



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Океанологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

«Межгодовая изменчивость площади льда в Охотском море»

Исполнитель: Князев Егор Олегович

Научный руководитель: Кандидат физико-математических наук

Подрезова Надежда Алексеевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«20» июня 2023 г.

Санкт-Петербург

2023 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Океанологии**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(бакалаврская работа)

**«Межгодовая изменчивость площади льда в Охотском море»**

**Исполнитель:** Князев Егор Олегович

**Руководитель:** Кандидат физико-математических наук

Подрезова Надежда Алексеевна

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой** \_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт-Петербург  
2023 г.

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Описание Охотского моря и его характеристик. ....	5
1.1 Физико-географическое положение Охотского моря. ....	5
1.2 Гидрометеорологический режим Охотского моря.....	7
1.3 Распределение солёности в Охотском море.....	9
1.4 Циркуляция вод в Охотском море. ....	12
1.5 Ледовый режим в Охотском море.....	15
Глава 2. Описание методов исследования.....	17
2.1 Сумма градусо-дней мороза. ....	17
2.2 Кластерный анализ. ....	17
2.3 Анализ тренда временного ряда.....	18
2.4 Автокорреляционный анализ.....	19
2.5 Спектр и гармонический анализ Фурье.....	21
Глава 3. Результаты расчетов данных.....	24
3.1 Исходные данные.....	24
3.2 Расчет суммы градусо-дней мороза для Охотского моря.....	25
3.3 Расчет кластерного анализа для Охотского моря.....	27
3.4 Анализ тренда временного ряда.....	30
3.5 Расчет автокорреляционного анализа для Охотского моря. ....	32
3.6 Расчет спектра и гармонического анализа Фурье. ....	34
Глава 4. Вывод по выполненным расчетам.....	37
4.1 Суммы градусо-дней мороза для Охотского моря.....	37
4.2 Кластерный анализ для Охотского моря.....	37
Заключение. ....	44
Список литературы. ....	46
Приложение А. Дендрограммы метеорологических станций Охотского моря.	48
Приложение Б. Таблицы распределения данных СГДМ по трем видам зим в Охотском море.....	51

## Введение.

Исследование ледового режима морей России всегда было важной частью общего представления и положения о состоянии моря. Ведь от того какие ледовые условия будут наблюдаться в море в течении зимнего периода зависит очень многое: начало судоходства, начало и количество промысла, добыча полезных ископаемых и драгоценных металлов. Именно поэтому в последние годы интерес государства к изучению ледовых условий существенно возрос.

В моей работе я буду исследовать межгодовую изменчивость ледового режима Охотского моря. Это море крайне разнообразно и по-своему уникально. В нем сильно развит: промысел морских животных (китовый промысел, рыбный (крабы, тихоокеанский лосось), промысел морских млекопитающих); добыча полезных ископаемых (нефть, газ); драгоценных металлов (золото, серебро). Также в Охотском море в зимний период есть ледовые переправы, и их продолжительность напрямую зависит от суровости зим. Да и в целом, ледовый режим влияет на прибрежные районы Охотского моря, на время начала судоходства и промысла.

Исходя из всего этого, я считаю, что моя работа, основанная на многолетних данных и наблюдениях, имеет большой интерес для региона Охотского моря и в целом очень важна для общего представления об изменении ледового режима в данном регионе (ведь в последние годы идет глобальное потепление и зимы становятся все мягче и мягче). В связи с этими факторами, я выбрал данную тему для изучения в своей бакалаврской работе.

*Цель работы:* ознакомиться с районом исследования, его физико-географическими особенностями и термохалинной структурой. Сформировать и обработать два архива данных: по сумме градусо-дней мороза и площади льдов в акватории Охотского моря. Выполнить статистические расчеты и комплексный анализ пространственно-временной изменчивости данных по площади льдов. Выполнить кластерный анализ и расформировать данные по сумме градусо-дней мороза, а также разбить зимы по суровости.

В данной работе поставлены и выполнены следующие *задачи*:

- Описание района исследования (его физико-географических особенностей, термохалинной структуры, циркуляции вод и ледового режима);
- Краткое описание методов исследования, которые были использованы при выполнении работы;
- Выборка исследуемых характеристик (ледовитость и температура атмосферного воздуха);
- Формирование временных рядов и полный их анализ:
  - Для данных по ледовитости: выделить тренд, выполнить спектральный и гармонический анализ, проанализировать остатки по автокорреляционной функции;
  - Для данных по температуре атмосферного воздуха: рассчитать суммы градусо-дней мороза, выполнить кластерный анализ данных;
- Анализ выполненных расчетов и формирование общего вывода по выполненной работе.

# Глава 1. Описание Охотского моря и его характеристик.

## 1.1 Физико-географическое положение Охотского моря.

Охотское море – окраинное море, расположенное в северо-западной части Тихого океана, оно омывает берега России (западную часть полуострова Камчатка, Юго-Восточную часть континентальной России, остров Сахалин) и Японии (остров Хоккайдо), отделено от океана на юго-востоке грядами Курильских островов.



Рис. 1.1. Географическое положение исследуемого района.

Охотское море соединяется с Японским морем проливами Амурский лиман, Невельского (на севере) и Лаперуза (на юге). С Тихим океаном соединяется многочисленными Курильскими проливами.

Береговая линия моря имеет сложные очертания, связано это с выступами крупных мысов и полуостровов, они и образуют большое количество заливов и губ. Самые извилистые берега в юго-западной и северо-восточной частях. На юго-западе крупнейшие заливы Анива и Терпения. На западе Сахалинский залив, заливы Академии и Александры и Удская губа. На севере крупная Тауйская губа. Самый крупный залив Охотского моря лежит в его северо-восточной части – залив Шелихова с Гижигинской и Пенжинской губами.

Острова в Охотском море отличаются большим разнообразием как по величине и форме, так и по происхождению. Самый большой остров – это Сахалин, также стоит упомянуть Шантарские и Курильские острова.

Площадь зеркала Охотского моря равна 1600 тыс. км<sup>2</sup>, что делает его вторым крупнейшим морем, омывающим берега России (после Берингова моря). В диагонали с юго-запада на северо-восток длина моря составляет 2500 км, а с юго-востока на северо-запад 1500 км. Длина береговой линии 10500 км. Охотское море является глубоководным – самая глубокая часть Курильская котловина (в южной части моря) с максимальной глубиной 3374 метров. А средняя глубина моря составляет 821 метр.

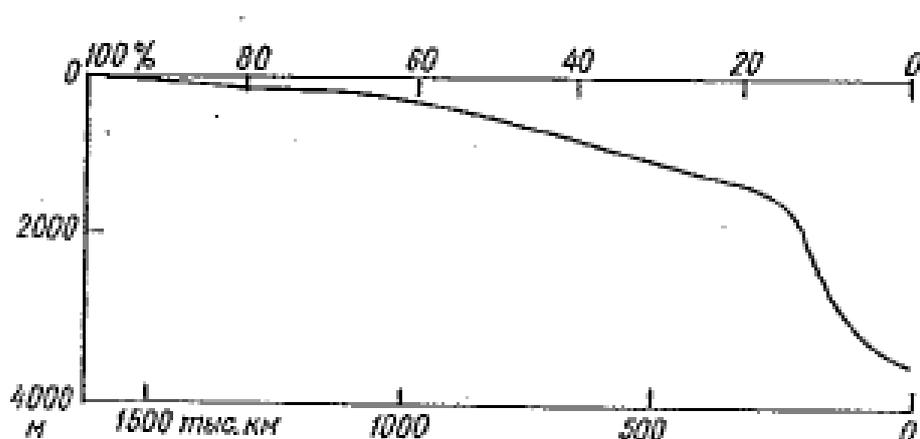


Рис. 1.2. Батиграфическая кривая.

Распределение глубин Охотского моря можно отразить на батиграфической кривой (рис. 1.2), она отражает важную особенность подводного рельефа моря – наличие двух ступеней на глубине до 200 метров (шельфовая часть) и от 900 до 1700 метров (краевое плато с нижним шельфом). Если разбить глубины на части, то их процентное соотношение будет следующим: от 0 до 200 метров – 41% площади моря (или 659 тыс. км<sup>2</sup>); от 200 до 1000 метров – 29% (или 462 тыс. км<sup>2</sup>); от 1 до 2 км – 19% (или 308 тыс. км<sup>2</sup>); от 2 до 3 км – 3% (или 51 тыс. км<sup>2</sup>); от 3 до 4 км – 8% (или 123 тыс. км<sup>2</sup>). Глубина моря увеличивается с севера на юг, северная часть более шельфовая. В центре моря есть две довольно крупные впадины – ТИНРО (чуть западнее центральной части полуострова Камчатка) с глубиной 976 метров и котловина Дерюгина (чуть восточнее южной части острова Сахалин) с глубиной 1771 метр.

## **1.2 Гидрометеорологический режим Охотского моря.**

Основными барическими факторами, влияющими на температурное распределение вод в Охотском море, являются перманентные (алеутская депрессия и северотихоокеанский антициклон) и сезонные центры (азиатский антициклон зимой и дальневосточная депрессия с охотоморским антициклоном летом).

Холодный период в Охотском море длится 120-130 суток на юге и 210-230 суток на севере. Море лежит на пути активных циклонов, зимние условия благоприятствуют частому установлению сильных и штормовых ветров с метелями и снегопадами, которые продолжаются несколько дней. В теплое время года самая часто повторяющаяся погода с типичными конденсационными формами устойчивой воздушной массы – слоистая облачность, морось и густые туманы. В целом среднегодовой результирующий теплообмен на поверхности отрицателен.

Температура воды на поверхности, за исключением отдельных летних месяцев, когда наблюдается более разнообразная картина, понижается с юга на

север. На юге средние годовые значения температуры составляют  $5-7^{\circ}\text{C}$ , а на севере – около  $2-3^{\circ}\text{C}$ . Внутригодовые колебания температуры воды поверхностного слоя весьма значительны на всей акватории, однако они быстро затухают с глубиной. Величина этих колебаний на поверхности моря составляет  $10-17^{\circ}\text{C}$ . Максимальные средние значения амплитуд внутригодовых колебаний отмечаются в самой южной части моря (в районе м. Анива) и несколько меньшие – на всей его западной части. Минимальные – у центральной и северной части прикурильского района. В период с мая по ноябрь среднемесячные величины температуры воды всюду положительны. За счет неравномерного прогрева и перемешивания поверхностного слоя, а также влияния адвективных процессов в это время года горизонтальное распределение температуры наиболее неоднородно. Если в мае средние значения температуры на поверхности изменяются от  $0$  до  $5^{\circ}\text{C}$ , то в августе, наиболее "теплом" месяце, эти значения увеличиваются до  $8-18^{\circ}\text{C}$ . Наиболее теплые воды располагаются в самой южной части моря у пр. Лаперуза и о. Хоккайдо. Необходимо отметить, что время наступления максимума температуры на поверхности в отдельных районах может отличаться на 1-2 месяца и несколько запаздывает на подповерхностных горизонтах. Уже в октябре температура воды на поверхности понижается примерно в два раза и в ноябре ее пространственное распределение переходит к зимнему типу. В феврале-марте, когда значительная часть акватории моря покрыта льдом, горизонтальные градиенты температурного поля сглаживаются и почти вся его поверхность характеризуется отрицательными значениями температуры, достигающими  $-1,0...-1,8^{\circ}\text{C}$ . В юго-восточной части моря и к северо-западу от Курильских островов температура воды почти никогда не понижается до отрицательных значений.

Сезонные изменения абсолютных значений и горизонтального распределения температуры воды охватывают весь верхний деятельный слой (до  $100-250$  м) с хорошо развитым сезонным термоклином. Величина внутригодовых колебаний температуры на горизонте  $50$  м не превышает  $3-4^{\circ}\text{C}$ , а на глубинах  $75-100$  м –  $2,0-2,5^{\circ}\text{C}$ . На горизонте  $50$  м время наступления



В течение года соленость поверхностного слоя в прибрежных и периферийных районах всей северо-западной части моря, изменяется в довольно широких пределах от 20-25 до 30-33‰. Летом и в начале осени соленость вод здесь меньше, чем зимой. Зимой она увеличивается за счет процессов льдообразования и уменьшения берегового стока. Максимум солености в этих районах наблюдается в период с декабря по март. В открытом море и в его юго-западной части диапазон этих изменений значительно меньше (31,0-33,5‰). Важную роль в формировании поля солености этого района играют процессы водообмена через проливы Лаперуза и Курильские. Здесь периоды наступления как максимума, так и минимума солености различаются для разных районов. Как результат, распределение солености на поверхности Охотского моря в отдельные месяцы характеризуется значительной переменяемостью. В феврале на участках, свободных от ледяного покрова, среднемесячные значения солености на поверхности изменяются в пределах 32,6-33,3‰. В мае соленость в прибрежной материковой зоне и у острова Сахалин понижается до 30-32‰. В это время в открытом море она составляет 32,5-33,0‰, а у Курильских островов и острова Хоккайдо – 33,0-33,5‰. В августе-сентябре происходит максимальное распреснение всего поверхностного слоя. У северной оконечности острова Сахалин, в материковых заливах и бухтах прибрежной полосы соленость летом понижается до 20-30‰, а в открытом море – до 32,0-32,5‰. В ноябре-декабре соленость на всей акватории моря вновь увеличивается. В теплое время года даже на картах распределения осредненных значений солености по месяцам в отдельных участках прибрежной зоны (остров Сахалин, полуостров Камчатка, Туйская губа и др.) отчетливо выражены зоны максимальных горизонтальных градиентов этой характеристики – фронты солености.

С глубиной соленость, как в поверхностном, так и в нижележащих слоях, непрерывно возрастает в пределах всей акватории моря во все сезоны года. Диапазон ее пространственных и временных изменений резко сужается, а области максимальных и минимальных значений смещаются. Так, уже на горизонте 50 м средние значения солености на всей акватории изменяются от

32,0 до 33,5‰, а сезонные колебания не превосходят 0,5-1,5‰. На горизонте 100 м величина внутригодовых колебаний солености уменьшаются до 0,5-1,0‰ и горизонтальные градиенты поля солености сглаживаются. На горизонте 200 м фоновые величины пространственных изменений солености не превышают 0,2-0,3‰, а временных – 0,10-0,15‰. На горизонтах 500 и 1000 м значения солености несколько возрастают в направлении с юго-востока на северо-запад (с 33,58 до 34,85‰ и с 34,18 до 34,42‰ соответственно), что связывается с особенностями распространения тихоокеанских вод и вертикальной циркуляцией. В нижележащих слоях соленость в целом продолжает слабо увеличиваться с глубиной, а диапазон пространственных изменений солености сужается от 34,37-34,54‰ (горизонт 1500 м) до 34,38-34,52‰ (2000 м).

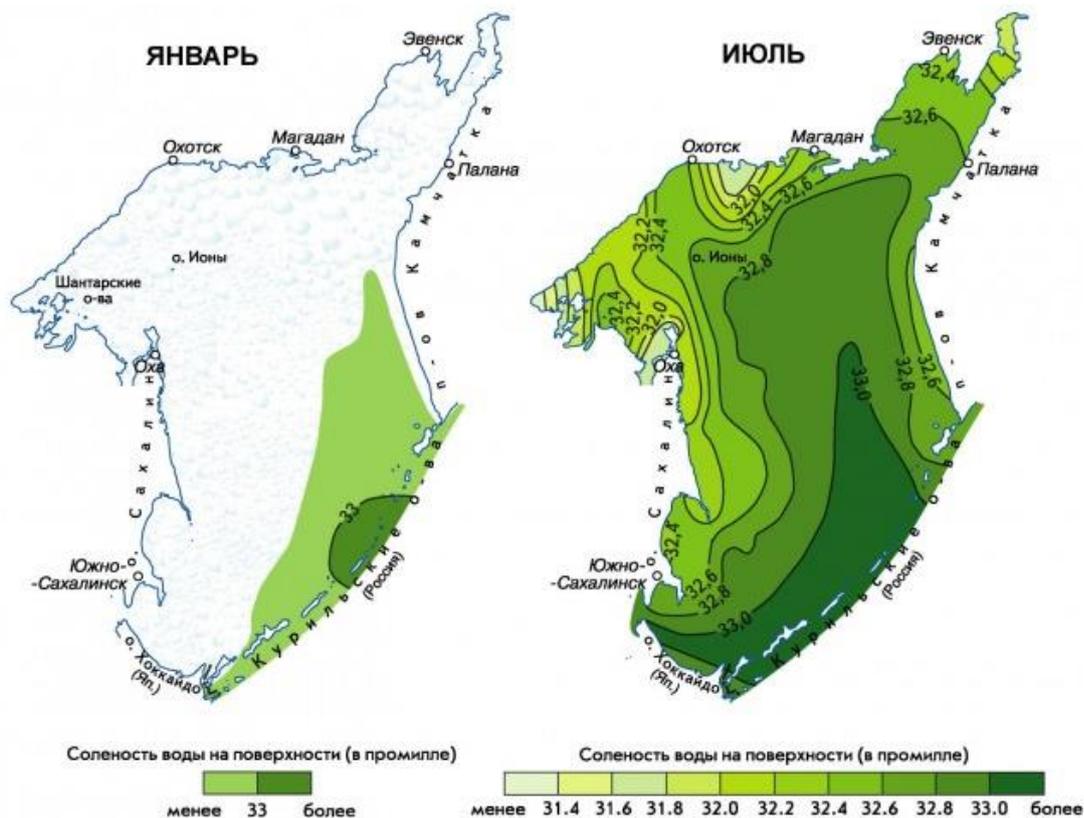


Рис. 1.4. Распределение солености воды на поверхности Охотского моря.

## 1.4 Циркуляция вод в Охотском море.

Главной особенностью циркуляционной системы Охотского моря является общее циклоническое движение вод вдоль границ всего бассейна. На фоне общего круговорота в различных районах моря прослеживаются локальные области с антициклонической и циклонической циркуляцией, занимающие обширные участки акватории, и вихревые образования более мелкого масштаба. К областям с устойчивой антициклонической циркуляцией относятся круговороты, расположенные над впадиной ТИНРО, к западу от южной оконечности Камчатки и в районе Курильской котловины. Относительно устойчивые звенья общего круговорота вод Охотского моря в теплый период года получили названия самостоятельных течений с соответствующей географической привязкой: Камчатское (Западно-Камчатского) и Компенсационное, Пенжинское, Ямское, Северо-Охотское течение и противотечение, Восточно-Сахалинское, Срединное и течение Соя. Важную роль в поддержании отдельных элементов общей циркуляции вод моря принадлежит проливам, через которые оно сообщается с Тихим океаном и Японским морем (на юге).

По данным наблюдений и диагностических расчетов общая схема циркуляции вод в деятельном слое моря претерпевает значительные изменения от сезона к сезону. Осенью скорости течений несколько возрастают. В зимнее время на участках свободных ото льда в основном наблюдаются течения южного, юго-западного направления. Скорости непериодических течений в поверхностном слое достигают наибольших значений в южной части и периферийных районах моря – в прибрежной полосе, заливах, проливах и узкостях. При обычных синоптических ситуациях над Курильской котловиной и у западных берегов Камчатки они достигают 10-20 см/с, в заливе Шелихова – 20-30 см/с, в Сахалинском заливе – 30-45 см/с, в районе Курильских проливов – 15-40 см/с, в течении Соя у берегов Хоккайдо – 50-90 см/с, в Камчатском течении

– 10-15 см/с. В центральной части бассейна скорости течений меньше – около 2-10 см/с. Влияние атмосферной циркуляции на течения в подповерхностных и глубинных слоях ослабевает. На горизонте 100 м скорости постоянных течений уменьшаются до 5-10 см/с в центральной части и на севере моря и до 15-20 см/с на юге. В нижележащих слоях скорости течений продолжают уменьшаться с глубиной и на горизонте 1000 м, как правило, они не превышают 10 см/с. Однако в глубоководных проливах Буссоль и Крузенштерна скорости непериодических течений в слое 1000-2000 м могут превышать 30-45 см/с.

На фоне общей циркуляции вод на поверхности моря, прослеживаются более мелкие элементы – квазистационарные вихревые образования и меандры течений. Так в районе Курильской котловины ежегодно присутствуют 2-4 антициклонических вихря диаметром 100-150 км, формирующие локальные особенности движения вод.

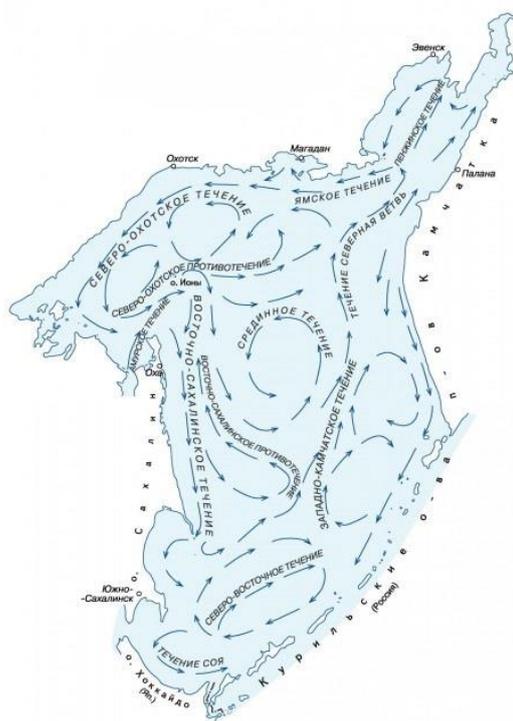


Рис. 1.5. Распределение поверхностных течений в Охотском море.

В Охотском море хорошо выражены периодические приливные течения, которые в открытых районах имеют вращательный характер, а в прибрежных – реверсивный. Вдали от берегов скорости этих течений невелики – 5-10 см/с, а у

берегов, подводных отмелей, в заливах и проливах они достигают экстремально высоких значений. Например, в Амурском лимане – до 234 см/с, в Шантарском районе – 433 см/с, на северном и северо-восточном побережье – 300 см/с, в Курильских проливах – 360 см/с и более, в проливе Лаперуза – 360 см/с, в заливах восточного побережья о. Сахалин – 260 см/с.

Приливные явления в Охотском море связаны с распространением приливной волны из Тихого океана через проливы Курильской гряды. Они вызывают значительные колебания уровня моря, скорости и направления течений. По характеру колебания уровня здесь в разной степени проявляются все типы приливов: полусуточные, неправильные полусуточные, неправильные суточные и суточные. На большей части акватории наблюдаются суточный, неправильный суточный и неправильный полусуточный приливы. Величины максимально возможных приливных колебаний уровенной поверхности изменяются от нескольких сантиметров (северное и центральное побережье о. Сахалин) до 9,7 м в Удской губе, 10,1 м в Тугурском заливе и 13,9 м в Пенжинской губе. В других местах они колеблются от 0,8 до 4,0 м, постепенно возрастая с юга на север до 5-7 м у Шантарских о-вов и у входа в Пенжинский залив.

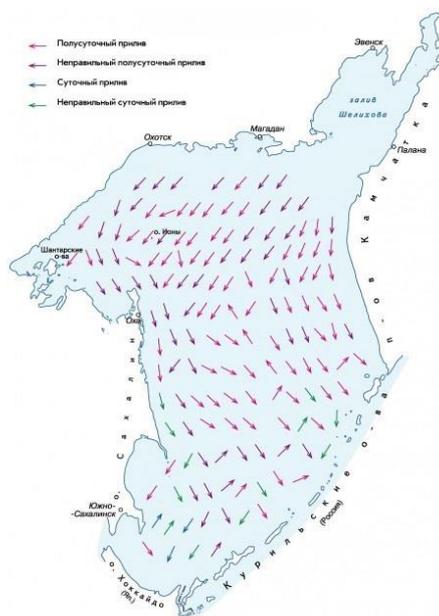


Рис. 1.6. Распределение характеров приливных течений в Охотском море.

## 1.5 Ледовый режим в Охотском море.

Охотское море, находясь в зоне суровых климатических условий, имеет довольно развитый сезонный ледяной покров. Ледовитость моря в отдельные годы может приближаться к 100%. Практически все виды хозяйственной деятельности, а также решение ряда задач, связанных с долгосрочным прогнозированием гидрометеорологических условий в данном регионе, во многом зависят от знания ледовой обстановки и возможности ее прогнозирования.

Продолжительная зима с сильными морозами приводит к сильному выхолаживанию морской поверхности, сопровождающемуся интенсивным льдообразованием почти во всех районах моря. Льды Охотского моря имеют исключительно местное происхождение. Здесь встречаются как неподвижные льды, так и плавучие, которые представляют собой наиболее распространенную форму льдов моря. В целом, по суровости ледовых условий Охотское море сопоставимо с арктическими морями. Средняя продолжительность ледового периода в северо-западной части моря составляет 260 суток, в северных районах и у побережья о. Сахалин – 190-200, а на юге – 110-120 суток в год. В наиболее суровые зимы ледяной покров занимает до 99% площади всей акватории моря, а в мягкие – 65%. Максимальная продолжительность ледового периода достигает 290 суток.

Льдообразование обычно начинается в ноябре в северо-западной части моря, а в местах значительного распреснения вод в октябре. Ледяной покров постепенно распространяется к югу вдоль западного и восточного побережья и появляется в открытой части моря. В декабре в заливах и бухтах образуется сплошной неподвижный береговой припай. В январе и феврале ледяные поля занимают всю северо-западную и среднюю части моря. Дрейфующий лед достигает большой сплоченности и под влиянием течений и ветров подвергается сильному сжатию и торошению. В открытой части моря никогда не наблюдается

сплошного неподвижного льда. Наибольшее распространение на юг, юго-восток льды получают в феврале и марте. В это время они встречаются повсеместно.

Восточная и западная половины центральной части Охотского моря резко различаются как по длительности ледового периода, так и по характеру ледовой обстановки. В течение длительного периода с апреля по июнь происходит разрушение и таяние ледяного покрова. В северо-западной части моря лед сохраняется до июля. Южное побережье Камчатки, центральные и северные Курильские острова отличаются малой ледовитостью и значительно меньшей продолжительностью существования льда. Однако в суровые зимы дрейфующие льды могут прижиматься к этим островам и забивать отдельные проливы.

Толщина льда в прибрежных и мелководных районах в декабре-январе достигает 40-50 см, в заливе Шелихова и у побережья Камчатки – 30-40 см, в открытом море (в средние по суровости зимы) – 40-70 см. Максимальные величины толщины льда (90-160 см) наблюдаются в суровые зимы в Сахалинском заливе и в районе моря на северо-восток от мыса Елизаветы. Высота торосов в открытом море не превышает 1 м, а в отдельных заливах – 1,5-3,0 м.

## Глава 2. Описание методов исследования.

### 2.1 Сумма градусо-дней мороза.

Сумма градусо-дней мороза (СГДМ) – это такая температурная характеристика, которая отражает накопленную сумму отрицательных среднесуточных температур воздуха, отсчитываемая после устойчивого перехода температур воздуха через ноль в сторону отрицательных значений и до момента появления первых положительных значений температуры воздуха.

Формула для расчета суммы градусо-дней мороза за зимний период выглядит следующим образом:

$$\sum(-Ta) - \text{СГДМ за зимний период,}$$

где  $Ta$  – отрицательная температура воздуха.

### 2.2 Кластерный анализ.

Кластерный анализ – это метод классификационного анализа. Его основное предназначение заключается в разбитие множества исследуемых объектов и признаков на однородные группы или кластеры (в моей работе я производил кластеризацию данных по сумме градусо-дней мороза (СГДМ)). Это многомерный статистический метод, предполагается, что исходные данные могут быть больших объемов.

Кластеры – это группы однородности и задача кластерного анализа заключается в том, чтобы на основании признаков объектов или данных разбить их множество  $m$  кластеров так, чтобы каждый объект принадлежал только одной группе разбития. При этом объекты, принадлежащие одному кластеру, должны быть однородными (сходными), а объекты, принадлежащие разным кластерам – разнородными. Если объекты кластеризации представить, как точки в  $n$ -мерном пространстве признаков (где  $n$  – количество признаков, характеризующих объекты), то сходство между объектами определяется через понятие расстояния между точками (чем меньше расстояние между объектами, тем они более схожи).

В этой работе, для разбиения СГДМ на три вида зим: суровая, умеренная и мягкая; я использовал программу Past3 (классический кластерный анализ).

### 2.3 Анализ тренда временного ряда.

Для применения большинства методов анализа временного ряда одним из основных требований к ряду является его *стационарность*, то есть неизменность его основных статистических характеристик во времени. В частности, это касается его дисперсии и среднего значения. Поэтому на первых этапах анализа временного ряда оценивается его стационарность (если она не выявляется, тогда ряд преобразуют к стационарному виду).

В случае нестационарного ряда дисперсия и среднее значение для частей выборки могут меняться либо скачкообразно, либо непрерывно изменяться. Во втором случае принято говорить, что ряд имеет тренд (по дисперсии или математическому ожиданию).

Однако в генеральной совокупности (ГС) могут наблюдаться некоторые колебания и взяв из ГС выборку можно не захватить это колебание на всей длине выборки. И тогда это колебание можно отразить в *тренде*.

То есть можно сказать, что *тренд* отражает наличие во временной изменчивости временной характеристики длиннопериодное колебание с периодом, которое много превышает длину нашей выборки.

В зависимости от того, на какую часть длиннопериодного колебания попала выборка *тренд* может быть двух видов: линейный или квадратичный.

Уравнение *линейного тренда*:

$$y = a_1 t + a_0 + \varepsilon ,$$

Уравнение *нелинейного (квадратичного) тренда*:

$$y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon ,$$

где  $t$  – время.

Основные характеристики тренда это:

1. *Коэффициент детерминации*  $r^2$  (для линейного тренда), который характеризует *вклад тренда* в общую дисперсию ряда. Вклад либо

значительный, либо незначительный. Определить это можно после проверки коэффициента детерминации  $r$  на значимость. Если он не значим, тогда *тренда нет*.

2. *Величина тренда* – изменение исследуемой характеристики по *линейному тренду* за выбранный промежуток времени. Для среднемесячных значений промежуток – это год, а для среднегодовых 10 лет и более.

Если в исследуемом ряде значимыми оказались оба тренда (линейный и нелинейный), тогда при анализе характеристики необходимо выбрать нелинейный тренд (при условии того, что он вносит более значительный вклад в дисперсию выборки), или наоборот (если вклад линейного более значителен).

## 2.4 Автокорреляционный анализ.

*Автокорреляцией* называют корреляцию статистического ряда самого с собой при различных сдвигах по времени. Для анализа необходимо получить *автокорреляционную функцию* (АКФ), нужно нанести на график зависимости  $r$  от  $\tau$  (сдвиг) и соединить их кривой. При этом временной ряд можно сдвигать в любую сторону, так как АКФ симметрична.

*Коэффициент автокорреляции*  $r(\tau)$  на любом сдвиге можно рассчитать по следующей формуле:

$$r(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2(N-1-\tau)} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x}),$$

где  $N$  – длина реализации,  $\tau$  – сдвиг (от 1 до максимума).

Длина АКФ или максимальное количество сдвигов зависит от длины ряда  $N$ . Чем длиннее ряд, тем меньше доля количества сдвигов.

Автокорреляционная функция является совокупностью коэффициентов корреляции, поэтому каждый из них должен быть проверен на значимость. Но можно упростить расчеты за счет проверки по критерию Стьюдента нулевой гипотезы  $H_0: r = 0$  путем решения квадратного уравнения относительно коэффициента автокорреляции рассчитать его критическое значение ( $r_{кр}$ ),

которое соответствует  $t_{кр}$  при уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $\nu = N - \tau - 1$ :

$$r_{кр}(\tau) = \frac{-\sqrt{N-\tau-1} + \sqrt{N-\tau-1+4t_{кр}^2}}{2t_{кр}},$$

где  $N$  – длина реализации,  $\tau$  – сдвиг АКФ,  $t_{кр}$  – критерий Стьюдента.

Расчитанные для каждого сдвига значения  $r_{кр}$  наносятся на график АКФ в положительной и отрицательной областях. Все значения АКФ, которые превышают  $r_{кр}$  являются значимым, а значения АКФ, которые меньше незначимы.

*Анализ АКФ:*

### 1. Инерционность процесса.

Определяется по радиусу корреляции ( $\tau^2_{кор}$ ). Это сдвиг при первом пересечении функцией нуля. Инерционность показывает насколько долго характеристика сохраняет свое предыдущее состояние. Процессы подразделяются на малоинерционные (1-2 года) и инерционные (более 4-5 лет).

### 2. Периодичность процесса.

При наличии в выбранном ряде циклических колебаний, они отражаются в АКФ в виде локальных максимумов. Количество периодических колебаний в ряде соответствует количеству значимых локальных максимумов. Период циклического колебания соответствует сдвигу автокорреляционной функции, который соответствует локальному максимуму.

Также если в АКФ наблюдаются локальные максимумы на кратных сдвигах, тогда можно сделать вывод о том, что в ряде имеет место быть гармоника с периодом, который соответствует сдвигу первого локального максимума.

### 3. Тип процесса.

По форме автокорреляционной функции можно сделать вывод о типе процесса. Процессы бывают:

– «белый шум». Является абсолютно случайным процессом. Значения АКФ равны нулю на всех сдвигах, кроме нулевого;

– *простая цепь Маркова 1-го порядка*. Процесс, для которого свойственна связь со своим прошлым состоянием. АКФ имеет значимый коэффициент автокорреляции на первом сдвиге;

– «красный шум». Высоко инерционный процесс (радиус корреляции более 5). Отражает периодичность в исходном ряду с периодом, который равен длине ряда;

– *циклический (квазигармонический) процесс*. Процесс с устойчивым и ярко выраженным периодическим колебанием.

Также процессы, в некоторых случаях, могут иметь смешанный тип.

#### 4. Возможность автопрогноза.

Если АКФ не является «белым шумом», тогда есть возможность сделать автопрогноз. Его заблаговременность определяется по сдвигу, при котором АКФ значим. Если их несколько, то можно сделать автопрогноз с разной заблаговременностью.

Также стоит отметить то, что наиболее качественный прогноз будет наблюдаться при наиболее большом коэффициенте автокорреляции.

## 2.5 Спектр и гармонический анализ Фурье.

Если в исследуемом процессе необходимо выявить только циклические составляющие, можно использовать *спектральный или гармонический анализ*, при этом не рассчитывая АКФ.

Основа *гармонического анализа* – это то, что любой ряд можно разложить без остатка в ряд Фурье (на конечное количество гармоник). *Гармоника* – это тригонометрическая функция, которая имеет периоды, кратные длине ряда (каждая гармоника целое число, раз укладывается в длину ряда).

Формула гармоники:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k t - \varphi_k), \quad \omega_k = 2\pi/T_k,$$

где  $k$  – номер гармоники,  $A_k$  – амплитуда  $k$ -той гармоники,  $\omega_k$  – частота  $k$ -той гармоники,  $T_k$  – период  $k$ -той гармоники,  $\varphi_k$  – фаза  $k$ -той гармоники,  $t$  – время.

Полное разложение величины в ряд Фурье предполагает определение гармоник количеством  $N/2$ . Гармоники необходимо пронумеровать. Первая гармоника ( $G_1$ ) будет иметь период, который равен длине самого ряда  $N$ . После, периоды гармоник уменьшаются:  $N/2$ ,  $N/3$  и так далее. Последняя из гармоник будет иметь период, равный двум единицам дискретности (*частота Найквиста*).

Все характеристики гармоник определяются на основании *коэффициентов Фурье*  $a_k$  и  $b_k$ :

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \sin(\bar{\omega}_k \cdot t_i)], b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \cos(\bar{\omega}_k \cdot t_i)],$$

где  $x_i$  – исходный ряд,  $N$  – длина ряда,  $\omega_k$  – частота  $k$ -той гармоники,  $t_i$  – ряд времени  $t_i = i, i = 1, 2, 3 \dots N$ .

Формулы характеристик гармоник:

$$\text{Амплитуда гармоник } A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2};$$

$$\text{Фаза гармоник } \varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \pm \pi;$$

$$\text{Дисперсия гармоник } D_k = \frac{A_k^2}{2};$$

$$\text{Вклад гармоник в общую дисперсию ряда } V_k = \frac{D_k}{D_y},$$

где  $D_y$  – дисперсия исходного ряда.

*Амплитуда* гармоник демонстрирует максимальное отклонение характеристики от среднего значения на данном отрезке. *Фаза* гармоник показывает время наступления максимума на данном отрезке. *Вклад* гармоник в общую дисперсию ряда аналогичен коэффициенту детерминации и его можно проверить на значимость.

Разложение в ряд Фурье можно рассчитать с помощью статистических программ (в моей работе я использовал программу Past4). Расчет производится

методом быстрого преобразования Фурье (БПФ), однако при этом теряется информация о некоторых гармонических характеристиках. Результат представляется в виде *периодограммы или спектра* (зависимость дисперсии гармонических составляющих от их же частоты). Гармоники, которые будут иметь довольно большую дисперсию, будут отражаться пиками на спектральном графике.

Далее необходимо по таблицам и графикам периодограмм (которые получены методом БПФ) определить периоды для пиков спектра, а затем провести для этих периодов гармонический анализ и получить восстановленный ряд.

## Глава 3. Результаты расчетов данных.

### 3.1 Исходные данные.

Район исследования, который я выбрал для исследования – это Охотское море. Было выбрано два вида исходных данных: площадь льдов в акватории (ледовитость) и температура атмосферного воздуха (сумма градусо-дней мороза). Данные по ледовитости были выбраны с сайта NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate Monitoring, Regional Sea Ice. Данные по температуре атмосферного воздуха были скачаны с сайта ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Было выбрано 8 метеорологических станций, названия которых приведено в Таблице 3.1, а также есть их схематичная карта расположения в акватории Охотского моря (Рисунок 3.1).

Таблица 3.1. Список выбранных метеорологических станций в Охотском море.

№	Индекс	Название
1	31088	Охотск
2	25913	Магадан
3	25922	Шелихов
4	32411	Ича
5	32174	Курильск
6	32053	Ноглики
7	31174	Большой Шантар
8	31168	Аян



Рисунок 3.1. Расположение метеорологических станций в акватории Охотского моря.

### 3.2 Расчет суммы градусо-дней мороза для Охотского моря.

В моей работе необходимо распределить зимы на 3 вида по их суровости: суровая зима, умеренная и мягкая. Чтобы это выполнить необходимо рассчитать суммы градусо-дней мороза (СГДМ).

Были скачаны данные с среднесуточными температурами атмосферного воздуха с 8 метеорологических станций в период с 1978 года по 2021 год. Далее было необходимо разбить года по сезонам по типу: 1978-79, 1979-80 и так далее, до последнего исследуемого сезона – 2020-21. В этих промежутках нужно было выбрать отрицательные температуры (в осенний период данные брались, начиная с момента, когда установился стабильный минуса, и заканчивались, когда в весенний период наступали первые положительные температуры).

В ходе расчета СГДМ была сформирована Таблица 3.2.

Таблица 3.2. Рассчитанные данные СГДМ по 8 метеостанциям.

	Охотск	Магадан	Шелихов	Ича	Курильск	Ноглики	Б.Шантар	Аян
1978-79	-2931.0	-2544.3	-2362.9	-1761.1	-481.8	-2162.4	-	-2311.3
1979-80	-3009.2	-2404.4	-	-1587.6	-517.1	-2411.6	-2984.5	-2715.5
1980-81	-2635.2	-2284.5	-2255.4	-1716.7	-566.7	-1884.0	-2433.5	-2010.5
1981-82	-3066.9	-2457.4	-2348.4	-1482.9	-467.8	-2156.0	-2601.6	-2366.9
1982-83	-3006.4	-2450.2	-2383.6	-1447.4	-578.6	-2149.3	-2582.0	-2376.7
1983-84	-2740.5	-2192.2	-2163.0	-1411.1	-493.4	-1936.8	-2666.8	-2229.6
1984-85	-2945.2	-2479.9	-2512.6	-1578.1	-	-	-2678.3	-2563.5
1985-86	-2611.2	-2025.7	-1963.8	-1206.9	-586.3	-	-2704.7	-2381.5
1986-87	-2933.5	-2379.6	-2326.8	-1652.3	-543.9	-2234.9	-2728.1	-2498.7
1987-88	-3227.3	-2544.5	-2628.2	-1610.0	-660.2	-2217.7	-2723.3	-2570.5
1988-89	-2459.8	-2012.5	-2230.1	-1179.8	-282.1	-1673.3	-1857.0	-1736.3
1989-90	-2889.2	-2183.7	-2172.8	-1320.1	-293.3	-1824.4	-2249.1	-2094.7
1990-91	-2543.7	-2005.1	-2035.1	-1031.2	-196.7	-1554.3	-2002.3	-1806.8
1991-92	-2677.2	-2139.3	-2175.2	-1395.7	-392.2	-1934.5	-2434.9	-2128.4
1992-93	-2844.5	-2388.9	-2458.9	-1498.8	-141.5	-1915.2	-2378.7	-2033.0
1993-94	-2879.1	-2339.7	-2384.0	-1493.4	-258.9	-1965.3	-2548.2	-2346.7
1994-95	-2826.2	-2270.6	-2086.0	-1352.0	-279.6	-1964.2	-2604.1	-2339.9
1995-96	-2355.3	-1737.2	-1582.5	-908.3	-387.8	-1819.2	-2374.1	-2090.4
1996-97	-2474.3	-1812.9	-1771.9	-916.2	-352.2	-1800.8	-2333.7	-2091.0
1997-98	-2986.9	-2623.2	-2590.6	-1620.0	-437.6	-1964.3	-2357.7	-2238.6
1998-99	-3078.5	-2638.3	-2691.4	-1770.3	-483.6	-2378.9	-2999.2	-2767.0
1999-00	-2464.0	-2125.2	-2152.6	-1527.1	-447.0	-1871.3	-2332.8	-1989.1
2000-01	-2799.3	-2535.3	-2505.4	-1913.0	-666.1	-2258.0	-2933.1	-2703.3
2001-02	-2542.7	-2138.6	-2299.5	-1243.4	-401.2	-1779.0	-2214.6	-1989.4
2002-03	-2671.5	-2104.5	-2102.6	-1429.8	-687.6	-2053.7	-2480.0	-2197.7
2003-04	-2624.8	-2079.3	-	-1263.6	-249.6	-1945.8	-2587.1	-2259.1
2004-05	-2932.4	-2313.2	-2325.6	-1045.7	-428.1	-1979.4	-2474.5	-2193.4
2005-06	-2610.9	-2215.8	-2286.6	-1181.2	-321.8	-1729.0	-2501.3	-2155.2
2006-07	-2622.5	-1877.3	-1796.7	-1104.3	-310.5	-2014.7	-2332.5	-2226.4
2007-08	-2617.4	-2096.7	-2041.7	-1364.1	-373.1	-1801.9	-2100.1	-1931.8
2008-09	-2595.4	-1948.1	-2077.3	-895.3	-238.3	-1730.9	-2513.8	-2270.1
2009-10	-2854.6	-2443.2	-2419.8	-1675.9	-337.8	-2017.4	-2647.9	-2492.7
2010-11	-2540.6	-1891.0	-1851.0	-629.9	-275.7	-1558.1	-2139.9	-2027.0
2011-12	-2776.8	-2360.9	-2438.7	-1503.5	-492.7	-2091.0	-2716.4	-2397.5
2012-13	-2491.2	-2001.5	-1858.0	-1231.2	-451.4	-1914.1	-2458.0	-2282.8
2013-14	-2332.9	-1810.9	-1904.5	-595.3	-377.9	-1589.0	-2022.0	-1820.0
2014-15	-2563.2	-2099.3	-2092.6	-1178.9	-148.6	-1368.4	-2202.4	-1983.5
2015-16	-2755.7	-2418.4	-2435.5	-1569.4	-470.3	-1815.5	-2197.0	-2135.1
2016-17	-2432.8	-1756.5	-1706.3	-978.7	-346.1	-1807.2	-2356.8	-2067.9
2017-18	-2732.9	-2119.6	-1923.6	-745.7	-327.3	-2136.0	-2648.5	-2472.3
2018-19	-2327.7	-1967.8	-1951.6	-1369.0	-467.8	-1799.7	-2028.9	-1832.6
2019-20	-2441.8	-2007.4	-2121.0	-1087.5	-350.2	-1797.4	-2263.0	-1971.7
2020-21	-2760.8	-2291.2	-2147.5	-1207.0	-300.4	-1792.6	-2349.7	-2344.2

### 3.3 Расчет кластерного анализа для Охотского моря.

Затем по рассчитанным данным СГДМ был проведен кластерный анализ, который необходим для определения суровостей зим. Зимы были разделены на три класса: суровая, умеренная и мягкая. Расчет производился при помощи программы Past3 для всех 8 выбранных станций. Мною было выделено три основные станции в Охотском море, которые наилучше всего отражают суровости зим – это станция Охотск, станция Магадан и станция Ноглики. Расчеты их кластерного анализа приведены ниже. Данные по оставшимся станциям (Шелихов, Ича, Курильск, Большой Шантар и Аян) расположены в приложении А (дендрограммы) и приложении Б (распределение данных СГДМ по трем видам зим).

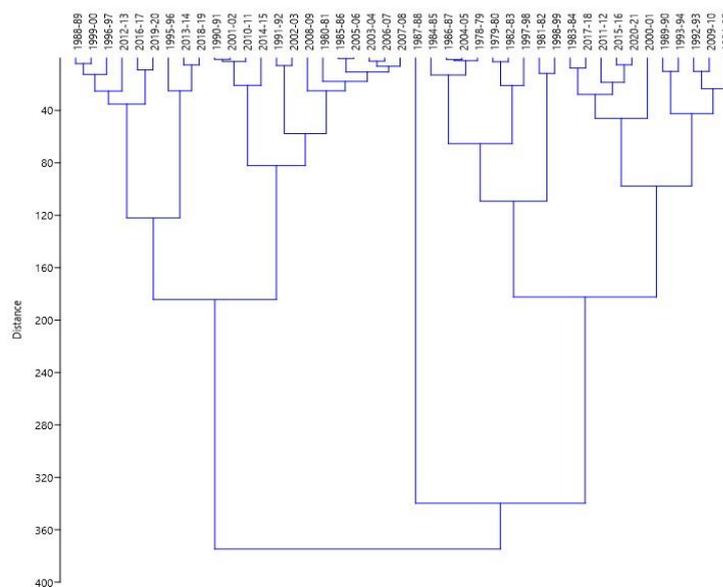


Рис. 3.2. Дендрограмма для станции Охотск (31088).

Таблица 3.3. СГДМ по трем видам зим на станции Охотск (31088).

	суровая		умеренная		мягкая
1978-79	-2931.0	1983-84	-2740.5	1980-81	-2635.2
1979-80	-3009.2	1989-90	-2889.2	1985-86	-2611.2
1981-82	-3066.9	1992-93	-2844.5	1988-89	-2459.8
1982-83	-3006.4	1993-94	-2879.1	1990-91	-2543.7
1984-85	-2945.2	1994-95	-2826.2	1991-92	-2677.2
1986-87	-2933.5	2000-01	-2799.3	1995-96	-2355.3
1987-88	-3227.3	2009-10	-2854.6	1996-97	-2474.3
1997-98	-2986.9	2011-12	-2776.8	1999-00	-2464.0
1998-99	-3078.5	2015-16	-2755.7	2001-02	-2542.7
2004-05	-2932.4	2017-18	-2732.9	2002-03	-2671.5
		2020-21	-2760.8	2003-04	-2624.8
				2005-06	-2610.9
				2006-07	-2622.5
				2007-08	-2617.4
				2008-09	-2595.4
				2010-11	-2540.6
				2012-13	-2491.2
				2013-14	-2332.9
				2014-15	-2563.2
				2016-17	-2432.8
				2018-19	-2327.7
				2019-20	-2441.8

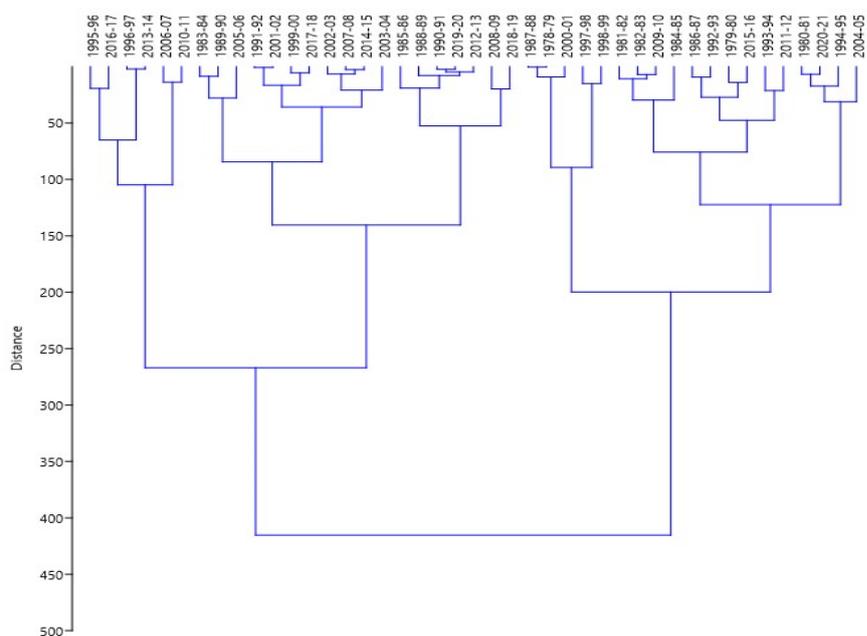


Рис. 3.3. Дендрограмма для станции Магадан (25913).

Таблица 3.4. СГДМ по трем видам зим на станции Магадан (25913).

	суровая
1978-79	-2544.3
1987-88	-2544.5
1997-98	-2623.2
1998-99	-2638.3
2000-01	-2535.3

	умеренная
1979-80	-2404.4
1980-81	-2284.5
1981-82	-2457.4
1982-83	-2450.2
1984-85	-2479.9
1986-87	-2379.6
1992-93	-2388.9
1993-94	-2339.7
1994-95	-2270.6
2004-05	-2313.2
2009-10	-2443.2
2011-12	-2360.9
2015-16	-2418.4
2020-21	-2291.2

	мягкая
1983-84	-2192.2
1985-86	-2025.7
1988-89	-2012.5
1989-90	-2183.7
1990-91	-2005.1
1991-92	-2139.3
1995-96	-1737.2
1996-97	-1812.9
1999-00	-2125.2
2001-02	-2138.6
2002-03	-2104.5
2003-04	-2079.3
2005-06	-2215.8
2006-07	-1877.3
2007-08	-2096.7
2008-09	-1948.1
2010-11	-1891.0
2012-13	-2001.5
2013-14	-1810.9
2014-15	-2099.3
2016-17	-1756.5
2017-18	-2119.6
2018-19	-1967.8
2019-20	-2007.4

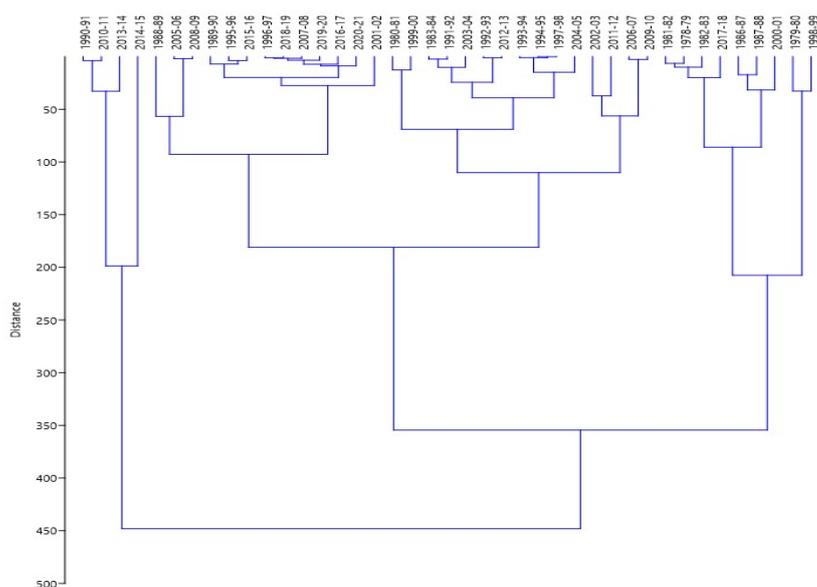


Рис. 3.4. Дендрограмма для станции Ноглики (32053).

Таблица 3.5. СГДМ по трем видам зим на станции Ноглики (32053).

	суровая		умеренная		мягкая
1978-79	-2162.4	1980-81	-1884.0	1988-89	-1673.3
1979-80	-2411.6	1983-84	-1936.8	1989-90	-1824.4
1981-82	-2156.0	1991-92	-1934.5	1990-91	-1554.3
1982-83	-2149.3	1992-93	-1915.2	1995-96	-1819.2
1986-87	-2234.9	1993-94	-1965.3	1996-97	-1800.8
1987-88	-2217.7	1994-95	-1964.2	2001-02	-1779.0
1998-99	-2378.9	1997-98	-1964.3	2005-06	-1729.0
2000-01	-2258.0	1999-00	-1871.3	2007-08	-1801.9
2017-18	-2136.0	2002-03	-2053.7	2008-09	-1730.9
		2003-04	-1945.8	2010-11	-1558.1
		2004-05	-1979.4	2013-14	-1589.0
		2006-07	-2014.7	2014-15	-1368.4
		2009-10	-2017.4	2015-16	-1815.5
		2011-12	-2091.0	2016-17	-1807.2
		2012-13	-1914.1	2018-19	-1799.7
				2019-20	-1797.4
				2020-21	-1792.6

### 3.4 Анализ тренда временного ряда.

Был произведен расчет трендовых характеристик для данных по ледовитости Охотского моря (данные с 1979 по 2021 год были распределены на сезоны по типу: 1979-80, 1980-81 и так далее). И после было составлено трендовое уравнение для изменения площади ледовитости.

Таблица 3.6. Характеристики линейного тренда как линейной регрессии.

Регрессионная статистика			
Множественный R	0.64		
R-квадрат	0.41		
Стандартная ошибка	57454		
Дисперсионный анализ	F		
Регрессия	27.30		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
Y-пересечение	481791	18052	26.69
ti	-3822	731	-5.23

Таблица 3.7. Характеристики нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика			
Множественный R	0.65		
R-квадрат	0.43		
Стандартная ошибка	57117		
Дисперсионный анализ	F		
Регрессия	14.55		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
Y-пересечение	507480	27751	18.29
ti	-7325	2977	-2.46
ti <sup>2</sup>	81.47	67.13	1.21

Проверка коэффициентов регрессии на значимость при  $t_{кр}(0.05; 41) = 2.02$ :

Для линейного тренда:  $t^*(Y) = 26.69 > t_{кр}$  значит, что нулевая гипотеза отвергается и соответствующий коэффициент регрессии является значимым.  $t^*(t_i) = 5.23 > t_{кр}$  значит, что нулевая гипотеза отвергается и соответствующий коэффициент регрессии значим. Исходя из этих двух выводов, линейный тренд есть.

Для нелинейного тренда:  $t^*(Y) = 18.29 > t_{кр}$  значит, что нулевая гипотеза отвергается и соответствующий коэффициент регрессии значим.  $t^*(t_i) = 2.46 > t_{кр}$  значит, что нулевая гипотеза отвергается и соответствующий коэффициент регрессии значим.  $t^*(t_i^2) = 1.21 < t_{кр}$  соответственно, нулевая гипотеза принимается и соответствующий коэффициент регрессии незначим. Исходя из анализа нелинейности нет.

Проверка коэффициента корреляции на значимость:

Необходимо выдвинуть нулевую гипотезу ( $H_0: r = 0$ ;  $H_1: r \neq 0$ ) и рассчитать критерий Стьюдента, который рассчитывается по следующей формуле:

$t^* = |r|/\sigma$ ,  $\sigma = \frac{1-r^2}{\sqrt{N-1}}$ , где  $\sigma$  – средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции. Далее определяется критическое значение  $t_{кр}(\alpha, \vartheta) = 2,02$ , где уровень значимости  $\alpha$  принимается равным 5%, а число степеней свободы  $\vartheta = N-1$ , где  $N$  – длина ряда.

Для линейного тренда:  $t^* = 6.86 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. То есть линейный тренд вносит значительный вклад в формирование ряда.

Для нелинейного тренда:  $t^* = 7.31 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. То есть нелинейный тренд вносит значительный вклад в формирование ряда. Однако несмотря на это, по другим параметрам, нелинейный тренд выделить невозможно.

Для линейного тренда было составлено уравнение:  $y = -3821.75 * x + 481790.55$ , где  $y$  – ледовитость,  $x$  – момент времени. Величина тренда  $T_r = -38220 \text{ км}^2/10 \text{ лет}$ .

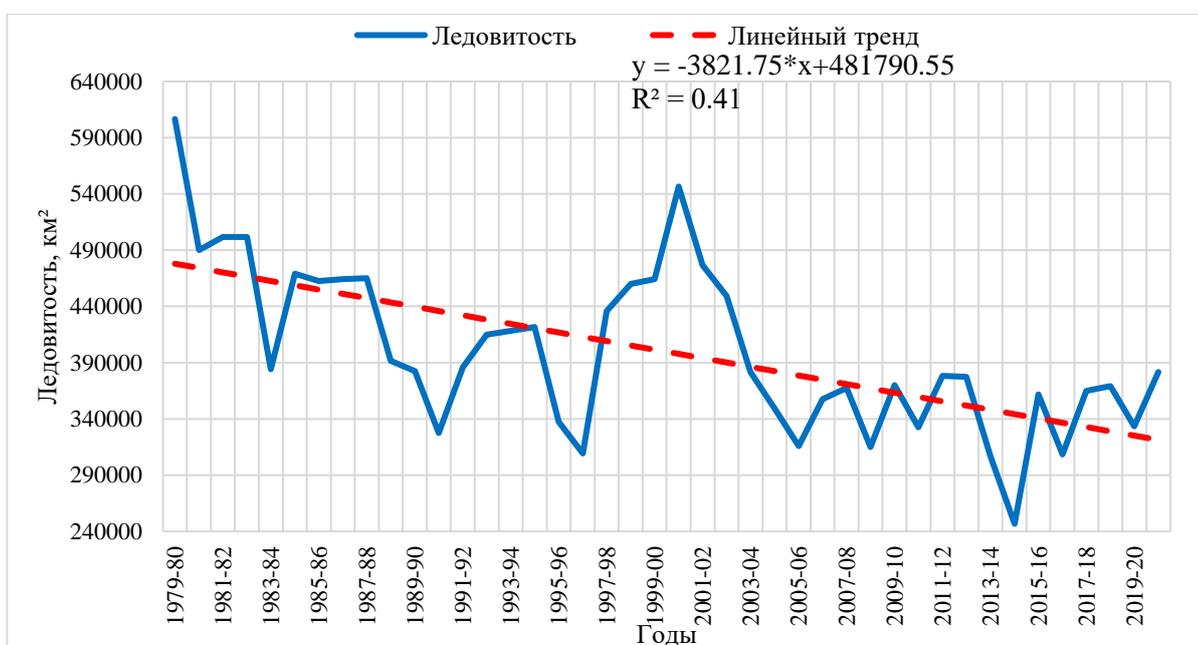


Рис. 3.5. Среднегодовой ход ледовитости Охотского моря и ее линейный тренд.

### 3.5 Расчет автокорреляционного анализа для Охотского моря.

Данный анализ был рассчитан по данным ледовитости Охотского моря, а именно отклонение основного ряда от тренда. В самом начале необходимо было рассчитать автокорреляционную функцию межгодовой изменчивости.

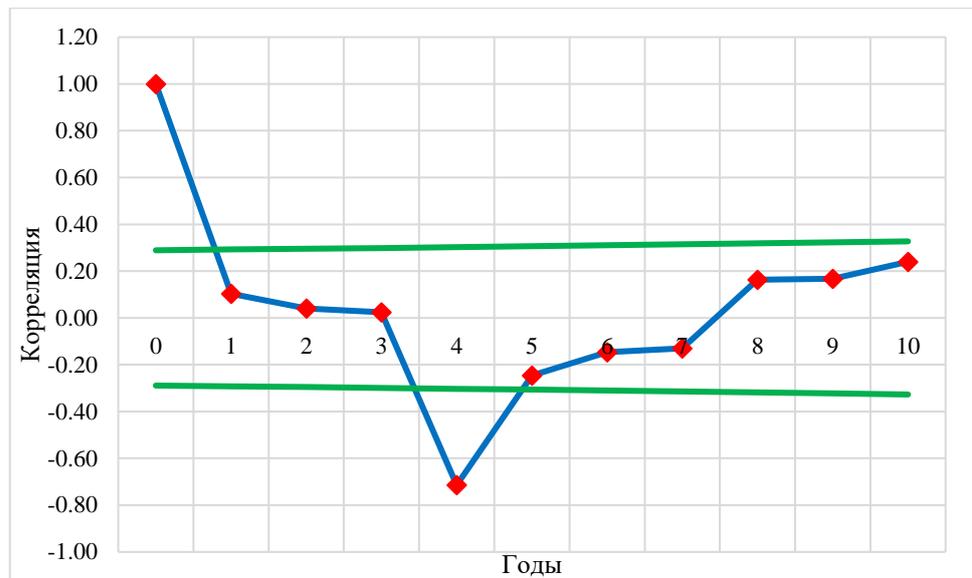


Рис. 3.6. Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости.

На графике нельзя выделить колебания, соответственно, цикличность отсутствует. Зелеными линиями на графике обозначены критические значения коэффициента корреляции.

Автопрогноз: ряд нужно было разделить на две части – зависимую и независимую. Расчет происходил без учета независимой части. Оптимальнее всего сделать автопрогноз с заблаговременностью 4 года (наибольший коэффициент корреляции на сдвиге в 4 года).

Автопрогноз выполняется на основе модели парной линейной регрессии, которая называется авторегрессия 1 порядка. Уравнение AP1 формулируется в общем виде:  $x_{i+k} = a_1x_i + a_0 + \varepsilon$ , где  $k$  – заблаговременность прогноза.

Таблица 3.8. Коэффициенты регрессионной модели.

Регрессионная статистика			
Множественный R	0.72		
R-квадрат	0.52		
Стандартная ошибка	63502.12		
Дисперсионный анализ	F		
Регрессия	37.56		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
Y-пересечение	-6303.07	10382.41	-0.61
X	-0.73	0.12	-6.13

Оценка качества регрессии:

$t^* (Y_{i+4}) = 0.61 < t_{кр}$  нулевая гипотеза принимается, соответственно коэффициент регрессии незначим.  $t^* (Y_i) = 6.13 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, соответственно коэффициент регрессии значим. Коэффициент детерминации равен 52% (что меньше 70%), то есть независимых переменных недостаточно для описания дисперсии исходного ряда. Модель является адекватной, так как  $F^* > F_{кр}$ . Стандартная ошибка модели оказалась больше, чем исходного ряда, соответственно модель нельзя использовать для прогноза. Уравнение получило следующий вид:  $Y_{i+4} = -0.73Y_i - 6303.07$

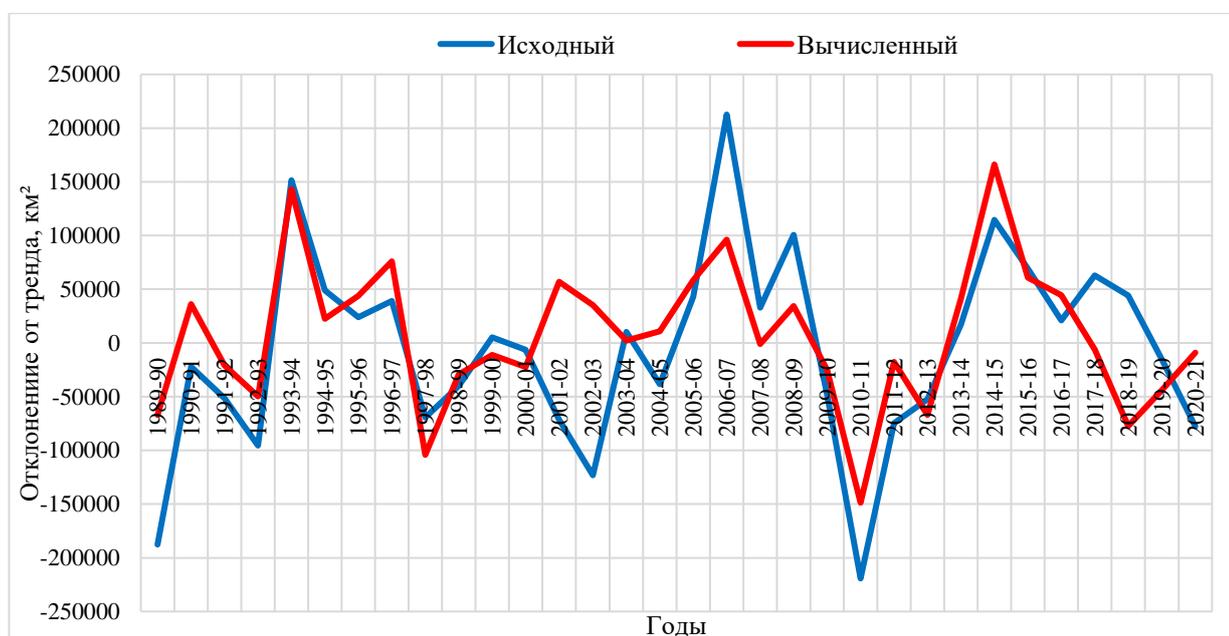


Рис. 3.7. График исходных отклонений и вычисленной модели.

Из графика можно сделать вывод, что вычисленные данные имеют общий ход, однако модель не очень четко отражает максимумы и минимумы хода значений.

### 3.6 Расчет спектра и гармонического анализа Фурье.

Данные расчеты были проведены для значений отклонений ледовитости от ее тренда. В самом начале по исходному ряду была построена периодограмма в программе Past4.

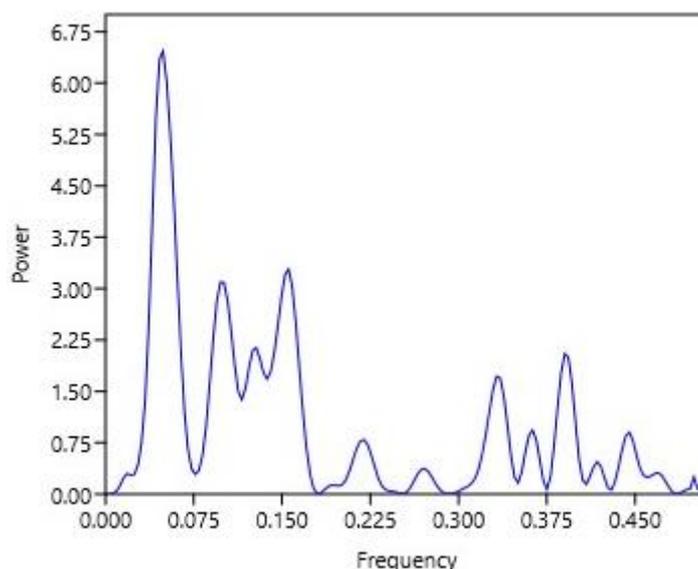


Рис. 3.8. Периодограмма для среднегодовых отклонений ряда ледовитости от тренда.

Из данной периодограммы было взято 5 пиков и для них рассчитаны значения гармоник. После расчетов производится проверка гармоник на значимость. Для этого необходимо рассчитать критерий Стьюдента и рассчитать его критическое значение.

Таблица 3.9. Рассчитанные характеристики гармоник.

	G1	G2	G3	G4	G5
$\omega$ , год <sup>-1</sup>	0.05	0.10	0.16	0.33	0.39
Tк, год	20.50	10.25	6.43	3.01	2.56
$\omega$ , рад/год	0.31	0.61	0.98	2.09	2.45
ak	21824	20569	30885	21965	16151
bk	39366	39366	39366	39366	39366
Ak, °C	45011	44416	50036	45079	42551
$\varphi$ , рад	0.51	3.62	0.67	3.65	0.39
$\varphi$ , год	1.65	5.91	0.68	1.75	0.16
D гар, °C <sup>2</sup>	1.01E+09	9.86E+08	1.25E+09	1.02E+09	9.05E+08
D исх, °C <sup>2</sup>	3.29E+09	3.29E+09	3.29E+09	3.29E+09	3.29E+09
Vk откл	3.25	3.33	2.63	3.24	3.63

Значимыми оказались все гармоники (при  $t_{кр} = 2.02$ ):

1. Гармоника №1:  $t^* = 5.2 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

2. Гармоника №2:  $t^* = 5.1 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

3. Гармоника №3:  $t^* = 6.5 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

4. Гармоника №4:  $t^* = 5.2 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

5. Гармоника №5:  $t^* = 4.7 > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

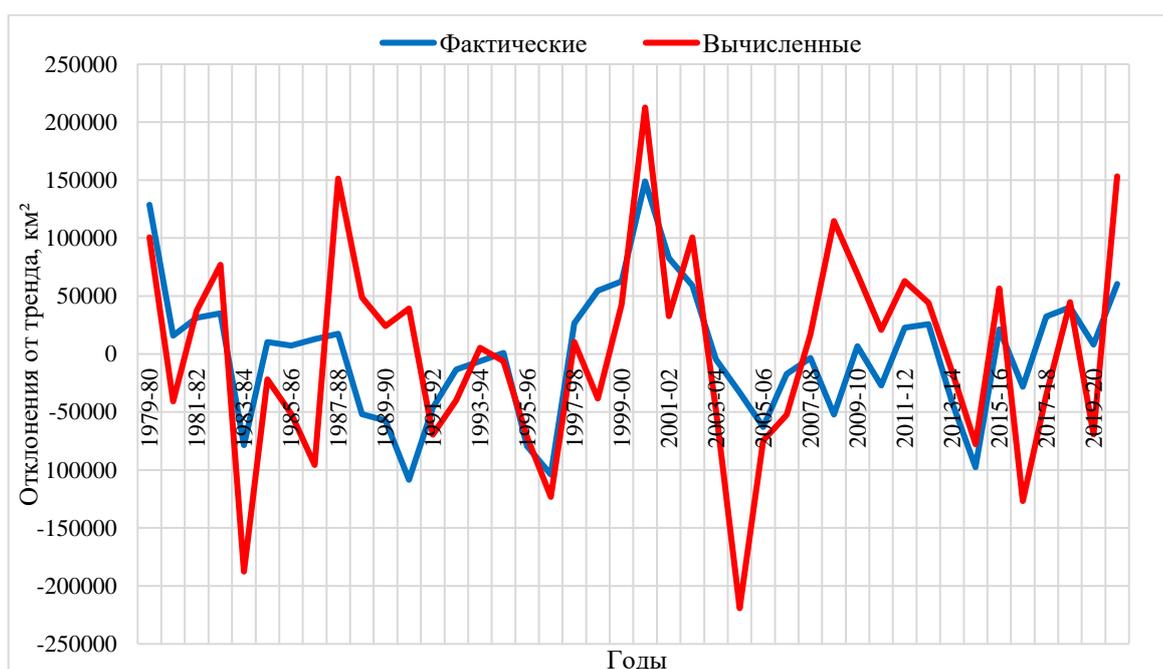


Рис. 3.9. График исходных отклонений и вычисленных значений через гармоники.

Из графика можно сделать вывод, что вычисленные значения гармоник, в общем и целом, повторяет ход фактических значений и имеет схожие максимумы и минимумы.

## Глава 4. Вывод по выполненным расчетам.

### 4.1 Суммы градусо-дней мороза для Охотского моря.

Для сравнения проверки корректности выполненных расчетов по СГДМ были взяты расчеты (Таблица 4.1) из книги «Ледовые условия морей азиатской части России» И.О. Думанской по данным Охотского моря.

Таблица 4.1. СГДМ по 4 станциям из книги «Ледовые условия морей азиатской части России» И.О. Думанской.

Станции	Магадан	Охотск	Аян	Ича
Критерий для мягкой зимы	<2150	<2680	<2150	<1290
Критерий для умеренной зимы	2150-2575	2680-3110	2150-2575	1290-1690
Критерий для суровой зимы	>2575	>3110	>2575	>1690

По моим данным расчета СГДМ получились следующие значения (Таблица 4.2):

Таблица 4.2. СГДМ по 4 станциям по рассчитанным данным.

Станции	Магадан	Охотск	Аян	Ича
Критерий для мягкой зимы	<2250	<2700	<2175	<800
Критерий для умеренной зимы	2250-2500	2700-2900	2175-2400	800-1450
Критерий для суровой зимы	>2500	>2900	>2400	>1450

Исходя из приведенных выше таблиц можно сделать вывод, что обработанные данные схожи на значения из Таблицы 4.1. Мои данные немного отличаются от приведенных из книги Думанской в связи с тем, что в книге выбраны данные с 1930-1940-ых годов, а моей работе я брал данные начиная с 1978 года. Но можно сделать общий вывод, что данные по СГДМ в моей работе рассчитаны корректно и их можно использовать для дальнейших расчетов.

### 4.2 Кластерный анализ для Охотского моря.

После разделения данных по СГДМ (кластерным способом) на три вида была сформирована таблица по суровостям (Таблица 4.3). Она приведена ниже:

Таблица 4.3. Степени суровости на 8 метеостанциях.

	Охотск	Магадан	Шелихов	Ича	Курильск	Ноглики	Б.Шантар	Аян
1978-79	сур	сур	умер	сур	умер	сур	-	умер
1979-80	сур	умер	-	сур	сур	сур	сур	сур
1980-81	мягк	умер	мягк	сур	сур	умер	умер	мягк
1981-82	сур	умер	умер	сур	умер	сур	умер	умер
1982-83	сур	умер	умер	умер	сур	сур	умер	умер
1983-84	умер	мягк	мягк	умер	умер	умер	умер	умер
1984-85	сур	умер	умер	сур	-	-	умер	сур
1985-86	мягк	мягк	мягк	умер	сур	-	умер	умер
1986-87	сур	умер	умер	сур	сур	сур	умер	сур
1987-88	сур	сур	сур	сур	сур	сур	умер	сур
1988-89	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
1989-90	умер	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
1990-91	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
1991-92	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	умер	умер	мягк
1992-93	умер	умер	умер	сур	мягк	умер	мягк	мягк
1993-94	мягк	умер	умер	сур	мягк	умер	умер	умер
1994-95	умер	умер	мягк	умер	мягк	умер	умер	умер
1995-96	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
1996-97	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
1997-98	сур	сур	сур	сур	умер	умер	мягк	умер
1998-99	сур	мягк	сур	сур	умер	сур	сур	сур
1999-00	мягк	мягк	мягк	сур	умер	умер	мягк	мягк
2000-01	умер	сур	умер	сур	сур	сур	сур	сур
2001-02	мягк	мягк	умер	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
2002-03	мягк	мягк	мягк	умер	сур	умер	умер	умер
2003-04	мягк	мягк	-	умер	мягк	умер	умер	умер
2004-05	сур	умер	умер	умер	умер	умер	умер	умер
2005-06	мягк	мягк	умер	умер	мягк	мягк	умер	мягк
2006-07	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	умер	мягк	умер
2007-08	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
2008-09	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	умер	умер
2009-10	умер	умер	умер	сур	мягк	умер	умер	сур
2010-11	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк
2011-12	умер	умер	умер	сур	умер	умер	умер	умер
2012-13	мягк	мягк	мягк	умер	умер	умер	умер	умер
2013-14	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк	мягк
2014-15	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
2015-16	умер	умер	умер	сур	умер	мягк	мягк	мягк
2016-17	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
2017-18	умер	мягк	мягк	мягк	мягк	сур	умер	сур
2018-19	мягк	мягк	мягк	умер	умер	мягк	мягк	мягк
2019-20	мягк	мягк	мягк	умер	мягк	мягк	мягк	мягк
2020-21	умер	умер	-	-	мягк	мягк	-	умер

Для следующего анализа нужно выделить из Таблицы 4.3 три года, в которых на большинстве станций одинаковые суровости. В моей работе такими годами оказались 1987-88 (суровая зима), 2011-12 (умеренная зима) и 2013-2014 (мягкая зима).

Далее я сформировал таблицу с площадями льдов за данные три года и построил график годового хода ледовитости.

Также я скачал 6 карт ледовой обстановки в Охотском море за умеренную и мягкую зимы (карты за декабрь, февраль и май). Данные карты необходимы для проверки корректности сравнения зим по суровости.

Таблица 4.4. Площади льдов за три зимы разной суровости.

Месяцы	Площадь, км <sup>2</sup>		
	суровая, 1987-88	умеренная, 2011-12	мягкая, 2013-14
Сентябрь	0	0	0
Октябрь	50000	30000	30000
Ноябрь	60000	30000	30000
Декабрь	460000	170000	220000
Январь	880000	710000	690000
Февраль	1300000	1080000	960000
Март	1420000	1210000	960000
Апрель	910000	920000	610000
Май	370000	300000	120000
Июнь	80000	60000	30000
Июль	20000	10000	10000
Август	30000	20000	20000
Среднегодовая площадь	465000	378333	306667

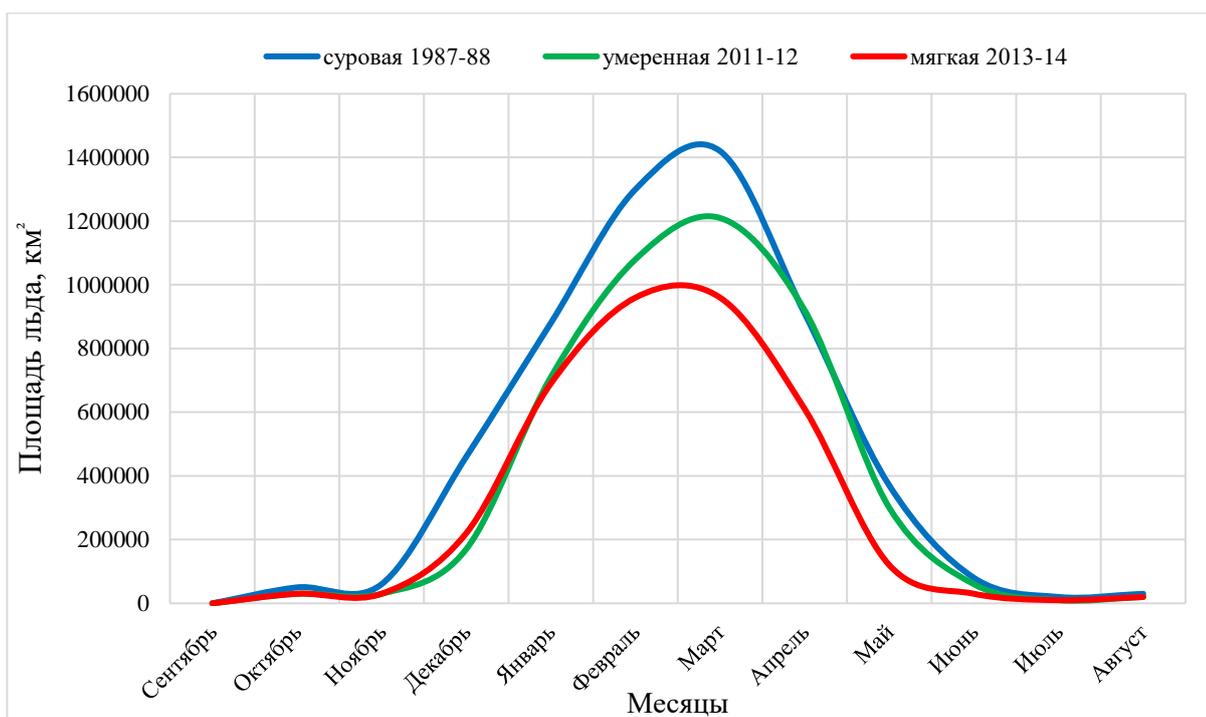


Рис. 4.1. Годовой ход площадей льдов за три зимы разной суровости.

Проанализировав данный график можно сделать несколько выводов. Так, например, ледовитости в разные годы имеет схожий характер до ноября, а после начинают сильно отличаться. Ледовитость в суровую зиму начинает активнее всех расти и достигает максимума в марте (1420000 км<sup>2</sup>). Ледовитость в умеренную зиму растет, на начальных этапах, даже медленнее, чем в мягкую. Так в ноябре и декабре льда в мягкую зиму больше, чем в умеренную. Однако, начиная с января умеренная зима обгоняет мягкую в площади ледовитости и достигает максимума в марте (1210000 км<sup>2</sup>). Мягкая зима имеет самую минимальную среднегодовую площадь льдом и максимальную величину льдов, наблюдается она в феврале и марте (960000 км<sup>2</sup>). Стаивание льда начинается (во всех трех видах зим) одинаково в апреле и практически полностью стаивает к июню-июлю.

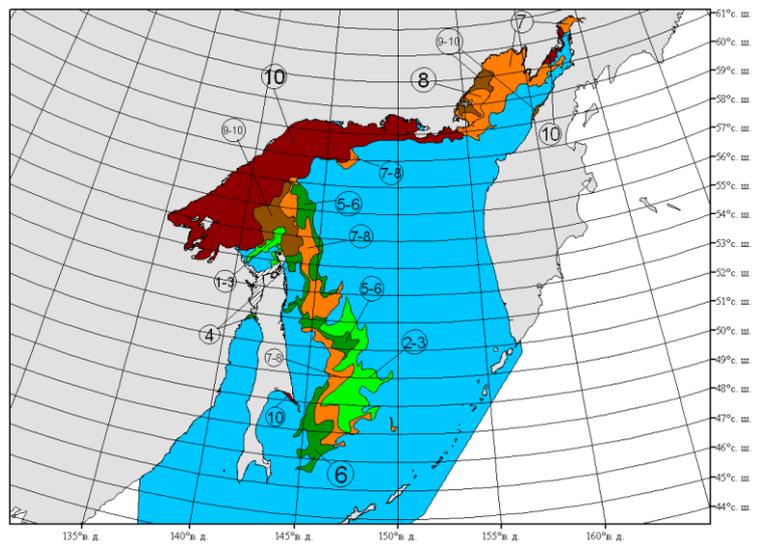
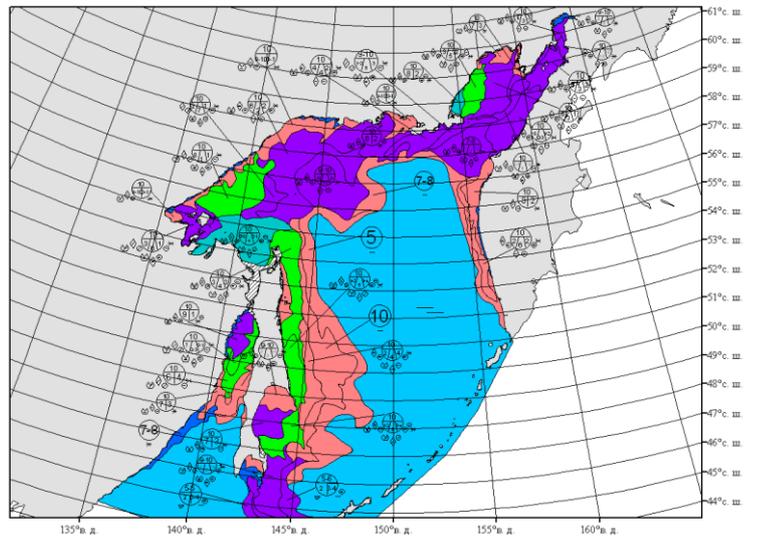
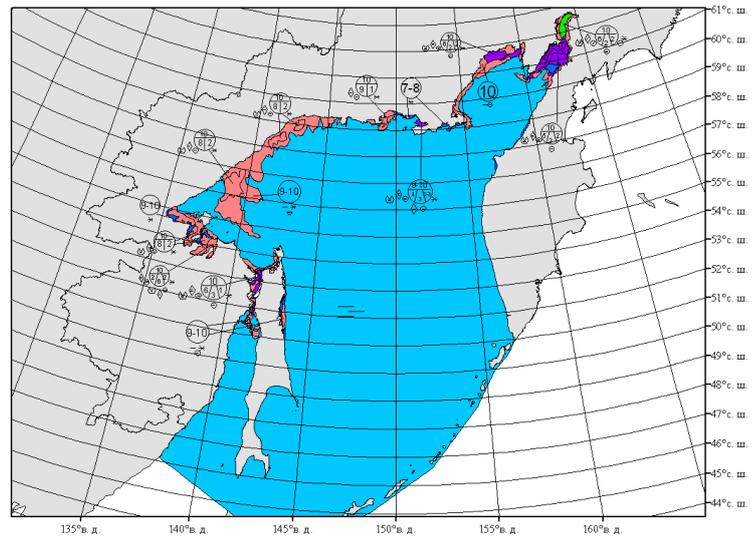


Рис. 4.2. Ледовые карты за умеренную зиму (декабрь, февраль, май).

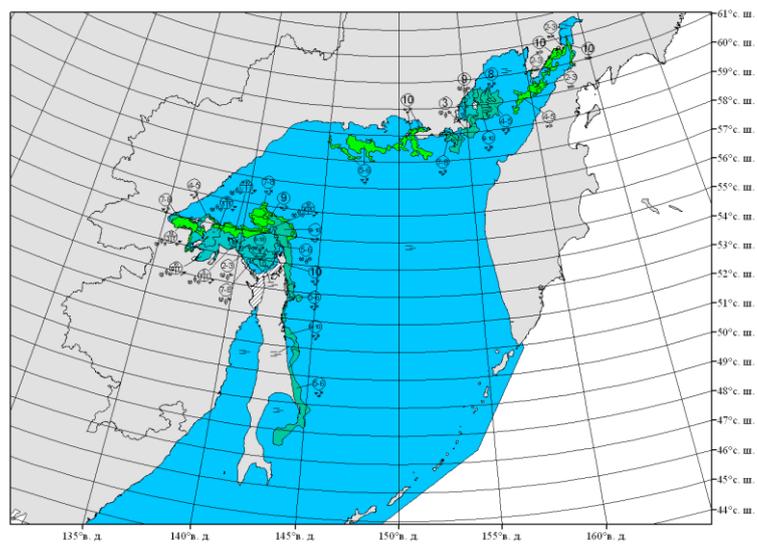
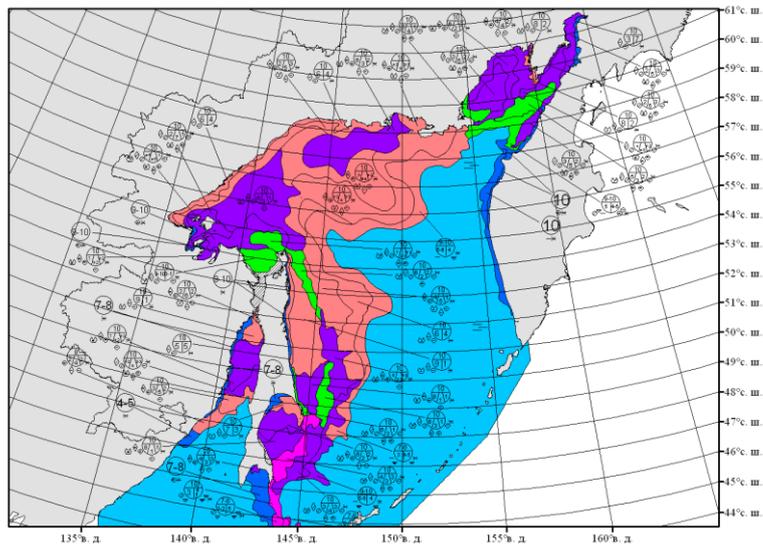
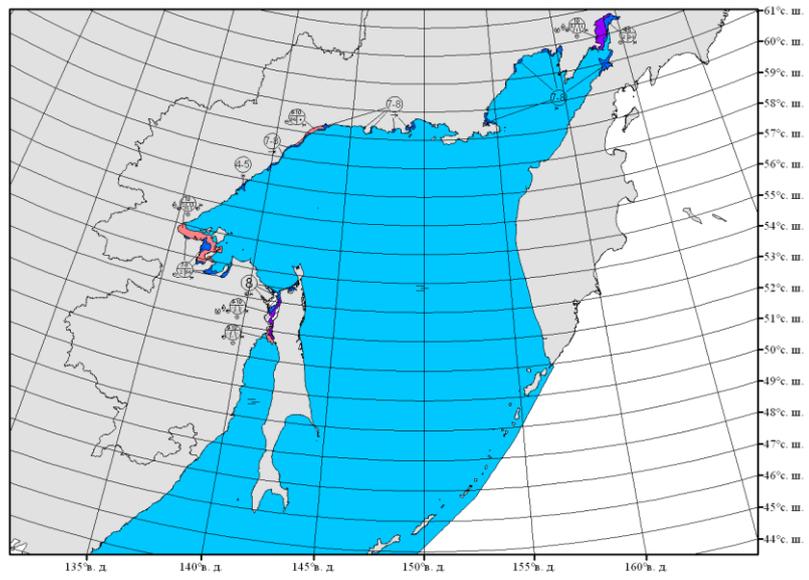


Рис. 4.3. Ледовые карты за мягкую зиму (декабрь, февраль, май).

Исходя из ледовых карт можно с уверенностью сказать, что зима 2011-12 была более суровая, чем зима 2013-14 годов.

На Рисунке 4.2 в декабре уже наблюдается активное льдообразование (льдами занято практически все северное побережье Охотского моря, а также часть залива Шелихов, заливы вблизи Шантарских островов и Сахалинский залив с Амурским лиманом). В то же время на Рисунке 4.3 в декабре занята льдами лишь незначительная часть Охотского моря (север залива Шелихова, Удская губа и Тугурский залив, а также часть Амурского лимана).

В феврале на ледовой карте (Рисунок 4.2) умеренной зимы наблюдается больше льдов, которые заняли Охотское море, чем на ледовой карте (Рисунок 4.3) того же февраля, но уже мягкой зимы (там можно видеть, что льдов меньше).

В мае на ледовой карте умеренной зимы (Рисунок 4.2) наблюдается еще довольно много льдов (занято все северное побережье Охотского моря, а также большие ледяные массивы западнее острова Сахалин). В то же время на майской ледовой карте за мягкую зиму (Рисунок 4.3) наблюдается довольно малое количество льдов: небольшое количество начальных форм в заливе Шелихова и у берегов Магадана, довольно крупное скопление льдов в заливах вблизи Шантарских островов и начальные виды льдов вдоль западного берега острова Сахалин. Также в мае все еще наблюдается припай между южной частью острова Сахалин и материком (в Амурском лимане), стоит отметить что в данном месте в зимний период работает ледовая автомобильная переправа, которая связывает остров с материковой частью России. И прогноз появления припая в данном месте и его схода является важной геофизической задачей для России.

## Заключение.

В моей работе использовались данные по площади льдов в Охотском море в период с 1979 года по 2021 год. Также были взяты и обработаны данные по температуре атмосферного воздуха за тот же период с 8 метеорологических станций. Данные по ледовитости и температуре были разделены по сезонам по типу: 1979-80, 1980-81, до сезона 2020-21 года.

Данные по температуре атмосферного воздуха были обработаны и сформированы ряды данных по сумме градусо-дней мороза. Далее СГДМ были разбиты на три группы (при помощи кластерного анализа): суровые зимы, умеренные зимы и мягкие зимы.

Для представления об изменчивости площади льда в Охотском море были сформированы среднегодовые ряды данных и по этим данным выделена трендовая компонента, выполнен автокорреляционный анализ и гармонический, спектральный анализы Фурье. После расчета тренда среднегодового хода ледовитости было получено отрицательно значение –  $-38$  тыс. км<sup>2</sup>/10 лет. Соответственно площадь льда в Охотском море имеет тенденцию к уменьшению с течением временного ряда.

По данным СГДМ было выделено три зимы, в которых преобладают одинаковые (на всех 8 метеорологических станциях) суровости зим: 1987-88 – суровая, 2011-12 – умеренная, 2013-14 – мягкая. За данные зимы были построены графики межгодового хода ледовитости, а также скачаны карты ледовитости за умеренную и мягкую зиму. Исходя из всего этого было доказано, что данные по СГДМ соответствуют данным по ледовитости в Охотском море. Также данные по СГДМ были сравнены с данными СГДМ из книги Думанской, и это сравнение (по 4 станциям: Магадан, Охотск, Аян и Ича) показало, что мои данные корректны и могут быть использованы для расчетов. На скачанных картах ледовой обстановки Охотского моря можно также четко различить умеренную и мягкую зимы (площади льдов в умеренную зиму заметно больше, чем в мягкую).

В заключении хочется сказать, что после выполненной мною работы, можно с уверенностью сказать, что площадь льдов в Охотском море с каждым годом становится все меньше и меньше. Это может быть связано с тем, что в мире идет глобальное изменение климата и повышение средних температур воздуха. Мягкие зимы встречаются все чаще и чаще, а суровых зим в Охотском море не встречалось уже более 7-10 лет (на отдельных станциях не было суровых зим и более 15 лет). Такой суровый край – Охотское море, с каждым годом его суровость становится меньше, что влияет на некоторую фауну, которая когда-то обитала в этом море, но теперь условия для нее неблагоприятные.

## Список литературы.

- 1) Глуховской, Б.Х. Проект "Моря", Гидрометеорология и гидрохимия морей, Том IX Охотское море, Выпуск 1, Гидрометеорологические условия / Б.Х. Глуховской, Н.П. Гоптарев, Ф.С. Терзиев. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1998. – 343 с.
- 2) Гордеева, С.М. Практикум по дисциплине "Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации" / С.М. Гордеева. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2017. – 68 с.
- 3) Малинин, В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник, - издание 2, испр. и доп. / В.Н. Малинин. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2020. – 424 с.
- 4) Думанская, И.О. Ледовые условия морей азиатской части России / И.О. Думанская. – Москва: ФГБУ "Гидрометцентр России", 2017. – 640 с.
- 5) Сервер климатических данных ВНИИГМИ-МЦД: сайт. – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml> (дата обращения: 10.05.2023).
- 6) National Centers for Environmental Information, NOAA, Regional Sea Ice: сайт. – URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/regional-sea-ice/extent/Okhotsk/3> (дата обращения: 20.04.2022).
- 7) Генерализованные карты состояния ледяного покрова в арктических и замерзающих морях России и Гренландского моря: сайт. – URL: [http://old.aari.ru/odata/\\_d0004.php?m=Okh&lang=0&mod=0&yy=2011](http://old.aari.ru/odata/_d0004.php?m=Okh&lang=0&mod=0&yy=2011) (дата обращения: 20.05.2023).
- 8) Особенности развития ледяного покрова Охотского моря в 2001-2006 гг. / В.М. Пищальник, С.А. Покрашенко, А.В. Леонов, А.А. Гальцев // Сборник статей РЭА. – 2009. – № 1. – С. 185-197.
- 9) Василенко, Ю.П. Ледяной покров Охотского моря в позднеплейстоценовом оледенении и голоцене / Ю.П. Василенко, С.А. Горбаренко, Ц. Цзоу // Вестник ДВО РАН. – 2011. – № 2. – С. 70-77.

10) Устинова, Е.И. Межгодовая изменчивость термических условий Охотского моря / Е.И. Устинова, Ю.Д. Сорокин, Г.В. Хен // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – 2002. – Т. 130, № 1. – С. 44-51.

11) Дубина, В.А. Дрейф льда в Охотском море по спутниковым данным / В.А. Дубина, В.В. Плотников, Н.М. Вакульская // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2017. – № 3. – С. 3-8.

12) Мороз, И.Ф. Вертикальная структура геострофических течений Охотского моря / И.Ф. Мороз // Известия ТИНРО. – 2006. – Т. 145, № 4. – С. 289-304.

13) Коломейцев, В.В. Некоторые результаты статистической обработки данных (за 1972-2014 гг.) о ледовитости Охотского моря / В.В. Коломейцев // Исследование водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана. – 2015. – № 36. – С. 107-110.

14) Клименко, А.В. Кластерный анализ данных / А.В. Клименко, И.С. Слащев // Международный научный журнал "ВЕСТНИК НАУКИ". – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 159-163.

15) Жигалов, И.А. Межгодовая изменчивость горизонтальной циркуляции вод Северной части Охотского моря / И.А. Жигалов, В.А. Лучин // Известия ТИНРО. – 2010. – Т. 161, № 7. – С. 212-228.

## Приложение А. Дендрограммы метеорологических станций Охотского моря.

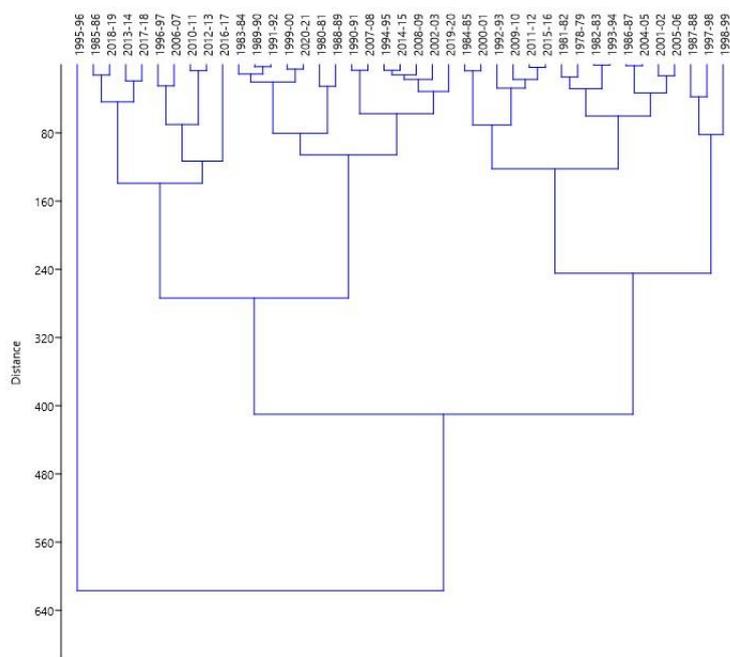


Рис. А1. Дендрограмма станции Шелихов (25922).

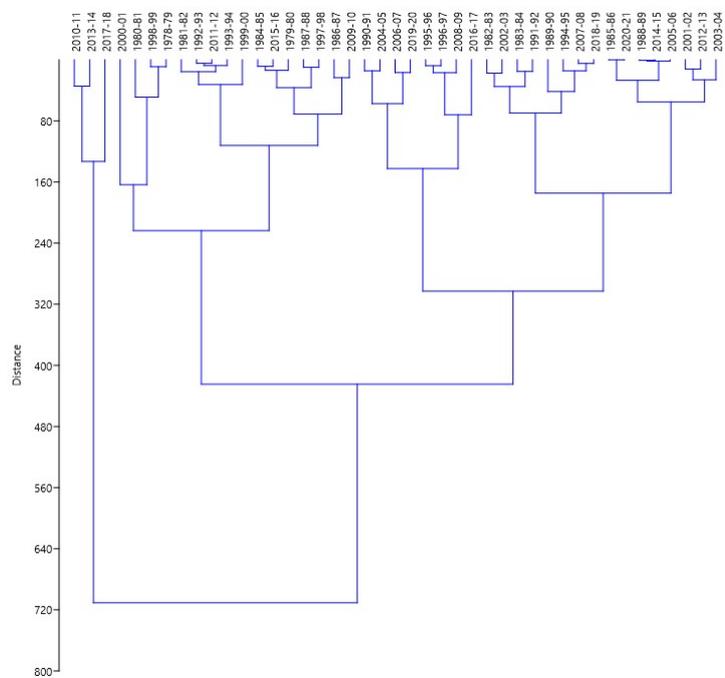


Рис. А2. Дендрограмма станции Ича (32411).

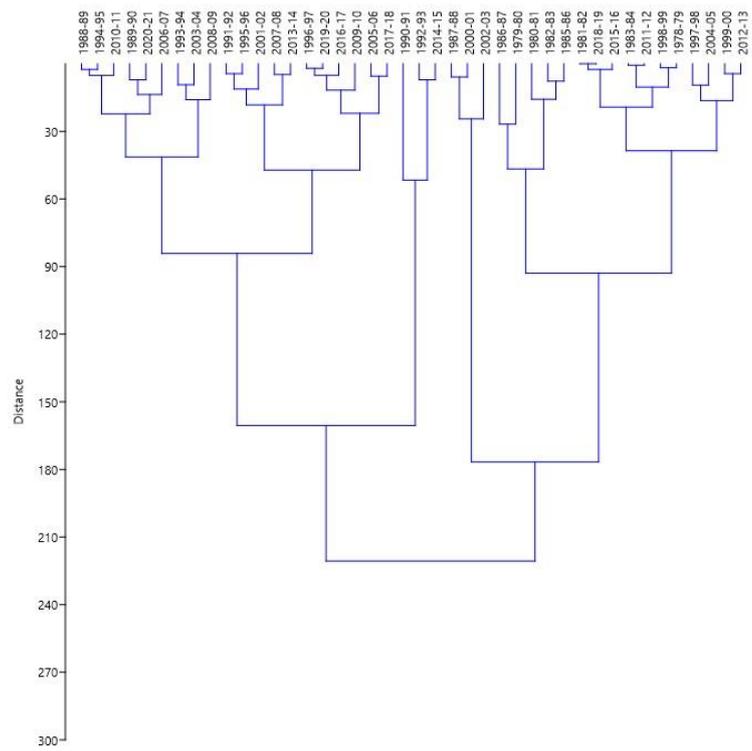


Рис. А3. Дендрограмма станции Курильск (32174).

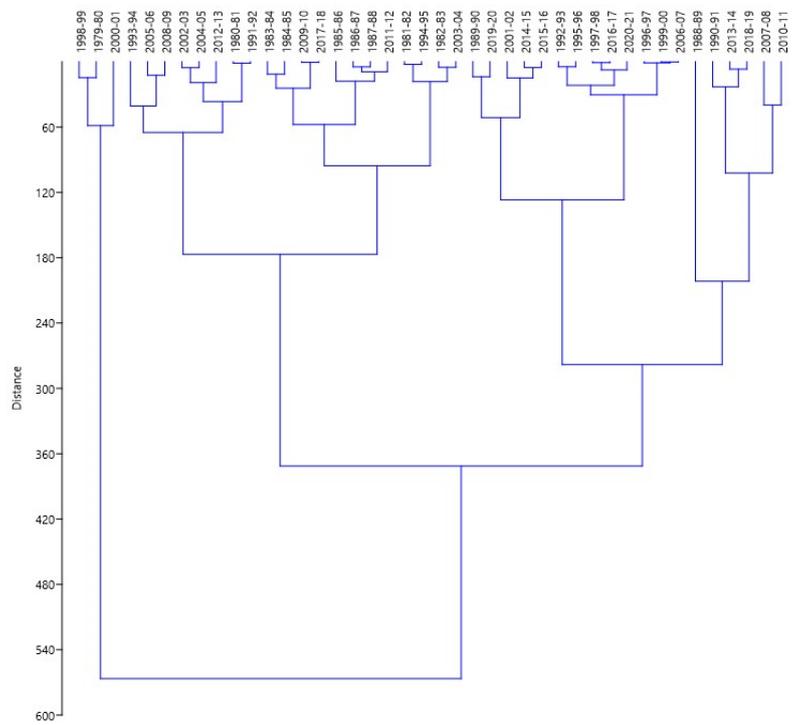


Рис. А4. Дендрограмма станции Большой Шантар (31174).

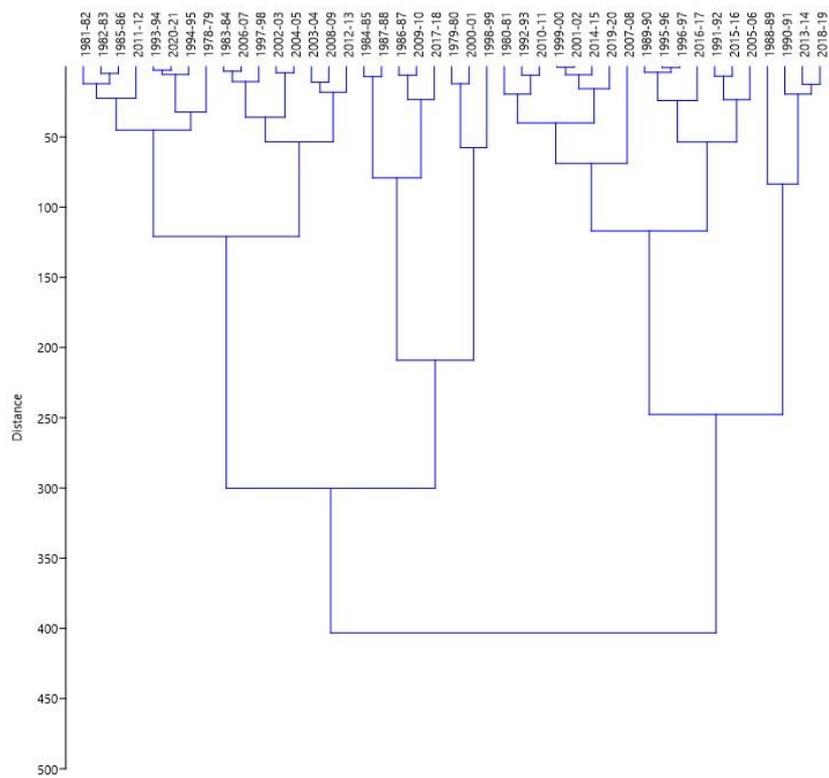


Рис. А5. Дендрограмма станции Аян (31168).

**Приложение Б. Таблицы распределения данных СГДМ по трем видам зим в Охотском море.**

Таблица Б1. СГДМ по трем видам зим на станции Шелихов (25922).

	суровая
1987-88	-2628.2
1997-98	-2590.6
1998-99	-2691.4

	умеренная
1978-79	-2362.9
1981-82	-2348.4
1982-83	-2383.6
1984-85	-2512.6
1986-87	-2326.8
1992-93	-2458.9
1993-94	-2384.0
2000-01	-2505.4
2001-02	-2299.5
2004-05	-2325.6
2005-06	-2286.6
2009-10	-2419.8
2011-12	-2438.7
2015-16	-2435.5

	мягкая
1980-81	-2255.4
1983-84	-2163.0
1985-86	-1963.8
1988-89	-2230.1
1989-90	-2172.8
1990-91	-2035.1
1991-92	-2175.2
1994-95	-2086.0
1995-96	-1582.5
1996-97	-1771.9
1999-00	-2152.6
2002-03	-2102.6
2006-07	-1796.7
2007-08	-2041.7
2008-09	-2077.3
2010-11	-1851.0
2012-13	-1858.0
2013-14	-1904.5
2014-15	-2092.6
2016-17	-1706.3
2017-18	-1923.6
2018-19	-1951.6
2019-20	-2121.0
2020-21	-2147.5

Таблица Б2. СГДМ по трем видам зим на станции Ича (32411).

	суровая
1978-79	-1761.1
1979-80	-1587.6
1980-81	-1716.7
1981-82	-1482.9
1984-85	-1578.1
1986-87	-1652.3
1987-88	-1610.0
1992-93	-1498.8
1993-94	-1493.4
1997-98	-1620.0
1998-99	-1770.3
1999-00	-1527.1
2000-01	-1913.0
2009-10	-1675.9
2011-12	-1503.5
2015-16	-1569.4

	умеренная
1982-83	-1447.4
1983-84	-1411.1
1985-86	-1206.9
1988-89	-1179.8
1989-90	-1320.1
1990-91	-1031.2
1991-92	-1395.7
1994-95	-1352.0
1995-96	-908.3
1996-97	-916.2
2001-02	-1243.4
2002-03	-1429.8
2003-04	-1263.6
2004-05	-1045.7
2005-06	-1181.2
2006-07	-1104.3
2007-08	-1364.1
2008-09	-895.3
2012-13	-1231.2
2014-15	-1178.9
2016-17	-978.7
2018-19	-1369.0
2019-20	-1087.5
2020-21	-1207.0

	мягкая
2010-11	-629.9
2013-14	-595.3
2017-18	-745.7

Таблица Б3. СГДМ по трем видам зим на станции Курильск (32174).

	суровая
1979-80	-517.1
1980-81	-566.7
1982-83	-578.6
1985-86	-586.3
1986-87	-543.9
1987-88	-660.2
2000-01	-666.1
2002-03	-687.6

	умеренная
1978-79	-481.8
1981-82	-467.8
1983-84	-493.4
1997-98	-437.6
1998-99	-483.6
1999-00	-447.0
2004-05	-428.1
2011-12	-492.7
2012-13	-451.4
2015-16	-470.3
2018-19	-467.8

	мягкая
1988-89	-282.1
1989-90	-293.3
1990-91	-196.7
1991-92	-392.2
1992-93	-141.5
1993-94	-258.9
1994-95	-279.6
1995-96	-387.8
1996-97	-352.2
2001-02	-401.2
2003-04	-249.6
2005-06	-321.8
2006-07	-310.5
2007-08	-373.1
2008-09	-238.3
2009-10	-337.8
2010-11	-275.7
2013-14	-377.9
2014-15	-148.6
2016-17	-346.1
2017-18	-327.3
2019-20	-350.2
2020-21	-300.4

Таблица Б4. СГДМ по трем видам зим на станции Большой Шантар  
(31174).

	суровая
1979-80	-2984.5
1998-99	-2999.2
2000-01	-2933.1

	умеренная
1980-81	-2433.5
1981-82	-2601.6
1982-83	-2582.0
1983-84	-2666.8
1984-85	-2678.3
1985-86	-2704.7
1986-87	-2728.1
1987-88	-2723.3
1991-92	-2434.9
1993-94	-2548.2
1994-95	-2604.1
2002-03	-2480.0
2003-04	-2587.1
2004-05	-2474.5
2005-06	-2501.3
2008-09	-2513.8
2009-10	-2647.9
2011-12	-2716.4
2012-13	-2458.0
2017-18	-2648.5

	мягкая
1988-89	-1857.0
1989-90	-2249.1
1990-91	-2002.3
1992-93	-2378.7
1995-96	-2374.1
1996-97	-2333.7
1997-98	-2357.7
1999-00	-2332.8
2001-02	-2214.6
2006-07	-2332.5
2007-08	-2100.1
2010-11	-2139.9
2013-14	-2022.0
2014-15	-2202.4
2015-16	-2197.0
2016-17	-2356.8
2018-19	-2028.9
2019-20	-2263.0
2020-21	-2349.7

Таблица Б5. СГДМ по трем видам зим на станции Аян (31168).

	суровая
1979-80	-2715.5
1984-85	-2563.5
1986-87	-2498.7
1987-88	-2570.5
1998-99	-2767.0
2000-01	-2703.3
2009-10	-2492.7
2017-18	-2472.3

	умеренная
1978-79	-2311.3
1981-82	-2366.9
1982-83	-2376.7
1983-84	-2229.6
1985-86	-2381.5
1993-94	-2346.7
1994-95	-2339.9
1997-98	-2238.6
2002-03	-2197.7
2003-04	-2259.1
2004-05	-2193.4
2006-07	-2226.4
2008-09	-2270.1
2011-12	-2397.5
2012-13	-2282.8
2020-21	-2344.2

	мягкая
1980-81	-2010.5
1988-89	-1736.3
1989-90	-2094.7
1990-91	-1806.8
1991-92	-2128.4
1992-93	-2033.0
1995-96	-2090.4
1996-97	-2091.0
1999-00	-1989.1
2001-02	-1989.4
2005-06	-2155.2
2007-08	-1931.8
2010-11	-2027.0
2013-14	-1820.0
2014-15	-1983.5
2015-16	-2135.1
2016-17	-2067.9
2019-20	-1971.7