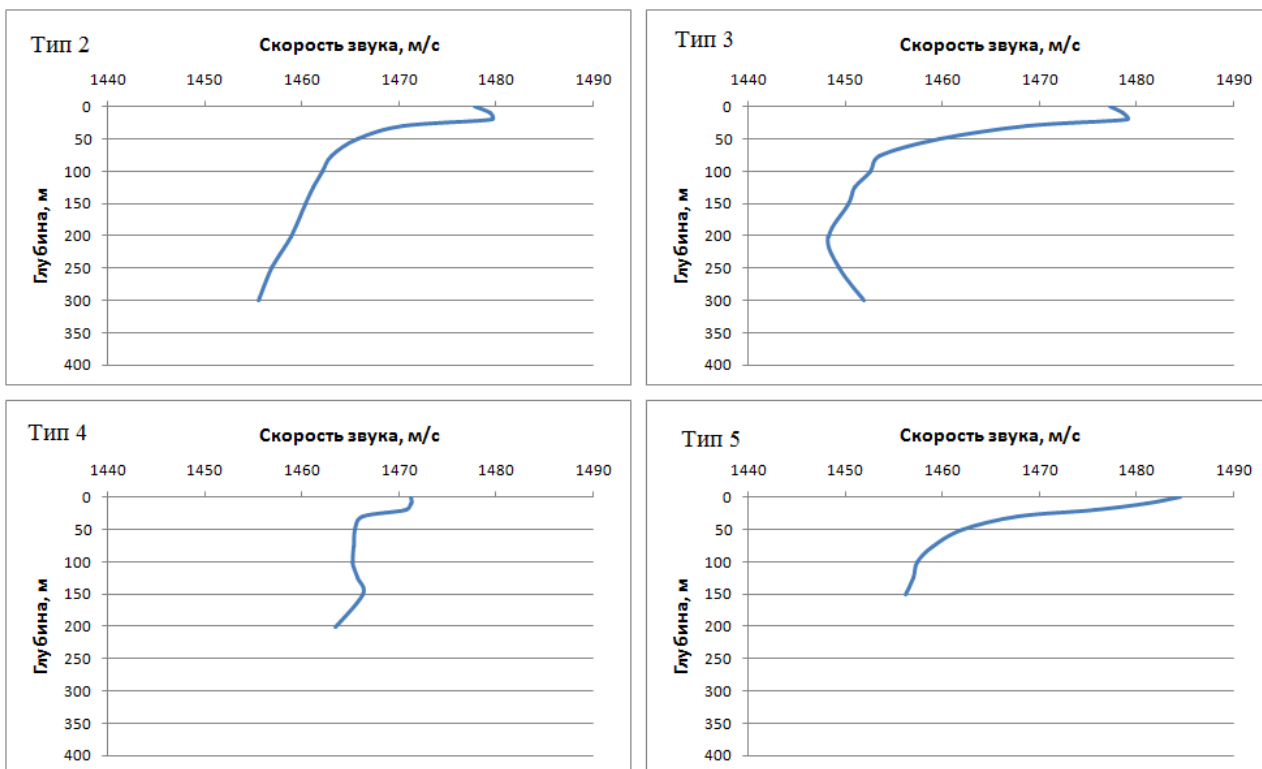


Рисунок Б.9 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в сентябре

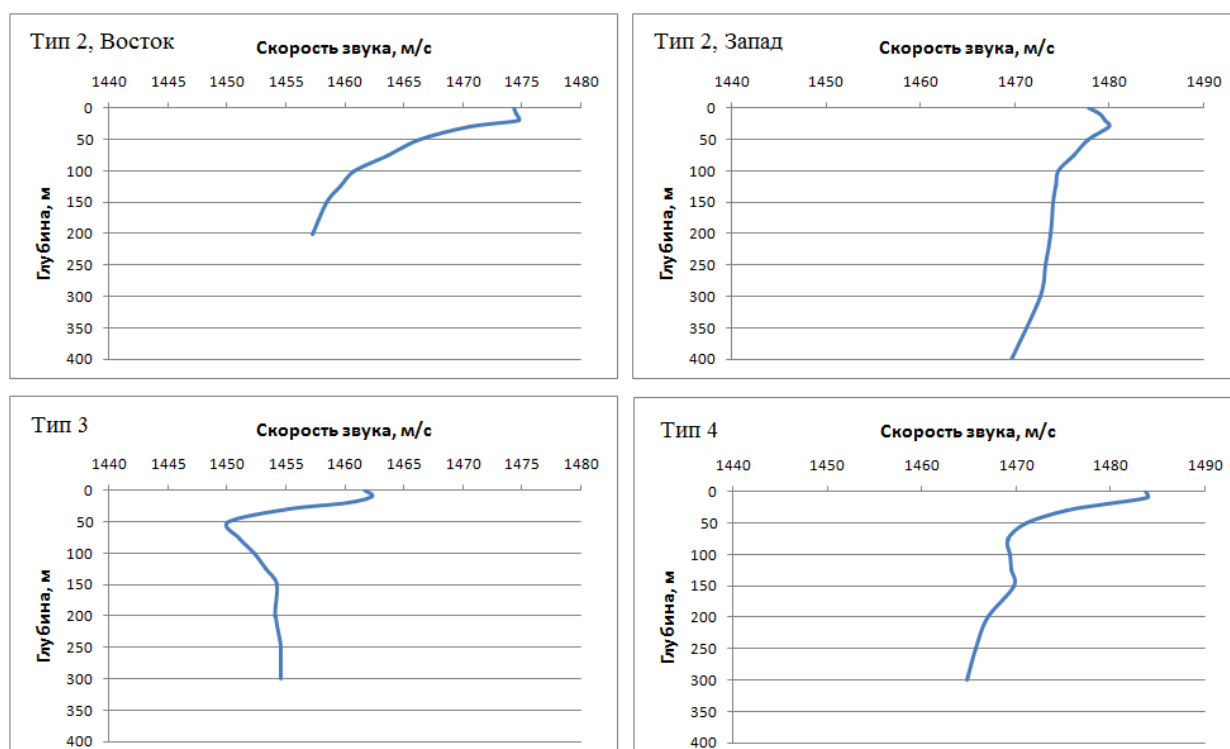


Рисунок Б.10 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в октябре

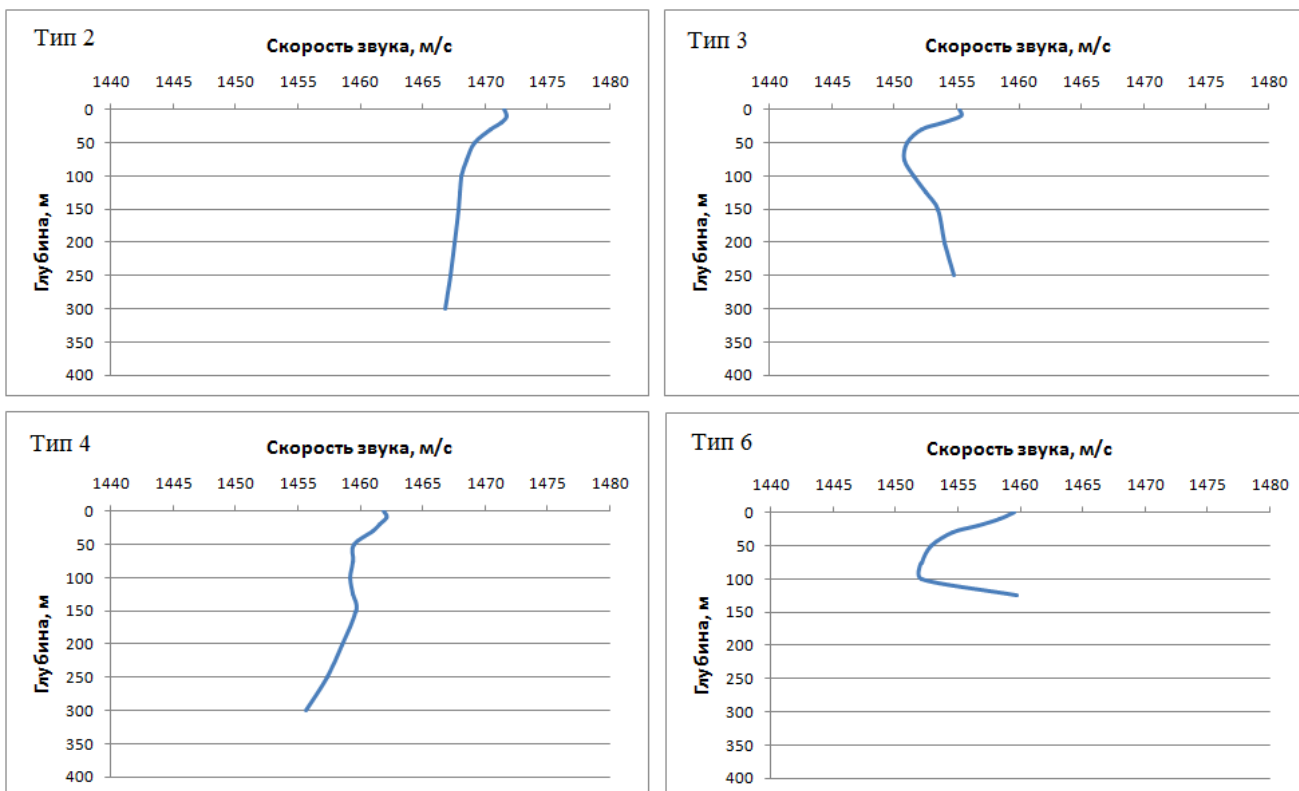


Рисунок Б.11 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в ноябре

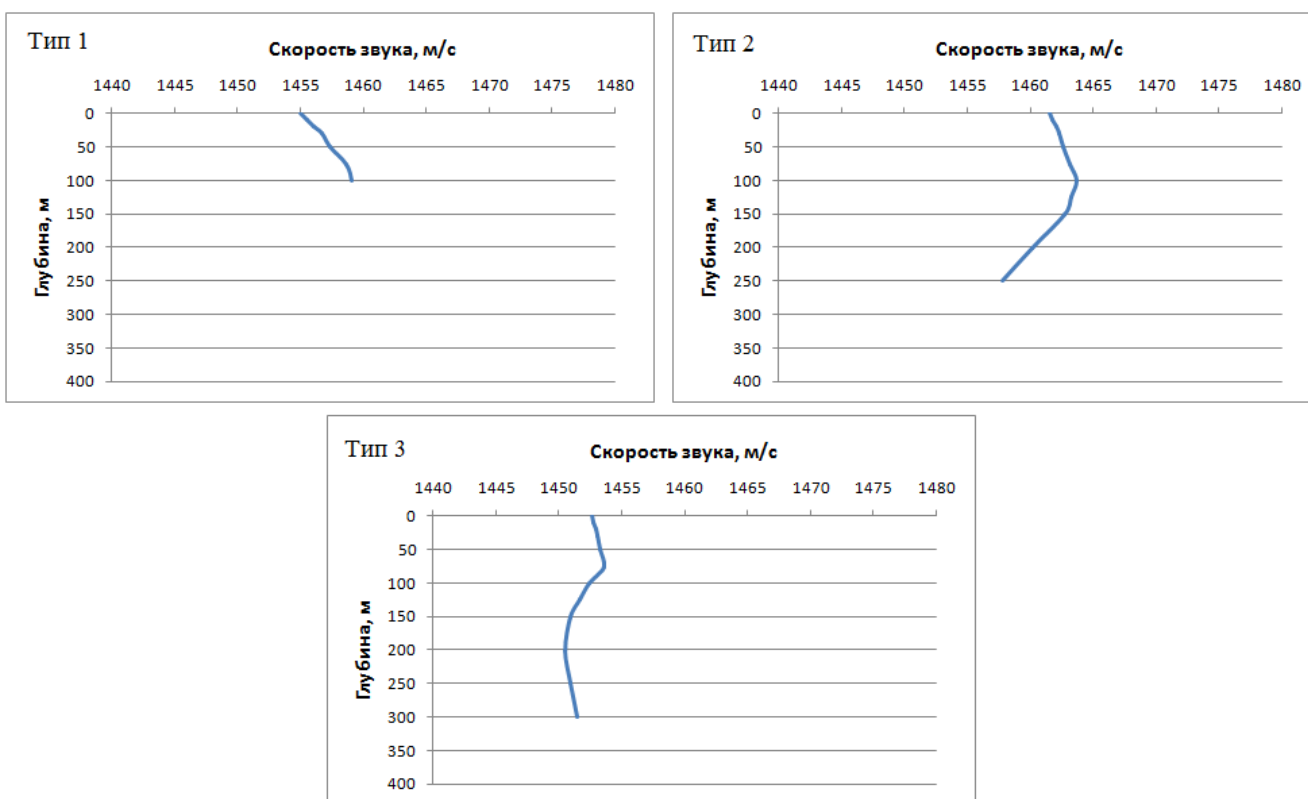


Рисунок Б.12 – ВРСЗ в районах Баренцева моря в декабре