

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

Допущена к защите
Зав. кафедрой к.ф.-м.н., доцент
Т.Р. Ерёмина
Т.Р. Ерёмина
10.06.2016

Кафедра промышленной
океанологии и охраны
поверхностных вод

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
Влияние изменения климата на
гидрофизические и гидрохимические
характеристики Балтийского моря

Выполнил	Е.В. Ошмарина, гр. О-55
Руководитель	к.ф.н., доцент Т.Р. Ерёмина

Санкт-Петербург 2016

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

Допущена к защите
Зав. кафедрой к.ф.-м.н., доцент
_____ Т.Р. Ерёмина
_____.06.2016

Кафедра промысловой
океанологии и охраны
поверхностных вод

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
Влияние изменения климата на
гидрофизические и гидрохимические
характеристики Балтийского моря**

Выполнил	Е.В. Ошмарина, гр. О-55
Руководитель	к.ф.н., доцент Т.Р. Ерёмина

Санкт-Петербург 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Физико-географическое описание Балтийского моря	5
1.1 Климат моря	9
1.2. Термохалинная структура вод	11
1.3 Уровень моря	13
1.4 Гидрохимическая характеристика моря	14
1.5 Антропогенное воздействия на морскую среду	16
2. Изменения климата в Балтийском регионе в период с 1855 по 2014 годы	18
2.1 Изменения температуры воздуха.	20
2.2 Температурные изменения поверхности воды	26
2.3 Ледовые условия	31
2.4 Изменение уровня	35
2.5. Анализ климата за период с 1955 по 1985 годы	39
3. Анализ временной изменчивости гидрометеорологических характеристик в Балтийском море	41
3.1.Изменение гидрометеорологических характеристик за исследуемые периоды	42
3.2. Уровень моря	44
3.3.Гидрохимические изменения в Финском заливе	46
. Заключение	50
Список использованных источников	51

ВВЕДЕНИЕ

Климатом называют многолетний режим погоды, складывающийся в условиях подстилающей поверхности данного региона в результате взаимодействия радиации, влагооборота и циркуляции атмосферы. Географические факторы климата определяют характер протекания климатообразующих процессов в данной местности и тем самым оказывают значительное влияние на климат [1].

Одним из главных научных вопросов в последние десятилетия, стал вопрос о изменении климата на Земле. Рассмотрим влияние изменения климата на Балтийское море. Этой теме посвящено много публикаций.

Балтийское море особенно чувствительно к изменению климата. Береговая мелководная зона, замкнутые мелководные Куршский и Вислинский заливы и районы речного стока подвергаются эвтрофикации и, при повышении температуры здесь начинают усиливаться процессы метаболизма, смертность, жизнеспособность, а также такие процессы как распределение биомассы, биоразнообразие, структура сообщества и изменение в доминировании определенных видов [2].

В настоящее время, на основе многочисленных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами, в Балтийском регионе изменяется уровень моря, температура воды, атмосферное давление, осадки, сток рек и ледяной покров. Рост средней температуры воздуха в регионе, наблюдавшийся в 21-м веке, уже превысил 0.7°C . Важным индикатором изменения климата является уровень моря. Анализ исторических рядов наблюдений более чем за 100-летний период показал, что средний уровень Балтийского моря по осредненным оценкам вырос на 0.17 м (от 0.12 до 0.22 м). Подъем среднего уровня моря за период с 1961 по 2003 годы составлял 1.8 мм/год (от 1.3 до 2.3 мм/год). Важно отметить, что наблюдаемый подъем уровня был зафиксирован на многих уровнях

измерительных станциях Балтийского моря. В регионах Балтийского моря, на основании статистических данных, выявлено влияние повышения температуры воздуха на уменьшение продолжительности ледового покрова в среднем на 15 дней [3].

Велика роль климатических факторов в изменении химических характеристик в Балтийском море. Так, например, в работе [15] было показано, что гипоксические явления в восточной части Финского залива в 1990-х и 2000-х гг. обусловлены крупномасштабными изменениями атмосферных процессов в Северо-Атлантическом секторе северного полушария. В частности, на основе данных многолетних наблюдений в Финском заливе выявлена статистически значимая корреляционная связь между содержанием кислорода в глубинных слоях воды в летний период и предшествующими зимними значениями индекса Северо-Атлантического колебания NAO .

Целью работы является оценка влияния изменения климата на физико-химические характеристики Балтийского моря.

Для реализации цели исследования необходимо выполнить ряд *задач*:

- Собрать данные наблюдений по температуре воздуха, температуре поверхности воды, ледовому состоянию, содержанию кислорода в воде в различных регионах Балтийского моря.
- Провести статистический анализ данных наблюдений. Выявить изменения физико-химических характеристик за 2 климатических периода и сравнить их между собой.
- Проанализировать результаты статической обработки данных по Балтийскому морю.

Таким образом, изучение временных рядов в условиях изменения климата, является важной актуальной задачей.

1. Физико-географическое описание Балтийского моря

Балтийское море представляет собой глубоко вдающуюся в материк акваторию, относящуюся к бассейну Атлантического океана и связанную с Мировым океаном только узкими датскими проливами (рисунок 1.1).

Балтийское море является внутриконтинентальным шельфовым бассейном Атлантического океана. Оно омывает берега таких стран как Швеция, Финляндия, Россия, Эстония, Латвия, Литва, Польша, Германия и Дания. Площадь Балтийского моря вместе с проливами составляет 425.4 тыс.км², а объем воды – 20.1 тыс.км³. Средняя глубина моря 48 м, максимальная 459 м. Преобладают глубины до 50 м, на их долю приходится 60 % площади моря, на долю глубин более 200 м – около 0.3 % площади моря [5].

Балтийское море имеет очень длинную изрезанную береговую линию, её протяженность составляет около 22 000 км. Берега Балтики возникли и развиваются в пределах двух крупных тектонических структур: кристаллического щита Фенноскандии и Восточно-Европейской (Русской) платформы. На характер развития берегов основное влияние оказывали литологический состав и свойства горных пород и отложений, в меньшей степени – тектоника и условия залегания пород. К наиболее изрезанным стоит отнести берега Финского и Ботнического заливов, а также полуостров Ютландия [5]. В Балтийском море выделяют несколько заливов: Ботнический, Финский, Рижский, Куршский, Вислинский. Наиболее крупные заливы Балтийского моря Ботнический, Финский и Рижский. Рельеф дна Финского залива очень похож на рельеф дна Северо-Балтийской впадины. Дно Рижского залива имеет более простое строение подводного рельефа. Оно образует чашеобразную впадину, в центре которой возвышается вытянутое в северо-западном направлении поднятие с островом Рухну. Преобладающие глубины на дне залива составляют около 40 м, а максимальная глубина, расположенная восточнее о. Рухну, достигает 56 м. Поверхность дна хорошо выровнена за счет накопления мощной толщи рыхлых осадков. Ботнический залив является порогом Северный Кваркен (глубина всего 25 м) делится на

две части: южную, или Ботническое море, на севере которого, во впадине Ульве, глубины достигают 301 м, и северную (Боттенвик) с максимальной глубиной 146 м (впадина Бьюре)[5].

Общее количество островов составляет несколько тысяч, но большинство из них очень мелкие. Наиболее крупные острова: Готланд, Эланд, Сарема, Борнхольм и др.[5].

Наиболее характерной чертой рельефа дна Балтийского моря является заметная расчлененность, обусловленная наличием большого количества впадин, подводных порогов между ними, узких желобов и проливов, песчаных и каменистых банок. Дно в южной части моря равнинное, на севере неровное, скалистое. Борнхольмская впадина имеет корытообразную форму с глубиной от 90 до 108 м, с слабохолмистым рельефом дна. Впадина отделена от центрального бассейна Балтийского моря системой повышения дна. На севере моря в проливе Альмарсунд, отделяющем остров Эланд от побережья Швеции, глубина на пороге составляет всего 6 м. Между островом Эландом и Средней банкой глубины достигают 46 м, а южнее Средней банки, в Слупском желобе от 60 до 77 м. В восточной части Балтийского моря находится Готландская впадина (глубина 249 м), к северу от нее – впадина Фёре (глубина 205 м), к югу – Гдальская впадина (глубина 118 м). В западной части Центрального бассейна (западнее Готландского порога) расположены в направлении с севера на юг впадины Ландсортская, Норркепинг и Карлсэ (наибольшая глубина впадин соответственно 459, 205 и 112 м, соответственно). Ландсортская впадина является самой глубокой впадиной Балтийского моря. От впадины Норркепинг она отделена порогом глубиной 112 м. В северной части Центрального бассейна расположена вытянутая в широтном направлении Северо-Балтийская впадина с максимальной глубиной 219 м. На востоке Северо-Восточная впадина при постепенном уменьшении глубин свободно соединяется с Финским заливом[5].

В Балтийском море имеются проливы Каттегат, Эресуни (Зунд), Большой Бельт и Малый Бельт. Общая площадь проливов составляет 35 тыс. км², а объём воды- 0.66 тыс. км³, средняя глубина колеблется от 12 до 33 м. Пролив Каттегат – самый глубоководный и обширный. Глубина составляет в северной части 124 м (здесь имеются опасные банки с глубиной до 7 м), в средней чуть более 50 м, а в южной части уменьшается до 23 м, западная часть пролива занята отмелью с глубиной до 20 м. Пролив Эрсунн (Зунд) в северной части сравнительно глубоководен, глубина до 50 м ,а в южной (особенно на пороге Дрогден) мелководен, глубина 7-8 м. Пролив Большой Бельт достаточно широкий и глубокий (глубина в фарватере более 20 м). Средняя его часть мелководна[5].

Водообмен с Мировым океаном, осуществляемый лишь через узкие и мелкие Датские проливы: Скагеррак и Каттегат (ведущие в Северное море), замедлен - полное обновление воды может произойти в среднем за период от 30 до 50 лет [6] .

Внутриматериковое положение Балтийского моря, его незначительный объём и мелководность проливов определяют важную роль речного стока в формировании режима моря, так как в него впадает более 250 рек. За год они отдают морю около 433 км³, что составляет 2.1 % от общего объёма моря. Наиболее водными реками являются: Нева длиной 74 км, с площадью водосбора 281 км², со стоком 2530 м³/с, Висла, длиной 1068 км, площадью водосбора 193 км², стоком 1 030 км³/с, Западная Двина, длина ее 1020 км, площадь водосбора 88 км² ,сток 730 км³/с и другие реки. Сток распределяется по районам не равномерно, например в Ботническом заливе он равен 181 км³/год, в Финском 110, в Рижском -37, в центральной части Балтики - 112 км³/год [5].

В течении года реки несут к морю неодинаковое количество вод. Полноводность Невы регулируется озером и большой сток приходится на весене-летний период. У многих других рек максимальный сток отмечается весной и небольшое увеличение осенью.

На водосборе было выделено семь районов, питающих речными водами соответствующие районы моря[5] :

- Ботнический залив
- Ботническое море
- Финский залив
- Рижский залив
- Собственно Балтийское море
- Проливы Бельт и Зунд
- Каттегат

1.1 Климат моря

Климат Балтийского моря морской умеренных широт с чертами континентальности. Вытянутая конфигурация моря и значительная протяженность с севера на юг и с запада на восток создают различия климатических условий в разных районах моря.

Наиболее существенное влияние на погоду Балтийского региона оказывает Исландский минимум, а также Сибирский и Азорский антициклоны. Характером их взаимодействия определяются сезонные особенности погоды. Разница давлений между Азорскими островами и Исландией, называемая индексом Северо-Атлантического колебания, осуществляет перенос воздушных масс с запада на восток, приводит к тому, что на Балтику приходят мощные теплые средиземноморские циклоны, приносящие продолжительные и обильные дожди. Из-за этого повышается температура на поверхности воды и снижается ее соленость [7].

В осеннее и особенно зимнее время интенсивно взаимодействуют Исландский минимум и Сибирский максимум, что усиливает циклоническую деятельность над морем. В связи с этим в осенне-зимнее время часто проходят глубокие циклоны, которые несут с собой пасмурную погоду с сильными юго-западными и западными ветрами.

В самые холодные месяцы – январь и февраль – средняя температура воздуха в центральной части моря равна $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на севере и от 5 до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ на востоке. При редких и кратковременных вторжениях холодного арктического воздуха, связанных с усилением Полярного максимума, температура воздуха над морем понижается до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

В весенне-летний сезон Сибирский максимум теряет свою силу, и начинают оказывать свое влияние Исландский минимум, Азорский, а также Полярный максимум. Море находится в полосе пониженного давления, по которой проходят менее глубокие, чем зимой, циклоны из Атлантического океана. В связи с этим весной ветры очень неустойчивы по направлению и невелики по скорости. Ветры северных направлений обуславливают обычно холодную весну на Балтийском море[7].

Летом дуют преимущественно западные, северо-западные и юго-западные слабые до умеренных ветры. С ними связана характерная для моря прохладная и влажная летняя погода. Среднемесячная температура самого теплого месяца – июля $14 - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Ботническом заливе и $16 - 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в остальных районах моря. Жаркая погода бывает редко. Ее вызывают кратковременные загоны прогретого средиземноморского воздуха [6] .

По средним значениям общей облачности выделяют два района моря- северо-восточный (средние месячные значения от 3.1 до 9.2 бала) и южный (от 2.4 до 7.1 бала). Наиболее облачный является юго-западный и северо-восточный районы моря. Сезонная изменчивость определяет зимние самые высокие значения облачности по всем районам моря. Летом показатели облачности низкие и осенью они возрастают. Относительная влажность воздуха в прибрежной зоне моря, самая высокая на южном побережье моря, ее максимумы составляют от 90 до 92% , в северо-западной части моря она также 90% , а на восточном побережье от 87 до 88% , на острове Готланд 89% [5].

На восточном побережье наибольшее колебание в выпадении осадков от 280.7 до 64.0 мм, сказывается влияние активной циклонической деятельности.

Наличие малых минимальных сумм осадков показывает, что в отдельные годы на побережье Балтийского моря в течение длительного времени может преобладать погода, обусловленная антициклонами [6].

В южной части моря ветра со скоростью 22 м/с встречаются примерно с семь раз чаще, чем в северной, а ветра со скоростью 12-14 м/с - в северной чаще, чем в южной. Повторяемость ветров с скоростью 15-18 м/с примерно одинакова. Продолжительные штормы в северной и в южной части моря вызывают штормовые ветры, вызываемые циклонами и антициклонами, приходящими с запада [5].

Зимой воды Балтийского моря покрываются льдами. Но в продолжение одной и той же зимы лед может по нескольку раз таять и вновь сковывать воды. Полностью это море никогда не покрывается льдом. Балтийское море - море с ежегодно возобновляющимся ледяным покровом. Ледовый режим определяется географическим положением и климатическими условиями отдельных районов, влияния берегового стока, интенсивности теплообмена открытой части моря с заливами и северным морем. Раньше всего лед образуется в северо-восточной части Ботнического залива, в мелких бухточках и у берегов. Далее льдом покрываются мелководные участки Финского залива. В северных и восточных областях моря из-за частых вторжений холодных воздушных масс наблюдаются относительно суровые ледовые условия. Далее на запад и на юг ледообразование уменьшается, так как здесь преобладает влияние теплых воздушных масс Атлантики [5].

1.2 Термохалинная структура вод

Балтийское море – солоноватый бассейн. Соленость поверхностных вод колеблется в больших пределах – от 8‰ у о. Борнхольм, до 2-3‰ в Финском заливе. Придонные воды более соленые – от 15 до 20‰. В Арконской впадине соленость составляет от 16 до 20‰, в Готланской впадине от 11 до 13‰, в северных районах моря от 7 до 10‰. Толща вод

Балтийского моря четко разделена на два слоя: верхний распресненный и нижний осолоненый. Граница резкого изменения солености (галоклин) обычно колеблется на глубинах от 20 до 25 м (Арконская впадина) и от 70 до 80 м (центральная часть Балтийского моря)[5].

В районе Датских проливов и Каттегата существует двухслойная система течений: в верхнем, более распресненном слое, потоки следуют в сторону Северного моря, образуя выходное течение, а в нижних слоях течение имеет обратное направление в Балтийское море (входное течение), с которым перемещаются соленые каттегатские воды. При прохождении циклонов с северной Атлантики на восток и северо-восток, с сильными ветрами, система течений перестраивается, и во всех слоях отмечаются входные потоки и в этом случае в Балтийское море поступает большое количество соленых вод. Осолонение вод Балтийского моря связано с распространением более соленых вод с юго-запада на северо-восток. Наибольшее колебания солености наблюдается с 30-месячной цикличностью, причем в Южной Балтике они более значительны, чем в центральной части моря[8].

Выделяют четыре периода с различной тенденцией крупномасштабных изменений осредненной по вертикали солености.

Во времена выделенных периодов: с 1890 по 1920 гг.; от 1920 до 1930 гг; от 1930 до 1950 гг; от 1950 до 1970 гг, соленость в Борнхольмском и Готландском бассейнах изменялась то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения. Это объясняется тем, что не все затоки соленых вод в глубинные слои Борнхольмского бассейна преодолевают Слупский порог, отделяющий этот район от Готлонского бассейна [5].

Температура воды в Балтийском море формируется, главным образом, под влиянием теплообмена между морем и атмосферой. При ветровом перемешивании происходит передача тепла из верхних в глубинные слои моря, на нижней границе слоя, в теплый период, образуется термоклин. При сезонных колебаниях температуры воды в глубинных слоях колебания

температуры зависят от развития конвективного перемешивания и адвекции североморских вод. В зимнее время в открытой части моря наблюдается равномерное распределение температуры, колебание в среднем 1-2 °С, в глубинах температура воды выше, так как имеется запас тепла. В зимнее время температура вод у побережья ниже, чем в открытом море. В западной части, море сильнее прогрето, чем в восточной, что связано с охлаждающим влиянием суши. В летнее время наиболее холодные воды у западных берегов в центральной и южной зоне моря. Подобное распределение температур связано с тем, что западные ветра перемещают прогретые верхние воды от западных берегов. Их место занимают холодные глубинные воды. В Балтийском море практически не наблюдаются приливы. Течение, затрагивающее поверхностные воды, возникает под воздействием ветров и речного стока. Основные черты осенне-зимнего режима Балтийского моря формируются в результате локального взаимодействия с атмосферой[5].

Плотность воды зависит от температуры и солености, изменения термохалиной структуры определяют абсолютные значения и региональные особенности изменчивости плотности в различных районах Балтийского моря. Наибольшая изменчивость плотности в южной части моря в придонных слоях и уменьшается с увеличением глубин и продвижением в центральные и северные районы моря. В поверхностных слоях отмечается более сложная картина изменчивости плотности воды, так как здесь помимо солености оказывает влияние и температура, а в северных районах моря велико влияние пресного стока[5].

1.3. Уровень моря

Один из факторов изменения уровня поверхности Балтийского моря - вековые колебания земной коры. По данным исследований уровня в 20 веке максимальная скорость тектонических поднятий прослеживается в Ботническом заливе - до 9.7 мм/год, а максимальная скорость опускания на южном побережье Балтийского моря - до 11.2 мм/год. Вертикальное

движение земной коры по побережьям Балтийского моря в среднем колеблется в пределах от 2 до 11 мм/год. Незначительную роль имеют атмосферные осадки и испарение с поверхности моря, так как они приблизительно равны. Внутригодовые изменения уровня моря зависят от увеличения речного стока весной, который достигает максимума в августе или сентябре; затем наступает осенний минимум, как весной перед паводком. Зимой, при деятельности циклонов, западные ветры нагоняют воду через проливы в море и уровень снова увеличивается, но менее выражено чем весной. Изменение атмосферного давления и ветра (при циклонах) вызывает ритмические колебания уровня поверхности - сейши - с периодом от 24 до 26 ч, что изменяют уровень поверхности вод в открытой части моря от 20 до 30 см и на 1.5 м в Невской губе. Эти колебания одни из основных черт уровня режима Балтийского моря. Сгонно-нагонные колебания уровня происходят быстро и достигают больших величин - в бухтах и заливах от 1.0 до 2.0 м [5].

Приливные колебания не играют существенной роли и изменяются при проникновении из Северного моря полусуточной приливной волны и небольших приливных колебаний Балтийского моря. Временные колебания уровня, при изменениях плотности воды в отдельных районах, носят сезонный характер и влияние их велико, особенно в июле и декабре[5].

1.4. Гидрохимическая характеристика моря

Слабый водообмен с океаном, значительный сток рек с материка и двухслойная вертикальная структура Балтийского моря определяют его гидрохимические условия. Ионный состав воды близок к океанскому, но возле берегов наблюдается повышенное содержание ионов кальция и несколько пониженную концентрацию ионов натрия. В центральных районах и в глубинах эти различия уменьшаются[5].

В Балтийском море количество растворенного кислорода изменяется по сезонам года. Весной большое содержание кислорода в слое от 0 до 20 м

определяется деятельностью фитопланктона в условиях невысокой температуры воды. Летом понижается растворимость кислорода из-за повышения температуры и из-за понижения деятельности фитопланктона, в поверхностном слое по всему морю содержание его равномерно. Осенью и зимой количество растворенного кислорода в поверхностных водах увеличивается из-за понижения температуры и вследствие влияния штормов. В Балтийском море и Финском заливе распределение кислорода по вертикали характеризуется высоким содержанием этого газа в воде от поверхности до горизонтов 60-70 м, в нижележащем слое 20-30 м резким уменьшением и низкими величинами на глубинах 80-100 м и до дна. При мощных затоках вод через проливы под действием ветров происходит обновление глубинных вод Балтики, в период между затоками происходит застой в глубоких районах (Борнхольмской и Готландских впадинах) и наблюдается полное исчезновение кислорода (гипоксия) и появление сероводорода. Но в самой глубокой Ландсортской впадине полное отсутствие кислорода не наблюдалось, так как во время суровых зим здесь имеется слабая вертикальная стратификация и конвективное перемешивание. Гипоксия отрицательно сказывается на морской экосистеме и увеличивает территорию мертвых зон, или аноксии, то есть полное отсутствие кислорода или содержания его в следовых количествах. Образованию таких мертвых зон (часто с сероводородным загрязнением) способствует резкая стратификация водной толщи, отсутствие перемешивания, слабый водообмен с океаном, поступление большого количества органического вещества в сочетании с высокой продуктивностью[5].

В Балтийском море за счет разницы в концентрации соли в глубоких и менее плотных слоях создается стратификация водных слоев и поэтому не происходит смешивания двух типов воды, необходимого для перемещения кислорода к морскому дну. Такие соединения, как фосфаты железа, способствуют размножению в воде различных видов бактерий, которые создают благоприятные условия для гипоксии. В российском секторе

Балтийского моря анаэробные слои водной толщи постоянно наблюдаются в Гданьской впадине на глубинах свыше 80-85 м [5].

В Балтийской воде очень большое содержание силикатов, которые выносят реки с материков. Избыточное поступление в акваторию азота и фосфора в результате смыва с удобряемых полей, с коммунальными стоками городов и отходами некоторых предприятий, потребляется фитопланктоном и вызывает цветение воды, изменяется по сезонам и пространству в зависимости от развития фитопланктона. Весной и летом содержание биогенов понижено, а осенью и зимой повышено [6].

1.5 Антропогенное воздействия на морскую среду

Как было сказано выше избыточное поступление в акваторию азота и фосфора в результате смыва с удобряемых полей, с коммунальными стоками городов и отходами некоторых предприятий, а также их поступление из внутренних источников является экологической проблемой номер один Балтийского моря. Большое содержание биогенных элементов в воде вызывает эвтрофирование, в результате которого изменяется соотношение азот/фосфор, увеличивается цветение водорослей, ухудшается качество воды вследствие неполной переработки органических веществ и расходования кислорода. В отсутствие кислорода на дне моря образуется сероводород, губительно влияющий на морских обитателей. Мертвые сероводородные зоны занимают дно крупнейших впадин Балтийского моря - Борнхольмской, Готландской и Гданьской [6].

Вторая по значимости проблема Балтийского моря — накопление тяжелых металлов: ртути, свинца, меди, цинка, кадмия, кобальта, никеля. Около половины общей массы этих металлов попадает в море с атмосферными осадками, остальная часть — при прямом сбросе в акваторию или с речным стоком бытовых и промышленных отходов [6].

Также острая проблема загрязнение вод нефтью. Нефть покрывает поверхность воды пленкой не пропускающей кислород вглубь.

На Балтийское море приходится до 10 % мировых морских перевозок, что также оказывает негативное влияние на акваторию Балтийского моря[6].

Основные промышленные центры и сельскохозяйственные районы непосредственно приурочены к прибрежной зоне, что еще более усиливает антропогенную нагрузку на море.

Среди промышленных стоков наиболее опасны отходы предприятий энергетики, целлюлозно-бумажных комбинатов и заводов, производящих удобрения.

В группу стран, где интенсивность рассеянных антропогенных нагрузок незначительна, входят Норвегия, Финляндия, Швеция, Эстония. В Дании и Польше развито сельское хозяйство, с высоким уровнем применения химических удобрений, поэтому здесь наблюдается самое высокое загрязнение Балтийского моря. В Польше развиты отрасли которые приносят большой урон окружающей среде — черная и цветная металлургия, производство азотных и фосфорных удобрений[6] .

Чем большую территорию государство занимает в бассейне, тем — при прочих равных условиях — выше его суммарное воздействие. При таком расчете с огромным отрывом от всех других стран в «лидеры» вырывается Польша — главный нарушитель равновесия балтийской экосистемы. За Польшей следуют Дания и Россия, потом Швеция, Литва, Белоруссия и Германия. Мало загрязняют Балтику Финляндия, Эстония и Латвия и почти не загрязняют Норвегия, Словакия и Чехия, которые заходят в балтийский бассейн лишь небольшими участками своих территорий [6].

2 Изменения климата в Балтийском регионе в период с 1955 по 2014 годы

Проблема изменения климата отмечается во всех регионах России, но так как регионы отличаются своим разнообразием климата, то изменения климата проявляется различно по всем регионам [1].

Все прибалтийские государства занимаются гидрометеорологическими исследованиями уже много лет, и поэтому накоплено большое количество данных о гидрометеорологических характеристиках.

Для оценки климатических изменений в Балтийском регионе были выбраны 3 станции в различных районах моря (рисунок 1.2):

- 1.Ботнический залив – станция Furuogrund (север), координаты: широта $64^{\circ} 91''$, долгота $21^{\circ} 23''$;
- Финский залив –станция Helsinki (восток), координаты: широта $61^{\circ} 24''$, долгота $24^{\circ} 95''$;
- Южная часть Балтийского моря – станция Visby, координаты: широта $54^{\circ} 51''$, долгота $13^{\circ} 64''$.

Данные приведены в таблицах, в приложении А.

Для исследования климатических изменений использовались данные многолетних наблюдений за температурой воздуха, температурой воды, ледовитостью, а также уровнем моря и содержанием кислорода за период от 1955 до 2014 годы, это:

а) температура воздуха, данные на высоте 2 метра были взяты с архива Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division [9]. Среднегодовые данные приведены в таблицах № 13, 14, в приложении А;

б) температура поверхности воды, данные взяты с архива Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division[9]. Среднегодовые данные приведены в таблицах № 15, 16, в приложении А;

в) ледовитость, данные взяты с архива Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division[9]. Среднегодовые данные приведены в таблицах № 17, 18, в приложении А;

г) уровень моря, данные взяты из архива Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) [10]. Среднегодовые данные приведены в таблицах № 19, 20 , в приложении А;

д) Содержание кислорода, данные взяты из архива Data Assimilation System[11]. Среднегодовые данные приведены в таблицах № 21, 22 , в приложении А.

Для выполнения сравнительного анализа климатических изменений в Балтийском регионе, временные ряды перечисленных характеристик были разбиты на два периода: с 1955 по 1985 годы – I период и с 1985 по 2014 годы – II период.



Рисунок 2.1 – Карта Балтийского моря с исследуемыми точками

2.1 Изменения температуры воздуха

Для анализа многолетней изменчивости температуры воздуха, используя данные из таблиц № 13, 14 (приложение А), построены графики изменения среднегодовых значений исследуемых станций, за первый и второй периоды, рисунки с 2.2 по 2.7.

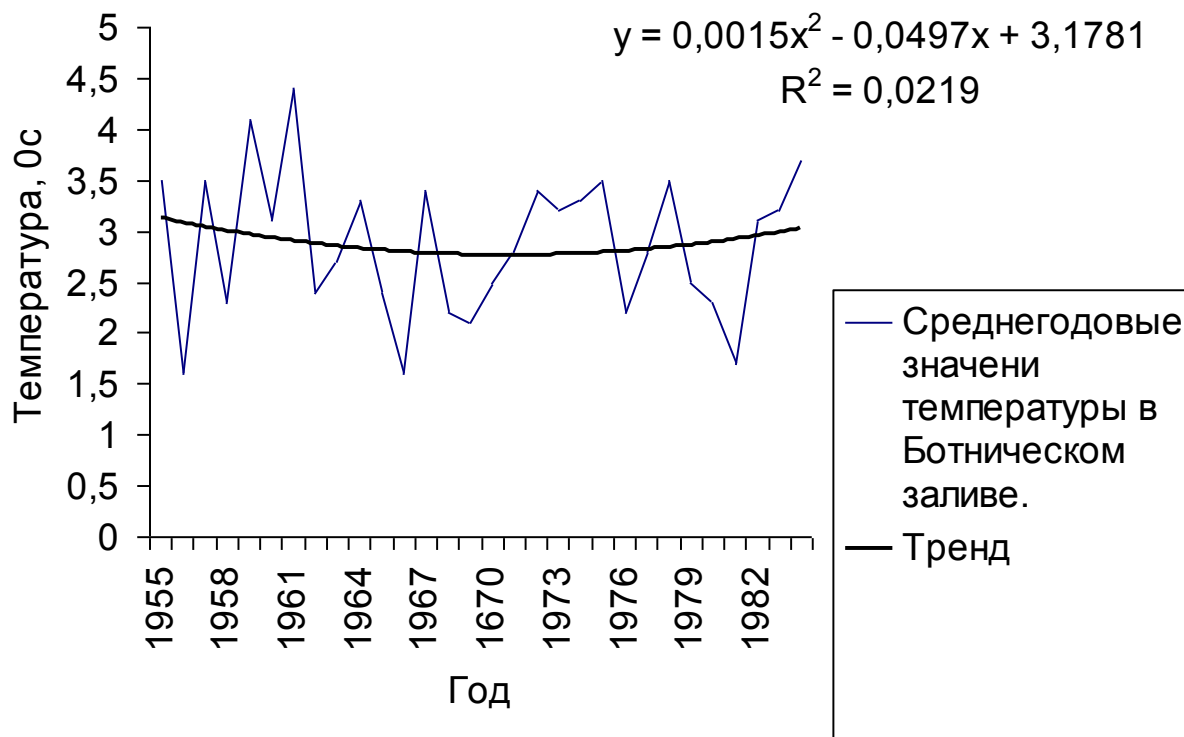


Рисунок 2.2— Среднегодовые значения температуры воздуха в Ботническом заливе за I период

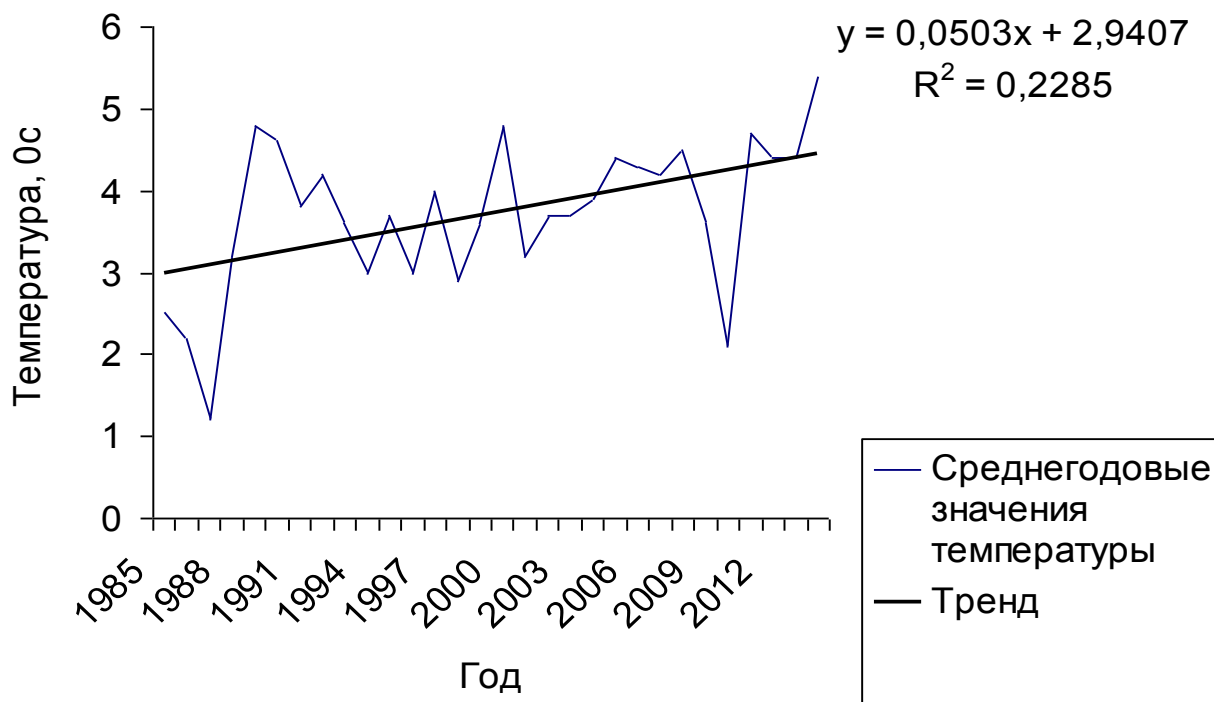


Рисунок 2.3— Среднегодовые значения температуры воздуха в Ботническом заливе за II период.

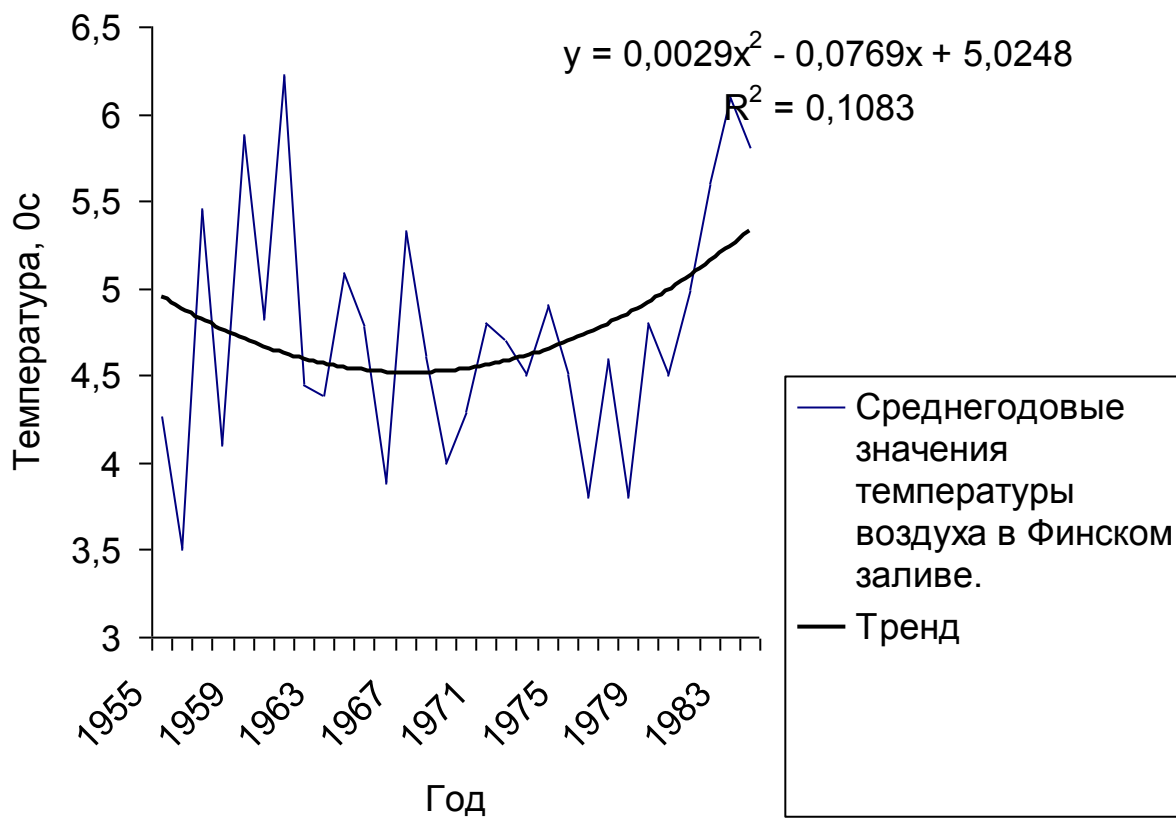


Рисунок 2.4— Среднегодовые значения температуры воздуха в Финском заливе I период.

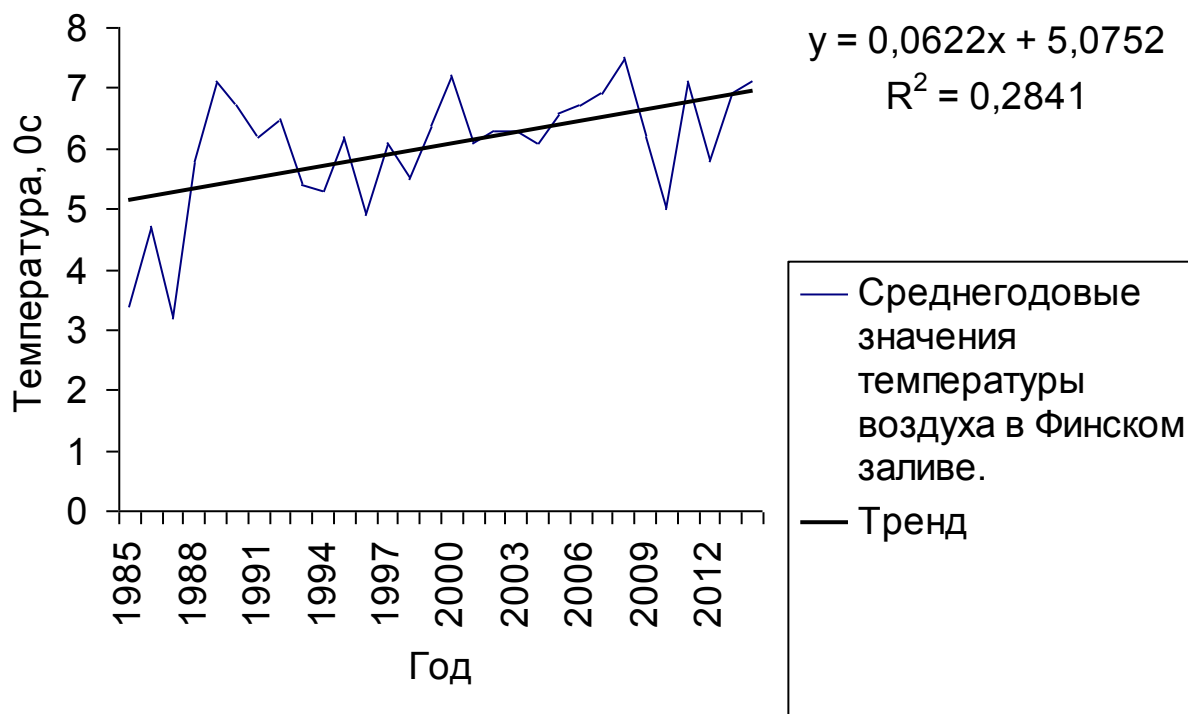


Рисунок 2.5— Среднегодовые значения температуры воздуха в Финском заливе II период.

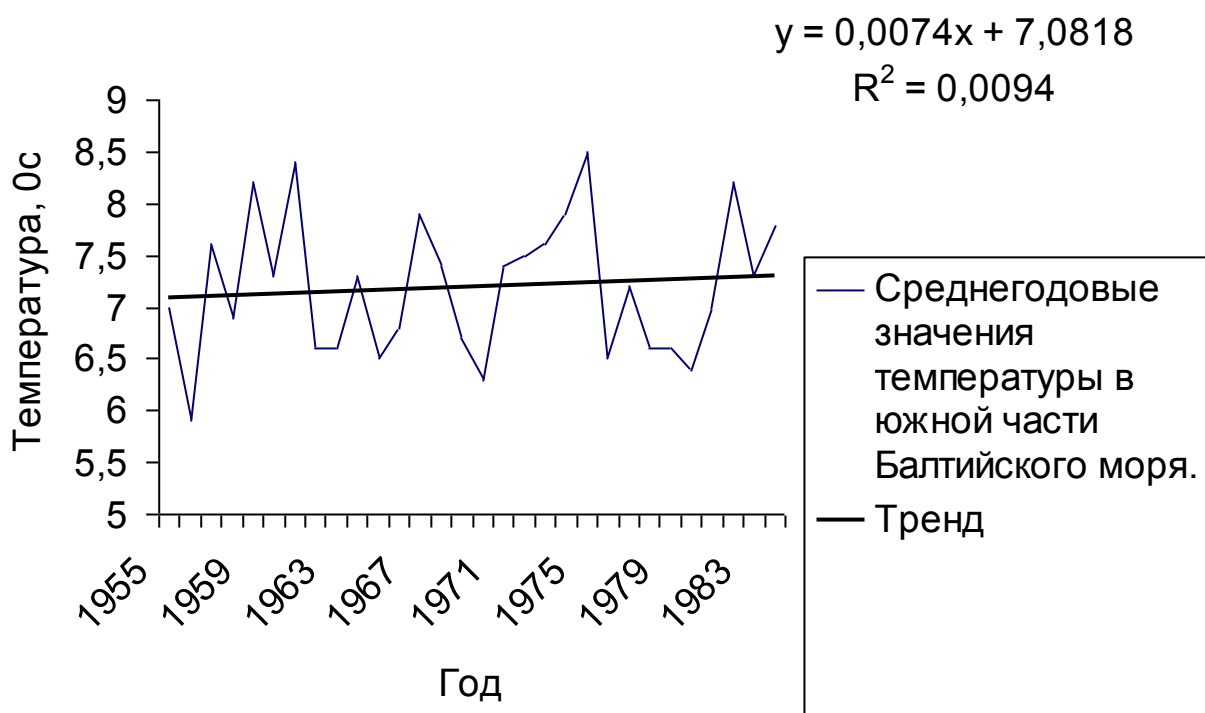


Рисунок 2.6— Среднегодовые значения температуры воздуха в южной части Балтийского моря I период.

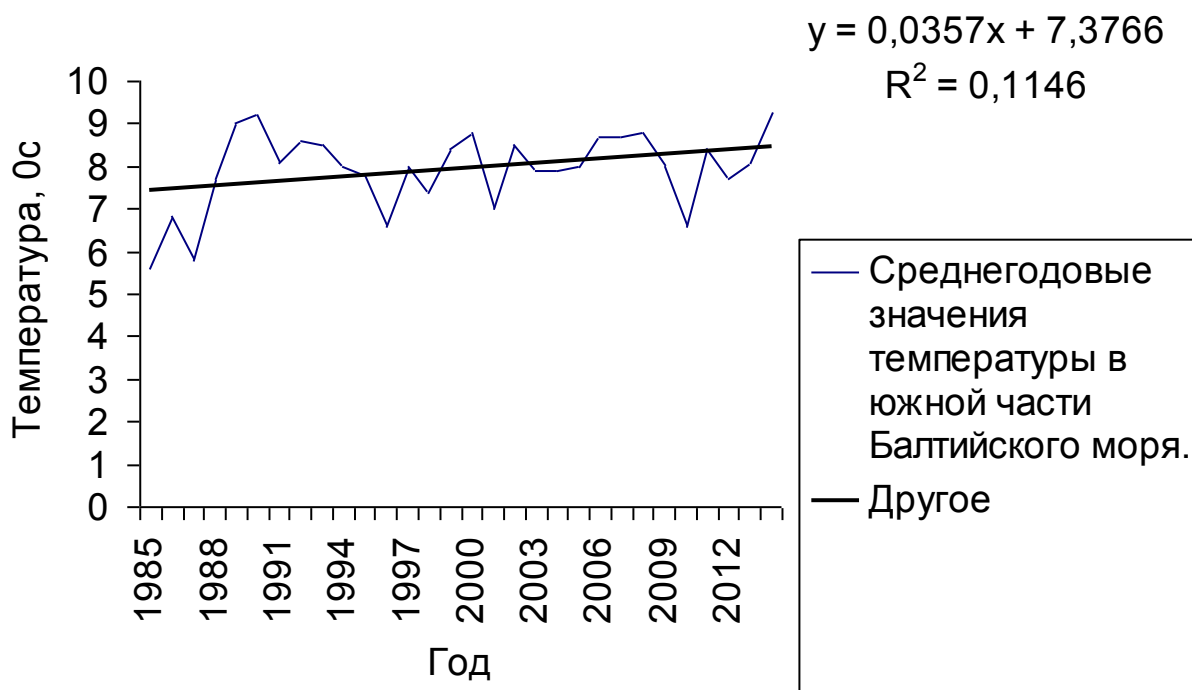


Рисунок 2.7— Среднегодовые значения температуры воздуха в южной части Балтийского моря за II период.

Для определения значимости тренда среднегодовых значений температуры воздуха был проведен корреляционный анализ согласно методике [12].

Коэффициент корреляции r характеризует степень тесноты линейной зависимости двух случайных величин, и эта зависимость показывает, что при возрастании одной величины другая имеет тенденцию возрастать или убывать по линейному закону.

$$r = R^2, \quad (1.1)$$

где r – коэффициент корреляции;
 R^2 – коэффициент детерминации.

Определим критерий Стьюдента, выборочное значение которого рассчитывается по формуле:

$$t^* = \frac{|r|}{\sigma_r}, \quad (2.1)$$

где t^* – критерий Стьюдента
 σ_r – средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции.

Средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции вычисляется по формуле:

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}} \quad (2.2)$$

Далее определяется критическое значение $t_{кр}(\alpha, y)$, где уровень значимости α принимается равным 5%. а число степеней свободы

$$y = N-2, \quad (2.3)$$

где N - длина ряда.

Данные критического критерия были взяты из таблицы критического значения Стьюдента[13].

Данные сведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости температуры воздуха Балтийского моря за I период исследования

Параметры	Значение параметров		
	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
r	0.004	0.239	0.097
t*	0.025	-2.47	0.745
r _{кр}	2.05	2.05	2.05

Таблица 2. Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости температуры воздуха Балтийского моря за II период исследования.

Параметры	Значение параметров		
	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
r	0.478	0.533	0.339
t*	8.196	10.45	4ю284
r _{кр}	2.05	2.05	2.0

Рассмотрим I период. Так как критерий Стьюдента в Ботническом заливе и южной части Балтийского моря ниже, чем критический критерий, коэффициент корреляции незначим, тренд отсутствует и сказать, что в данном периоде имеется тенденция на повышение или понижение температуры воздуха в этих районах нельзя. В Финском заливе, отрицательный тренд и в данном районе наблюдается понижение температуры воздуха.

Во II периоде критерий Стьюдента, во всех районах Балтийского моря выше критического значения, тренд везде значимый и повышение

температуры в данном периоде наблюдается по всей акватории Балтийского моря.

2.2 Изменения температуры поверхности воды

Температура поверхности воды напрямую зависит от температуры воздуха над акваторией. Прибрежные районы прогреваются сильнее, чем другие части моря. Зимой температура воды под ледовым покровом остается теплее, чем в открытой части моря, потому что она защищена от воздействия ветров и перемешивание водных слоев меньше.

Проанализируем многолетние колебание температуры воды, построив графики многолетней изменчивости на основании таблиц № 2/8, 16 (приложение А), в исследуемых точках, построенных на на рисунках с 2.8 по 2.13.

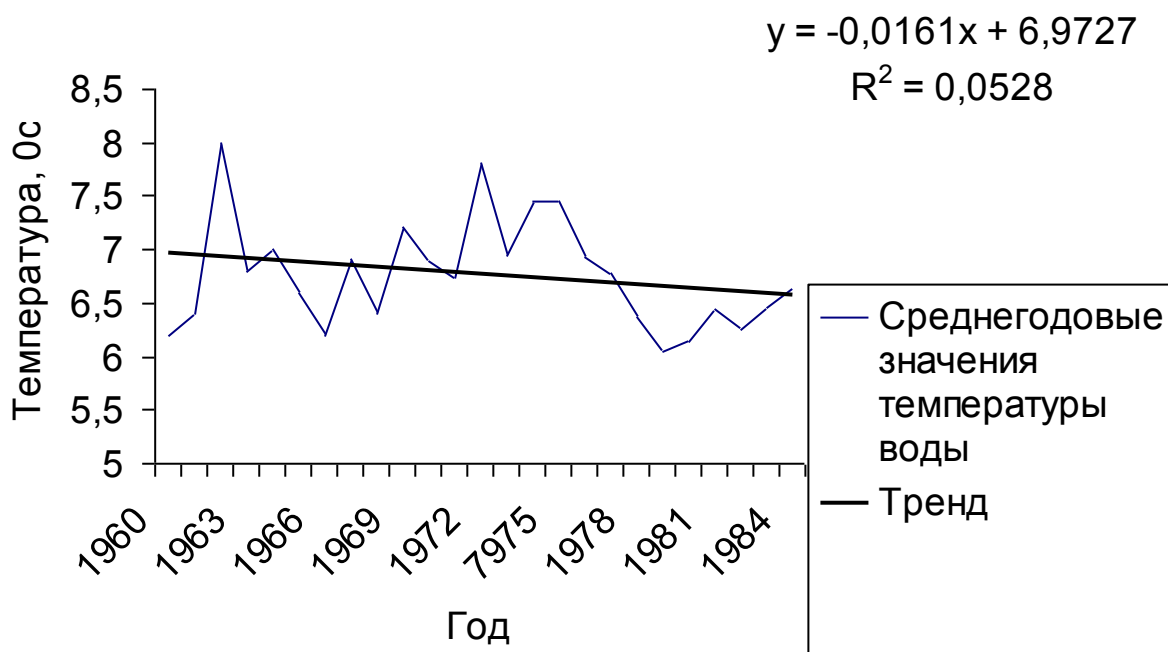


Рисунок 2.8— Среднегодовые значения температуры поверхности воды в Ботническом заливе.

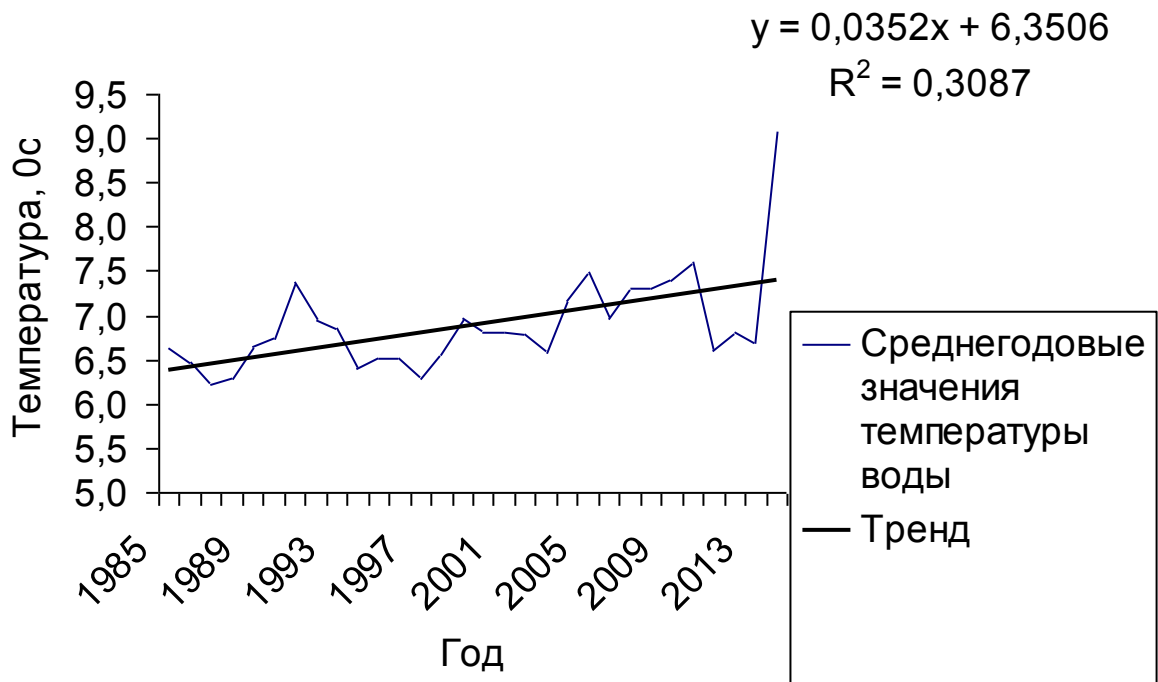


Рисунок 2.9— Среднегодовые значения температуры поверхности воды в Ботническом заливе.

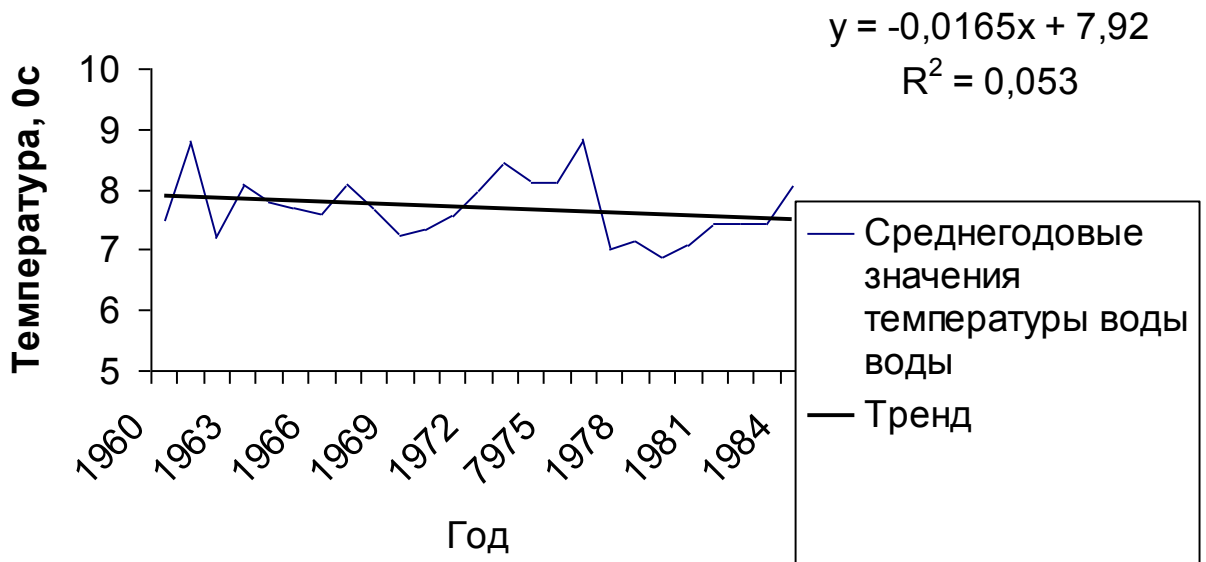


Рисунок 2.10— Среднегодовые значения температуры поверхности воды в Финском заливе.

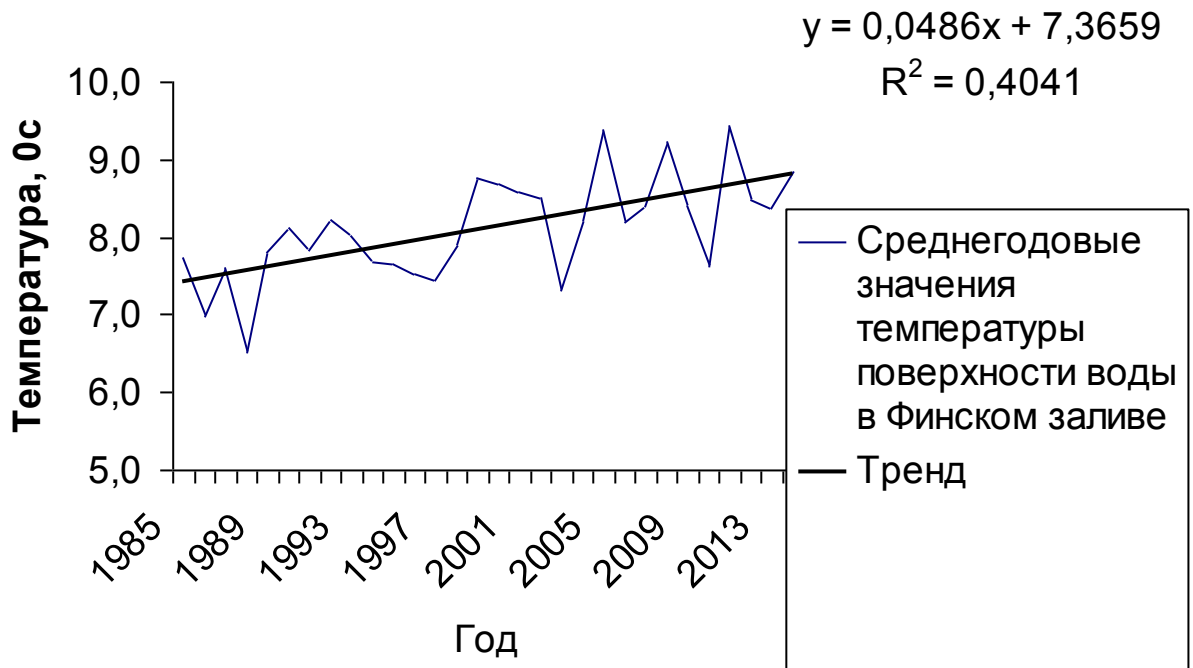


Рисунок 2.11— Среднегодовые значения температуры поверхности воды в Финском заливе.

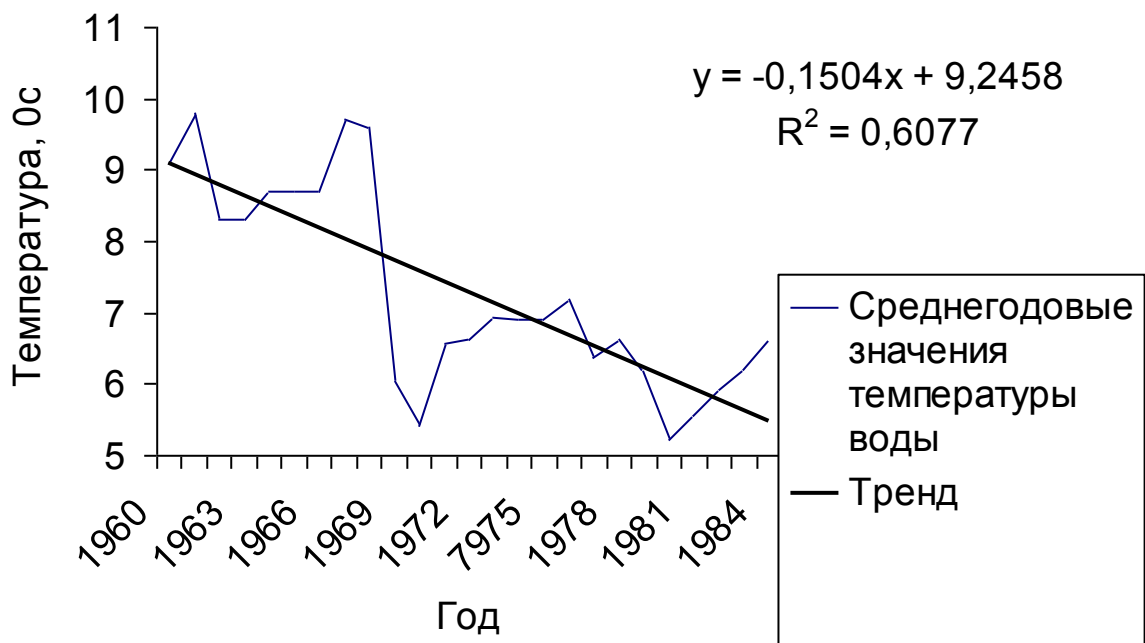


Рисунок 2.12— Среднегодовые значения температуры поверхности воды в южной части балтийского моря

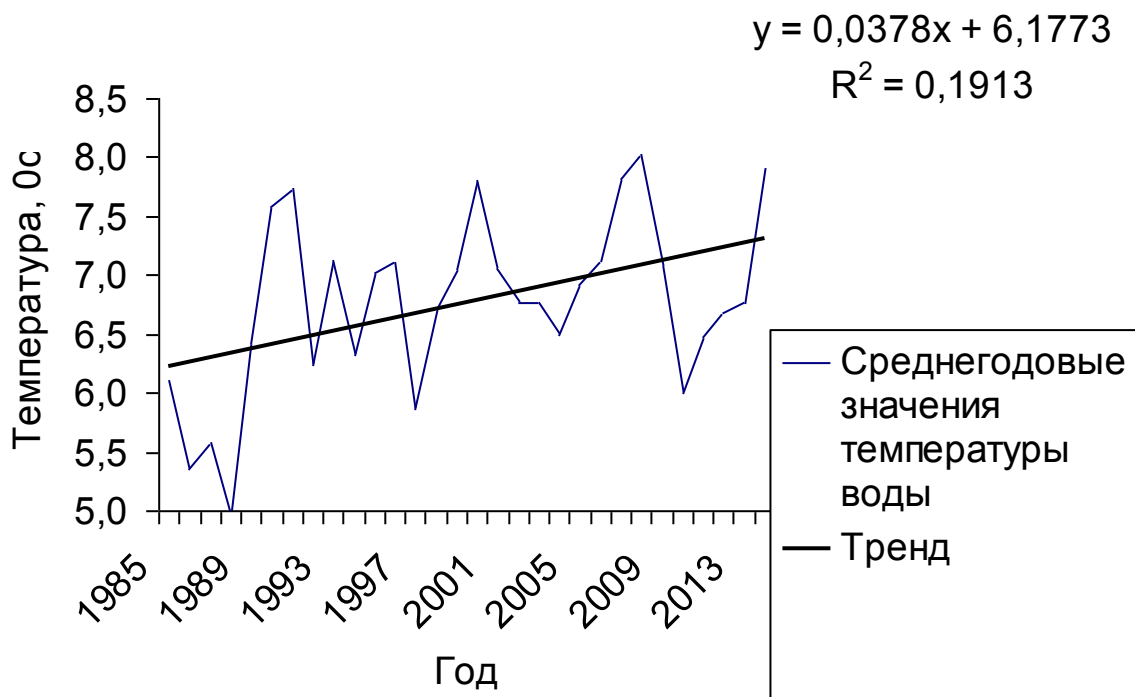


Рисунок 2.13. Среднегодовые значения температуры поверхности воды в южной части балтийского моря.

Для оценки тренда исследуемых параметров проведем корреляционный анализ, по указанной выше методике.

Сравним между собой среднегодовые значения температуры поверхности воды в обоих периодах. Для этого рассчитаем дисперсию данных рядов и рассчитаем их эмпирическое значение, полученные результаты, исследуемых периодов, приведем в таблицах № 3, 4.

Таблица 3. Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости температуры поверхности воды Балтийского моря за I период исследования.

Параметры	Значение параметров		
	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
r	0,23	0,23	0,78
t*	2,335	2,342	3,523
гкр	2.05	2.05	2.0

Таблица 4. Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости температуры поверхности воды Балтийского моря за II период исследования.

Параметры	Значение параметров		
	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
r	0,556	0,636	0,437
t*	11,55	4,391	6,834
гкр	2.05	2.05	2.05

В первом периоде во всех исследуемых точках критерий Стьюдента выше критического, тренд значимый и по всем районам БМ наблюдается понижение температуры поверхности воды.

Во втором периоде, критерий Стьюдента также выше критического, тренд значимый и на поверхности БМ наблюдается повышение температуры поверхности воды.

2.3 Ледовые условия.

Балтийское море каждую зиму покрывается льдом. Географическое положение определяет ледовый режим Балтийского моря. Северный и восточный район моря покрываются льдами, а южная часть находится под влиянием теплых воздушных масс Атлантики и здесь воды льдом покрываются редко. Основными режимобразующими факторами ледового покрытия Балтийского моря являются температура воздуха и циркуляция в атмосфере.

Для исследования рассмотрим Ботнический и Финские заливы, более подверженные действию холодных воздушных масс, поэтому в заливах идут процессы ледообразования и таяния льдов. Используя таблицы № 17, 18 (приложение А) построим графики.

На рисунках с 2.14 по 2.17 отражается годовая изменчивость ледового состояния заливов.

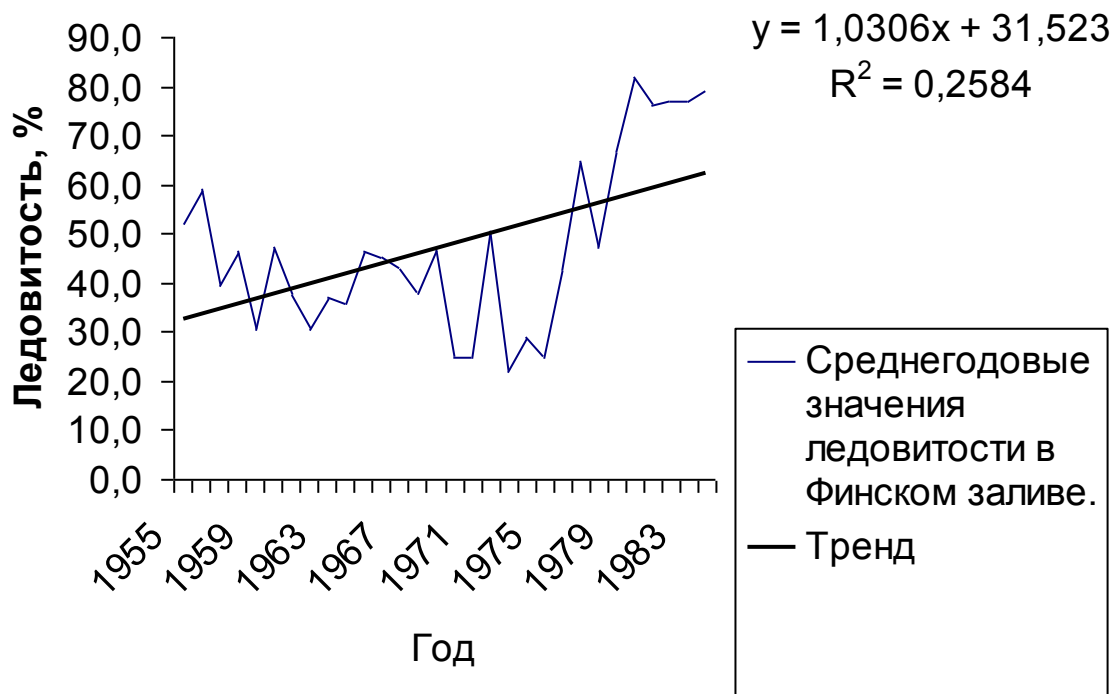


Рисунок 2.14. Ледовитость в Финском заливе в I период.

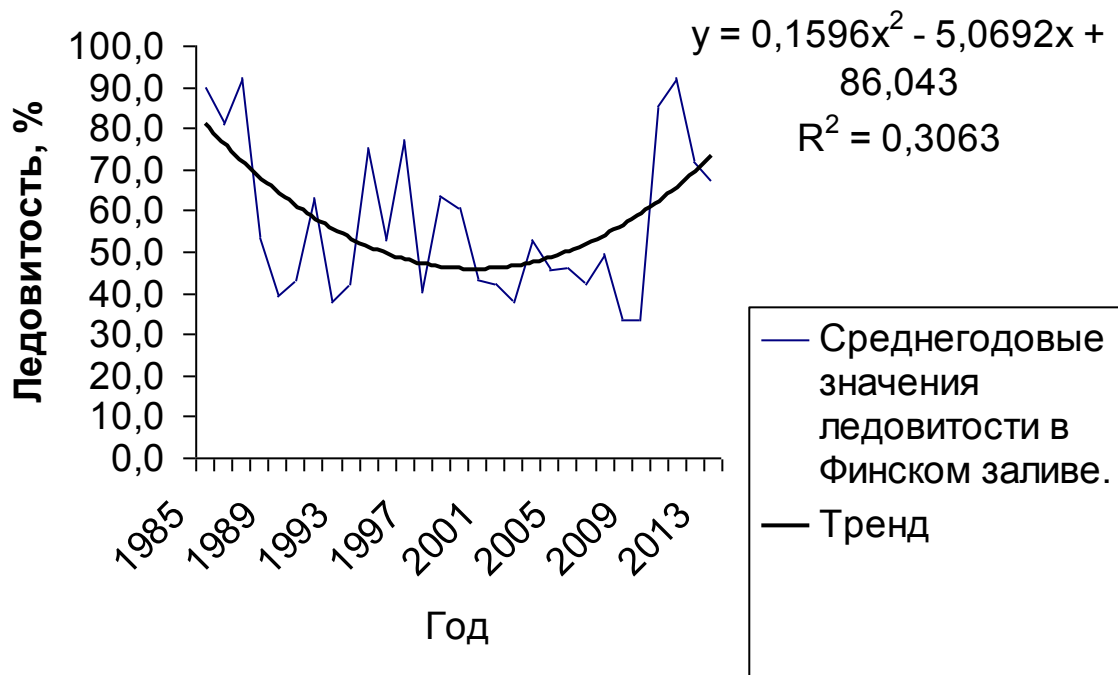


Рисунок 2.15. Ледовитость в Финском заливе в II периоде.

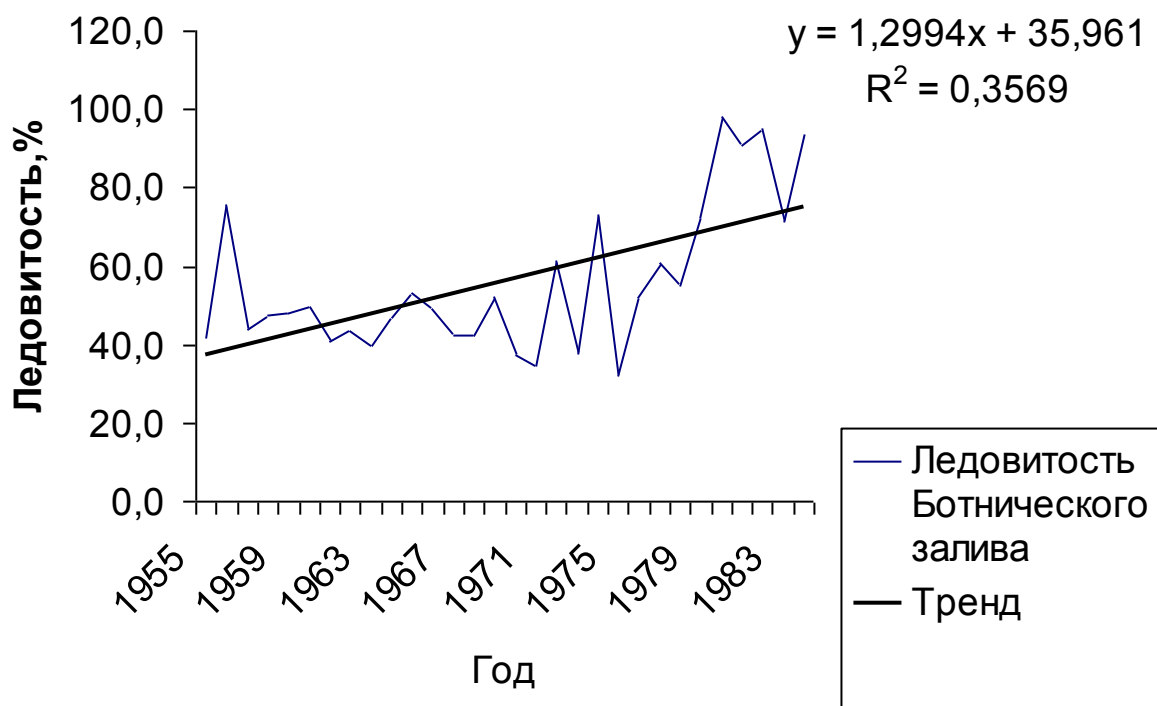


Рисунок 2.16. Ледовитость в Ботническом заливе в I периоде

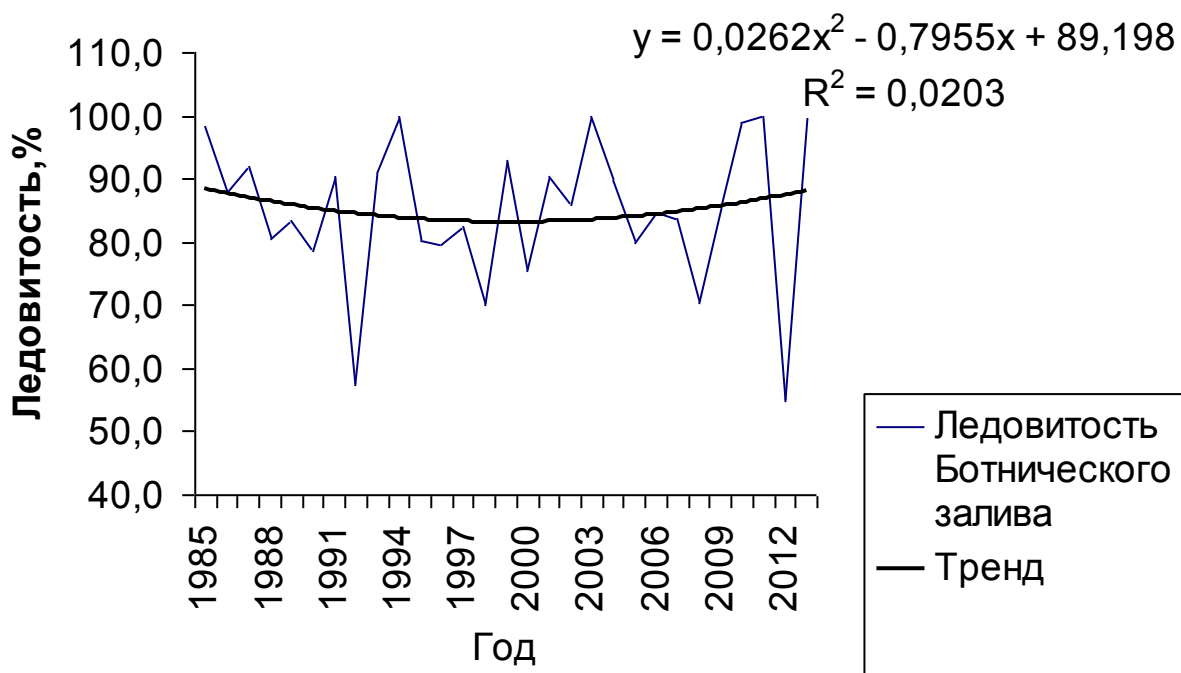


Рисунок 2.17. Ледовитость в Ботническом заливе в II периоде.

Для оценки тренда ледовитости проведем корреляционный анализ. полученные данные приведем в таблицах 5 ,6.

Таблица 5. Оценка значимости коэффициента корреляции тренда ледового состояния Балтийского моря за I период.

Параметры	Значения	
	Ботнический залив	Финский залив
r	0,597	0,508
t*	13,92	9,371
t _{кр}	2,05	2,05

Таблица 6. Оценка значимости коэффициента корреляции тренда ледового состояния Балтийского моря за II период.

Параметры	Значения	
	Ботнический залив	Финский залив
r	0,007	0,127
t*	0,041	1,047
t _{кр}	2,05	2,05

Как видим за I период критерий Стьюдента превышает критический, в обоих исследуемых районах, тренд значим. В заливах наблюдается увеличение ледового покрова, что свидетельствует о суровости зим в этом периоде, что подтверждает снижение среднегодовых изменений температуры в данном периоде. Длительность зимы в Ботническом заливе в среднем 6.6 месяцев/год, а в Финском заливе 5 месяцев /год.

Во II периоде критерий Стьюдента очень мал по отношению к критическому, тренд отсутствует. И если сравнивать его с I первым периодом, где наблюдалась повышение ледостава, учитывая связь повышения температуры воздуха за весь исследуемый период, прослеживается влияние изменения климата на ледовое состояние заливов Балтийского моря.

В среднем за год продолжительность ледостава в Финском заливе
I период - 5 месяцев/год;
II период- 4,5 месяцев/год.

В Ботническом заливе:
I период- 6,6 месяцев/год;
II периоде 4.5 месяцев/год.

Продолжительность ледостава уменьшилась в Финском заливе на 0,5 месяц/год, а в Ботническом почти. в среднем на месяц/год.

2.4 Изменение уровня в Балтийском море.

Уровень один из важных изучаемых характеристик гидрологического режима Балтийского моря. На уровень моря влияют: осадки и испарения, речные стоки, нагрев и охлаждение морской поверхности, ветровые волнения, колебания атмосферного давления, приливы. Большую роль в изменении уровня играют водообмен с Северным морем через Датские проливы и движение земной коры[5].

Для анализа сравним среднегодовые изменения уровня построив графики на основании данных в таблицах № 2.18, 2.23 (приложение А).

На рисунках с 19 по 24 видны различные годовые изменения уровня .

Проведем оценку тренда изменения уровня на всех исследуемых точках. Данные расчетов приведем в таблицах № 7 и 8.



Рисунок 2.18. Среднегодовые значения уровня в Ботническом заливе за I период .

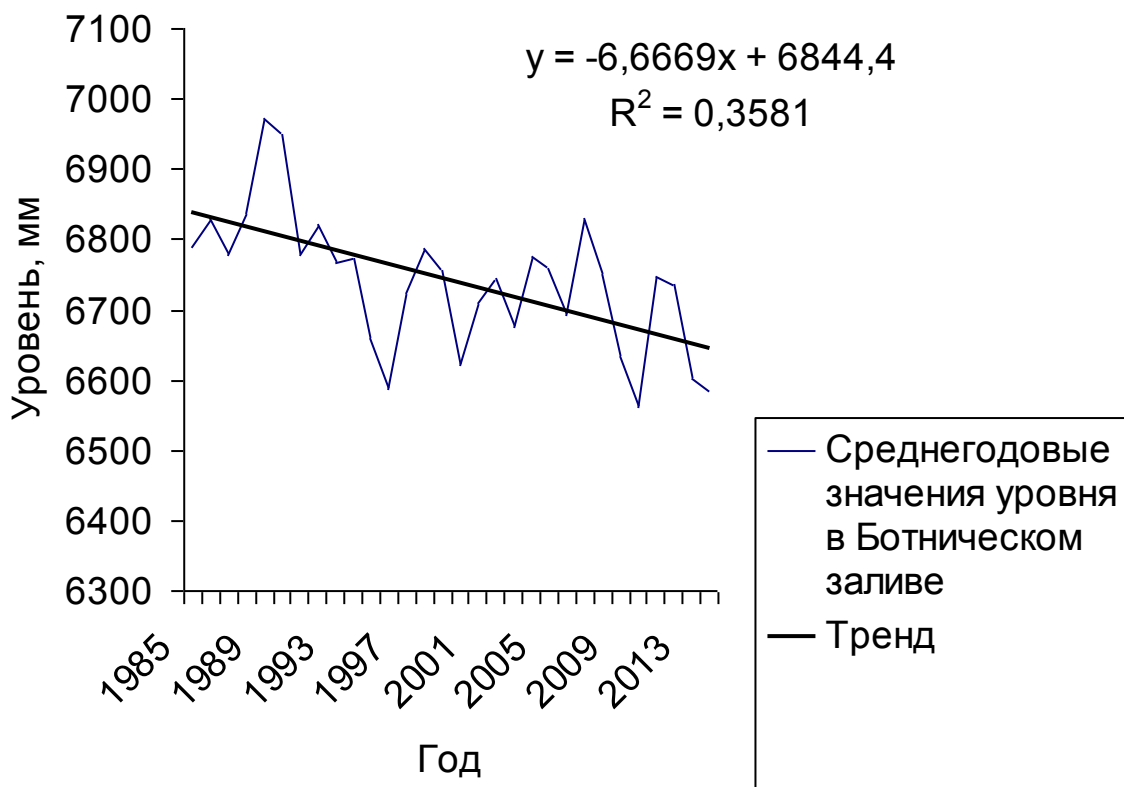


Рисунок 2.19— Среднегодовые значения уровня в Ботническом заливе за II период .

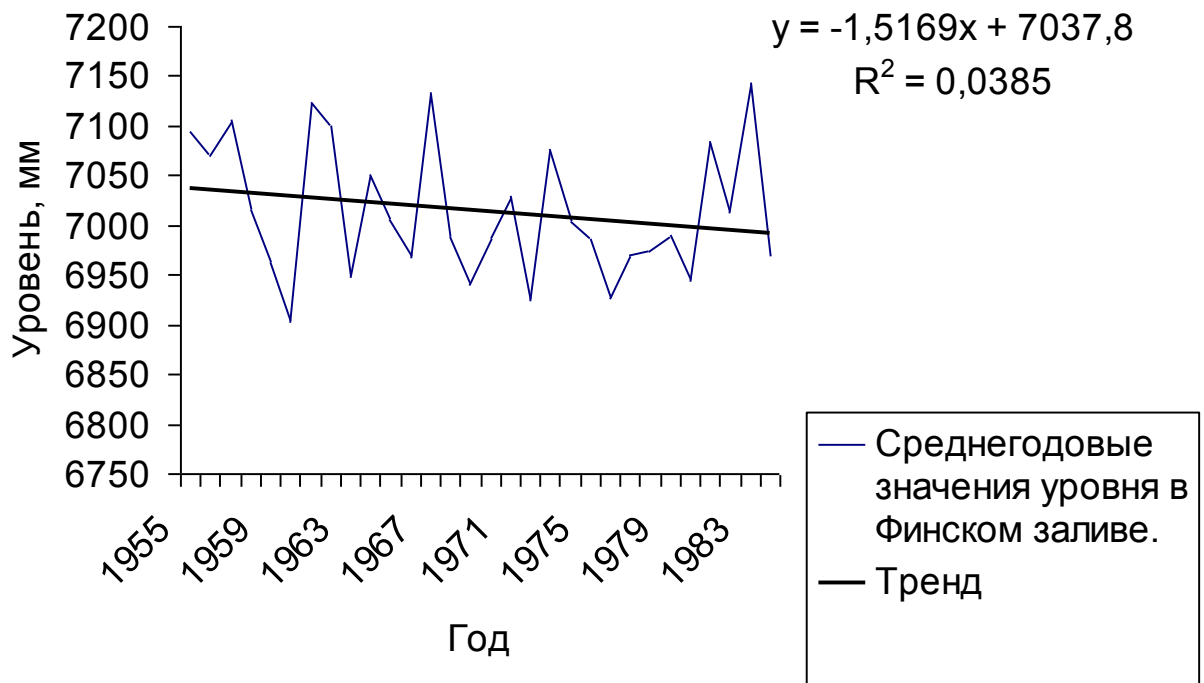


Рисунок 2.20— Среднегодовые значения уровня в Финском заливе за I период .

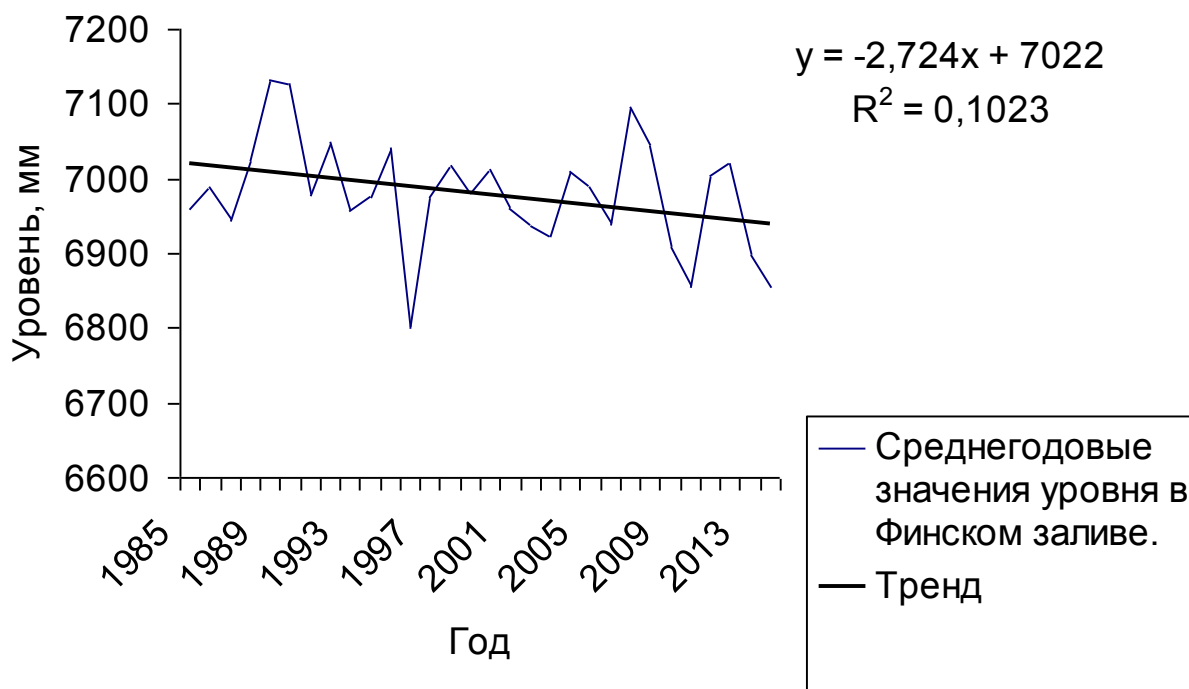


Рисунок 2.21— Среднегодовые значения уровня в Финском заливе за II период

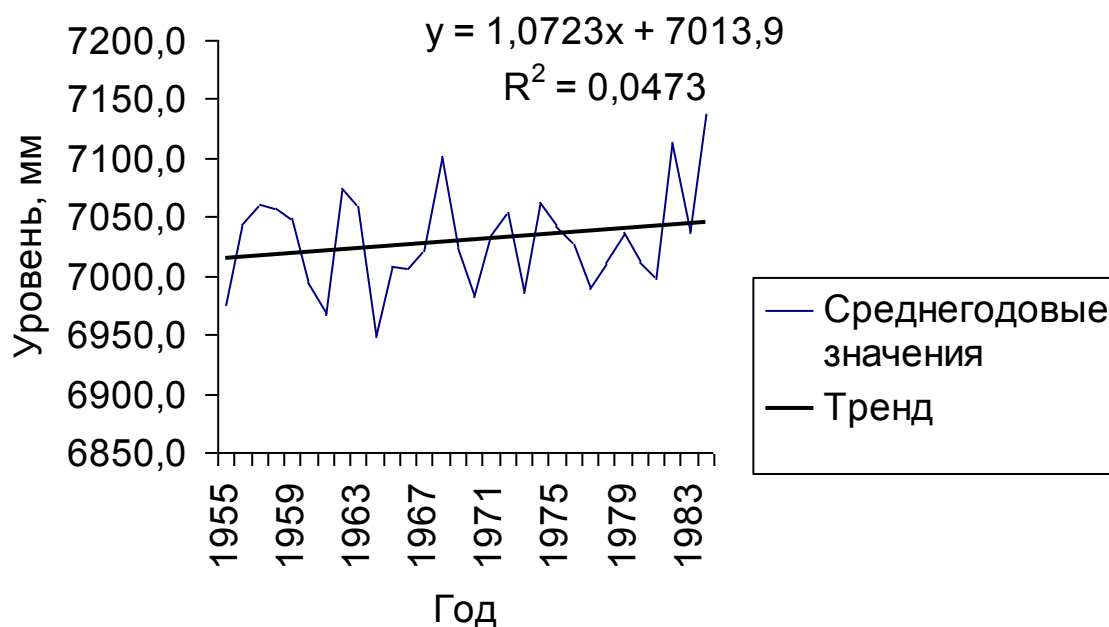


Рисунок 2.22— Среднегодовые значения уровня в южной части Балтийского моря за I период .

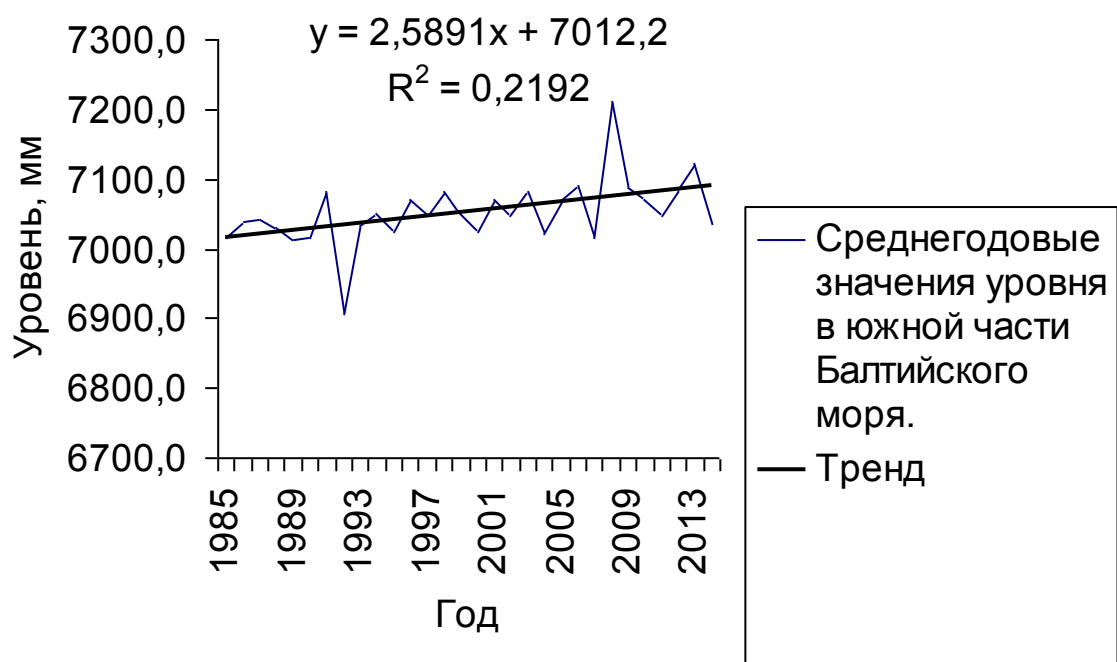


Рисунок 2.23— Среднегодовые значения уровня в южной части Балтийского моря за II период .

Таблица 7. Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости уровня Балтийского моря за I период.

Параметры	Значение параметров		
	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
r	0,69	0,196	0,217
t*	17,2	0,348	11,41
r _{кр}	2.05	2.05	2.05

Таблица 8. Оценка коэффициента корреляции
на значимость изменчивости уровня Балтийского моря за II
период.

Параметры	Значение параметров		
	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
r	0,598	0,32	0,468
t*	-11,5	-2,49	7,846
rkp	2.05	2.05	2.05

За первый период при сравнении критериев наблюдается в Ботническом заливе критерий Стьюдента выше критического, что указывает наличие тренда, и подтверждает понижение уровня в заливе. В южной части моря критерий Стьюдента тоже выше критического и подтверждает тренд на повышение уровня в южной части Балтийского моря.

В Финском заливе по оценке коэффициента корреляции тренда нет.

Во втором периоде по данным расчетам определим значимость тренда. В Ботническом и Финском заливах критерий Стьюдента выше критического, что указывает на значимость тренда на понижение уровня в заливах в современном периоде.

В южной части тренд тоже значим, уровень повышается, подтверждая теорию о влиянии климата на изменение уровня в данном периоде.

2.5. Анализ климата за два периода.

Анализируя выше изложенное, подтверждаются климатические изменения в акватории Балтийского моря за исследуемый I период. Несмотря на отсутствие тренда на понижения температуры воздуха она понижалась в среднем на $0.09^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а во II периоде повышалась на

0.15 °C/год.

Температура поверхности воды в I периоде понижалась на 0.06°С /год , а во II периоде повышалась на 0.1 °C/год.

Ледовое состояние в I периоде увеличивалось в обоих заливах в среднем на 2 мм/год и время стояния льда в среднем в Финском заливе 5 месяцев/год, а в Ботническом заливе 6.6 месяцев/год, во II периоде время стояния льда в заливах сократилось: в Финском заливе на 2 недели, а в Ботническом заливе приблизительно на 3 недели.

В Ботническом заливе понижение уровня наблюдается на протяжении всего исследуемого периода в среднем на 9.5 мм/год, в Финском заливе понижение уровня наблюдается во II периоде наблюдения в среднем на 11 мм/год, а в южной части Балтийского моря повышение уровня наблюдалось на протяжении всего исследуемого периода на 8 мм/год.

3. Анализ временной изменчивости гидрометеорологических характеристик в Балтийском море

В настоящей главе проводится анализ изменчивости физико-химических характеристик в Балтийском регионе в исследуемые климатические периоды, а также сопоставление изменений, произошедших в I период и II второй период.

Для определения влияния климата, на исследуемые параметры за период с 1955 по 2014 годы, сравним между собой среднегодовые значения различных характеристик в обоих периодах.

Для этого рассчитаем дисперсию данных рядов и рассчитаем их эмпирическое значение.

Для проверки гипотезы влияния климата за исследуемые два периода, воспользуемся критерием Стьюдента и рассчитаем его эмпирическое значение. Для этого воспользуемся формулой, из ранее взятой методики [12]:

$$t^* = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{N_1 D_1 + N_2 D_2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}}$$

где x_1 и x_2 – средние значения за I и II периоды;

D_1 и D_2 – дисперсии двух частей выборки соответственно ;

N_1 и N_2 – длины соответствующих частей ряда, в нашем случае

$$N_1 = N_2 = 30.$$

Определим критическое значение критерия Стьюдента $t_{кр}$ по уровню значимости где уровень значимости α принимается равным 5%. а число степеней свободы

$$y = N_1 + N_2 - 2.$$

Значение критического критерия Стьюдента согласно[13] составляет:

$$t_{кр} = 2$$

3.1.Изменение гидрометеорологических характеристик за исследуемые периоды.

Для определения влияния климата, на температуру воздуха за период с 1955 по 2014 год, сравним между собой среднегодовые значения данных в I и II периодах.

Для этого рассчитаем дисперсию данных рядов в I и II периоде и рассчитаем их эмпирическое значение.

Чтобы определить влияние климата на изменчивость температуры в исследуемых периодах рассчитаем эмпирическое значение критерия Стьюдента по указанной выше методике и сравним с критическим значением, данные приведены в таблице № 9.

Таблица 9. Эмпирическое и критическое значение критерия Стьюдента температуры воздуха для исследуемых точек Балтийского моря.

Период	Температура, °С	t*	t _{кр}
Финский залив			
I	4,9	4,439	2
II	6		
Ботнический залив			
I	2,9	2,391	2
II	3,6		
Южная часть Балтийского моря			
I	7,2	3,287	2
II	7,9		

В данном случае эмпирический критерий больше критического, что подтверждает предположение о росте температуры на всех исследуемых станциях во втором исследуемом периоде, значит климатические изменения влияют на повышение температуры воздуха над Балтийским морем. Аналогично проведем сравнение для температуры поверхности воды, расчетные данные в таблице 10.

Таблица 10. Эмпирическое и критическое значение критерия Стьюдента температуры поверхности воды для исследуемых точек Балтийского моря.

Период	Температура, °С	t*	t _{кр}
Финский залив			
I	7,4	4,280	2
II	8,1		
Ботнический залив			
I	6,8	0,893	2
II	6,9		
Южная часть Балтийского моря			
I	7,3	2,037	2
II	6,8		

Эмпирическое значение критерия Стьюдента в Финском заливе и южной части Балтийского моря выше критического критерия и подтверждает теорию о повышении температуры поверхности воды Балтийского моря за весь исследуемый период. В Ботническом заливе критический критерий выше критерия Стьюдента и значит видимых изменений температуры за весь период в заливе не наблюдается.

Таблица 11. Эмпирическое и критическое значение критерия Стьюдента ледового состояния Финского и Ботнического заливов.

Период	Ледовое Состояние, %	t*	t _{кр}
Ботнический залив			
I	56,1	7,049	2,05
II	85,0		
Финский залив			
I	47,5	1,329	2,05
II	53,9		

При сравнении среднегодовых значений ледового состава в обоих периодах по эмпирическим и критическим значениям, в Ботническом периоде эмпирическое значение превосходит критическое, что подтверждает выше сказанное о климатическом влиянии на уменьшении ледостава в акватории Балтийского моря.

В Финском заливе эмпирический критерий меньше критического и видимых изменений ледового состояния климата за весь исследуемый период в заливе не наблюдается. Но так как во время I периода наблюдался тренд на увеличение ледового покрытия, а во втором периоде тренд отсутствовал, значит происходит снижение ледостава в Финском заливе.

3.2. Уровень моря.

Для сравнения климатических изменений в двух исследуемых периодах проведем расчеты эмпирического значения Стьюдента, все полученные данные приведены в таблице №12.

Таблица 12. Эмпирическое и критическое значение критерия Стьюдента уровня всех исследуемых точек Балтийского моря.

Период	Уровень, мм	t*	ткр
Ботнический залив			
I	6955	8,68	2
II	6741		
Финский залив			
I	7014	7,66	2
II	6980		
Южная часть Балтийского моря			
I	7031	1,796	2
II	7052		

Эмпирический критерий Стьюдента среднегодовых значений уровня Ботнического и Финского залива выше критического, что указывает на значимые изменения показателей двух периодов, подтверждающих наличие влияния климата на изменения уровня в заливах. В южной части эмпирический критерий меньше критического и значимых изменений в изменении уровня между показателями периодов нет, но тренд на увеличение прослеживается в обоих периодах, что свидетельствует о постоянном росте уровня в этой части Балтийского моря.

На изменение уровня, помимо климатических изменений, также влияют вертикальные движения земной коры. Побережье Балтийского моря движется в вертикальном направлении из-за смещений Фенноскандинавского щита, побережье Ботнического залива поднимается (5 -6 мм/год), а побережье южной части Балтийского моря наоборот опускается (1-1,5 мм/год) [11].

3.3. Гидрохимические изменения в Финском заливе.

Гипоксия или аноксия приводят к образованию сероводорода (H_2S), что губительно сказывается на морских организмах. Снижение концентрации растворенного кислорода влияет на течение биохимических процессов. Аноксия вызывает активное поступление фосфора из донных отложений, аммоний при гипоксии тоже поступает из донных отложений в водную среду и они вместе усиливают эвтрофикацию, как следствие — цветение водорослей, в результате снижается глубина проникновения света, затрудняется процесс фотосинтеза фитопланктона, погибший фитопланктон опускается на дно и на его окисление тратится кислород, в результате меняются органолептические характеристики воды (вкус, цвет), меняется pH, повышается содержание железа, марганца, метана и сероводорода, растет мутность воды, вода становится токсичной [14].

Возможны механизмы влияния индекса NAO, на кислородный режим Балтийского моря. При слабых восточных ветрах не происходит глубокого перемешивания вод, а при раннем покрытии льдом поверхности акватории, из-за суровых зим, поступление кислорода прекращается. В более мягкие зимы, с поздним ледоставом, происходит аэрация глубинных вод, дуют сильные западные ветра, имеет место глубокое перемешивание толщ воды и снижение их температуры [15].

Рассмотрим данные летнего содержания кислорода на акватории Финского залива у дна, за весь период исследования. Для этого возьмем акваторию Финского залива в районе широты с $59^{\circ}10.00'$ по $60^{\circ}05.00'$, долготы с $22^{\circ}29.96'$ по $26^{\circ}19.95'$ рисунок 3.1.



Рисунок 3.1— Район исследований по содержанию растворенного кислорода в Финском заливе.

Так как ряды данных по содержанию кислорода в Финском заливе имеют пропуски за отдельные годы и длина статистических рядов меньше 30 значений, воспользуемся расчетами анализа малых выборок, построим ящики с усами за два периода наблюдения, что бы сравнить изменение содержания кислорода в морской воде.

Используем квантильный анализ по методике [12].

Чтобы рассчитать квантили необходимо произвести ранжирование ряда по возрастанию и каждому значению ряда поставить соответствие значения его интегральной вероятности:

$$p_i = i / N ,$$

где i - номер значения ряда в ранжированном ряду ;

N - длина ряда.

В квантильном анализе чаще всего используются квантили с вероятностями 25% ,50% ,75% которые делят всю функцию распределения на четыре части и поэтому называются квантилями. Второй квантиль с вероятностью 50% является медианой.

На основе квантилей построим по методике «Статистика»[12], "ящики с усами "(рисунок 3.2), используя данные приведенные в таблицах № 21, 22 (приложение Б), что является схематическим значением эмпирической функцией распределения рассчитанная по выборке.

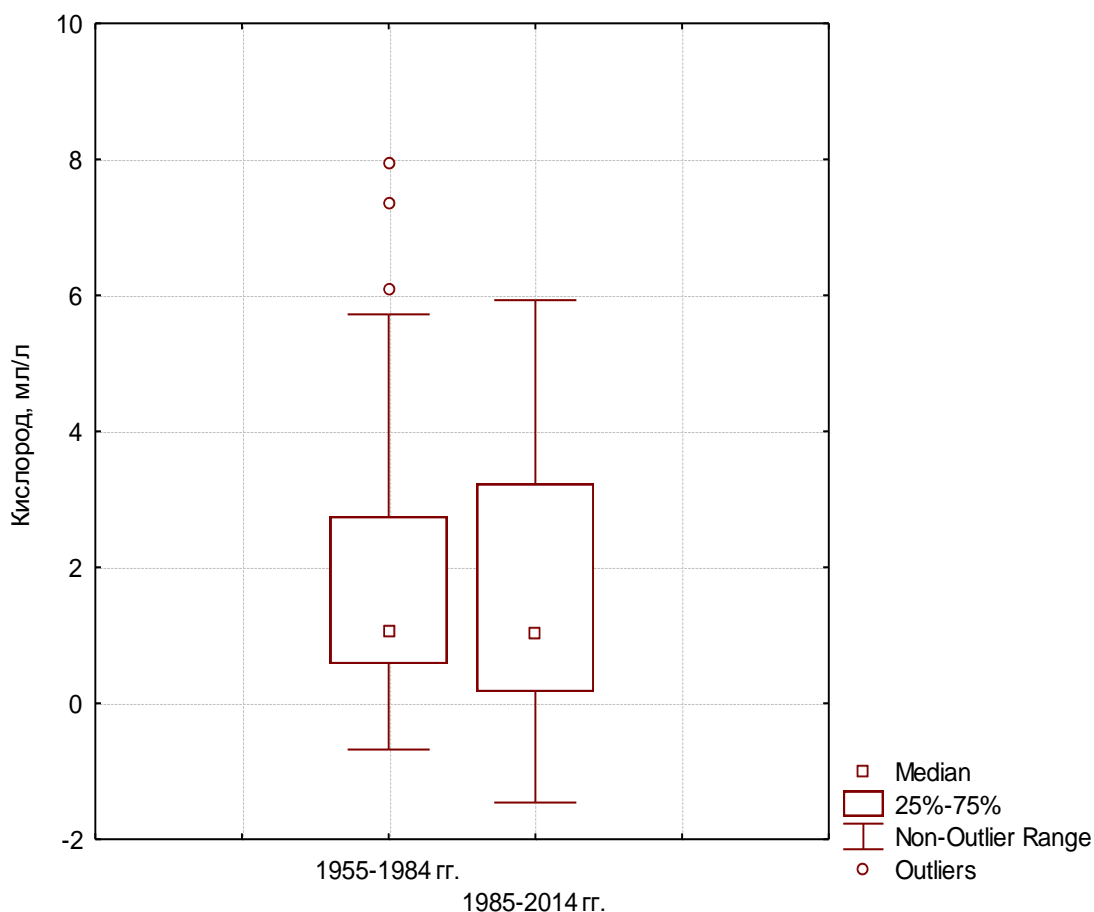


Рисунок 3.2— Вероятностные оценки изменчивости кислорода на дне Балтийского моря за 2 климатических периода.

На рисунке 3.2 видно, что медиана обоих "ящиков" находится на одном уровне, ниже границы гипоксических условий – менее 2 мл/л[17].

Интерквартильное расстояние $x_{0,75}-x_{0,25}$ в первом периоде от 0,70 до 2,8 мл/л, во втором периоде это расстояние больше - от 0,1 до 3,2 мл/л, но во втором периоде по сравнению с первым показатели снизились, что указывает о развитии гипоксических условий на морском дне Финского залива.

Разброс услов, этих периодов, показывает асимметрию показателей содержания кислорода в морской воде:

I период — от 0,8 до 5,8 мл/л;

II период —от -1,75 до 5,98 мл/л ;

Данные расчеты показывают о увеличении аноксии во втором периоде исследования, а максимальные значения содержания кислорода в воде за весь исследуемый период отличаются незначительно.

Таким образом, результаты сравнения показали, что во втором периоде наблюдались менее благоприятные кислородные условия на дне в летний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведена оценка влияния изменения климата на температуру воздуха, температуру поверхности воды, ледового состояния Финского и Ботнического заливов, уровня Балтийского моря и содержания кислорода у дна Финского залива 60 лет.

Проведенный анализ температуры воздуха за два периода показал, что в I периоде повышение воздуха наблюдалось только в Финском заливе, во II периоде повышение воздуха происходило на всей акватории Балтийского моря.

Температура поверхности воды Балтийского моря увеличивалась на протяжении всего исследуемого периода с 1955 по 2014 годы.

При анализе ледовитости в Ботническом и Финском заливах в первом периоде выявлен тренд на увеличение ледостава, во II периоде тренд отсутствует и продолжительность ледостава в этом периоде уменьшилась, в среднем больше, чем на 2 недели.

Видно явное понижение уровня воды в Ботническом и Финском заливах при сравнении двух исследуемых периодов, особенно в современном периоде, в южной же части Балтийского моря подъем уровня продолжается за весь период с 1955 по 2014 годы.

При анализе кислородного содержания выявлено увеличение роста аноксии у дна Финского залива за второй период исследования.

На основании полученных результатов, предполагаем, что потепление климата приводит к изменению гидрометеорологических и гидрохимических характеристик в различных районах Балтийского моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Наровлянский, Г.Я. Климатология [Текст] / Г.Я. Наровлянский.–Л.: Изд. ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1964.
- 2 Буканов, Т.В. Изменчивость температуры поверхности моря в Юго-Восточной Балтике по данным MODIS [Текст] / Т.В. Буканов, Ж.И. Стонт, О.А. Гушин.–СПб.: Изд. Атл. отд. ин-та океанологии им. П.П. Ширшова, 2014.
- 3 Ерёмина, Т.Р. Исследование долгопериодных изменений гидрометеорологических характеристик Восточной части Финского залива в 1958-2009гг. [Текст] / Т.Р. Ерёмина, Д.М. Густоев, В.Ю. Цепелев // Фундаментальная и прикладная гидрометеорология.–2013.–Т.6, № 1.
4. Политическая карта Балтийского моря // День Балтийского моря [Электронный ресурс].–СПб., 2016.–Режим доступа: <http://dok.opredelim.com/docs/index-22596.html>
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР [Текст]. Т. 3. Балтийское море / Под ред. Ф.С. Терзиева, В.А. Рожкова, А.И.Смирновой. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Т. 3, вып. 1.–СПб.: Гидрометеоздат, 1992.–447 с.
6. Кабелкайте. Ю.А. Экологические проблемы и международное сотрудничество в регионе Балтийского моря. Журнал "География ". Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова.[электронный источник] / СПб 2016.–Режим доступа: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200303202>
7. Гечайте Индре. Колебания циркуляции атмосферы как фактор формирования сильных зимних похолоданий в восточной части балтийского регион [текст]/Диссертация. РГГМУ .СПб. 2016 .—Режим доступа: http://www.rshu.ru/university/dissertations/files/191/%D0%94%D0%98%D0%A1%D0%A1%D0%95%D0%A0%D0%A2%D0%90%D0%A6%D0%98%D0%AF_

%D0%93%D0%B5%D1%87%D0%B0%D0%B9%D1%82%D0%B5_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B5.pdf

8. А.Д. Добровольский. Моря СССР [текст]/ А.Д. Добровольский, Б.С.Залогин. —М.издательство Московского университета 1982г.

9. Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division [электронный ресурс].— Physical Sciences Division: Data Management NOAA/ESRL/PSD 325 Broadway Boulder,CO80305-3328 esrl.psd.data@noaa.gov.—режим

доступа:<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ghcncams.html>.

10. PSMSL /[электронный ресурс] .— Permanent Service for Mean Sea Level Joseph Proudman Building 6 Brownlow Street Liverpool L3 5DA, UK.—Режим доступа:

<http://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/14.php>. Дата последнего открытия 07.06.2014 год.

11. Data Assimilation System./[электронный ресурс] National Weather Service.//Last Updated: June 07, 2016 Webmaster: Susannah Pearce Privacy Policy and Important Notices Contact Us.—Режим доступа:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>

12. С.М Гордеева. Практикум по дисциплине статистические методы обработки гидрометеорологической информации. Редактор И.Г.Максимова/СПб 2010 г.

13.Критические значения выборочного коэффициента корреляции рангов//StudFiles [электронный ресурс] / СПб 2016 г.—Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5430279/page:35/>

14. Вестман А.В.Современные проблемы балтийского моря. Электронный научно-практический журнал "Современные научные исследования и инновации" 2016 г.[электронный ресурс]/режим доступа <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>

15. Еремина,Т.Р. Влияние изменчивости климата на кислородный режим глубинных вод восточной части Финского залива. [текст] / Т.Р. Еремина, А. А. Максимов, Е.В. Волощук // РГГМУ .2011 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Гидрометеорологические характеристики Балтийского моря

Таблица 13 – температура воздуха за I период

Годы	Финский залив	Ботнический залив	Южная часть Балтийского моря
1955	4.26	3.5	7
1956	3.51	1.6	5.9
1957	5.46	3.5	7.6
1958	4.1	2.3	6.9
1959	5.88	4.1	8.2
1960	4.82	3.1	7.3
1961	6.22	4.4	8.4
1962	4.45	2.4	6.6
1963	4.39	2.7	6.6
1964	5.09	3.3	7.3
1965	4.78	2.4	6.5
1966	3.88	1.6	6.8
1967	5.33	3.4	7.9
1968	4.61	2.2	7.4
1969	4	2.1	6.7
1970	4.3	2.5	6.3
1971	5.1	2.8	7.4
1972	5.8	3.4	7.5
1973	4.5	3.2	7.6
1974	6.3	4.3	7.9
1975	6.8	4.3	8.5

Продолжение приложения А

Таблица 13 – температура воздуха за I период

1976	3.8	2.2	6.5
1977	4.6	2.8	7.2
1978	3.8	3.5	6.6
1979	4.8	2.5	6.6
1980	4.5	2.3	6.4
1981	5	1.7	7
1982	5,6	3,1	8,2
1983	6,1	3,2	7,3
1984	5,8	3,7	7,8
Среднее	4,9	2,9	7,2

Таблица 14– температура воздуха за II период

Год	Финский залив	Ботнический залив	Южная часть Балтийского моря
1985	3,4	2,5	5,6
1986	4,7	2,2	6,8
1987	3,2	1,2	5,8
1988	5,8	3,2	7,7
1989	7,1	4,8	9
1990	6,7	4,6	9,2
1991	6,2	3,8	8,1
1992	6,5	4,2	8,6
1993	5,4	3,6	8,5
1994	5,3	3	8

Продолжение приложения А

Таблица 14– температура воздуха за II период

1995	6,2	3,7	7,8
1996	4,9	3	6,6
1997	6,1	4	8
1998	5,5	2,9	7,4
1999	6,4	3,6	8,4
2000	7,2	4,8	8,8
2001	6,1	3,2	7
2002	6,3	3,7	8,5
2003	6,3	3,7	7,9
2004	6,1	3,9	7,9
2005	6,6	4,4	8
2006	6,7	4,3	8,7
2007	6,9	4,2	8,7
2008	7,5	4,5	8,8
2009	6,2	3,6	8
2010	5	2,1	6,6
2011	7,1	4,7	8,4
2012	5,8	4,4	7,7
2013	6,9	4,4	8,1
2014	7,1	5,4	9,3
Среднее	6,0	3,7	7,9

Таблица 15 – температура поверхности воды за I период.

Год	Финский залив	Ботнический залив	Южная часть Балтийского моря
1960	7,5	6,2	9,1
1961	8,8	6,4	9,8
1962	7,2	8	8,3
1963	8,1	6,8	8,3
1964	7,8	7	8,7
1965	7,7	6,6	8,7
1966	7,6	6,2	8,7
1967	8,1	6,9	9,7
1968	7,7	6,4	9,6
1969	7,3	7,2	6,0
1970	7,3	6,9	5,4
1971	7,6	6,7	6,6
1972	8,0	7,8	6,6
1973	8,5	7,0	6,9
1974	8,1	7,5	6,9
1975	8,1	7,5	6,9
1976	8,8	6,9	7,2
1977	7,0	6,8	6,4
1978	7,2	6,4	6,6
1979	6,9	6,0	6,2
1980	7,1	6,1	5,2
1981	7,4	6,4	5,6
1982	7,4	6,3	5,9
1983	7,4	6,5	6,2

Продолжение приложения А

Таблица 15 – температура поверхности воды за I период

1984	8,1	6,6	6,6
Среднее	7,4	6,8	7,3

Таблица 16 – Температура поверхности воды II период

Год	Финский залив	Ботнический залив	Южная часть Балтийского моря
1985	7,7	6,6	6,1
1986	7,0	6,5	5,4
1987	7,6	6,2	5,6
1988	6,5	6,3	5,0
1989	7,8	6,7	6,4
1990	8,1	6,8	7,6
1991	7,8	7,4	7,7
1992	8,2	7,0	6,2
1993	8,0	6,9	7,1
1994	7,7	6,4	6,3
1995	7,7	6,5	7,0
1996	7,5	6,5	7,1
1997	7,5	6,3	5,9
1998	7,9	6,6	6,7
1999	8,8	7,0	7,1
2000	8,7	6,8	7,8
2001	8,6	6,8	7,1

Продолжение приложения А

Таблица 16 – Температура поверхности воды II период

2002	8,5	6,8	6,8
2003	7,3	6,6	6,8
2004	8,2	7,2	6,5
2005	9,4	7,5	6,9
2006	8,2	7,0	7,1
2007	8,4	7,3	7,8
2008	9,2	7,3	8,0
2009	8,4	7,4	7,1
2010	7,6	7,6	6,0
2011	9,4	6,6	6,5
2012	8,5	6,8	6,7
2013	8,4	6,7	6,8
2014	8,9	9,1	7,9
Среднее	8,1	6,9	6,8

Таблица 17 – ледовитость за I период.

Год	Финский залив	Ботнический залив
1955	52,2	42,0
1956	59,2	75,7
1957	39,3	43,7
1958	46,4	47,4
1959	30,7	47,9
1960	47,2	49,3

Продолжение приложения А

Таблица 17 – ледовитость за I период.

1961	37,6	40,6
1962	30,7	43,5
1963	37,0	40,0
1964	36,0	47,2
1965	46,4	53,1
1966	45,2	49,2
1967	42,8	42,3
1968	38,0	42,3
1969	46,8	51,9
1970	24,7	37,5
1971	25,0	34,5
1972	50,7	61,4
1973	22,1	37,9
1974	29,1	73,0
1975	24,9	32,0
1976	42,7	52,2
1977	64,9	61,0
1978	47,3	55,4
1979	66,6	72,5
1980	82,0	97,8
1981	76,3	91,0
1982	77,0	95,2
1983	77,0	71,4
1984	79,2	94,2
Среднее	47,5	56,1

Продолжение приложения А

Таблица 18– ледовитость за II период

Год	Финский залив	Ботнический залив
1985	89,7	98,3
1986	81,2	87,8
1987	92,4	91,8
1988	53,2	80,7
1989	39,5	83,3
1990	43,4	78,8
1991	63,0	90,3
1992	38,0	57,5
1993	42,0	91,0
1994	75,4	100,0
1995	53,0	80,3
1996	77,0	79,5
1997	40,3	82,4
1998	63,8	70,2
1999	60,8	93,0
2000	43,0	75,5
2001	42,0	90,5
2002	38,0	86,0
2003	53,1	100,0
2004	45,5	89,8
2005	46,1	80,0
2006	42,3	84,8
2007	49,5	83,7
2008	33,4	70,3

Продолжение приложения А

Таблица 18– ледовитость за II период

2009	33,4	85,8
2010	85,5	99,0
2011	92,3	99,8
2012	72,0	54,8
2013	67,0	100,0
Среднее	53,9	85,0

Таблица 19 –уровень за I период

Год	Ботнический залив	Финский залив	Южная Часть БМ
1955	7089	7095	6975,8
1956	7062	7071	7044,2
1957	7105	7105	7060,8
1958	7003	7015	7057,5
1959	6967	6962	7049,2
1960	6899	6904	6995,0
1961	7122	7124	6966,7
1962	7063	7100	7075,0
1963	6914	6948	7059,2
1964	7021	7051	6948,3
1965	6945	7005	7008,3
1966	6980	6968	7006,7
1967	7104	7133	7021,7
1968	6966	6988	7101,7
1969	6900	6941	7022,5

Продолжение приложения А

Таблица 19 –уровень за I период

1970	6914	6988	6983,3
1971	6971	7030	7033,3
1972	6857	6925	7054,2
1973	7006	7077	6986,7
1974	6933	7003	7061,7
1975	6969	6986	7042,5
1976	6871	6926	7026,7
1977	6864	6970	6990,0
1978	6841	6975	7011,7
1979	6868	6990	7036,5
1980	6786	6944	7010,7
1981	6920	7084	6997,2
1982	6902	7013	7113,9
1983	6978	7142	7036,3
1984	6823	6968	7139,6
Среднее	6955	7014	7031

Таблица 20– уровень за II период

Год	Ботнический залив	Финский залив	Южная часть БМ
1985	6789	6961	7016,8
1986	6831	6988	7039,3
1987	6779	6944	7042,3
1988	6837	7025	7029,1

Продолжение приложения А
Таблица 20– уровень за II период

1989	6973	7132	7011,6
1990	6949	7126	7015,1
1991	6778	6978	7082,9
1992	6821	7048	6906,5
1993	6768	6958	7031,6
1994	6773	6975	7049,0
1995	6658	7042	7023,2
1996	6587	6802	7068,9
1997	6725	6976	7046,4
1998	6787	7018	7081,5
1999	6755	6982	7049,0
2000	6622	7011	7023,2
2001	6709	6961	7068,9
2002	6745	6935	7046,4
2003	6676	6923	7081,5
2004	6776	7008	7021,9
2005	6759	6990	7071,3
2006	6693	6939	7091,7
2007	6829	7095	7015,9
2008	6749	7043	7210,1
2009	6632	6907	7087,9
2010	6563	6855	7070,8
2011	6747	7005	7047,0
2012	6737	7019	7085,4
2013	6600	6897	7121,4
2014	6586	6853	7032,7
Среднее	6741	6980	7052

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Таблица 21– кислород за I период.

Год	Месяц	Глубина, м	мл/л	Среднее за год, м
1955	7	—	—	7,95
1955	8	40	7,95	
1956	7	—	—	
1956	8	—	—	
1957	7	—	—	7,34
1957	8	50	7,34	
1958	7	—	—	
1958	8	—	—	
1959	7	—	—	0,61
1959	8	79	0,61	
1960	7	—	0,55	0,55
1960	8	79	0,55	
1961	7	107	0,54	1,38
1961	8	80	2,22	
1962	7	—	—	
1962	8	83	4,41	4,41
1963	7	—	—	
1963	8	80	4,69	4,69
1964	7	60	5,72	4,11
1964	8	70	2,5	
1965	7	70	1,54	3,465
1965	8	70	5,39	

Продолжение приложения Б

Таблица 21– кислород за I период.

1966	7	70	3,19	3,19
1966	8	70	3,19	
1967	7	70	2,15	2,45
1967	8	70	2,75	
1968	7	90	0,93	0,565
1968	8	88	0,2	
1969	7	70	0,18	0,255
1969	8	60	0,33	
1970	7	90	2,03	2,095
1970	8	67	2,16	
Среднее				2,29

Таблица 22– кислород за II период

Год	Месяц	Глубина, м	мл/л	Среднее за месяц, мл/л
1985	7	65	4,97	3,895
1985	8	74	2,82	
1986	7	80	2,45	1,74
1986	8	77	1,03	
1987	7	—	—	3,12
1987	8	80	3,12	
1988	7	75	1,04	3,31
1988	8	68	5,58	
1989	7	—	—	

Продолжение приложения Б
Таблица 22– кислород за II период

1990	7	70	2,37	2,37
1990	8	—	—	
1991	7	—	—	
1991	8	90	1,57	1,57
1992	7	65	5,93	5,93
1992	8	—	—	
1993	7	—	—	
1993	8	91	2,63	2,63
1994	7	83	3,38	1,95
1994	8	93	0,52	
1995	7	78	3,23	3,12
1995	8	90	3,01	
1996	7	—	—	
1996	8	90	0,85	0,85
1997	7	70	4,41	
1997	8	64	3,64	4,025
1998	7	70	4,41	
1998	8	—	—	
1999	7	68	3,87	3,87
1999	8	58	5,46	
2000	7	70	3,99	3,08
2000	8	79	2,17	
Среднее	—	—	—	1,68