



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра комплексного управления прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему Реализация процедуры интерполяции данных по методу Reiniger-Ross в базе данных Access

Исполнитель Мизина Мария Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

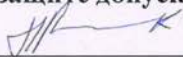
Руководитель кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Плинк Николай Леонидович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой 

(подпись)

канд. географ. наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Плинк Николай Леонидович

(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2018г.

Санкт-Петербург

2018

Оглавление

Введение.....	3
1 Описание исследуемого района.....	5
1.1 Охотское море	5
1.2 Значение Охотского моря	6
2 Разработка сеточной базы	9
2.1 Описание исходных данных	9
2.2 Описание технологии создания сеточной базы.....	15
2.3 Контроль качества данных непосредственных наблюдений	19
2.4 Специальная обработка и расчёт статистических показателей гидрофизических полей	21
2.5 Метод интерполяции Рейнигера - Росса	24
2.6 Процедуры объективного анализа результатов расчёта статистических показателей и формирование сеточной базы полей средней скорости распространения звука	30
2.7 Сравнительный анализ сеточных баз скорости распространения звука в воде, полученных по данным из различных источников	34
3 Разработка рекомендаций по использованию сеточной базы	42
3.1 Визуализация данных.....	42
Заключение	64
Список использованной литературы.....	66

Введение

При исследовании океанологических полей приходится сталкиваться с обработкой больших массивов данных. Эти данные часто представляют собой результаты наблюдений, осуществленных в произвольном множестве точек области задания изучаемого поля, и являются исходным материалом для проведения многих исследований. От качества обработки исходного числового материала существенно зависит доверие к получаемым выводам. Одной из важных задач обработки исходного числового материала являются процедура интерполяции.

Обработка и интерполяция измеренных данных (оперативные данные, данные океанографических станций, данные обрывного батитермографа, данные с заякоренных буев, профильные наблюдения и т.д.) является актуальной проблемой в связи с бурным развитием наблюдательных систем мониторинга природной среды, мощных вычислительных комплексов и новейших математических алгоритмов анализа и обработки данных наблюдений и гидродинамического прогноза состояния Мирового океана. Например, система профилирующих буев ARGO дает уникальную оперативную информацию о состоянии океана, дополняя возможности других измерительных комплексов, поскольку дает важную информацию о глубинной изменчивости полей океана. С использованием данных системы ARGO впервые в истории океанографии стало возможным более детальное описание слоя океана до глубин в 2000 м.

Сложность обработки измеренных данных состоит в их неравномерном распределении по пространству и по времени. Для решения этой проблемы используются алгоритмы интерполяции данных, благодаря которым строятся поля основных океанографических параметров Мирового океана на равномерных сетках с различными пространственными разрешениями, на

различных горизонтах. С помощью построенных полей можно решать задачи термогидродинамики океанов и морей, улучшать точность прогностических расчетов численных моделей, усваивая эти поля данных наблюдений в моделях циркуляции океанов и морей, решать различные обратные задачи и строить атласы наблюдаемых полей, проводить инженерные изыскания и т.д.

Цель данной работы является разработка и реализация базы данных исходных океанологических параметров (температуры и солености), плотности воды и скорости звука для Охотского моря с использованием интерполяции по методу Reiniger-Ross.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- выполнить сбор имеющихся данных о распределении температуры и солености в Охотском море, путем объединения информации, имеющейся в различных источниках, и провести их объективный анализ, включая контроль качества данных непосредственных наблюдений;
- разработать сеточную базу и реализовать хранение данных с учетом их интерполяции на стандартных горизонтах в узлы сеточной области.
- выполнить анализ сеточных баз скорости распространения звука в воде, полученных по данным из различных источников;
- реализовать возможность визуализации информации, получаемой при использовании базы данных.

1 Описание исследуемого района

1.1 Охотское море

Охотское море, ресурсы которого имеют большое значение для государств, — одно из самых крупных морей, относящихся к бассейну Тихого океана. Располагается у берегов Азии. Отделяется оно от океана полуостровом Камчатка и островами — Хоккайдо, восточным берегом Сахалина и цепью Курильских земель.

Площадь — 1603 тыс. км². Средняя глубина — 821 м, максимальная глубина — 3916. Западная часть моря расположена над пологим продолжением континента и имеет малую глубину. В центре моря расположены впадины Дерюгина (на юге) и Тинро. В восточной части расположена курильская котловина, в которой глубина максимальна. С октября по май — июнь северная часть моря покрыта льдом. Юго-восточная часть практически не замерзает. Побережье на севере сильно изрезано, на северо-востоке Охотского моря расположен самый крупный его залив — Залив Шелихова. Из более мелких заливов северной части наиболее известны Ейринойская губа и заливы Шельтинга, Забияка, Бабушкина, Кекурный. На востоке береговая линия полуострова Камчатка практически лишена заливов. На западе береговая линия сильно изрезана, образуя Сахалинский залив и Шантарское море, на юге крупнейшими являются заливы Анива и Терпения, Одесский залив на острове Итуруп. Впадают реки Амур, Охота, Кухтуй. Рыболовство (лососёвые, сельдь, минтай, мойва, навага и др.), морепродукты (камчатский краб). Добыча углеводородного сырья на шельфе Сахалина. Главные порты: на материке — Магадан, Аян, Охотск (портпункт); на острове Сахалин — Корсаков, на Курильских

островах — Северо-Курильск. Море расположено на Охотской субплите, являющейся частью Евразийской плиты. Кора под большей частью Охотского моря континентального типа [1].

1.2 Значение Охотского моря

Эколого-экономическое значение Охотского моря:

В цепочке российских дальневосточных морей Охотское море занимает срединное положение. Оно довольно глубоко вдается в Азиатский материк, а от Тихого океана отделено Камчаткой и дугой Курильских островов. От соседнего Японского моря его отделяет остров Сахалин, а соединяют с ним проливы Невельского и Лаперуза. Охотское море значительно вытянуто с северо-востока на юго-запад и расширено в центральной части. Для рельефа дна характерно слабое развитие шельфа и значительные пространства, занятые большими глубинами. Охотское море одно из самых ледовитых в Тихом океане. В суровые и продолжительные зимы образуется как плавучий, так и неподвижный лёд (припай). Навстречу льдам из Амурского лимана вытекает мощная струя пресных и относительно тёплых речных вод, которая, прежде чем полностью смешаться с морскими, успевает обогнуть северную оконечность Сахалина. Вследствие большого объема вод моря речной сток не оказывает на него существенного влияния. Воздействие речных вод ощущается в прибрежной зоне возле устьев крупных рек, где наблюдается опреснение поверхностного слоя весной и летом. Главная черта его климата - муссонный характер. Один из наиболее важных факторов формирования гидрологических условий Охотского моря — водообмен через многочисленные проливы с сопредельными районами Тихого океана и соседними бассейнами. Охотское море свободно сообщается с океаном и обменивается с ним водами до больших (1000 — 2000 м) глубин. Охотское море обладает высоко развитой экосистемой. Прибрежные воды Камчатки, а также северные и западные воды Охотского моря необычайно богаты

планктоном. Обилие планктона создает благоприятную среду для обитания рыб, что в свою очередь привлекает сюда птиц и китов. Несмотря на суровый климат, Охотское море даёт пристанище разнообразным и многочисленным животным. Разграбление морских богатств, продолжавшееся более ста лет, многократно уменьшило рыбные запасы. В советское время добыча была ограничена строгими запретами, и рыбное поголовье вроде бы стало восстанавливаться, но в 90-х гг. XX в. опять, к сожалению, стал господствовать бесконтрольный промысел. Практически не встречаются теперь и киты, На грани исчезновения морские котики, обитающие на Шантарах. Как из бездонной бочки, черпают люди из моря сельдь, треску, камбалу, навагу и другую рыбу. В последнее время значительно увеличилась добыча крабов и кальмаров. Охотское море в силу особого значения с природной и эколого-экономической точки зрения заслуживает особого внимания.

Охотское море обеспечивает более половины дальневосточных и 40% всех отечественных уловов рыбы, моллюсков и ракообразных. При этом биологический потенциал Охотского моря в настоящее время в существенной мере недоиспользуется. Недра континентального шельфа Охотского моря содержат значительные запасы углеводородов. На современном уровне изученности прогнозные оценки этих запасов колеблются в диапазоне от 8 до 12 миллиардов тонн условного топлива, что составляет от 8 до 12% всех потенциальных извлекаемых запасов углеводородов российского континентального шельфа и 2-4% общего углеводородного потенциала страны.

Хозяйственное использование:

Народнохозяйственное значение Охотского моря определяется использованием его природных ресурсов и морскими транспортными перевозками. Главное богатство этого моря — это промысловые животные, прежде всего рыба. Здесь добывается главным образом ее наиболее ценные виды — лососевые и их икра. Охотское море — главный район крабового

промысла. В море ведется добыча кальмаров. На Шантарских островах сосредоточено одно из крупных стад морских котиков, добыча которых строго регламентирована.

В значительной мере изученное Охотское море все же нуждается в решении разных природных проблем. По их гидрологическим аспектам существенно важное место занимают исследования водообмена моря с Тихим океаном, общей циркуляции, в том числе вертикальных движений вод, их тонкой структуры и вихреобразных движений, ледовых условий, в особенности в прогностическом направлении сроков льдообразования, направления дрейфа льдов и т. п. Решение этих и других проблем будет способствовать дальнейшему освоению Охотского моря.

Транспортное значение Охотского моря велико в связи с интенсивным промышленным развитием северо-востока Сибири и Сахалина.

Экономическое значение:

С 15 марта 2014 года участок площадью в 52 тысячи квадратных километров в центральной части Охотского моря, который до сих пор считался международными водами, передан России. Это право закрепила за Россией ООН. Таким образом, Охотское море стало полностью внутренним морем России [2].

Признание Охотского моря внутренним морем России усиливает его значение с точки зрения обеспечения безопасности и обороноспособности государства.

2 Разработка сеточной базы

В данной работе в состав информационной продукции должны входить характеристики температуры, солёности, скорости распространения звука в воде в виде электронного документа (файла) в формализованном табличном виде, который ниже будем называть сеточным массивом (базой) данных. Так же должен быть подготовлен массив, содержащий сведения о координатах (широта, долгота), сезоне, глубине узлов сеточной области, температуре, солёности и значениях средней скорости звука в них.

Гидрологические характеристики, по Охотскому морю, должны быть представлены в виде данных о температуре, солёности, средней скорости звука в узлах регулярной сетки со следующими характеристиками:

- горизонтальное разрешение – 15 угловых минут (0.25 угловых градуса);
- вертикальное разрешение – стандартные горизонты в слое от поверхности до дна, но не глубже 5500 м;
- временное разрешение – 1 сезон.

Состав стандартных горизонтов определён ГОСТ [3] и приведён ниже.

В качестве сезонов приняты гидрологические сезоны, классификатор

Ниже приведено описание исходных данных и основных этапов создания сеточной базы средней скорости звука в воде.

2.1 Описание исходных данных

В качестве исходных данных для построения сеточной базы гидрологических параметров использованы данные отечественных и

международных гидрологических наблюдений за температурой и солёностью воды. Основным международным источником данных послужила база данных World ocean database (WOD) Национального центра океанографических данных НЦОД США (National Oceanographic Data Center – NODC) [4]. Эта база создаётся за счёт национальных информационных океанографических ресурсов, передаваемых в НЦОД США в порядке международного обмена океанографическими данными. Она считается наиболее полной базой океанографических данных. При создании интегрированной базы океанографических данных АО «ГНИНГИ» по выбранному морю также использованы доступные информационные ресурсы различных отечественных мореведческих организаций [5].

World Ocean Atlas (WOD13)

Источник данных: официальный сайт Национального центра окружающей среды (NCEI) NOAA, бывший NODC NOAA США: www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/ [6]. Доступ не ограничен.

Описание базы: World Ocean Atlas 2013 [Text]: documentation / R. A. Locarnini, , A. V. Mishonov, J. I. Antonov [et al.] / S. Levitus, Ed.; A. Mishonov, Technical Ed. // NOAA Atlas NESDIS 73, 2013. – Vol. 1: Temperature. – 40 pp. [7].

Разработчик базы: NODC NOAA США.

Исходная информация. База данных World Ocean Database 2013 (WOD13). Общий объём данных WOD13 – более 12 млн. наблюдений различными техническими средствами. Для построения сеточных баз были отобраны данные за период 1955–2018 гг.

Состав данных. WOA13 версия 2 представляет собой базу данных ежегодных, сезонных, ежемесячных статистических полей (среднее, стандартное отклонение, число наблюдений) и полей объективного анализа выбранных параметров (переменных) в узлах сетки с разрешением 5°, 1° и 0,25° по широте и долготе по всему Мировому океану. Текущая версия

WOA13 включает вертикальные профили шести переменных: температура, солёность, кислород, фосфаты, нитраты и силикаты, а также статистические характеристики параметров на 102 горизонтах: от 0 до 100 через 5 метров, от 100 до 500 через 25 метров, от 500 до 2000 через 50 метров, от 2000 до 5500 м через 100 м.

Географический охват: глобальный.

Сетка по широте включает 674 узла в диапазоне от -78.25° до $+89.75^{\circ}$ с шагом 0.25° . В южном полушарии широта с минусом. По долготе – 1440 узлов в диапазоне от -179.75° до $+179.75^{\circ}$ с шагом 0.25° .

Диапазон глубин и количество стандартных горизонтов, на которых представлены статистические характеристики океанографических параметров для разного периода осреднения, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Диапазон глубин и количество стандартных горизонтов, на которых представлены статистические характеристики океанографических параметров для разного периода осреднения

Параметр	Осреднение		
	Год	Сезон	Месяц
Температура воды	0–5500 м (102 горизонта)	0–5500 м (102 горизонта)	0–1500 м (57 горизонтов)
Солёность воды	0–5500 м (102 горизонта)	0–5500 м (102 горизонта)	0–1500 м (57 горизонтов)

Из атласа WOD13 по Охотскому морю отобрано 55529 океанографических станций за период с 1955 по 2018 годы.

База данных АО «ГНИНГИ»

База данных по заданному району сформирована на основе отечественных данных за 1887–2017 годы. Поэтому её можно считать одной из наиболее полных баз данных.

В состав базы вошли данные с наблюдениями за температурой воды на 42849 гидрологических станциях и с наблюдениями за солёностью на 23264 станциях. Ниже дано краткое описание распределения исходных гидрофизических данных по месяцам года и пространству.

Распределение числа станций с наблюдениями за температурой воды по сезонам года приведено на рисунке 2.1.

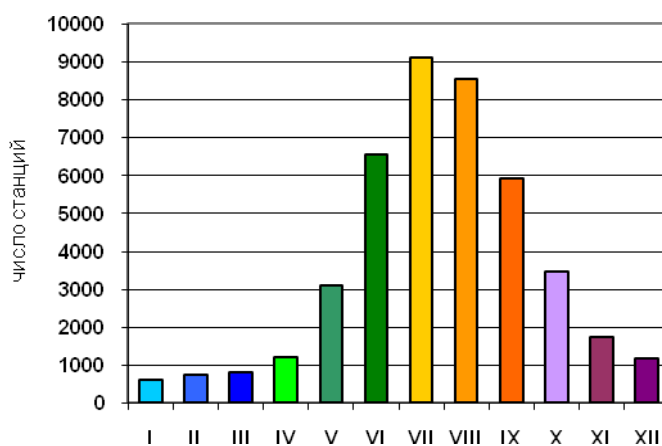


Рисунок 2.1 – Распределение числа гидрологических станций по месяцам года в море

Число гидрологических наблюдений на акватории моря крайне неравномерно по сезонам года. На зиму (январь, февраль, март) приходится всего примерно 5 % от общего числа наблюдений, на весну (апрель, май, июнь) – 25 %, на лето (июль, август, сентябрь) – 55 %, на осень (октябрь, ноябрь, декабрь) – 15 %.

Схема освещённости акватории данными наблюдений за температурой воды приведена на рисунке 2.2. Наиболее освещены данными наблюдений районы южной части моря, прилегающие к острову Хоккайдо, Курильским

островам, побережью острова Сахалин и юго-западному побережью полуострова Камчатка. Наименее освещены центральная и северо-восточная части моря. В зимний период в ряде одноградусных ячеек центральной и северной частей моря данных наблюдений недостаточно для статистических обобщений.

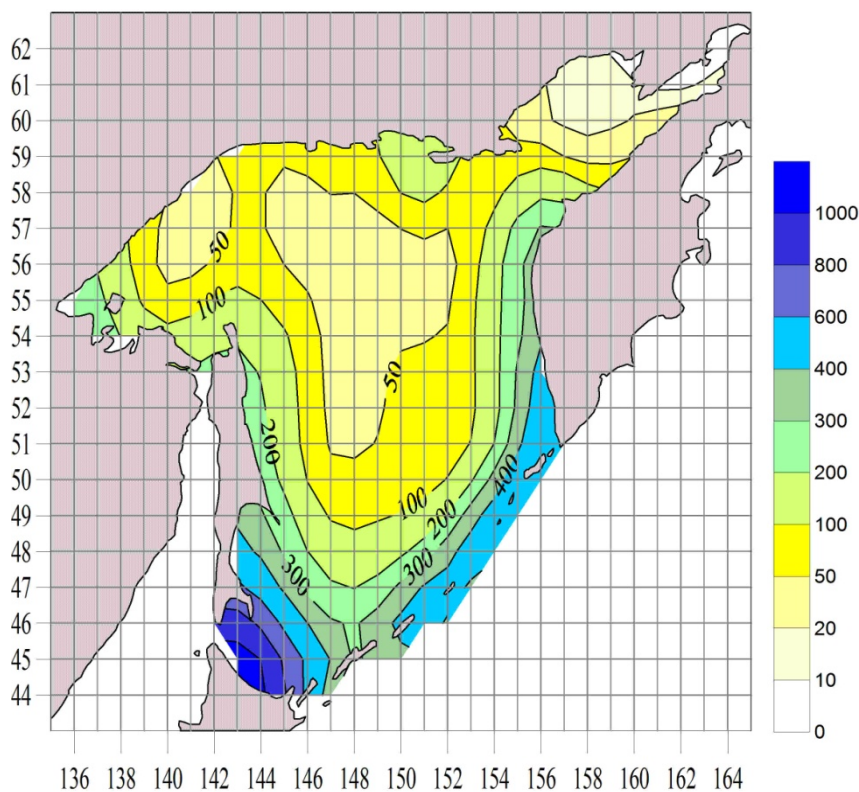


Рисунок 2.2 – Общее число гидрологических станций с наблюдениями за температурой воды в одноградусных квадратах моря

НИОЦ ОАО «ГНИНГИ» по Охотскому морю по глубоководной гидрологии содержит данные наблюдений за период 1887-2017 г в количестве 11471 станций.

Выполненные глубоководные гидрологические наблюдения содержат следующие виды информации:

Данные включают как наблюдения иностранных государств, так советских и российских экспедиций и содержат следующие виды информации:

- данные океанографических станций (batimетрия) и данные CTD/XCTD с низким разрешением (OSD);

- данные высокого разрешения (Электропроводность, температура по глубине), ХСТD данные высокого разрешения (СТD);
- данные механического, цифрового и микро батитермографа (МВТ);
- данные обрывного батитермографа (ХВТ);
- данные автономных «ластоногих» батитермографов, полученные с регистраторов (ТТDR) и датчиков ARGOS (АРВ);
- данные с заякоренных буев (MRB);
- профильные наблюдения (PFL).

Generalized Digital Environmental Model (GDEM)

Источник данных: портал проекта ESME: <https://esme.bu.edu> [1].
Доступ не ограничен.

Разработчик: NAVO ВМС США.

Состав базы. Это статическая база осреднённых в узлах регулярной сетки данных температуры, солёности, скорости звука и их стандартных отклонений. Профили осреднённых значений температуры, солёности и их стандартных отклонений в узлах регулярной сетки представлены коэффициентами математических выражений, которые масштабированы и хранятся в виде целых чисел длиной 2 байта. Отсутствие данных обозначено числом «-32000».

Описание базы: Carnes, M. R. Description and Evaluation of GDEM–V3.0 [Electronic resource]: Documentation / M. R. Carnes // Naval Research Laboratory Rep. – Stennis Space Center, MS, 2009. – № NRL/MR/7330–09–9165. – 24 pp. – URL: <http://www.mendeley.com/research/description–evaluationgdemv–30/> [15].

Разрешение данных. Текущая версия GDEM v.3 имеет разрешение 15 угловых минут по горизонтали и 78 горизонтов до глубины 6600 м по вертикали. Временное осреднение – 1 месяц.

Исходные данные: база данных MOODS (Master Oceanographic Observation Data Set) ВМС США объёмом свыше 8 млн. профилей температуры и солёности и скорости звука. Период наблюдений с 1920 по 2000 гг.

Географическое покрытие базы глобальное, за исключением пресноводных озёр и Каспийского моря.

Сетка сформирована так, чтобы элементарная ячейка массива имела глубину более 2 м. Глубина места определена как максимальная глубина массива глубин DBDBV 5-минутного разрешения библиотеки Атлантической океанографической и метеорологической лаборатории NOAA (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory – OAML) в ячейках размером 15 угловых минут и отцентрирована в узлы сетки.

Сетка по широте включает 689 узлов в диапазоне от -82° до $+90^{\circ}$ с шагом 0.25° . В южном полушарии широта с минусом. По долготе 1440 узлов в диапазоне от 0° до 359.75° с шагом 0.25° . Сюда включены узлы, попадающие на сушу.

По глубине сетка состоит из 78 узлов с шагом от 0 до 100 м через 5 метров, от 100 до 200 м через 10 метров, от 200 до 300 через 20 метров, от 300 до 500 м через 50 метров, от 500 до 1600 м через 100 метров, от 1600 до 6600 м через 200 метров.

2.2 Описание технологии создания сеточной базы

Создание сеточной базы включает несколько основных технологических этапов:

- создание шаблона сеточной области;
- обобщение данных, приведение их к единому формату и формирование баз данных непосредственных наблюдений;
- контроль качества данных непосредственных наблюдений;
- оценка качества исходных данных;
- выполнение специальной обработки и расчёт статистических показателей гидрофизических полей;

– выполнение процедур объективного анализа результатов расчёта статистических показателей и формирование сеточного массива.

Создание шаблона сеточной области

При создании шаблона сеточной области для массивов гидрофизических параметров шаг регулярной сетки в горизонтальной плоскости принят постоянным и равным 15 угловым минутам. При формировании шаблона сеточной области использован массив координат береговой черты GSHHS_1_L1.shp пакета GEODAS [8] и учтено положение границ моря [9].

Максимальные глубины в узлах одноградусной сетки были определены по массиву глубин ETOPO2v2 Национального центра информации об окружающей среде, ранее Национального центра геофизических данных (National Geophysical Data Center (NGDC)) США [7]. Сформирован массив максимальных глубин с разрешением 0.25 угловых градуса (15 угл. мин). В сеточную область включены те узлы, которые необходимы для интерполяции данных сеточного массива температуры и солёности в любую точку и на любой горизонт акватории моря. Картосхема глубин моря представлена на рисунке 2.3.

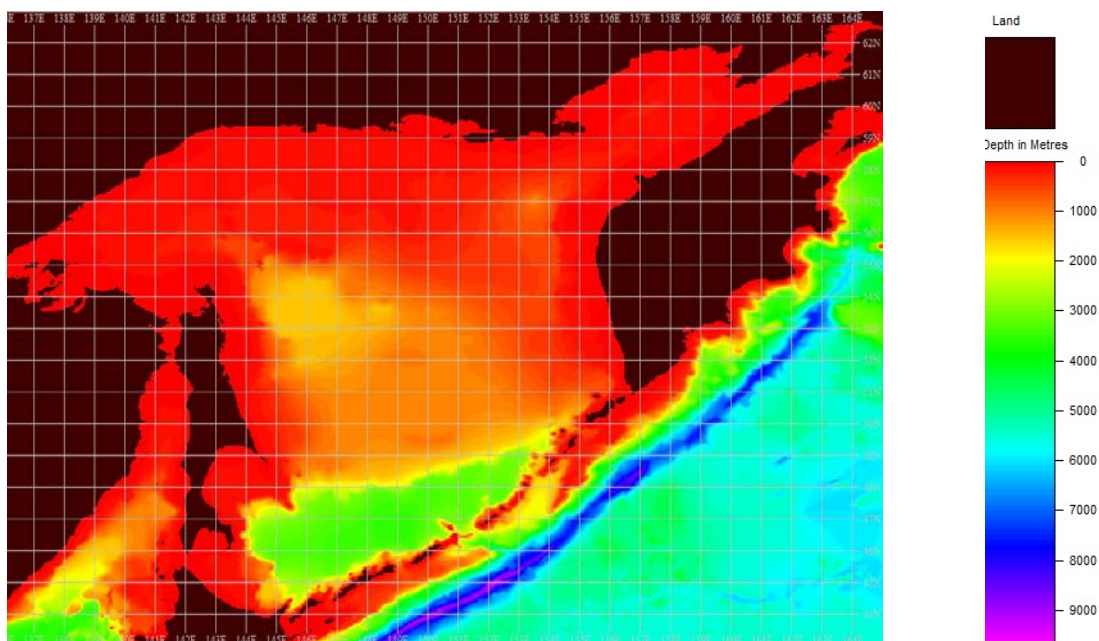


Рисунок 2.3 – Картосхема глубин моря для шаблона сеточной базы

Полученная с учётом описанной процедуры сеточная область на поверхности Охотского моря приведена на рисунке 2.4.

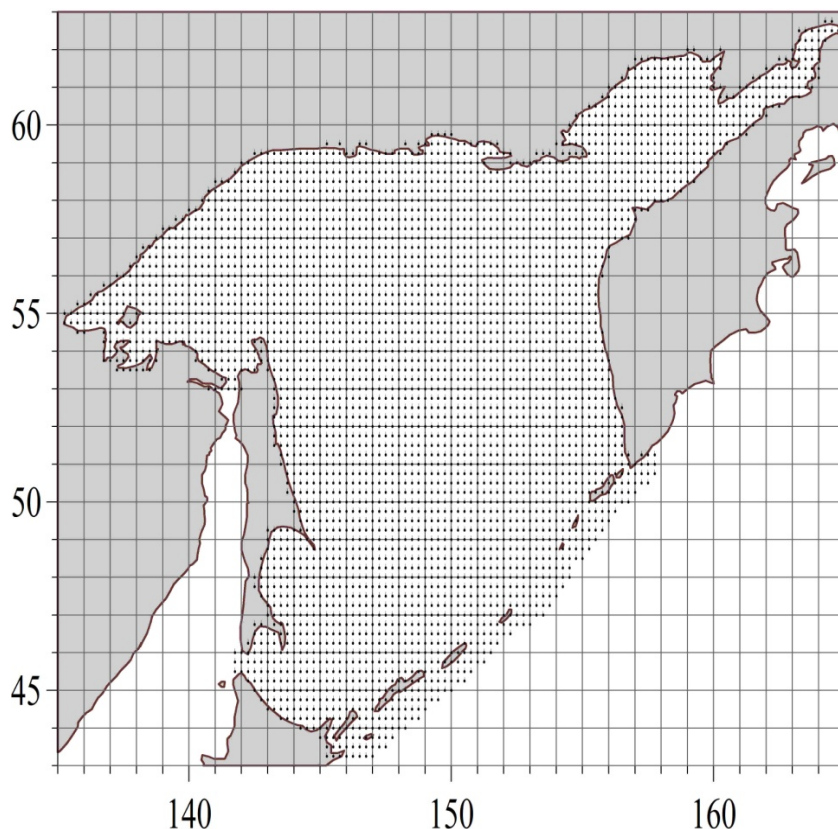


Рисунок 2.4 – Шаблон сетки на поверхности

Обобщение данных, приведение их к единому формату и формирование базы данных непосредственных наблюдений

На основе перечисленных выше исходных данных спроектирована и сформирована интегрированная база данных непосредственных гидрофизических наблюдений, использованная для расчёта сеточной базы температуры и солёности. Проектирование включало:

- определение структуры и состава таблиц, форм, запросов и других элементов базы;
- выбор системы управления базами данных (СУБД);
- выбор источников данных, разработку конверторов.

В качестве СУБД принята СУБД MS “Access”.

На этапе формирования базы исходные данные были приведены к единым форматам, импортированы в базу, результаты измерений проинтерполированы на стандартные горизонты по методу Reiniger-Ross [10]. В качестве стандартных горизонтов использованы горизонты, определённые ГОСТ [3]. В таблице 2.2 приведён состав стандартных горизонтов и общее число наблюдений за температурой и солёностью в созданной базе исходных данных.

После формирования базы выполнен контроль качества данных.

Таблица 2.2 – Стандартные горизонты и число наблюдений на них

Горизонт, м	Число наблюдений		Горизонт, м	Число наблюдений	
	температура	солёность		температура	солёность
0	42849	22989	300	11986	9033
10	41755	22246	400	8772	6666
20	42835	23264	500	5946	5246
25	42415	22806	600	3533	3015
30	42070	22564	800	2010	1605
50	40525	21658	1000	2316	2099
75	37310	19823	1200	1321	1243
100	34022	17643	1500	557	532
125	28622	14297	2000	303	235
150	26250	13118	2500	218	168
175	23680	11785	3000	84	66
200	21560	10448	3500	2	2
250	15151	10191	4000	-	-

2.3 Контроль качества данных непосредственных наблюдений

В качестве основных процедур контроля судовых данных гидролого-гидрохимических наблюдений использованы процедуры, изложенные в Рекомендациях Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО [4, 11]. Методическая основа технологии контроля, принятая в Научно-исследовательском океанографическом центре (НИОЦ) АО «ГНИНГИ», изложена в рекомендациях [12]. Технологическая основа контроля качества описана в работе [13].

Контролю подвергнуты метаданные наблюдений (координаты, время выполнения станций) и собственно данные измерений температуры и солёности воды.

Проверка метаданных включала следующие процедуры:

- контроль на дубли: проверялось равенство дат, времени, координат станции и кодов исследовательских платформ. Дубли удалялись;
- контроль на дублирование горизонтов, отрицательные горизонты и отсутствие нулевого (поверхностного) горизонта, допустимое расстояние между горизонтами: при наличии одинаковых записей на дублирующих горизонтах, одна из дублирующих записей удаляется автоматически, наличие отрицательных горизонтов и отсутствие нулевого регистрируется. Допустимое расстояние между соседними горизонтами, в соответствии с [14] задается равному удвоенному расстоянию между соответствующими соседними стандартными горизонтами. Если эти диапазоны не выдерживаются, станция помечается флажком, показывающим ее непригодность для использования при интерполяции на стандартные горизонты.
- контроль местоположения станции: удалялись станции, координаты которых попадают на сушу;

- проверка на глубину выполнялась путём сравнения глубины последнего горизонта измерения на станции с максимальной глубиной в одноградусном квадрате, куда попадает выполненная станция;

- проверка координат и времени выполнения последовательных станций: при контроле данных порейсовых исследований, сгруппированных в порядке выполнения станций, выполнялся контроль по допустимой скорости движения. За допустимую скорость движения судна принята скорость до 25 узлов.

Проверка собственно данных включала следующие процедуры:

- контроль на диапазон изменчивости: в качестве допустимых диапазонов изменчивости температуры и солёности воды использованы диапазоны, рекомендованные в работах [11, 12];

- контроль на инверсию плотности: перед выполнением этого вида контроля выполнялся расчёт аномалии потенциальной плотности.

Инверсией плотности является любое падение аномалии потенциальной плотности с ростом глубины. Это неустойчивое состояние водной толщи. Переход в устойчивое состояние происходит путём опускания тяжёлой воды в нижележащие слои до горизонта с той же плотностью.

Потенциальная плотность – это плотность частицы воды, которую бы она имела, если бы была поднята адиабатически на поверхность ($p=0$). При контроле, согласно [11], допустимой принята инверсия плотности между стандартными горизонтами в слое от поверхности до 30 м величиной $0.03 \cdot \text{кг/м}^3$, в слое от 30 до 400 м – $0.02 \cdot \text{кг/м}^3$, глубже – $0.001 \cdot \text{кг/м}^3$.

По результатам контроля в обработку было принято 67000 станций (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Распределение информации по источникам, после контроля качества

Источник данных	Количество наблюдений
БОД НИОЦ ОАО «ГНИНГИ»	11471
Атлас World Ocean Database 2013 (WOD13), США	55529
Итого	67000

Среднемесячное распределение полей температуры и солености в поверхностном слое Охотского моря сравнивалось с ранее изданными пособиями, атласами и другими печатными изданиями. Полученные данные не противоречат официальным изданиям.

2.4 Специальная обработка и расчёт статистических показателей гидрофизических полей

В состав специальной обработки данных обычно входят процедуры:

- вертикальной интерполяции данных на заданные горизонты;
- расчёта средних значений гидрофизических параметров;
- расчёта косвенно определяемых гидрофизических характеристик;
- расчёта характеристик вертикальной структуры гидрофизических полей.

Специальная обработка и расчёт статистических показателей гидрофизических полей выполнялась на сетке с горизонтальным разрешением 1 угловой градус.

При вертикальной интерполяции на стандартные горизонты использован метод Рейнигера-Росса [10]. Этот метод представляет собой комбинацию четырёхточечного метода взвешенных парабол и линейной интерполяции.

Расчёт средних значений температуры и солёности воды проводился по одноградусным квадратам, для каждого сезона, на каждом из стандартных горизонтов при числе наблюдений 10 и более.

К процедурам специальной обработки гидрофизических данных относится расчёт толщины верхнего перемешанного слоя (ВПС) и скорости звука. Поскольку толщина ВПС определяется по вертикальному профилю плотности воды, потребовалось наряду со скоростью звука выполнять расчёт и плотности морской воды. Для расчёта плотности воды и скорости звука использованы методы, рекомендованные Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО [20].

В настоящей работе дополнительно к традиционным методам специальной обработки гидрофизических данных выполнен расчёт толщины ВПС. Это необходимо для исключения фиктивных неоднородностей в верхнем перемешанном слое, возникающих в результате осреднения разного числа наблюдений на разных горизонтах в условиях ограниченного количества исходных данных.

Толщина ВПС испытывает суточный и сезонный ход, подвержена большой изменчивости в периоды штормовых воздействий. В настоящей работе при создании сеточной базы в соответствии с заданным масштабом временного осреднения данных рассчитана толщина ВПС сезонного масштаба изменчивости.

Как показали Брайнерд и Грегг [21], для оценки средней толщины верхнего перемешанного слоя месячного масштаба изменчивости достаточно обрабатывать данные средних месячных профилей плотности.

Разность потенциальной плотности в пределах перемешанного слоя не должна превышать некоторой переменной величины, определяемой выражением:

$$\Delta\sigma_t = \frac{\partial\sigma_t}{\partial t} \Big|_{s,p} (S_0, t_0, p_0 = 0) \cdot \Delta t . \quad (2.1)$$

Здесь Δt и $\Delta \sigma_t$ представляют собой допустимую разность температур в пределах перемешанного слоя и соответствующую ей искомую разность потенциальной плотности между значениями на поверхности океана и на нижней границе перемешанного слоя. Допустимая разность температур Δt , согласно [21], принята равной 0.5 °С. Горизонты, на которых потенциальная плотность была выше плотности воды на поверхности на величину, рассчитанную по формуле (2.1), считались относящимися к верхнему перемешанному слою. Глубина последнего горизонта принималась равной толщине ВПС – $h_{\text{ВПС}}$. Температура и солёность в пределах верхнего перемешанного слоя принимались постоянными и равными средневзвешенным значениям в слое от поверхности до глубины $h_{\text{ВПС}}$.

Интерполяция вертикальных кривых

Несмотря, на внедрение СТД-зондов, дающих непрерывные профили гидрофизических параметров, батометрические наблюдения остаются основным источником информации о всей толще океана. Одна из главных задач при обработке батометрических станций — интерполяция на стандартные горизонты [16]. Простейшая интерполяция — линейная. Ее недостатки очевидны: нарушение гладкости в узлах, плохая аппроксимация. При использовании линейной интерполяции в гидроакустике отмечалось появление петель годографа, ложных каустик и разрывов амплитудной кривой вследствие разрыва градиента скорости звука на границах слоев. Интерполяция полиномами Лагранжа 2-й степени (по трем точкам) и 3-й степени (по четырем точкам) дает лучшую аппроксимацию, однако приводит к появлению ложных экстремумов и ложных точек перегиба. Логарифмическая интерполяция не решает проблемы, поскольку вводимая искусственная кривизна всегда имеет одинаковый знак на любом интервале между узлами [17]. В итоге средние погрешности логарифмической и линейной интерполяций близки. Ратри [15] использовал для интерполяции

среднее арифметическое двух парабол 2-й степени, рассчитанных по трем точкам, одна из которых лежит выше, а две — ниже стандартного гори зонга, либо наоборот (идентичный метод независимо предложил Хеннион) [19]. Достоинство этого метода — возможность объективной оценки погрешности интерполяции. Она в большинстве случаев существенно меньше, чем при линейной, логарифмической и простой параболической (по одной параболе) интерполяции. Однако при резком изменении вертикального градиента метод Ратри, как и Лагранжева интерполяция, приводит к вычислительным экстремумам и ложным перегибам.

Для минимизации этого эффекта Рейнигер - Росс [10] предложили метод взвешенных парабол (МВП), основанный на том, что при резком изломе профиля плохое интерполированное значение дает лишь одна парабола, а значение, которое дает другая парабола, вполне приемлемо. Поэтому в МВП вычисляют интерполированное значение как сумму парабол, взятых с некоторыми весами. Эмпирическая оценка показывает, что погрешность МВП не больше, чем погрешность метода Ратри. Авторы МВП считают, что он полностью устраняет вычислительный экстремум, однако это утверждение спорно.

Если полученное на стандартном горизонте значение выходит за диапазон уменьшенной на 20% разницы между минимальным и максимальным значениями параметра на ближайших горизонтах, то используется линейная интерполяция. Это позволяет избежать появления необоснованных экстремумов.

2.5 Метод интерполяции Рейнигера - Росса

Для вертикальной интерполяции на выбранные («стандартные») горизонты предлагается использовать метод интерполяции, широко используемый в мировой практике - метод Рейнигера - Росса [10]. Это метод является

усовершенствованием метода, предложенного М.Ратреем [15], который основан на применении интерполяционного полинома Лагранжа. Метод Рейнигера-Росса представляет собой комбинацию метода взвешенных парабол и линейной интерполяции. Метод Ратри основан на арифметическом осреднении результатов двух интерполяций парабололами.

Рисунок 2.5 иллюстрирует применение метода. На нём изображён вертикальный профиль гидрофизического параметра b , измеренного на горизонтах a . Необходимо найти значения гидрофизического параметра на «стандартных» горизонтах z .

Если горизонт, куда нужно проинтерполировать гидрофизические параметры, лежит в слое выше и ниже которого имеются по два горизонта с данными измерений, то используется метод взвешенных парабол. В противном случае – линейная интерполяция. Для применения метода нужно знать измеренные значения параметра в четырёх точках, две из которых должны быть выше и две ниже стандартного горизонта. На рисунке 2.5 требуемые данные обозначены как a_1, a_2, a_3, a_4 (горизонты) и b_1, b_2, b_3, b_4 (соответствующие значения гидрофизического параметра).

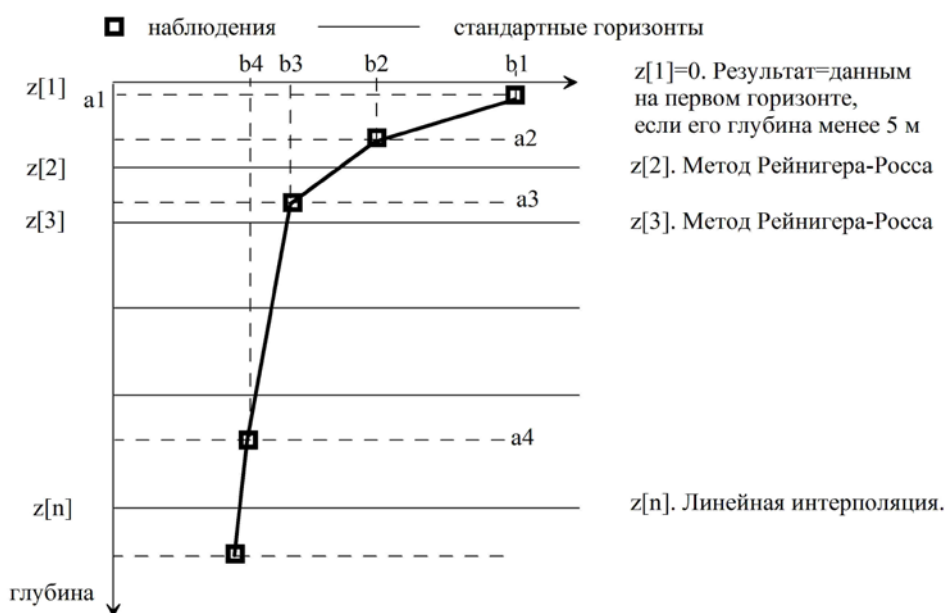


Рисунок 2.5. Выбор метода интерполяции в зависимости от взаимного расположения горизонтов измерения и стандартного горизонта.

В общем случае, если соблюдается условие:

$$a_1 < a_2 < z < a_3 < a_4 \quad (2.2)$$

сначала выполняется расчёт двух первых приближений параметра y_{123} и y_{234} на горизонте z – по данным в точках i, j, k равным 1,2,3 и 2,3,4, соответственно. Для этого используется интерполяционный полином Лагранжа:

$$y_{ijk}(z) = \frac{(z - a_j)(z - a_k)}{(a_i - a_j)(a_i - a_k)} b_i + \frac{(z - a_i)(z - a_k)}{(a_j - a_i)(a_j - a_k)} b_j + \frac{(z - a_i)(z - a_j)}{(a_k - a_i)(a_k - a_j)} b_k \quad (2.3)$$

Затем оцениваются невязки между полученными оценками и значением референсной функции $Fref$. Эта функция зависит от трёх результатов линейной экстраполяции на стандартный горизонт z , полученных по данным трёх пар данных соседних горизонтов i и j (1 и 2, 2 и 3, 3 и 4):

$$y_{ij}(z) = b_i + \frac{(z - a_i)(b_j - b_i)}{(a_j - a_i)} \quad (2.4).$$

Расчёт референсной функции выполняется по формуле:

$$Fref(z) = \frac{1}{2} \left(y_{23} + \frac{(d_{234} * y_{12} + d_{123} * y_{34})}{(d_{234} + d_{123})} \right), \quad (2.5)$$

где

$$d_{123} = (y_{12} - y_{23})^m, \text{ и } d_{234} = (y_{23} - y_{34})^m \quad (2.6)$$

Рекомендуемое значение эмпирического показателя степени m равно 2.0.

Результирующее значение на стандартном горизонте рассчитывается по формуле:

$$y(z) = y_{123}(z) * r1 + y_{234}(z) * r2. \quad (2.7)$$

Весовые множители $r1$ и $r2$ результатов параболической интерполяции рассчитываются по формулам:

$$r1 = \frac{|Fref - y_{123}(z)|}{|Fref - y_{123}(z)| + |Fref - y_{234}(z)|} \quad (2.8)$$

$$r2 = \frac{|Fref - y_{234}(z)|}{|Fref - y_{123}(z)| + |Fref - y_{234}(z)|} \quad (2.9)$$

Проверка интерполяции по методу Рейнигера – Росса

В результате процедуры интерполяции были получены приращения в полях температуры и солености. На рис. 2.6–2.7 представлены вертикальные распределения температуры и солености воды. На каждом графике изображены два профиля: данные натуральных измерений и модельный профиль, полученный с привлечением интерполяционной процедуры. Для наглядного представления отклонения интерполированных данных от измеренных сделаем следующее: уберем часть измеренных данных в квазиоднородном слое, в слое скачка и на глубинах ниже 1500 метров и проинтерполируем. На рис. 2.8-2.9 представлены вертикальные распределения температуры и солености воды по стандартным горизонтам, полученные с помощью интерполяционной процедуры по методу Рейнигера – Росса.

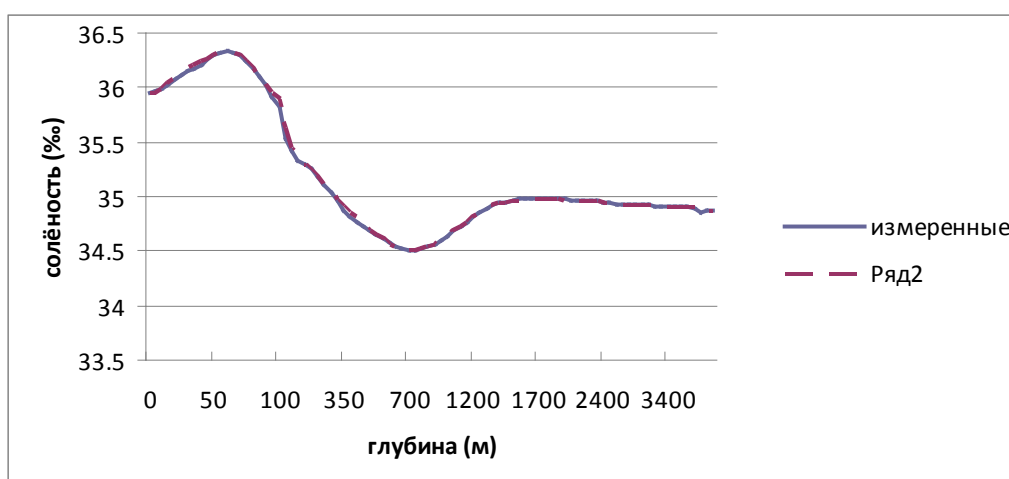


Рис 2.6 – Вертикальные распределения солености натуральных измерений и модельный профиль

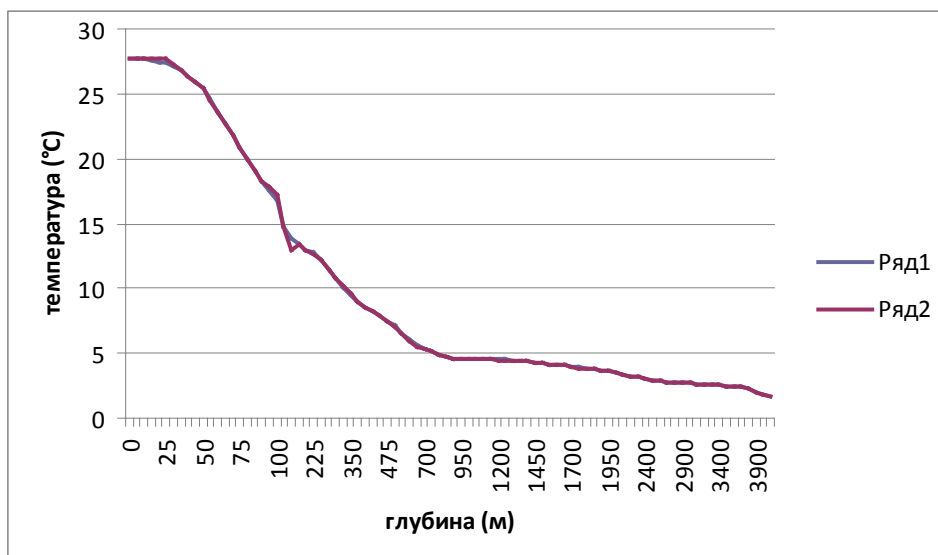


Рис 2.7 – Вертикальные распределения температуры натуральных измерений и модельный профиль

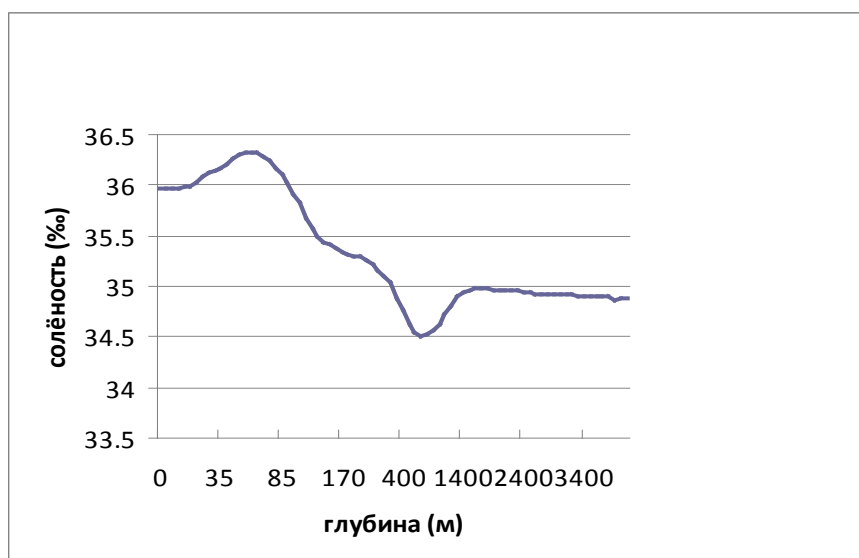


Рис 2.8 – Вертикальное распределение солености воды по стандартным горизонтам, полученное с помощью интерполяционной процедуры по методу Рейнигера – Росса

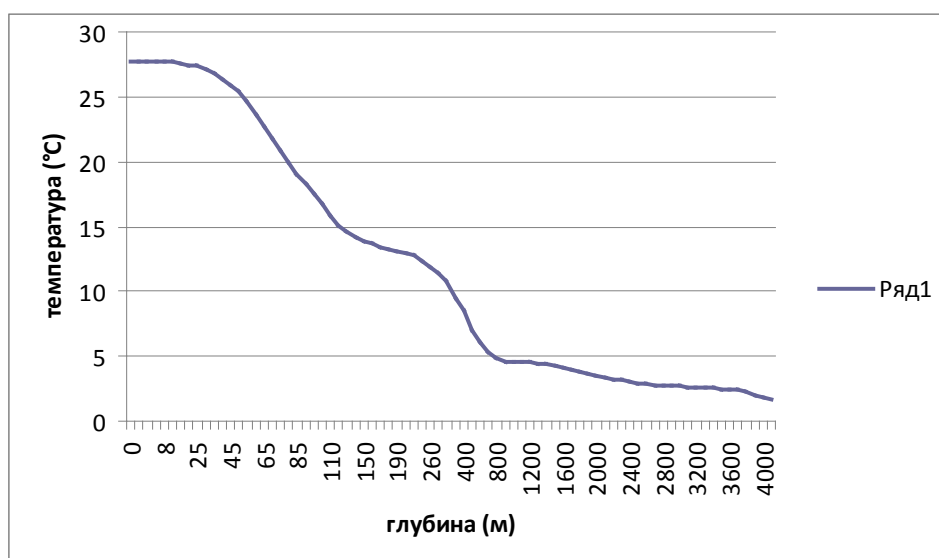


Рис 2.9 – Вертикальное распределение температуры воды по стандартным горизонтам, полученное с помощью интерполяционной процедуры по методу Рейнигера – Росса

Рассмотрим результаты. Из рисунков 2.6 и 2.7 видно, что интерполяция данных наиболее благоприятно отразилась на значениях солёности воды. Профили солёности, полученные в результате интерполяции, в целом повторяют профили, являющиеся результатом наблюдений. При этом отметим, что, модельные профили солёности дают небольшое увеличение в верхнем квазиоднородном слое (ВКС).

Что касается вертикального распределения температуры воды, то профили температурных данных после интерполяции практически полностью совпадают с натурными данными. Но стоит заметить, что интерполяция привела к уменьшению температуры в среднем слое.

Теперь рассмотрим результаты, относящиеся к интерполяции по стандартным горизонтам. Из рисунков 2.8 и 2.9 видно, что ассимиляция данных наиболее благоприятно отразилась на значениях солёности воды. На профили солёности, полученной в результате интерполяции, галоклин наиболее выражен, стал более резким. Что касается, вертикального распределения температуры, то профиль распределения стал наиболее выражен в точках максимума и минимума.

2.6 Процедуры объективного анализа результатов расчёта статистических показателей и формирование сеточной базы полей средней скорости распространения звука

В настоящей работе после расчёта средних значений температуры и солёности в узлах одноградусной сетки выполнялись следующие процедуры:

- расчёт вертикального распределения плотности воды;
- расчёт толщины ВПС;
- расчёт средних значений температуры и солёности в пределах ВПС;
- склейка профилей температуры и солёности в пределах ВПС с нижележащей частью профилей;
- фильтрация профилей от поверхности до последнего горизонта;
- гридирование результатов фильтрации методом кригинга в узлы расчётной сетки с шагом 0.25 угловых градуса;
- расчёт скорости звука в узлах заданной сетки по данным о температуре и солёности воды.

Фильтрация после склейки профилей от поверхности z_0 до дна z_h выполнялась с помощью фильтра:

$$\left(\begin{array}{c} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \\ \text{K} \\ z_{h-1} \\ z_h \end{array} \begin{array}{c} T_i = T(z_i) \\ T_i = (0.2 \cdot T(z_{i-1}) + 0.6 \cdot T(z_i) + 0.2 \cdot T(z_{i+1})) \\ T_i = (0.1 \cdot (T(z_{i-2}) + T(z_{i+2})) + 0.2 \cdot (T(z_{i-1}) + T(z_{i+1})) + 0.4 \cdot T(z_i)) \\ \text{L} \\ T_i = (0.2 \cdot T(z_{i-1}) + 0.6 \cdot T(z_i) + 0.2 \cdot T(z_{i+1})) \\ T_i = T(z_i) \end{array} \right) \quad (2.10)$$

Результаты применения изложенных процедур обработки приняты в качестве сеточных баз гидрофизических данных.

Статистическая обработка и объективный анализ данных производились с применением описанных выше методов по одноградусным квадратам Охотского моря. Гридирование (создание сеточных баз с заданной степенью пространственного разрешения) выполнялась средствами пакета прикладных программ (ППП) “Surfer”.

Классическая технология объективного анализа результатов статистической обработки описана в документации к атласу Мирового океана WOA 2013, v.2.0 [7] и несколько отличается от изложенной.

Скорость звука рассчитывалась по формуле Chen and Millero (1977) [20]:

$$U(S, t, p) = C_w(t, p) + A(t, p)S + B(t, p) S^{3/2} + D(t, p)S^2 \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} C_w(t, p) = & C_{00} + C_{01}t + C_{02}t^2 + C_{03}t^3 + C_{04}t^4 + C_{05}t^5 \\ & + (C_{10} + C_{11}t + C_{12}t^2 + C_{13}t^3 + C_{14}t^4) p \\ & + (C_{20} + C_{21}t + C_{22}t^2 + C_{23}t^3 + C_{24}t^4) p^2 \\ & + (C_{30} + C_{31}t + C_{32}t^2) p^3 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Константы

$$C_{00} = + 1402,388$$

$$C_{10} = + 0,153563$$

$$C_{01} = + 5,03711$$

$$C_{11} = + 6,8982 E^{-4}$$

$$C_{02} = - 5,80852 E^{-2}$$

$$C_{12} = - 8,1788 E^{-6}$$

$$C_{03} = + 3,3420 E^{-4}$$

$$C_{13} = + 1,3621 E^{-7}$$

$$C_{04} = - 1,47800 E^{-6}$$

$$C_{14} = - 6,1185 E^{-10}$$

$$C_{05} = + 3,1464 E^{-9}$$

$$C_{20} = +3,1260 E^{-5}$$

$$C_{30} = - 9,7729 E^{-9}$$

$$C_{21} = - 1,7107 E^{-6}$$

$$C_{31} = + 3,8504 E^{-10}$$

$$C_{22} = +2,5974 E^{-8}$$

$$C_{32} = - 2,3643 E^{-12}$$

$$C_{23} = - 2,5335 E^{-10}$$

$$C_{24} = + 1,0405 E^{-12}$$

Для вычисления давления используем формулу Saunders и Fofonoff (1976г) [20]. Эта формула для нахождения давления с изменением глубины, основывается на формуле EOS80. Для нахождения давления используется гидростатическое уравнение и состояние уравнения Кнудсена-Экмана. Формула включает изменение силы тяжести с широтой и глубиной.

Гидростатическое уравнение в интегрированном виде

$$\int_p^z g dz = [g_0(\phi) + \frac{1}{2} \gamma z] z = \int_0^p v dp = \int_0^p v(35,0,p) dp + \Delta D \quad (2.13)$$

$g_0(\phi)$ - сила тяжести на поверхности океана, функция широты.

γ - средний вертикальный градиент силы тяжести.

v - удельный объем.

ΔD - геопотенциальная аномалия, определяется:

$$\Delta D = \int_0^p \delta dp \quad (2.14)$$

где

$$\delta = v(S,t,p) - v(35,0,p) \quad (2.15)$$

- аномалия определенного объема.

EOS80 имеет вид

$$v(35,0,p) = v(35,0,0) \left(1 - \frac{p}{K + A_p + B_p^2} \right) \quad (2.16)$$

в интегрированном виде

$$\int_0^p V(35,0,p) dp = V(35,0,0) \left[p - \frac{1}{2B} [\log_e (1 + Ap/K + Bp^2/K) + A/R \log_e \frac{(2BP + A - R)/(A-R)}{(2BP + A + R)/(A+R)}] \right] \quad (2.17)$$

Где $R^2 = A^2 - 4BK$ и

$$K = + 21582.27$$

$$A = + 3.35941$$

$$B = + 5.032 \quad E-5$$

$$V(35,0,0) = 9.72662 \quad E-4$$

Для $S = 35\%$, $t = 0^\circ C$ и давления в децибарах.

Поскольку точная формула не удобна для обычных запросов, полином наименьших квадратов четвертого порядка давления был занесен в таблицу значений, вычисленных по точной формуле в диапазоне 0 - 12000 децибаров с точностью эквивалентной до 0.0002 метров, в виде

$$\int_0^p V(35,0,p) dp = c_1 p + c_2 p^2 + c_3 p^3 + c_4 p^4 \quad (2.18)$$

где

$$c_1 = + 9.72659$$

$$c_2 = - 2.2512 \quad E-5$$

$$c_3 = +2.279 \quad E-10$$

$$c_4 = - 1.82 \quad E-15$$

Полученное значение = 95224,4 для $p = 10000$ децибар.

формула наименьших квадратов избавляет от необходимости в вычислении логарифмов с незначительной потерей точности. Полная формула имеет вид

$$z = \frac{C_1 p + C_2 p^2 + C_3 p^3 + C_4 p^4}{g(\varnothing) + \frac{1}{2} \gamma' p} + \frac{\Delta D}{9.8}$$

$$\gamma' = + 2.184 \text{ E-6} \quad \text{m/s}^2/\text{decibar} \quad (2.19)$$

2.7 Сравнительный анализ сеточных баз скорости распространения звука в воде, полученных по данным из различных источников

Этот этап необходим для оценки качества полученных данных и принятия решений о возможности их уточнения.

Построение сеточных баз средней скорости звука было выполнено по двум видам источников данных: по данным АО «ГНИНГИ», в которые вошли также данные WOD 2013 НЦОД США, и по данным NAVO ВМС США. При этом данные ВМС США для устранения фиктивных неоднородностей были откорректированы в пределах верхнего перемешанного слоя, толщина которого была определена с применением формулы (2.1). В результате разработаны: полученный на основе исторических данных наблюдений АО «ГНИНГИ» массив №1 и отредактированный путём расчёта толщины верхнего перемешанного слоя на основе данных ВМС США (GDEM) массив №2.

Анализ согласованности гидрофизических полей

Для оценки согласованности данных из разных источников выполнен расчёт средних полей температуры воды на поверхности моря в зимний (январь-март) и летний (июль-сентябрь) сезоны года. Выбор периодов

обусловлен наибольшей и наименьшей степенью освещённости данными наблюдений. Выбор параметров вызван тем, что поля температуры и солёности легче интерпретировать с точки зрения их пространственной и временной изменчивости. Результаты построения полей средней температуры воды на поверхности по данным интегрированной базы данных АО «ГНИНГИ» (с данными WOD13) и базы данных GDEM приведены на рисунке 2.10.

Из рисунка 2.10 (а, в) видно, что данных АО «ГНИНГИ» недостаточно для адекватного описания поля температуры в зимний период в северной части моря, имеет место быть характерная ошибка для районов, покрытых льдом. В обычных условиях при наличии льда судовые наблюдения не ведутся, а в тёплые зимы измерения, выполняемые при отсутствии льда, дают положительную температуру.

Отмеченная особенность наблюдений формально не является ошибкой, но приводит к получению смещённых статистических оценок. Имеются и другие отличия между различными наборами исходных данных. Поэтому признано возможным построить два сеточных массива: один по данным АО «ГНИНГИ» и WOD13, второй – на основе данных ВМС США, и затем выполнить их сравнение и оценить их соответствие физическим закономерностям.

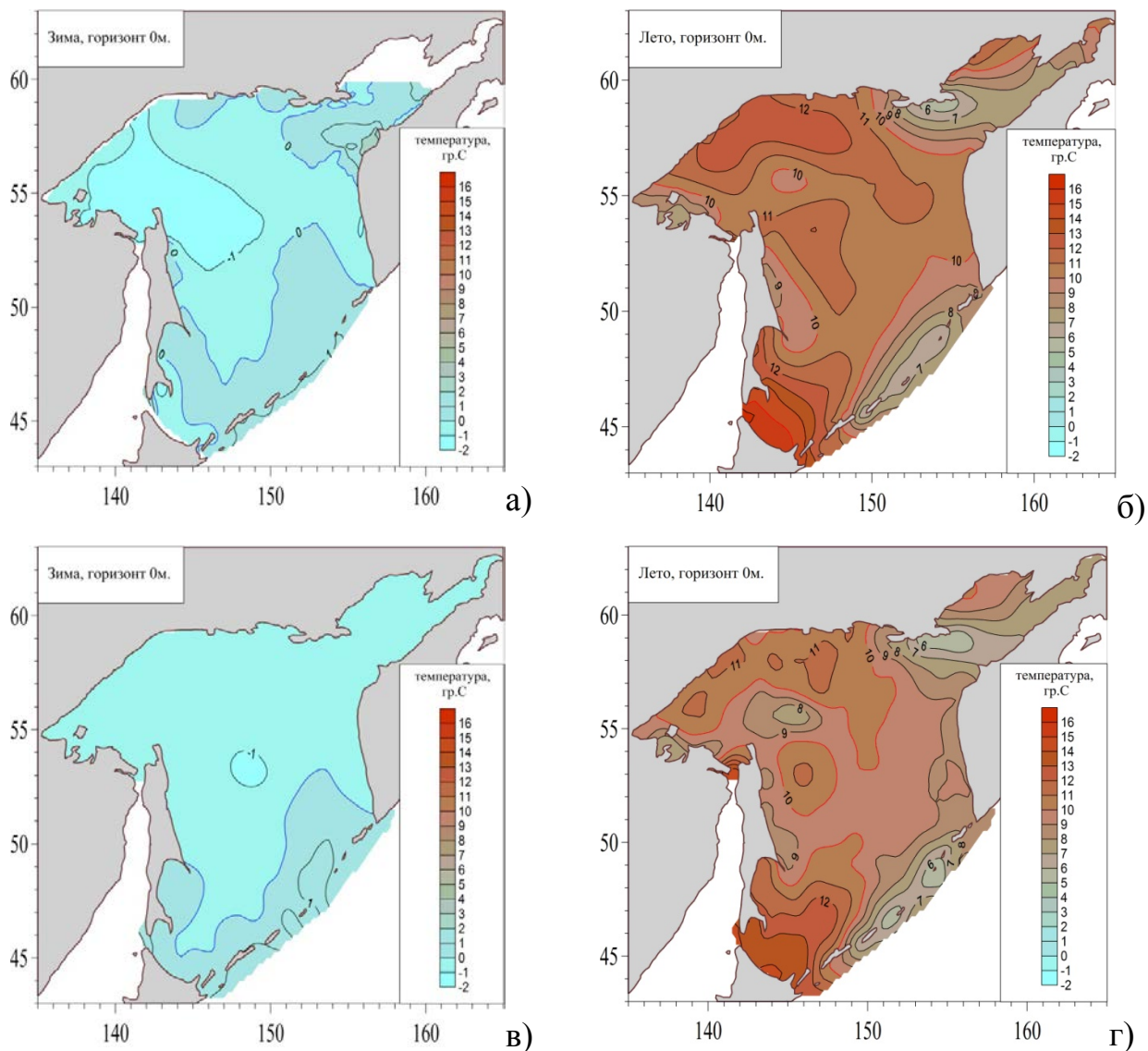


Рисунок 2.10 – Поля температуры воды на поверхности по данным АО «ГНИНГИ» и WOD13 (а, б) и NAVO ВМС США (в, г)

Результаты расчёта невязок между значениями температуры воды на поверхности моря по массивам № 1 и № 2 зимой (а) и летом (б) приведены на рисунке 2.11.

Наиболее представительными и отвечающими известным физическим закономерностям распределения гидрофизических полей на акватории моря в зимний период признаны данные NAVO ВМС США.

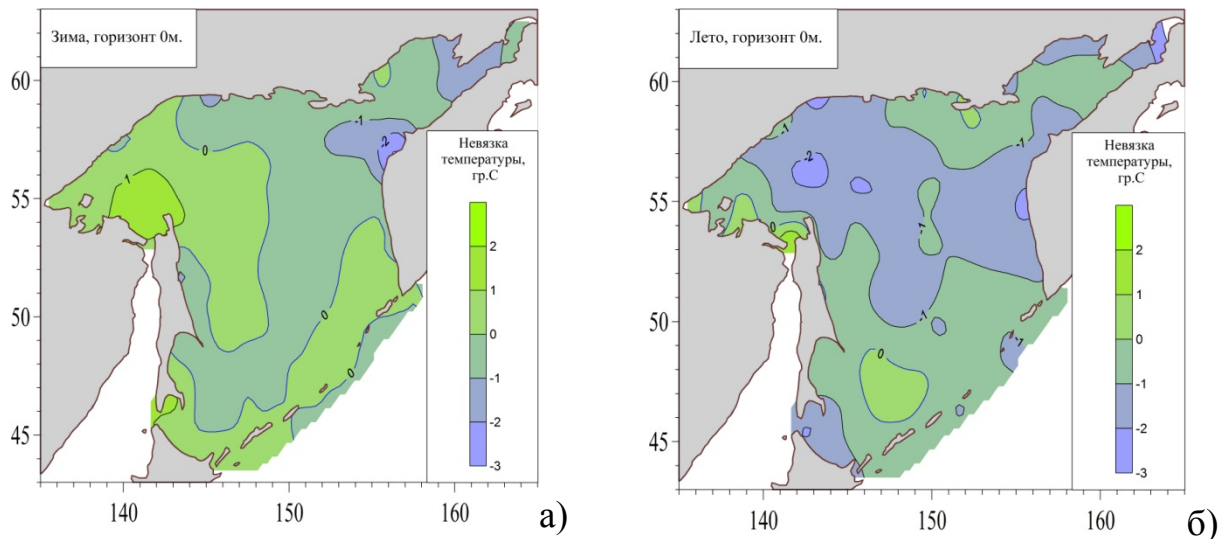


Рисунок 2.11 – Распределение невязок температуры воды между оценками по массивам АО «ГНИНГИ» и NAVO ВМС США зимой (а) и летом (б) на поверхности воды

Анализ согласованности вертикального распределения гидрофизических параметров

Среднеквадратические невязки температуры (а) и скорости звука (б) между двумя сеточными массивами в зависимости от сезона и глубины приведены на рисунке 2.12.

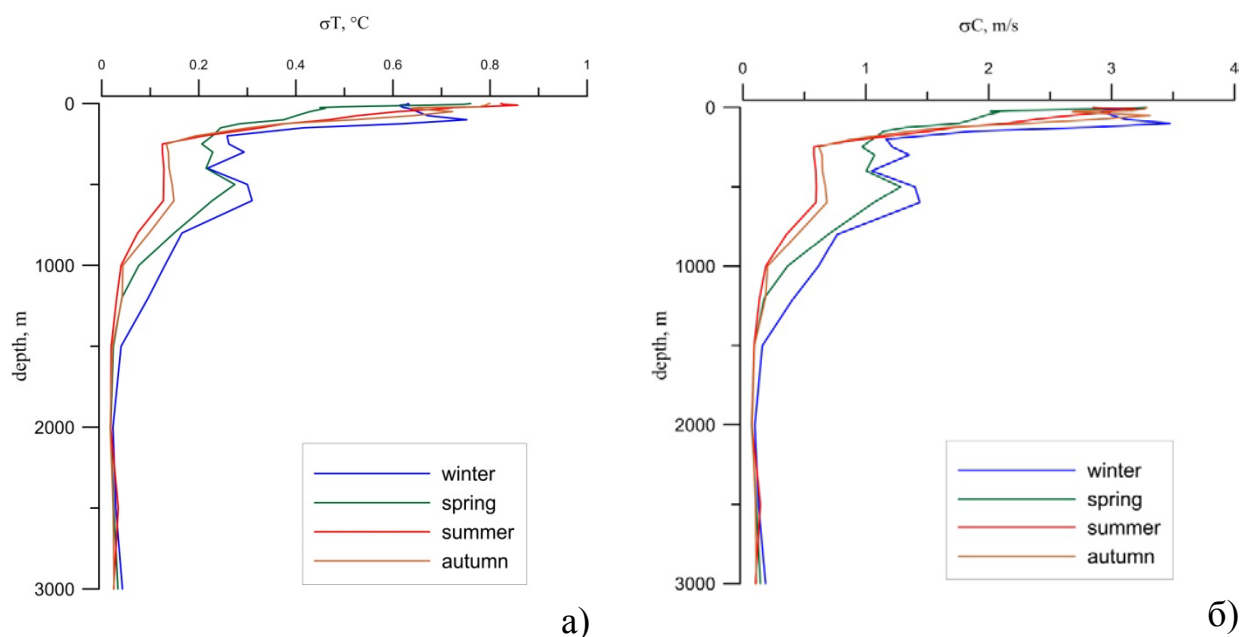
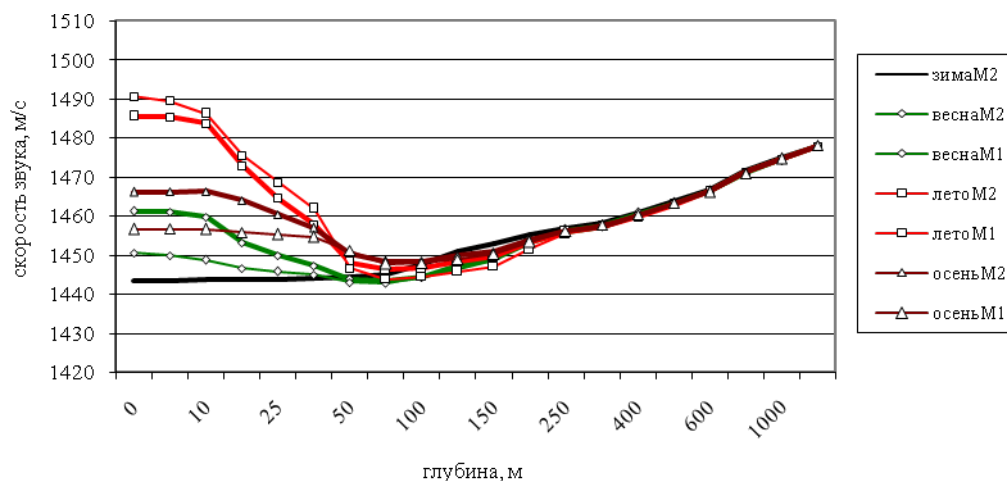


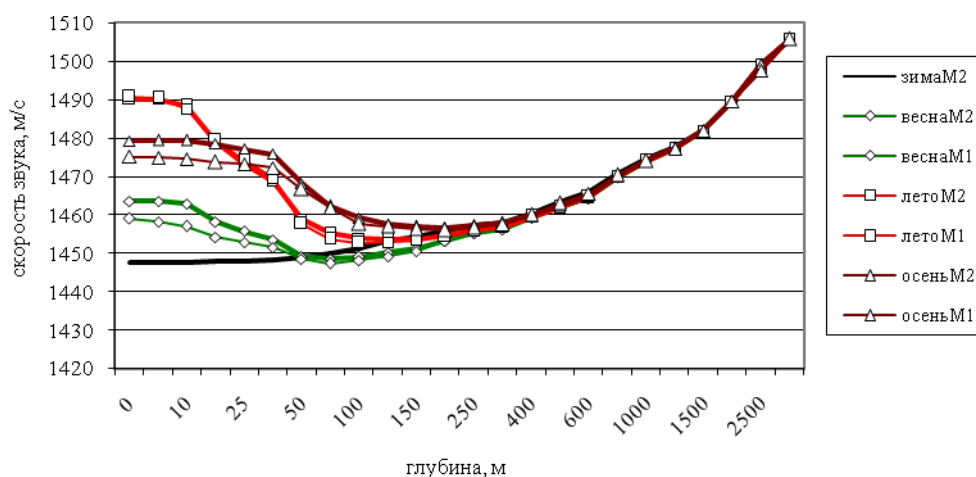
Рисунок 2.12 – Вертикальное распределение средних квадратических невязок температуры (а) и скорости звука (б) между двумя сеточными массивами по акватории моря

Помимо количественной оценки невязок выполнено сравнение формы вертикальных профилей скорости звука, полученных по массивам № 1 и № 2, оценена зависимость расхождений от освещённости данными наблюдений.

Выявлено, что наибольшие расхождения между результатами обработки двух массивов имеют место в районах, плохо освещённых данными наблюдений. На рисунке 2.13 (а) приведено вертикальное распределение скорости звука в плохо освещённой наблюдениями северной части моря, а на рисунке 2.13 (б) – в хорошо освещённой южной части моря, полученные по двум разным массивам.



а)



б)

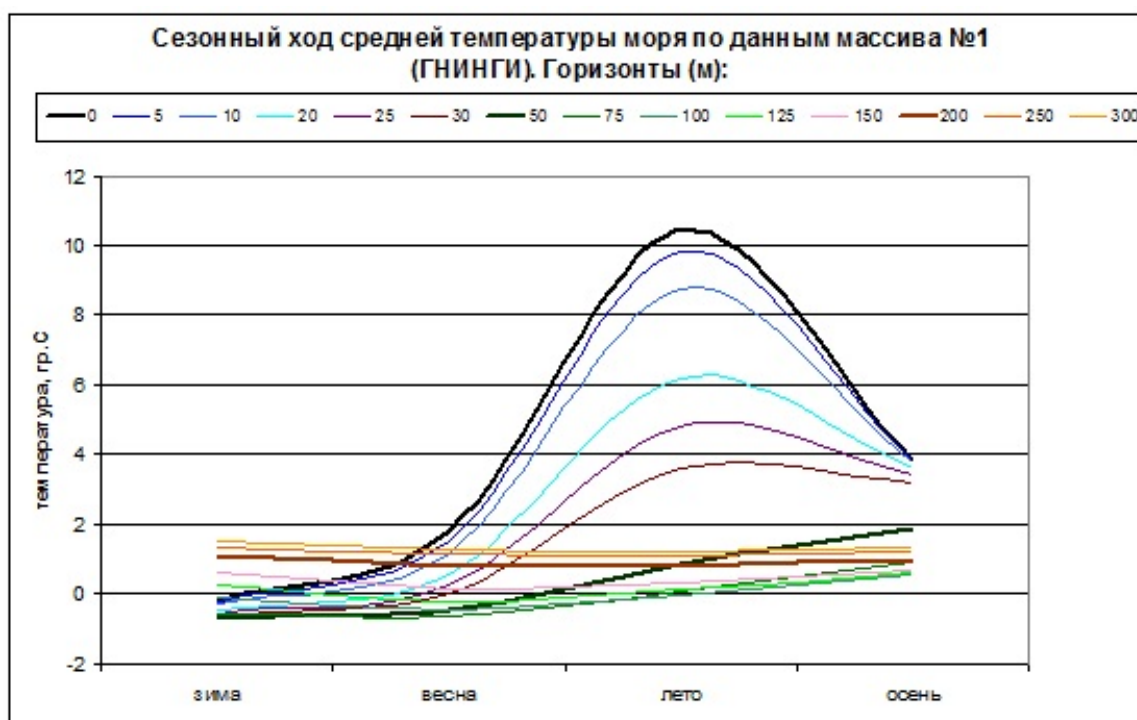
Рисунок 2.13 – Сравнение результатов расчёта среднего профиля скорости звука в северной (55–57 °с.ш., 145–150°в.д.) и южной (45–47 °с.ш., 145–150°в.д.) частях моря, полученных по двум массивам – M2 (NAVO) и M1 (ГНИНГИ)

Как видно из рисунка 2.13, в хорошо освещённом данными наблюдений южном районе моря, в летний период, отличия практически отсутствуют, в то время как в северных районах в переходные и в зимний период отличия по скорости звука в поверхностном слое достигают 10 м/с. Однако формы кривых вертикального распределения в целом хорошо согласуются между собой.

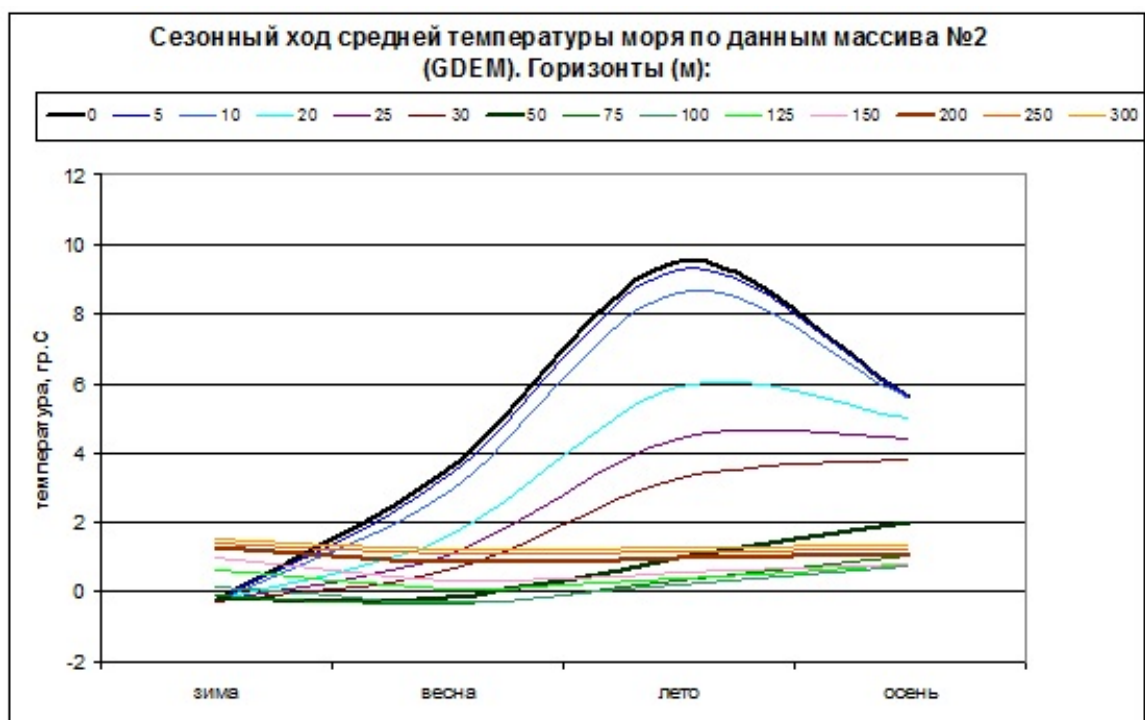
Дополнительно выполнено сравнение сезонного хода средней температуры моря на всех стандартных горизонтах, полученной по двум разным массивам. В качестве примера на рисунке 2.14 (а, б) приведён

сезонный ход средней температуры моря на стандартных горизонтах в деятельном (0–300 м) слое, полученный по массивам № 1 и № 2 соответственно.

Выполненная оценка показала высокую степень согласованности формы профилей, полученных по различным массивам данных, и формы кривых сезонного хода гидрофизических параметров.



а)



б)

Рисунок 2.14 – Сезонный ход средней температуры моря на стандартных горизонтах по данным массивов 1 (а) и 2 (б)

3 Разработка рекомендаций по использованию сеточной базы

В последние годы совершенствуется вычислительные и телекоммуникационные системы, применяются новые информационные технологии, в связи с этим решены проблемы накопления информации и ассимиляция больших объемов массивов данных. Так же есть открытый доступ к этой информации для эффективного использования информационных ресурсов. Например, база данных Generalized Digital Environmental Model (GDEM), так как разработчик этой базы NAVO ВМС США доступ к данным может в любой момент стать ограниченным. Поэтому важно иметь свою базу данных.

В настоящее время большой интерес представляют предметно-ориентированные информационно-справочные системы, которые содержат не только данные наблюдений, но и средства моделирования и визуализации данных.

Представленная база данных по Охотскому морю, содержит наиболее полную информацию, чем зарубежные базы данных. К тому же до настоящего времени на сайтах российских организаций информация представлена в виде каталогов метаданных или кратких описаний. Файл с базой океанологических данных для скачивания можно предоставить в формате Excel или netcdf.

3.1 Визуализация данных

На рисунке 3.1 выбрана точка с координатами 48.75 с.ш; 153.75 в.д.

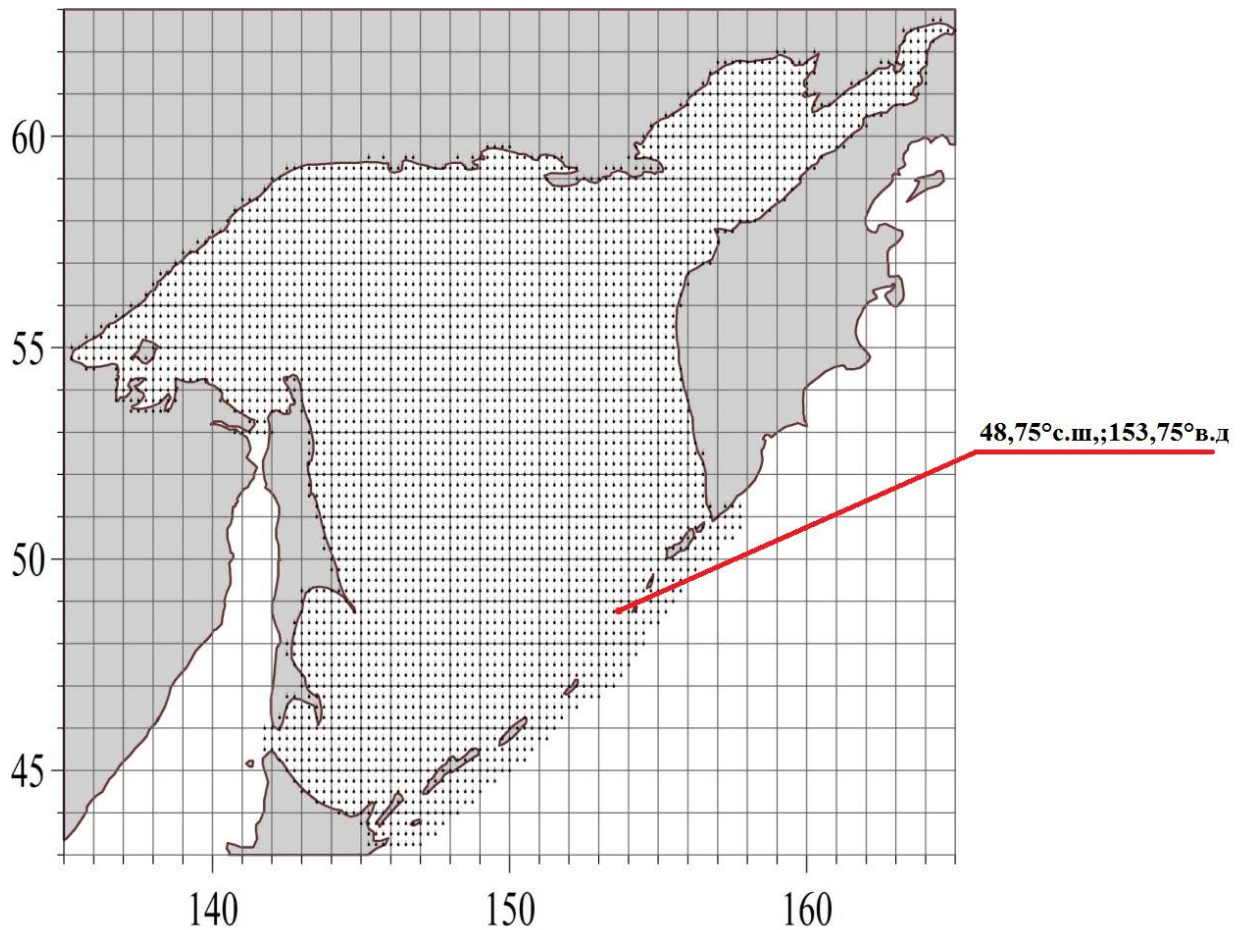
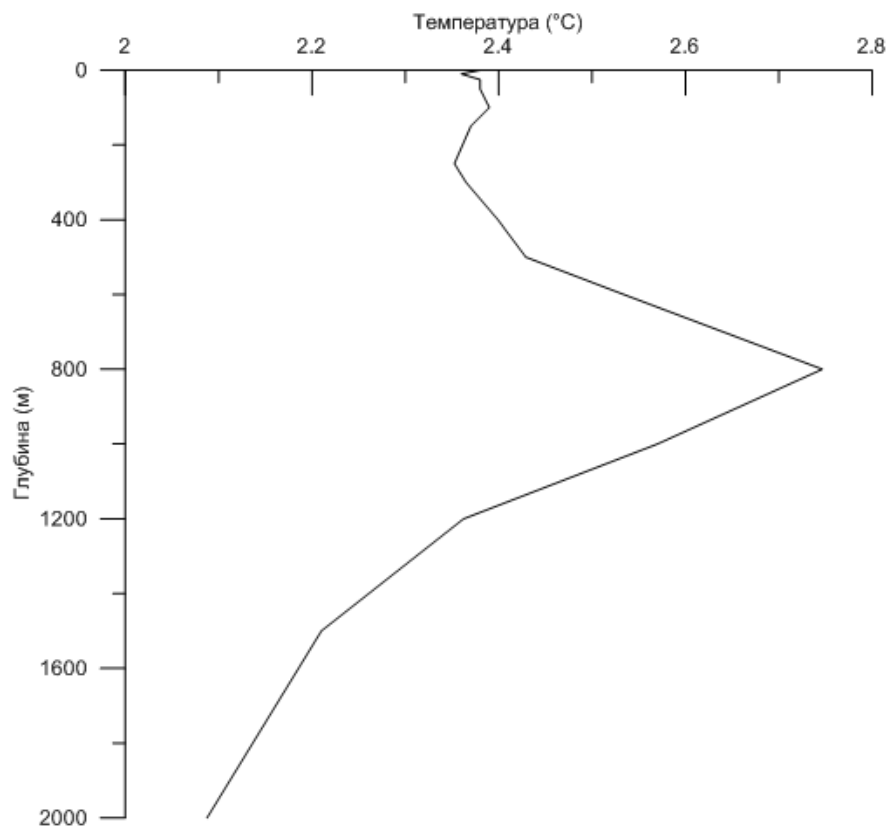
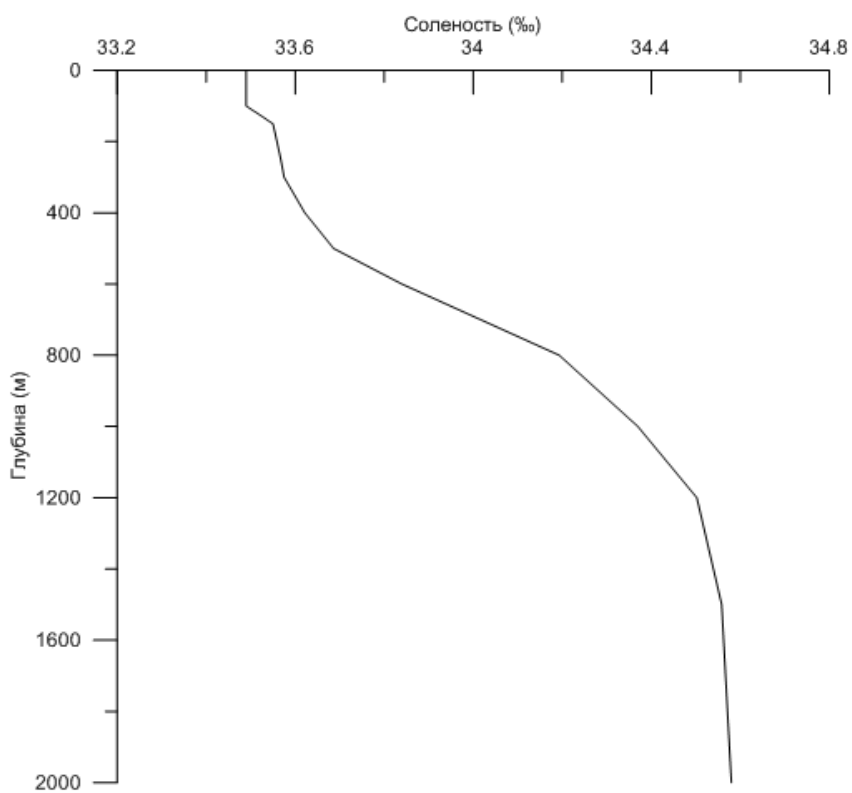


Рисунок 3.1 – Произвольно выбранная точка с координатами 48.75 с.ш;
153.75 в.д

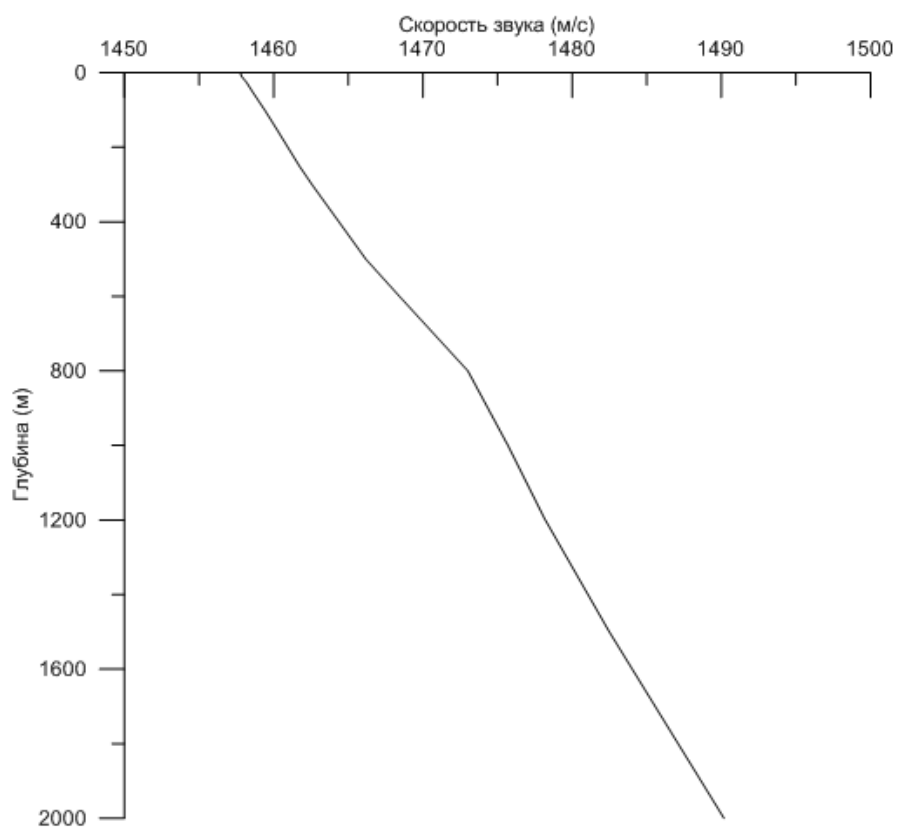
В этой точке мы можем увидеть вертикальное распределение температуры, солёности и скорости звука по сезонам: зима (декабрь, январь, февраль); осень (март, апрель, май); лето (июнь, июль, август); весна (сентябрь, октябрь, ноябрь), рисунки 3.2 (а, б, в), 3.3 (а, б, в), 3.4 (а, б, в), 3.5 (а, б, в).



а)



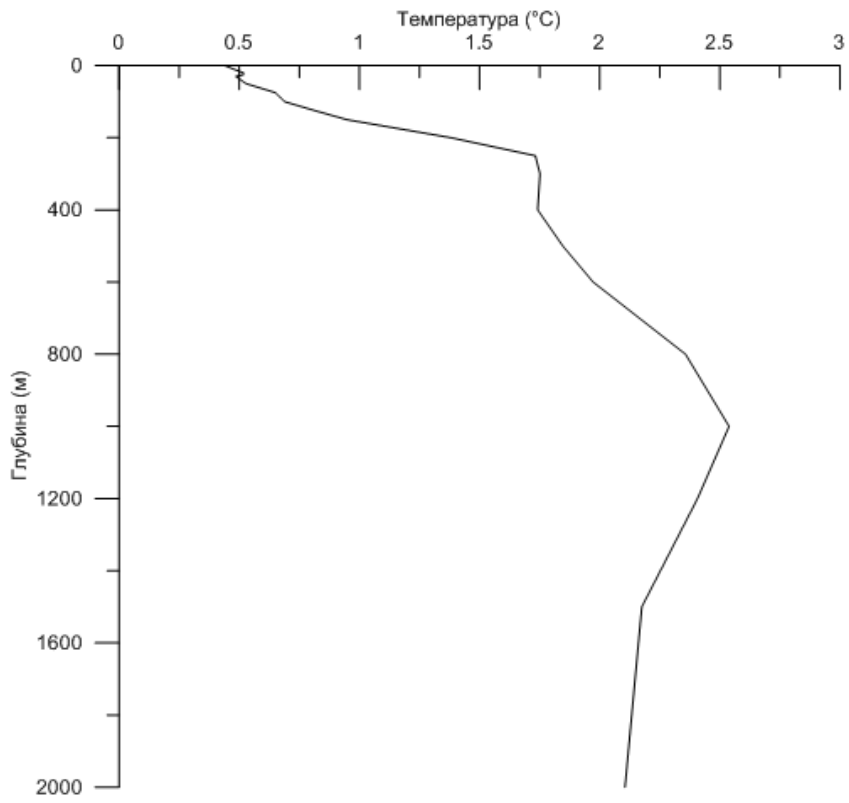
б)



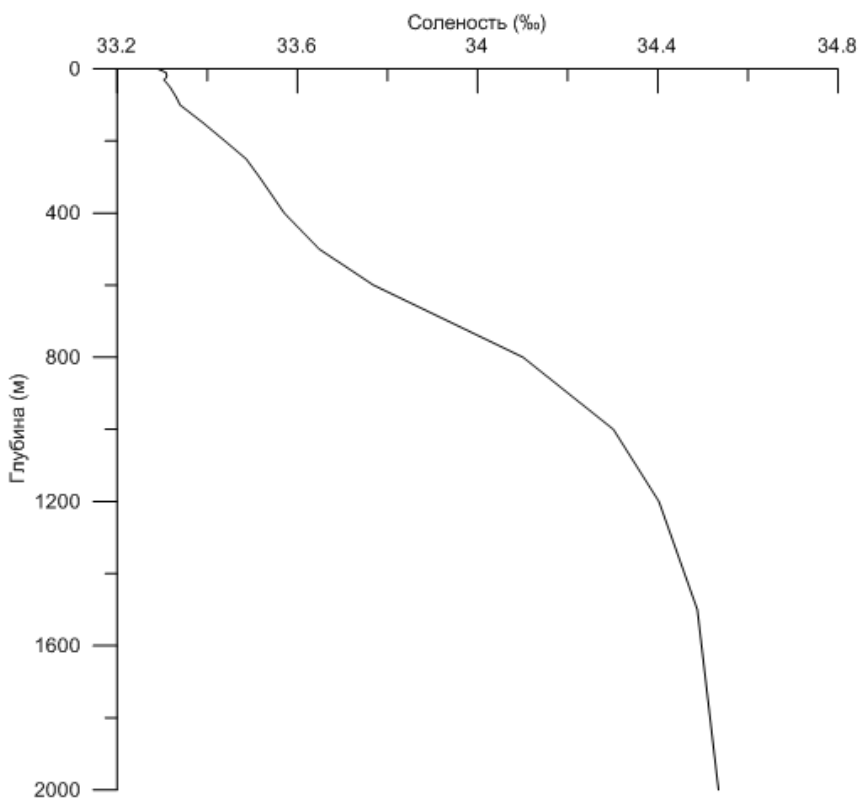
в)

Рисунок 3.2 – Вертикальное распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в зимний период в точке с координатами 48.75 с.ш; 153.75

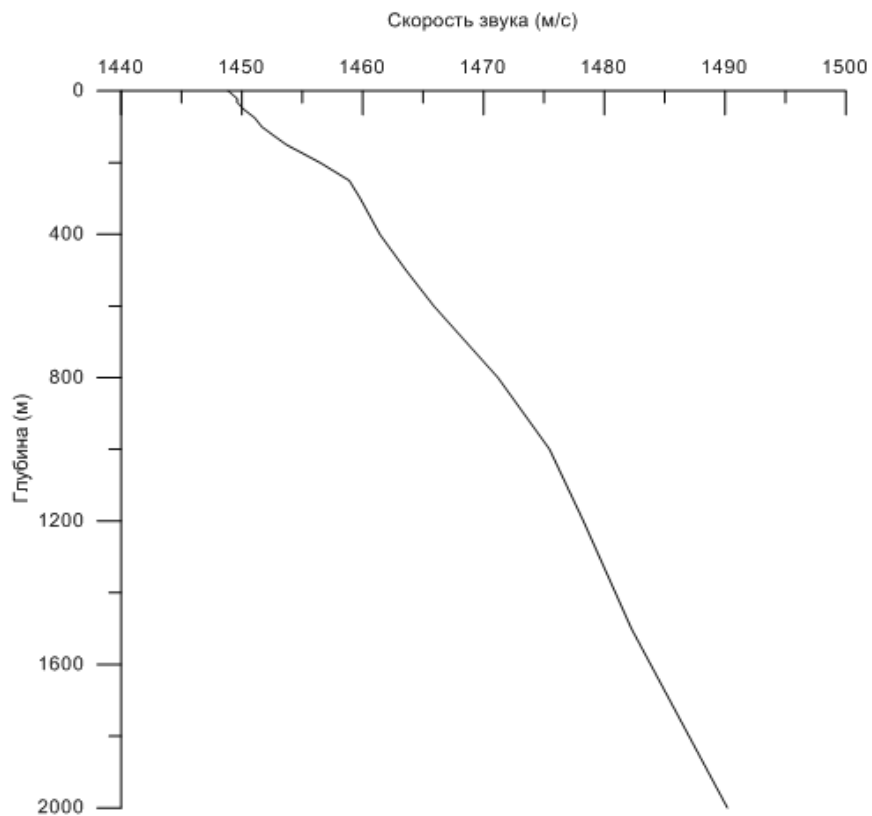
в.д



а)

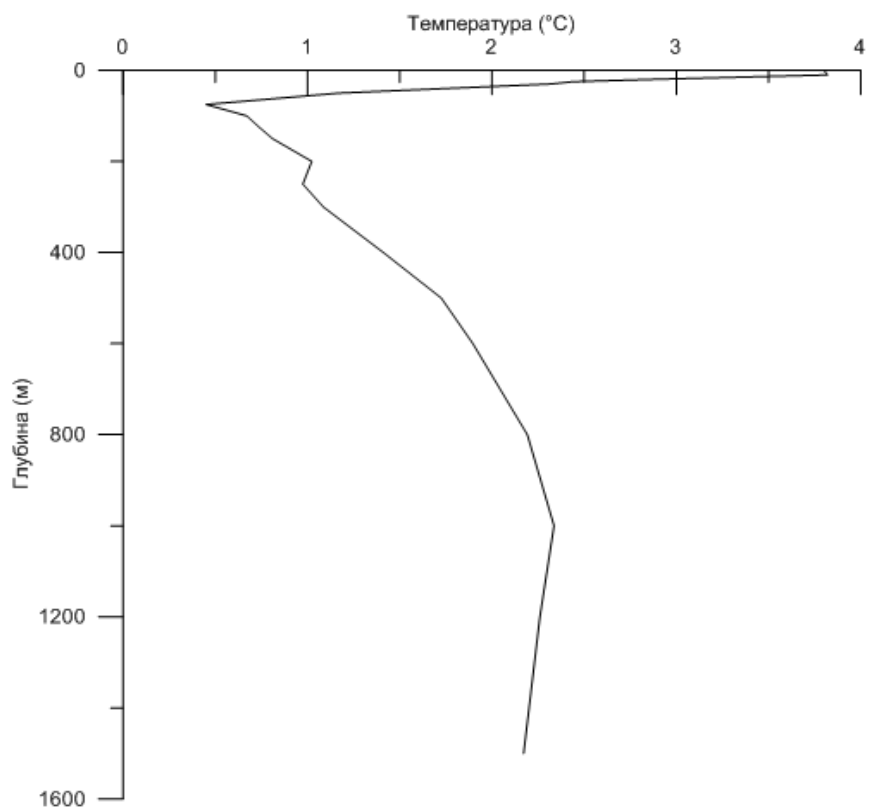


б)

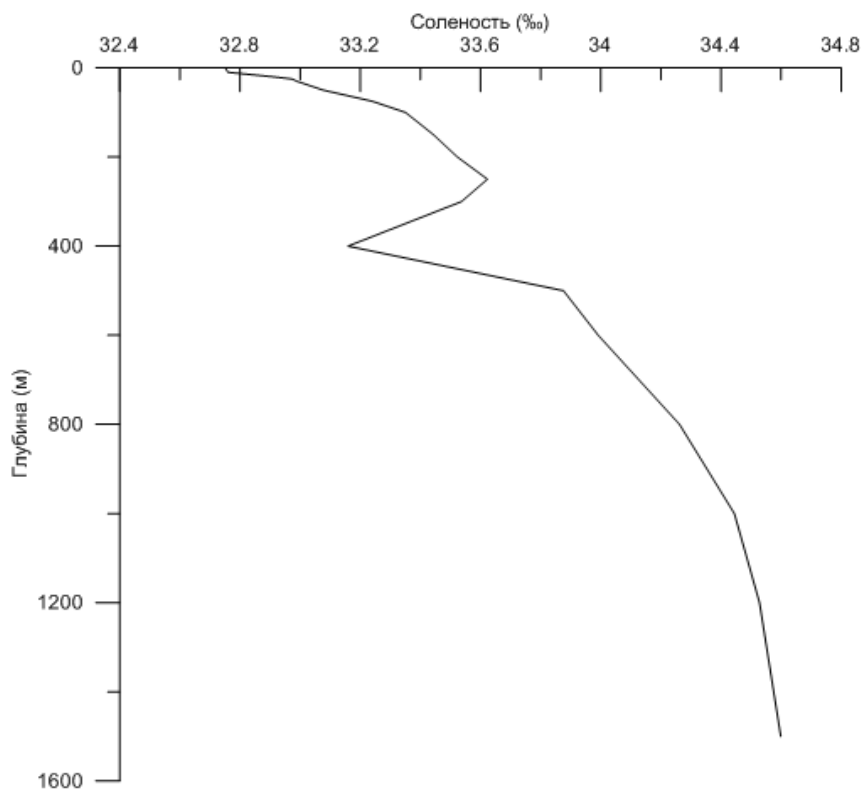


в)

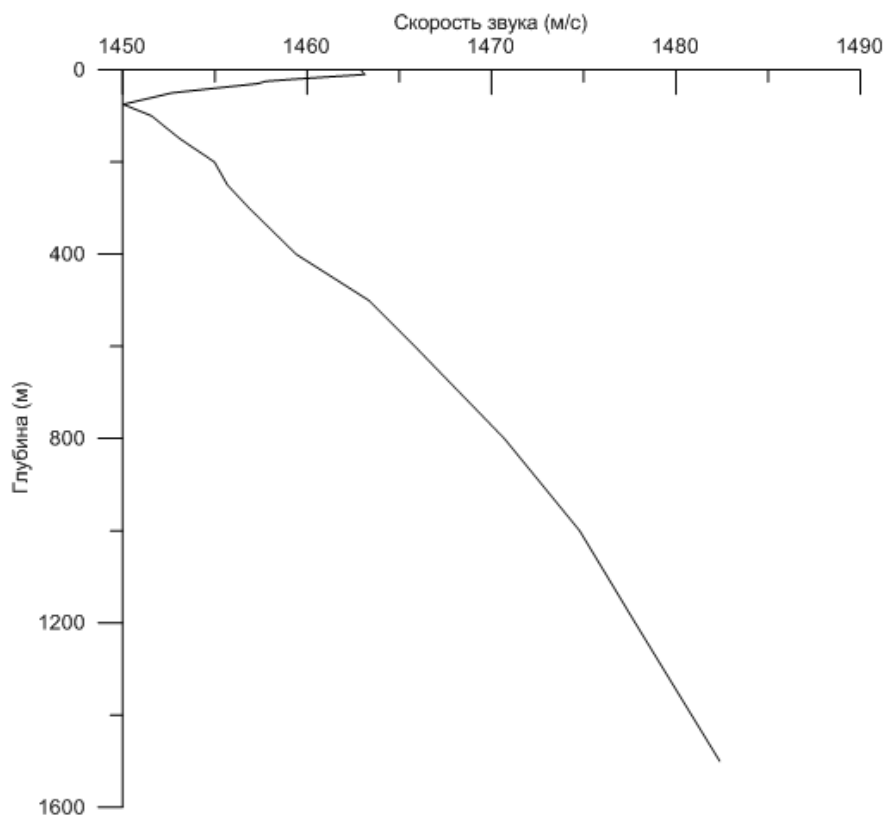
Рисунок 3.3 – Вертикальное распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в весенний период в точке с координатами 48.75 с.ш; 153.75 в.д



a)



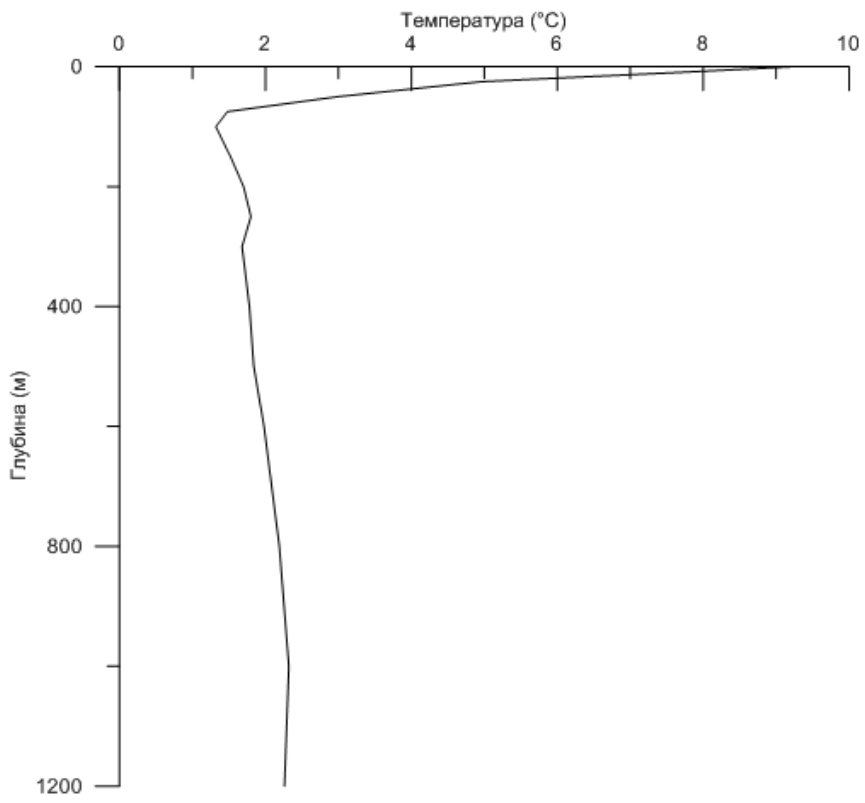
б)



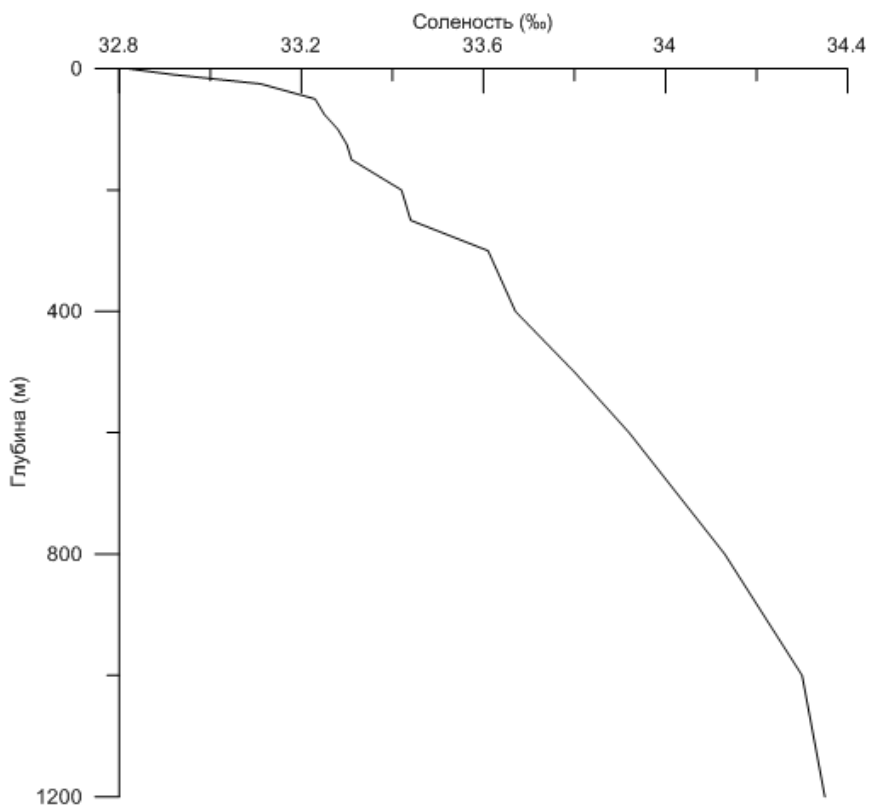
в)

Рисунок 3.4 – Вертикально распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в летний период в точке с координатами 48.75 с.ш; 153.75

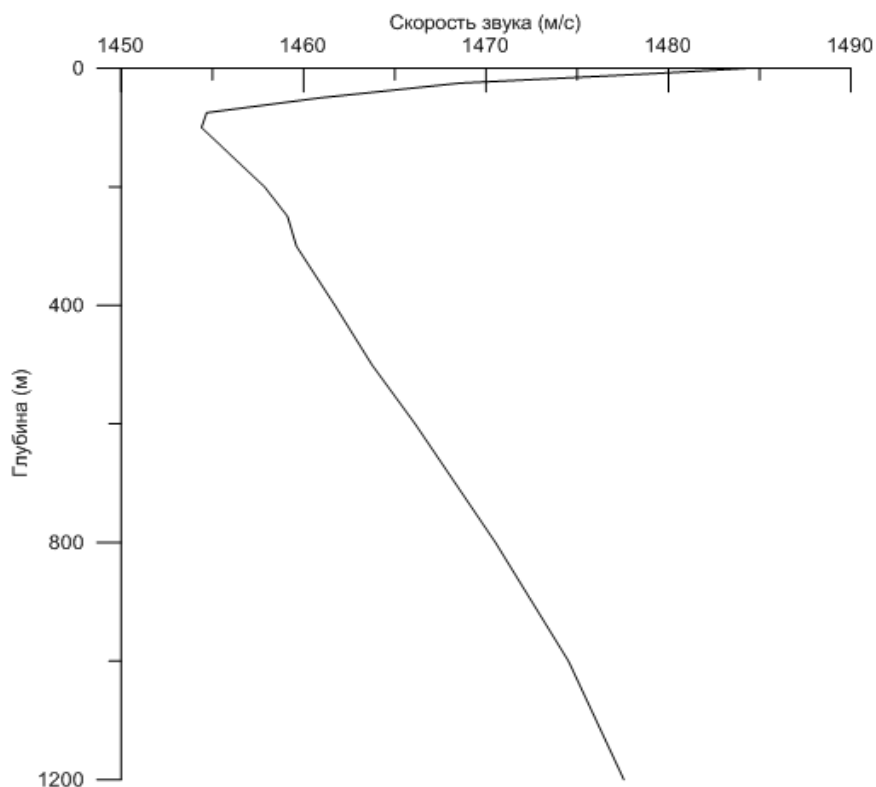
В.Д



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 – Вертикально распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в осенний период в точке с координатами 48.75 с.ш; 153.75

в.д

Выберем вторую точку, ближе к центру Охотского моря, с координатами 52.75 с.ш; 149.75 в.д, рисунок 3.6. Посмотрим вертикальное распределение температуры, солёности и скорости звука по сезонам: зима (декабрь, январь, февраль); осень (март, апрель, май); лето (июнь, июль, август); весна (сентябрь, октябрь, ноябрь), рисунки 3.7 (а, б, в), 3.8 (а, б, в), 3.9 (а, б, в), 3.10 (а, б, в).

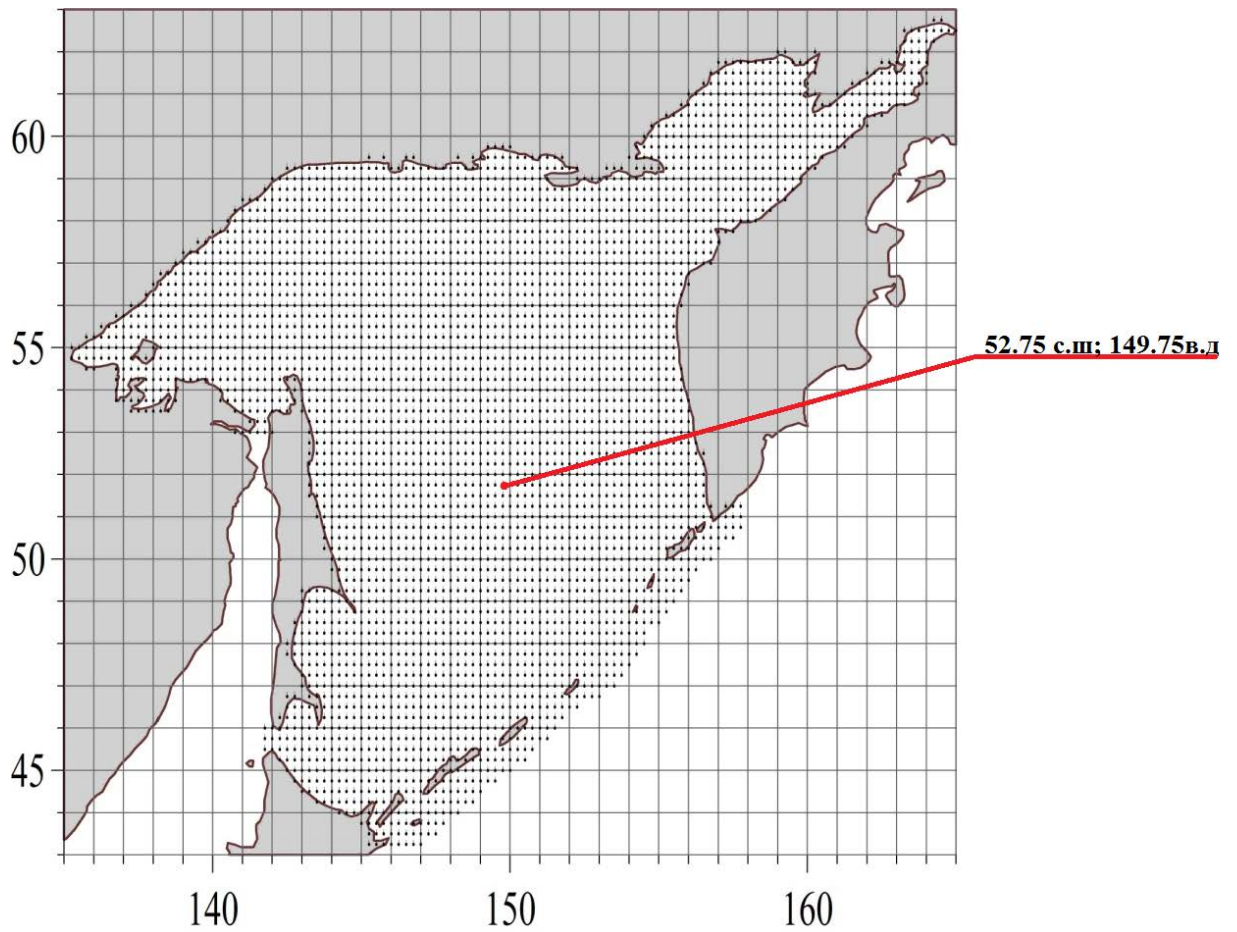
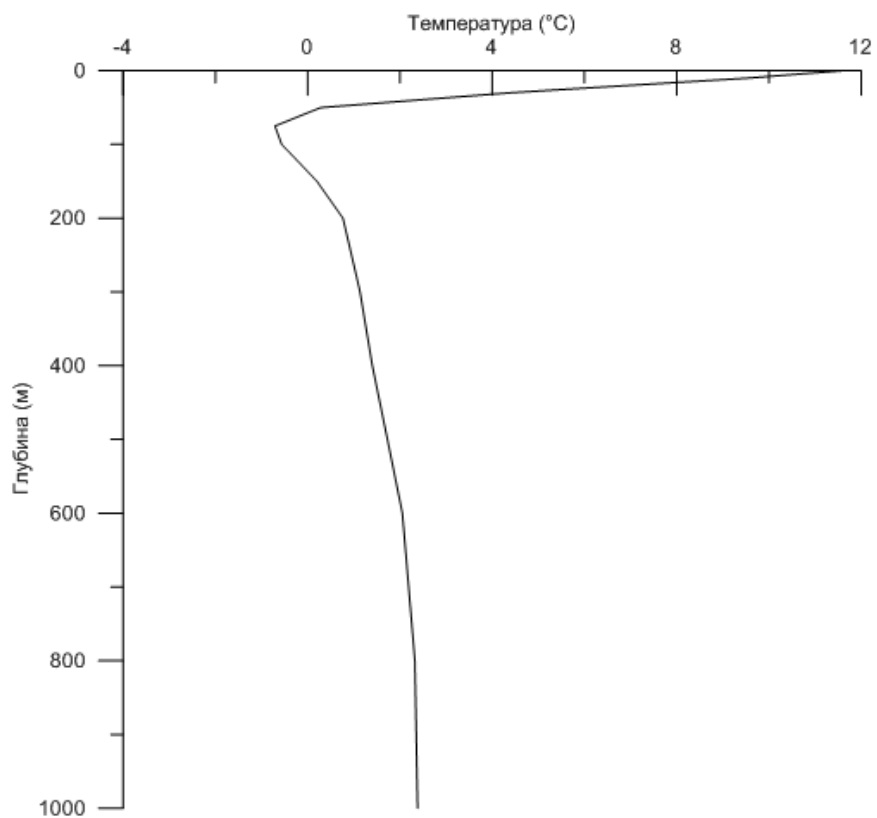
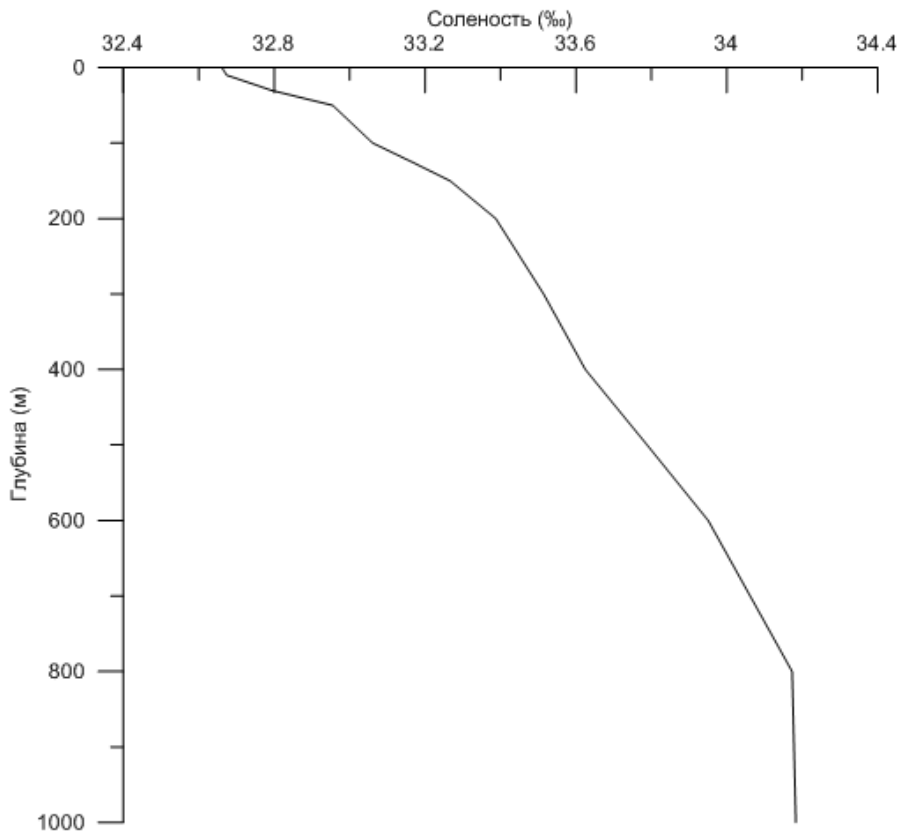


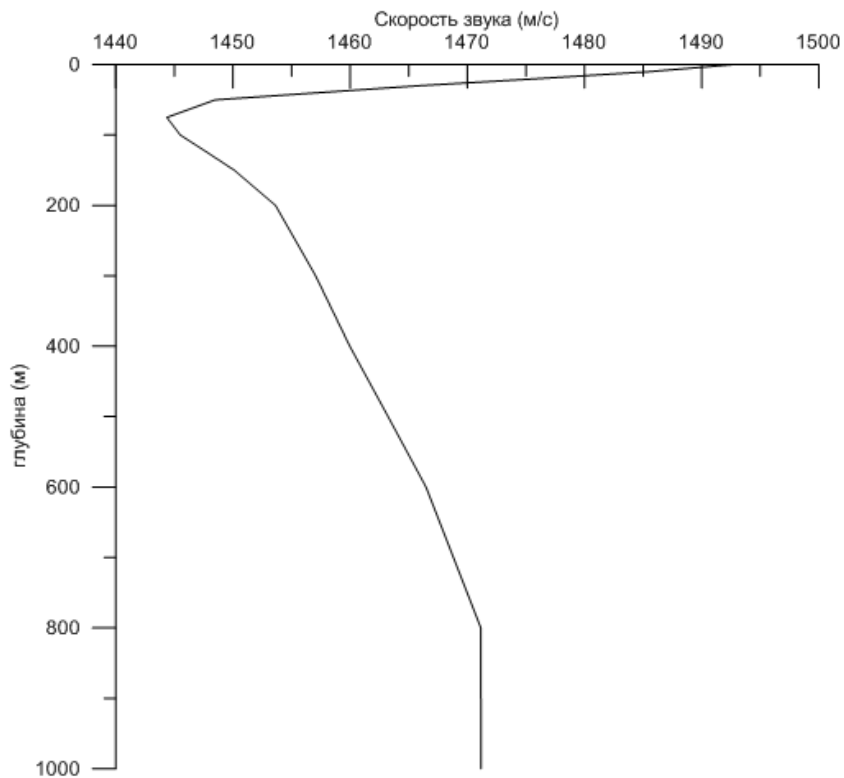
Рисунок 3.6 – Произвольно выбранная точка с координатами 52.75 с.ш;
149.75 в.д



а)

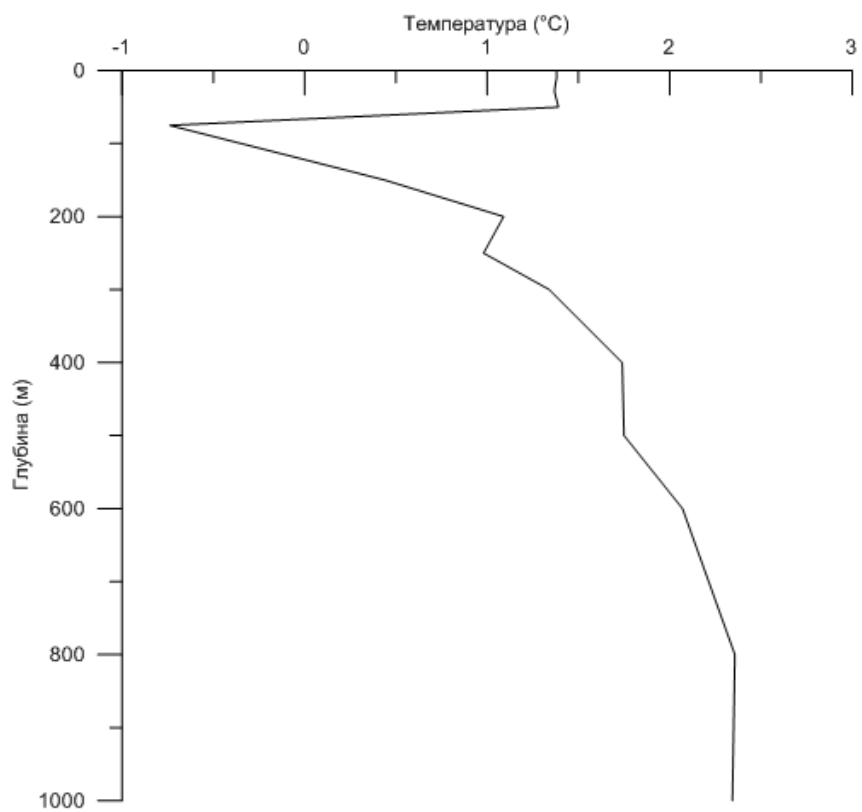


б)

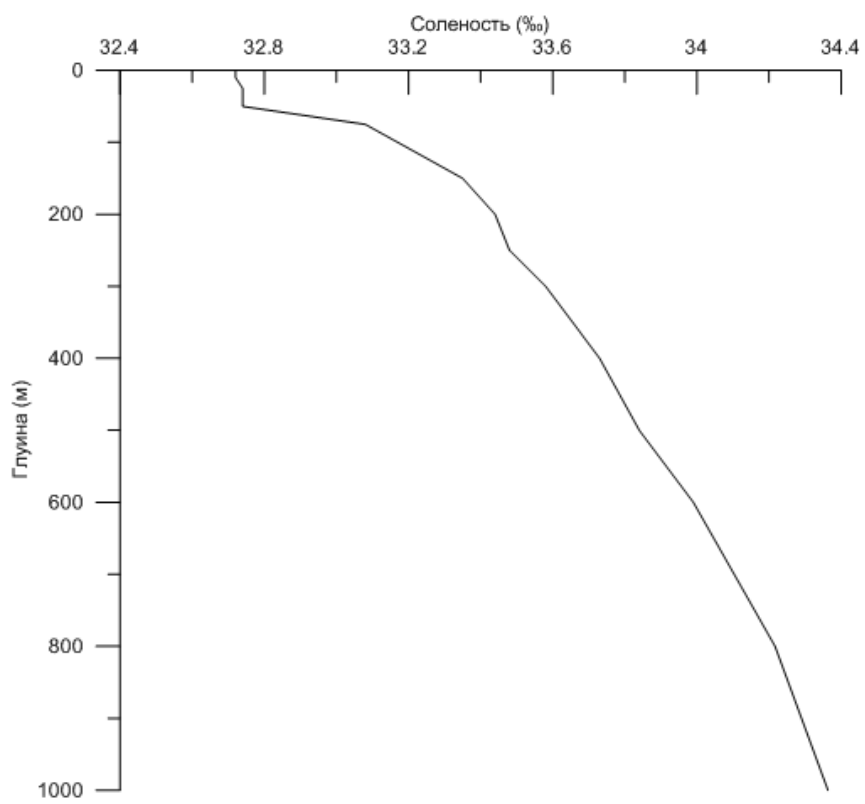


в)

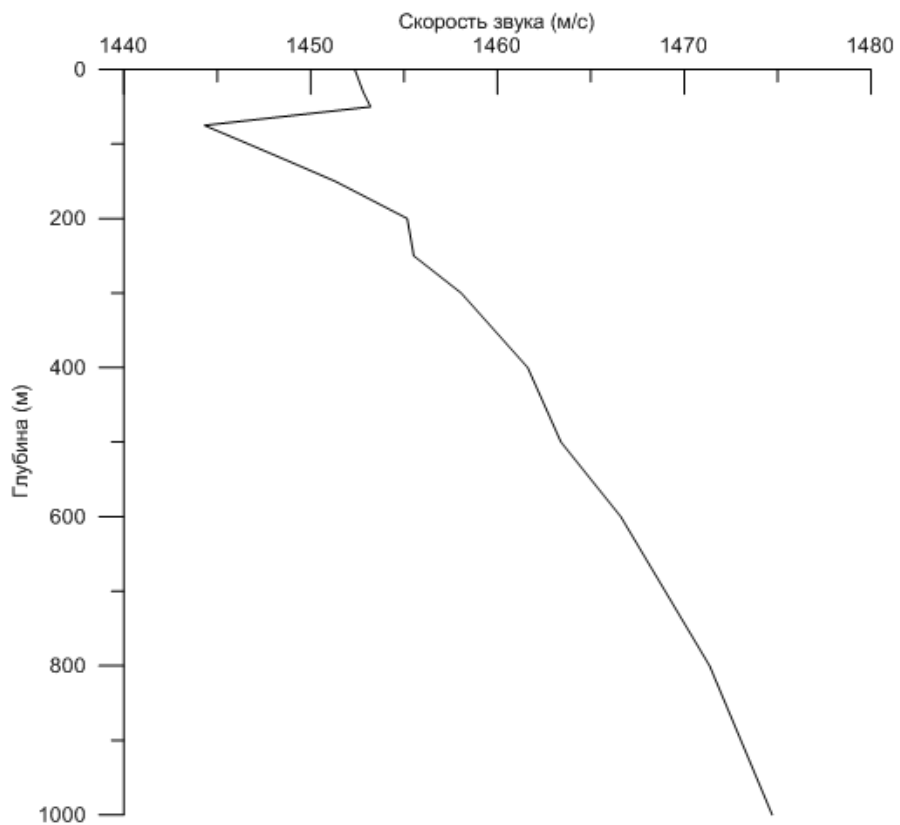
Рисунок 3.7 – Вертикально распределение температуры (а), солености (б), скорости звука (в) в летний период в точке с координатами 52.75 с.ш; 149.75в.д



а)

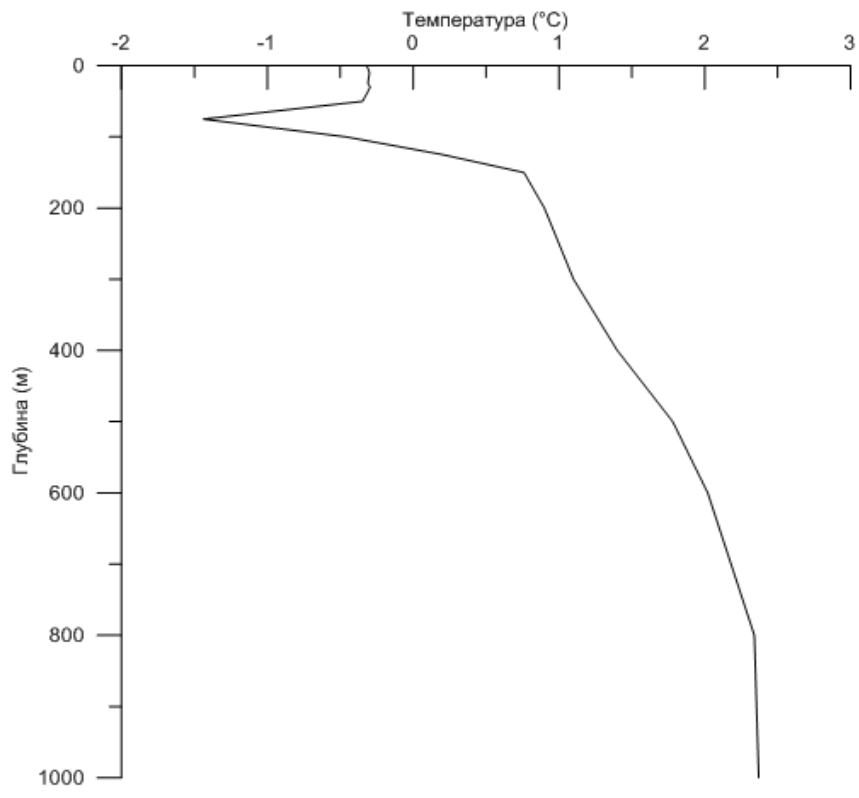


б)

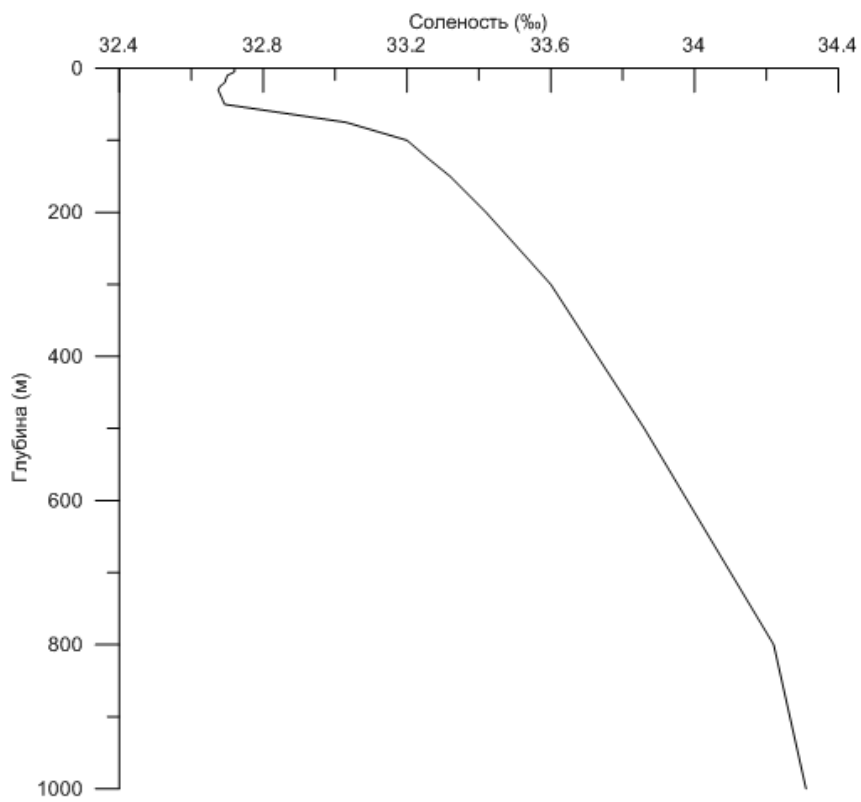


в)

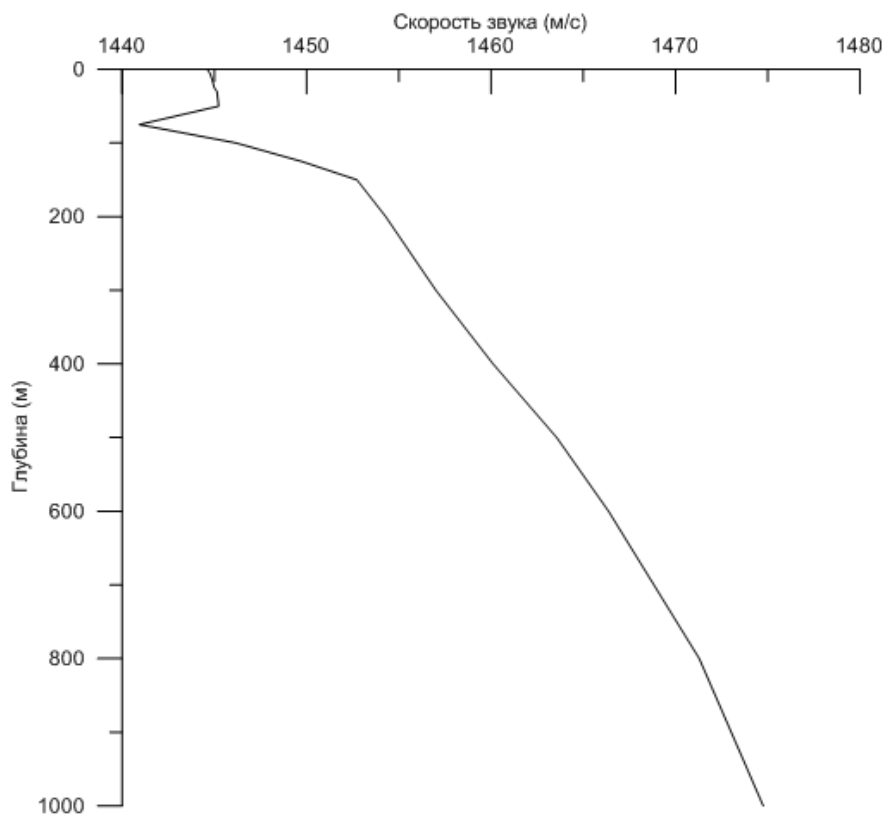
Рисунок 3.8 – Вертикально распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в осенний период в точке с координатами 52.75 с.ш; 149.75в.д



a)

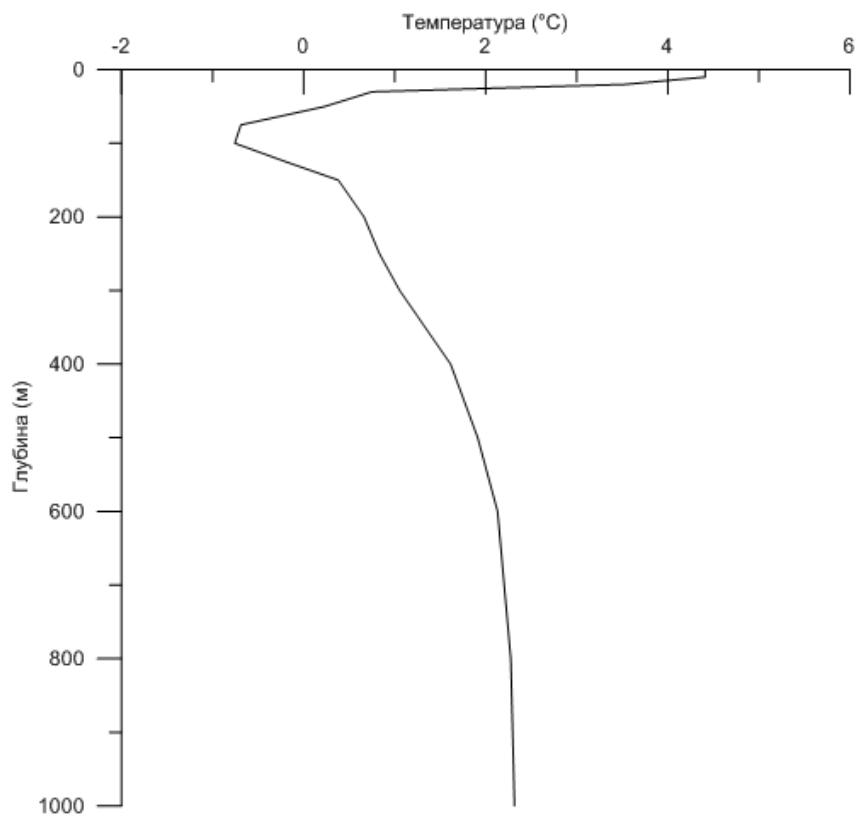


б)

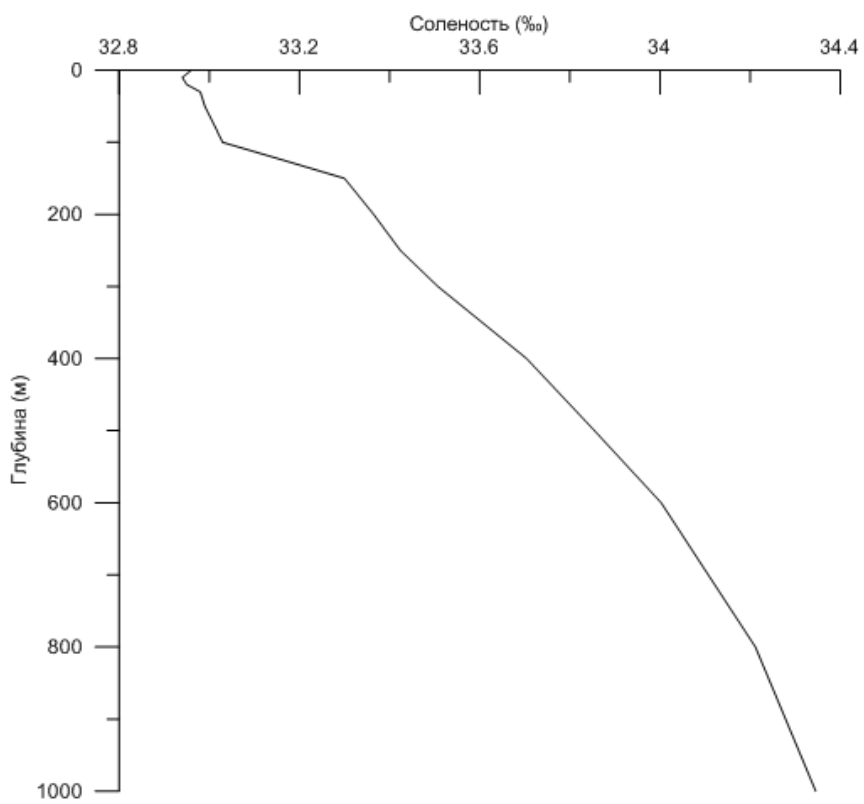


в)

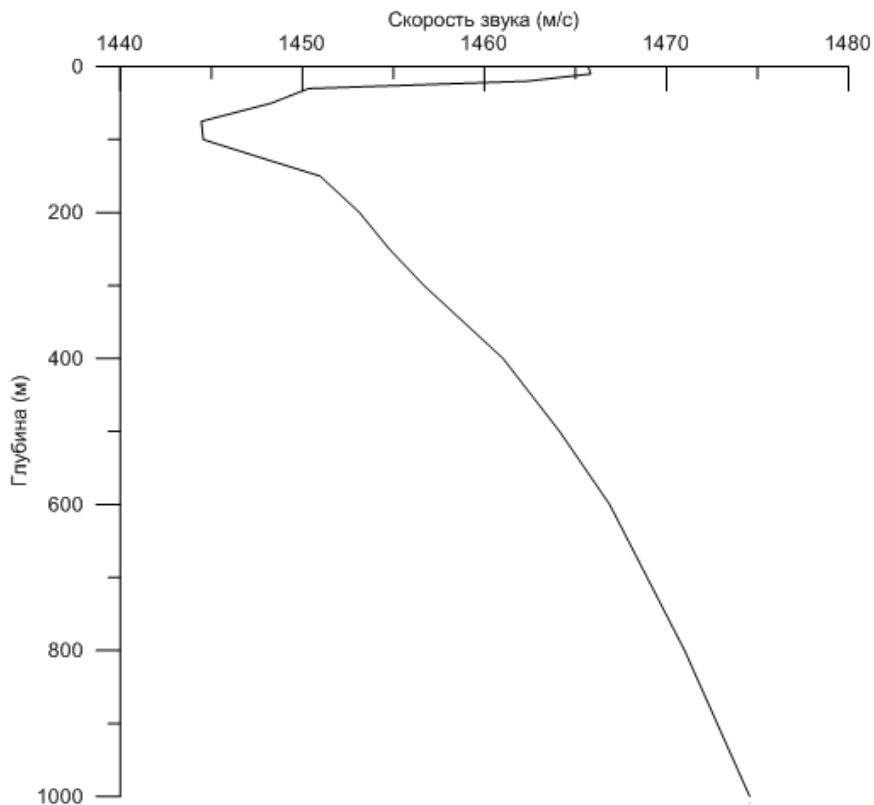
Рисунок 3.9 – Вертикально распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в зимний период в точке с координатами 52.75 с.ш; 149.75в.д



а)



б)



в)

Рисунок 3.10 – Вертикально распределение температуры (а), солёности (б), скорости звука (в) в весенний период в точке с координатами 52.75 с.ш; 149.75в.д

Распределение солёности на поверхности в Охотском море сравнительно мало изменяется по сезонам, так же характеризуется повышением солёности в восточной части, которая находится под воздействием тихоокеанских вод, и понижением в западной части, опресняемой материковым стоком. В западной части моря солёность на поверхности около 28 — 31‰, а в восточной она 31 — 33‰ и более (до 34.5‰ вблизи Курильской гряды). В северо - западной части Охотского моря, из-за опреснения солёность на поверхности 25‰ и менее, а толщина опресненного слоя около 30 — 40 м.

С возрастанием глубины в Охотском море происходит увеличение солёности. На Глубинах 300 — 400 м в западной части моря солёность равна 33,5‰, а в восточной около 33,8‰. На горизонте 100 м солёность равна

33,0‰ и с глубиной возрастает в пределах 1 — 1,5‰. В отдельных заливах и проливах значение солености и ее стратификация может значительно отличаться от открытого моря в зависимости от местных гидрологических условий.

Температура и соленость определяют величины и распределение плотности вод Охотского моря. Следовательно, более плотные воды наблюдаются зимой в северных и центральных покрытых льдом районах моря. Немного меньшее значение плотности наблюдается в более теплом районе, ближе к Курильским островам. Летом плотность воды уменьшается, ее наименьшие величины приурочены к зонам влияния берегового стока, а наибольшие отмечаются в районах распространения тихоокеанских вод. Плотность увеличивается с глубиной. Зимой она повышается сравнительно немного от поверхности до дна. Летом ее распределение зависит значения температуры в поверхностном слое, а на средних и нижних горизонтах от солености. В летнее время создается заметная плотностная стратификация вод по вертикали, заметно плотность увеличивается на горизонтах 25 — 35 — 50 м, это связано с прогревом вод в открытых районах и опреснением у берегов.

Вертикальное распределение океанологических характеристик в основном связаны из-за перемешивания вод Охотского моря. Ветровое перемешивание происходит во время года, когда на поверхности моря нет льда. Наиболее интенсивно оно протекает осенью и весной, когда над морем дуют сильные ветры, а стратификация вод выражена еще не очень резко. В это время ветровое перемешивание распространяется до горизонта 20 — 25 м от поверхности. Сильное охлаждение и мощное льдообразование в осенне-зимнее время способствует развитию конвекции в Охотском море. Однако она протекает неодинаково в его разных районах, что объясняется особенностями рельефа дна, поступлением тихоокеанских вод, климатическими различиями и другими факторами. Термическая конвекция в

большой части моря проникает до 50 — 60 м, так как происходит летний прогрев поверхностных вод, а в зонах влияния берегового стока и существенное опреснение вызывают расслоение вод по вертикали, что наиболее резко выражено на указанных горизонтах. Увеличение плотности поверхностных вод за счет охлаждения и вызванная этим конвекция не в состоянии преодолеть максимум устойчивости, расположенный на упомянутых горизонтах. В юго-восточной части моря, куда преимущественно распространяются тихоокеанские воды, наблюдается относительно слабая стратификация по вертикали, поэтому термическая конвекция распространяется здесь до горизонтов 150 — 200 м, где ее ограничивает плотностная структура вод.

Интенсивное льдообразование в большей части моря возбуждает усиленную термохалинную зимнюю вертикальную циркуляцию. На глубинах до 250 — 300 м она распространяется до дна, а ее проникновению на более значительные глубины препятствует существующий здесь максимум устойчивости. В районах с пересеченным рельефом дна распространению плотностного перемешивания в нижние горизонты способствует сползание вод по склонам. В целом Охотское море характеризуется хорошим перемешиванием его вод.

Особенности вертикального распределения океанологических характеристик, преимущественно температуры воды, указывают на то, что Охотскому морю свойственна субарктическая структура вод, в которой летом хорошо выражены холодный и теплый промежуточные слои. Более детальное изучение субарктической структуры в этом море показало, что в нем существуют охотоморская, тихоокеанская и курильская разновидности субарктической структуры вод. При одинаковом характере вертикального строения они имеют количественные различия в характеристиках водных масс.

На основе анализа T, S -кривых в сочетании с рассмотрением вертикального распределения океанологических характеристик в Охотском море выделяют следующие водные массы.

Поверхностная водная масса, имеющая весеннюю, летнюю и осеннюю модификации. Она представляет верхний максимум устойчивости, обусловленный в основном температурой. Эта водная масса характеризуется соответствующими каждому сезону величинами температуры и солености, на основе которых различаются ее упомянутые модификации.

Охотоморская водная масса формируется зимой из поверхностной воды и весной, летом и осенью проявляется в виде холодного промежуточного слоя, залетающего между горизонтами 40 — 150 м. Эта водная масса характеризуется довольно однородной соленостью (порядка 33 — 31,0‰) и различной от места к месту температурой. В большей части моря ее температура ниже 0° и доходит до -1,7°С, а в районе Курильских проливов она бывает выше 1°.

Промежуточная водная масса формируется в основном за счет опускания вод по склонам дна, в пределах моря располагается от 100 — 150 до 400 — 700 м и характеризуется температурой 1,5°С и соленостью 33,7‰. Эта водная масса распространена почти повсюду, кроме северо-западной части моря, залива Шелихова и некоторых районов вдоль берегов Сахалина, где охотоморская водная масса доходит до дна. Толщина слоя промежуточной водной массы, в целом уменьшается с юга на север.

Глубинная тихоокеанская водная масса представляет собой воду нижней части теплой прослойки Тихого океана, которая поступает в Охотское море на горизонтах ниже 800—2000 м, т. е. ниже глубины опускающихся в проливах вод, и в море проявляется в виде теплого промежуточного слоя. Эта водная масса расположена на горизонтах 600—1350 м, имеет температуру 2 –

2,5°C и соленость около 34,3‰. Однако ее характеристики изменяются в пространстве. Наиболее высокие значения температуры и солености отмечаются в северо-восточном и частично в северо-западном районах, что связано здесь с подъемом вод, а самые малые величины характеристик свойственны западным и южным районам, где происходит опускание вод.

Водная масса Южной котловины имеет тихоокеанское происхождение и представляет собой глубинную воду северо-западной части Тихого океана с горизонта 2300 м, соответствующего максимальной глубине порога в Курильских проливах (пролив Буссоль). Такая водная масса в целом заполняет названную котловину от горизонта 1350 м и до дна. Характеризуется температурой 1,85°C и соленостью 34,7‰, эти параметры незначительно изменяются с глубиной [22].

Заключение

В процессе исследований получены следующие результаты:

1. На основе отечественных и зарубежных данных (данных АО «ГНИНГИ» и международного массива данных WOD13) сформирован массив исходных данных по температуре и солёности воды.

2. Выполнены необходимые процедуры контроля качества созданного массива. Оценена степень освещённости моря данными наблюдений. Выявлена недостаточная степень освещённости северных и центральных районов моря.

3. Выполнены необходимые процедуры по созданию сеточной базы скорости распространения звука в воде на основе данных АО «ГНИНГИ» и WOD13.

4. Выполнено сравнение результатов расчёта средних полей скорости звука по сформированному массиву с сеточным массивом данных GDEM NAVO ВМС США. Выявлено, что средние квадратические невязки между значениями скорости звука, рассчитанные по двум массивам данных, в целом по морю в поверхностном слое достигают 3 м/с, быстро уменьшаясь глубже 500 м. При этом расхождения между оценками скорости звука в слабоосвещённых данными наблюдений районах растут и в поверхностном слое достигают 10 м/с.

5. Сравнительный анализ результатов показал высокую степень согласованности формы профилей и кривых сезонного хода гидрофизических параметров, полученных по различным массивам данных. Это обстоятельство позволило принять решение о создании интегрированной сеточной базы данных средней скорости распространения звука в воде на основе осреднения результатов обработки массивов АО «ГНИНГИ» и WOD13.

6. Разработана рекомендация по применению и визуализации базы данных.

Список использованной литературы

1. <https://geographyofrussia.com>.
2. <http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx>.
3. ГОСТ 18451-73–ГОСТ 18458-73. Океанология. Термины и определения [Текст]: разработ. ГОИН, ВНИИКИ; введ. 21.02.1973. – М.: изд-во стандартов, 1973. – 14 с.
4. World Ocean Database 2013 [Electronic resource]: User's Manual / D. R. Johnson, T. P. Boyer, H. E. Garcia [et al.]; Ed.: S. Levitus; Technical Ed.: A. Mishonov // NODC Internal Report 22, NOAA Printing Office, Silver Spring, MD, 2013. – 172 pp. – URL: www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/docwod13.html.
5. Лямзина В. Г. Состояние разработки интегрированных баз океанографических данных в НИЦ ГНИНГИ МО РФ [Текст]: статья / В. Г. Лямзина, С. И. Мастрюков // Навигация и гидрография. – СПб.: ГНИНГИ, 2004. – № 19. – 125–130 с.
6. Data Sets and Products: World Ocean Database and World Ocean Atlas Series [Electronic resource]: electronic data // National Oceanographic Data Center; NOAA Satellite and Information Service. – USA, Washington. – URL: www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/.
7. World Ocean Atlas 2013 [Text]: documentation / R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, J. I. Antonov [et al.] / S. Levitus, Ed.; A. Mishonov, Technical Ed. // NOAA Atlas NESDIS 73, 2013. – Vol. 1: Temperature. – 40 pp.
8. GEODAS-NG Desktop Software [Electronic resource]: electronic data // NOAA, NESDIS, NCEI (formerly NGDC), Marine Geology & Geophysics. – URL: www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/.
9. Границы океанов и морей [Текст]: научное издание. – Л.: Изд. ГУНиО МО РФ, 2000. – Адм. № 9031. – 254 с.
10. Reineger, R.F. and Ross, C.F. A method of interpolation with application to oceanographic data. Deep-Sea Res. 1968, v. 15, p. 185-193 с.

11. Quality control and processing of historical oceanographic temperature, salinity and oxygen data [Text]: NOAA technical report. – Washington D.C., 1994. – NESDIS 81. – 64 с.
12. Методические рекомендации по контролю качества гидролого-гидрохимических данных [Текст]: методические материалы // НИЦ ГНИНГИ МО РФ. – УТВ. Нач. ГУНиО МО 16.12.2002. – ГНИНГИ МО, 2001. – 43 с.
13. Матрюков, С. И. Технология контроля качества данных батитермографных наблюдений НИЦ ГНИНГИ МО [Текст]: статья / С. И. Матрюков, В. Ю. Тугарев // Навигация и гидрография. – 2000. – № 11. – 105–109 с.
14. GTSP real-time quality control manual. UNESCO Manual and Guedes № 22, 1990–121с.
15. Rattray, M. Interpolation errors and oceanographic sampling. Deep-Sea Res., 1962, v. 9, 25-37с.
16. Агошков В.И., Ассовский М.В., Гиниатулин С.В. Захарова Н.Б., Куимов Г.В., Пармузин И.Е., Фомин В.В. Информационно-вычислительная система ва-риационной ассимиляции данных наблюдений ИВС «ИВМ РАН – Черное море» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. научн. тр. Вып. 26, том 2 / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Редкол.: Иванов В.А. (гл. ред.) и др. – Севастополь, 2012, 352-360 с.
17. Клюквин Л. Н. О методике интерполяции океанографических характеристик с помощью ЭВМ. — Труды ААНИИ, 1977, т. 342, с. 64—79.
19. Hennion P. E. Algorithm 77 — interpolation, differentiation, and integration.— Communications of the ACM, 1962, vol. 5, N 2, 96 с.
- 18 Petrasova A., Harmon B., Petras V., Mitasova H. Tangible Modeling with Open Source GIS. Springer International Publishing, 2015. 135 с.
20. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater [Text]: documentation // UNESCO technical report in marine science. – 1983. – № 44. – 53 с.

21. Brainered, K.E. Surface mixed and mixing layer depth [Text]: article / K.E.Brainered, M.C. Gregg // Deep-Sea Res. – 1995. – V. 42. –№ 9. –. 1521–1543 с.
22. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М., Изд-во МГУ, 1982 г., 192 с.
23. Дубина, В. А. Течения Охотского моря по спутниковым данным и результатам численного моделирования [Текст]: статья / В. А. Дубина, П. А. Файман, И. А. Жабин, В. И. Пономарёв, Ю. А. Кузлякина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. – Т. 9. – № 1. –206–212 с.
- 24.. NCEP Global Ocean Data Assimilation System (GODAS) [Electronic resource]: electronic data // U.S. department of Commerce, NOAA, ESRL, PSD. – URL: www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.godas.html.
25. Penny, S. G. A hybrid global ocean data assimilation system at NCEP [Text]: article / S. G. Penny, D. W. Behringer, J. A. Carton, E. Kalnay // Monthly weather review, 2015. – V. 143., 4660–4677 с. – URL: journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/MWR-D-14-00376.1.
26. Copernicus – Marine Environment Monitoring Service [Electronic resource]: electronic data // European Commission. – URL: marine.copernicus.eu/.
27. Product User Manual for Global Physical Analysis and Coupled System Forecasting Product: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_001_015 [Electronic resource]: documentation / C. Harris, E. Blockley, M. Price // EU Copernicus Marine Service–Public. – App. Date: 11/07/2017. – 21 с. – URL: <http://cmems-resources.cls.fr/documents/PUM/CMEMS-GLO-PUM-001-015.pdf>.
28. Lea, D. J. Assessing a new data assimilation system based on the Met Office coupled atmosphere-land-ocean-sea ice model [Text]: article / D. J. Lea, I. Mirouze, M. J. Martin [et al.] // Monthly Weather Review, 2015. – № 143. – P. 4678–4694.
29. Product User Manual for Global Physical Analysis and Coupled System Forecasting Product: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024

[Electronic resource]: documentation / L.Noel // EU Copernicus Marine Service–Public. – App. date: 21/09/2016. – 22 p. – URL: <http://cmems-resources.cls.fr/documents/PUM/CMEMS-GLO-PUM-001-024.pdf>.

30. Tranchant, B. Evaluation of an operational ocean model configuration at 1/12° spatial resolution for the Indonesian seas (NEMO2.3/INDO12) [Text]: article / B. Tranchant, G. Reffray, E. Greiner [et al.] // Geosci. Model Dev. – Part 1: Ocean physics. – 2016. – № 9. – P. 1037–1064.

31. Захарова Н.Б., Лебедев С.А. Алгоритмы интерполяции и экстраполяции оперативных геофизических данных наблюдений // Сборник статей молодых ученых факультета ВМиК МГУ. – М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова; МАКС Пресс, 2009. - Выпуск 6, 177-188 с.

32. Агошков В.И., Ассовский М.В., Гиниатулин С.В. Захарова Н.Б., Куимов Г.В., Пармузин И.Е., Фомин В.В. Информационно-вычислительная система ва-риационной ассимиляции данных наблюдений ИВС «ИВМ РАН – Черное море» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. научн. тр. Вып. 26, том 2 / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Редкол.: Иванов В.А. (гл. ред.) и др. – Севастополь, 2012, 352-360 с.

33. Клюквин Л. Н. О методике интерполяции океанографических характеристик с помощью ЭВМ. — Труды ААНИИ, 1977, т. 342, с. 64—79.

34. Rattray M. Interpolation errors and oceanographic sampling. — Deep -Sea Res., 1962, vol. 9, N 1, 25—37 с.

35. Hennion P. E. Algorithm 77 — interpolation, differentiation, and integration.— Communications of the ACM, 1962, vol. 5, N 2, p. 96.

36. Reiniger R., Ross C. A method of interpolation with application to oceanographic data. — Deep-Sea Res., 1968, vol. 15, N 2, с. 185— 193.

37. А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копчёнова. Вычислительные методы для инженеров. — М.: Изд. Высшая школа, 1994, с. 182-230.

38. Захарова Н.Б., Лебедев С.А. Интерполяция оперативных данных буев ARGO для ассимиляции данных в модели циркуляции Мирового океана //

Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. Том 7. Номер 4. - М.: ООО "ДоМира", 2010, с.104-111.

39. oceanographic data. Deep-Sea Res. 1968, v. 15, p. 185-193.

40. Rattray, M .. Interpolation errors and océanographie sampling. Deep-Sea Res.,1962, v. 9, 25-37 с.

41. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб., для вузов. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк. , 2007. – 343 с.