МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ПО и ОПВ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему: «Изменение климата Балтийского моря на основе различных сценариев изменения глобального климата»

Исполнитель: Прохорова Елизавета Аркадьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.ф.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)
Еремина Татьяна Рэмовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой
(подпись)
к.ф.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Еремина Татьяна Рэмовна
(фамилия, имя, отчество)

«19» июня 2017 г.

Санкт–Петербург
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ___ПО и ОПВ_____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему: «Изменение климата Балтийского моря на основе различных сценариев изменения глобального климата»

Исполнитель: _____Прохорова Елизавета Аркадьевна_____

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____к.ф.н., доцент_____

(ученая степень, ученое звание)

_____Еремина Татьяна Рэмовна_____

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____

(подпись)

_____к.ф.н., доцент_____

(ученая степень, ученое звание)

_____Еремина Татьяна Рэмовна_____

(фамилия, имя, отчество)

«___»_____20__г.

Санкт–Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Физико-географическое описание Балтийского моря.

1.1 Климат моря.

1.2. Соленость.

1.3. Температурный режим.

1.4. Циркуляция воды и течения в Балтийском море.

1.5 Гидрологическая характеристика моря. Бескислородные зоны.

2. Описание исходных данных Балтийского региона за период с 1979 по 2010 гг.

. 2.1 Изменения скорости ветра.

2.2 Изменения температуры воздуха.

2.3 Изменение количества осадков.

2.4.Анализ изменения климата по статистическим данным, полученным на основе расчетов за 2 периода с 1979 по 2010 гг и МОЦАО, как инструмент прогнозирования климатических моделей в будущем.

3. Анализ прогноза температуры поверхности воды и солености Балтийского моря при «мягком» сценарии изменения глобального климата за 2007-2040 гг.

3.1. Температура поверхности воды и солености Балтийского моря за 2007-2040 гг по модели ECHAM (зимний и летний периоды).

3.2. Температура поверхности воды и солености Балтийского моря за 2007-2040 гг по модели HADLEY (зимний и летний периоды).

3.3. Анализ и сравнение статистических данных сценарных расчетов на климатических моделях для Балтийского региона.

4. Заключение.

5. Список использованных источников.

6. Приложение А и Б.

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 об изменении климата на Земле. Рассмотрим влияние изменения климата на климат Балтийского моря.

Балтийское море особенно чувствительно к изменению климата. Береговая мелководная зона, замкнутые 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 0.5 ^{0}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 0.16 м (от 0.1 до 0.24 м). Подъём среднего уровня моря за период с 1973 по 2005 годы составлял 1.7 мм/год (от 1.2 до 2.2 мм/год). Важно отметить, что

наблюдаемый подъем уровня был зафиксирован на многих уровненных 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 14 дней. Изучение временных рядов в условиях изменения климата, является важной актуальной задачей [3].

Целью работы является анализ изменения гидрометеорологических характеристик в Балтийском море на основе данных наблюдений и по результатам сценарных расчетов на климатических моделях.

Для реализации цели исследования необходимо выполнить ряд *задач:*

- Собрать данные наблюдений по температуре воздуха, температуре поверхности воды, количеству осадков, скорости ветра в различных регионах Балтийского моря.
- Провести статистический анализ данных наблюдений. Выявить изменения климатических характеристик за два временных периода и сравнить их между собой.
- Провести статистический анализ гидрометеорологических результатов расчетов на климатических моделях.
- Проанализировать результаты статической обработки данных по Балтийскому морю.

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.

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.км^2 , а объем воды – 20.1 тыс.км^3. Средняя глубина моря 46 м, максимальная 458 м. Преобладают глубины до 50 м, на их долю приходится 65 % площади моря, на долю глубин более 200 м – около 0.6 % 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. 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 58 м. Поверхность дна хорошо выровнена за счет накопления мощной толщи рыхлых осадков.

Ботнический залив является порогом Северный Кваркен (глубина всего 23 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 145 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].

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 92 до 109 м, со 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 47 м, а южнее Средней банки, в Слупском желобе от 63 от 78 м .В восточной части Балтийского моря находится Готландская впадина (глубина 250 м), к северу от нее – впадина Фёре (глубина 207 м), к югу – Гдальская впадина (глубина 119 м). В западной части Центрального бассейна (западнее Готлондского порога) расположены в направлении с севера на юг впадины Ландсортская, Норркепинг и Карлсэ (наибольшая глубина впадин соответственно 460, 207 и 115 м, соответственно). Ландсортская впадина является самой глубокой впадиной Балтийского моря. От впадины Норркепинг она отделена порогом глубиной 115 м. В северной части Центрального бассейна расположена вытянутая в широтном направлении Северо-Балтийская впадина с максимальной глубиной 218 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- 0.67 тыс. км 3, средняя глубина колеблется от 11 до 35 м. Пролив Каттегат – самый глубоководный и обширный. Глубина составляет в северной части 125 м (здесь имеются опасные банки с глубиной до 8 м), в средней чуть более 52 м, а в южной части уменьшается до 22 м, западная часть пролива занята отмелью с глубиной до 21 м. Пролив Эрсунн (Зунд) в северной части сравнительно глубоководен, глубина до 52 м ,а в южной (особенно на пороге Дрогден) мелководен, глубина 7-8 м. Пролив Большой Бельт достаточно широкий и глубокий (глубина в форватере более 22 м). Средняя его часть мелководна. 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 33 до 55 лет [5].

Внутриматериковое положение Балтийского моря, его незначительный объем и мелководность проливов определяют важную роль речного стока в формировании режима моря, так как в него впадает более 248 рек. За год они отдают морю около 433 км^3, что составляет 2.2 % от общего объема моря. Наиболее водными реками являются: Нева длиной 74 км, с площадью водосбора 281 км^2, со стоком 2530м^3/с, Висла, длиной 1068 км, площадью водосбора 193 км^2, стоком 1 030 км^3/с, Западная Двина, длина ее 1020 км, площадь водосбора 88 км^2 ,сток 730 км^3/с и другие реки. Сток распределяется по районам не равномерно, например в Ботническом заливе он равен 181 км^3/год, в Финском 110, в Рижском -37, в центральной части Балтики - 112 км^3/год[5].

В течении года реки несут к морю неодинаковое количество вод. Полноводность Невы регулируется озером и больший 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:

- 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 °С на севере и от 5 до 8 °С на востоке. При редких и кратковременных вторжениях холодного арктического воздуха, связанных с усилением Полярного максимума, температура воздуха над морем понижается до -35 °С[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 обусловливают 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 °С в Ботническом заливе и 16—18°С в остальных районах моря. Жаркая погода бывает редко. Ее вызывают кратковременные затоки прогретого средиземноморского воздуха[6].

По средним значениям общей облачности выделяют два района моря: северо-восточный (средние месячные значения от 3.3 до 9.4 бала) и южный (от 2.5 до 7.3 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 86 %[5].

На восточном побережье наибольшее колебание в выпадении осадков от 283.7 до 65.0 м, 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 23 м/с встречаются примерно с семь раз чаще, чем в северной, а ветра со скоростью 11-14 м/с - в северной чаще, чем в южной. Повторяемость ветров со скоростью 16-18 м/с примерно одинакова. Продолжительные штормы в северной и в южной части моря вызывают штормовые ветры, вызываемые циклонами и антициклонами, приходящими с запада[7].

Зимой воды Балтийского моря покрываются льдами. Но в продолжение одной и той же зимы лед может по нескольку раз таять и вновь сковывать воду. 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 Соленость моря.

Балтийское море является солоноватым бассейном.

Поверхностная вода (0—20 м, местами 0—90 м) с температурой от 0 до 20°, соленостью примерно 7—8‰ образуется в самом море в результате его взаимодействия с атмосферой (осадки, испарение) и с водами материкового стока. Эта вода имеет зимнюю и летнюю модификации. В теплое время года

в ней развит холодный промежуточный слой, образование которого связано со значительным летним прогревом поверхности моря (рисунок 1).

Температура глубинной воды (50— 60 м — дно, 100 м — дно) — от 1 до 15°, соленость — 10—18,5‰. Ее образование связано с поступлением в море глубинных вод через Датские проливы и с процессами перемешивания[5].

Переходный слой (20—60 м, 90— 100 м) имеет температуру 2—6°, соленость — 8—10‰, образуется в основном путем смешения поверхностных и глубинных вод. В некоторых районах моря строение вод имеет свои особенности. Например, в Арконском районе летом отсутствует холодный промежуточный слой, что объясняется сравнительно небольшой глубиной этой части моря и влиянием горизонтальной адвекции. Борнхольмскому району присуща теплая прослойка (7—11°), наблюдаемая зимой и летом. Ее образуют теплые воды, приходящие сюда из несколько более прогреваемого Арконского бассейна[8].

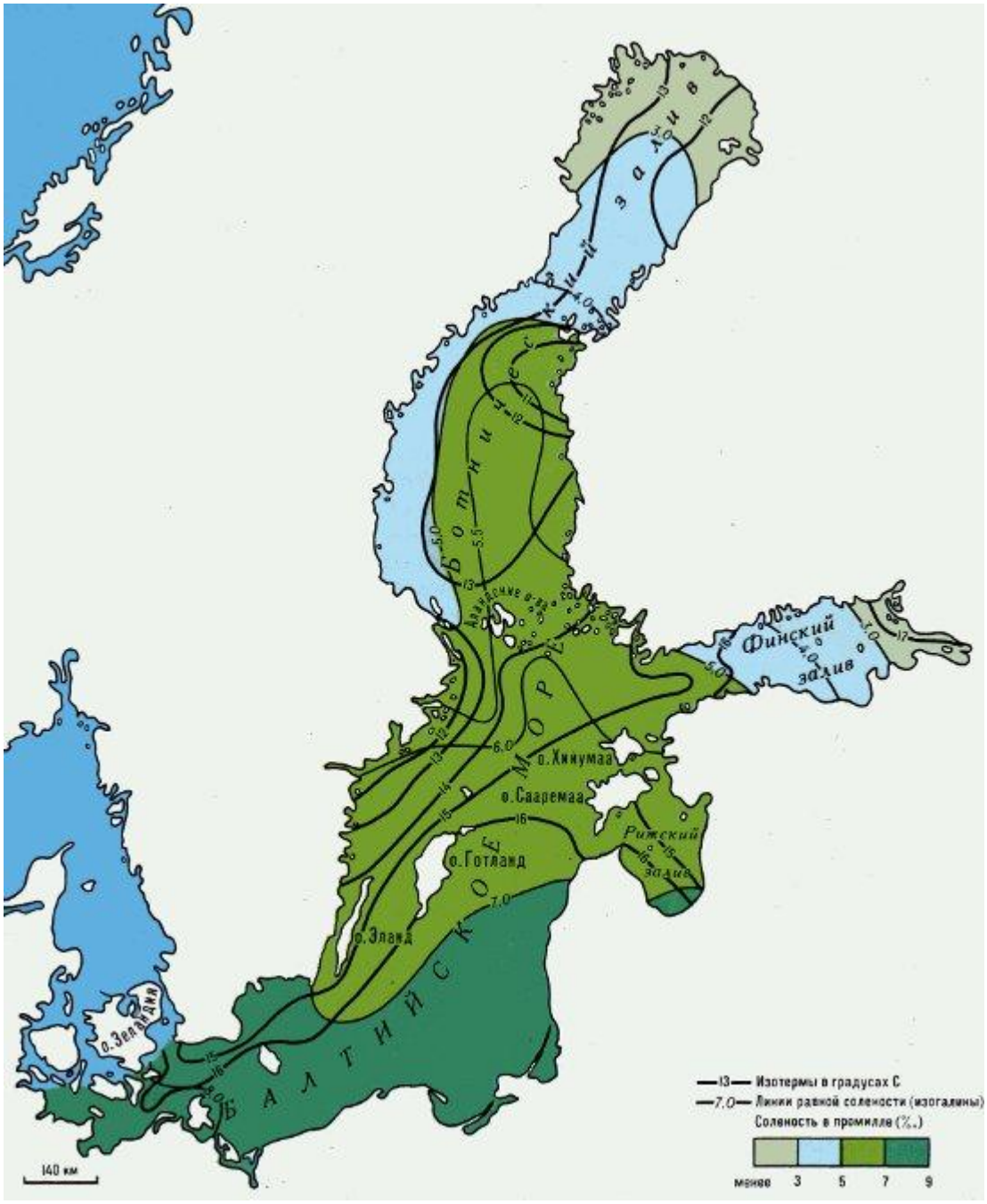

Рис.1 «Температура воды и соленость на поверхности Балтийского моря летом».

Толща вод Балтийского моря четко разделена на два слоя: верхний опресненный и нижний осолоненый. Граница резкого изменения солености (галоклин) обычно колеблется на глубинах от 21 до 25 м (Арконская впадина) и от 73 до 85 м (центральная часть Балтийского моря)[5].

В районе Датских проливов и Каттегата существует двухслойная система течений: в верхнем, более опресненном 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 связанно 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[5].

Наблюдения за соленостью в Балтийском море с начала текущего столетия и до последних лет показывают, что она имеет тенденцию к повышению, на фоне которой проявляются кратковременные колебания. Изменения солености в котловинах моря определяются притоком вод через Датские проливы, что в свою очередь зависит от гидрометеорологических процессов. К ним, в частности, относится изменчивость крупномасштабной атмосферной циркуляции. Многолетнее ослабление циклонической деятельности и длительное развитие антициклональных условий над Европой приводят к уменьшению осадков и как следствие к снижению речного стока. Изменения солености в Балтийском море связаны и с колебаниями величин материкового стока. При большом речном стоке несколько повышается уровень Балтийского моря и усиливается сточное течение из него, которое в мелководной зоне Датских проливов (наименьшая глубина здесь 18 м) ограничивает доступ соленых вод из Каттегата в Балтику. При снижении речного стока соленые воды более свободно проникают в море. В связи с этим колебания притока соленых вод в Балтику хорошо согласуются с изменениями водности рек Балтийского бассейна. В последние годы увеличение солености отмечается уже не только в придонных слоях котловин, но и в верхних горизонтах. В настоящее время соленость верхнего

слоя (20— 40 м) повысилась на 0,5‰ по сравнению со средней многолетней величиной (Рисунок 2).

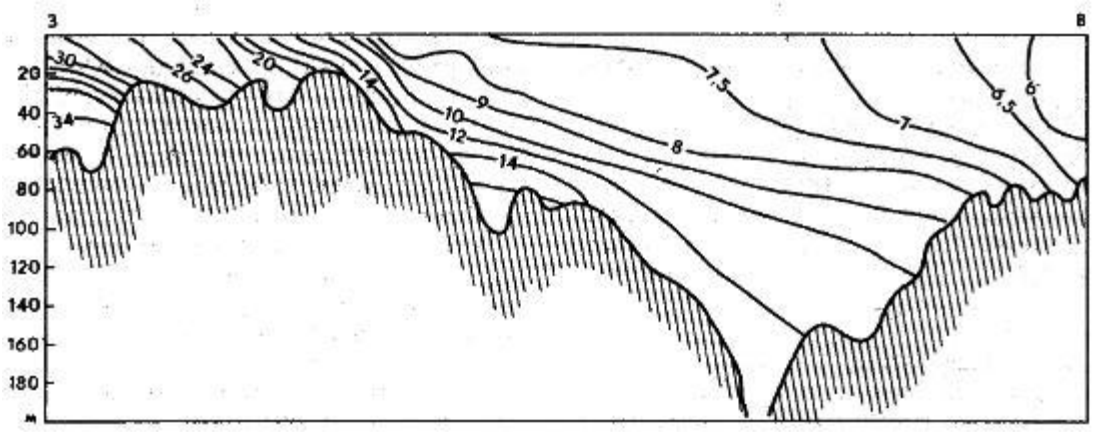

Рис.2 «Соленость (‰) на продольном разрезе в Балтийском море».

Изменчивость солености Балтийского моря — один из наиболее важных факторов, регулирующих многие физические, химические и биологические процессы. Вследствие низкой солености поверхностных вод моря их плотность тоже невелика и уменьшается с юга на север, незначительно изменяясь от сезона к сезону. С глубиной плотность увеличивается. В районах распространения соленых каттегатских вод, особенно в котловинах на горизонтах 50—70 м, создается постоянный слой скачка плотности (пикноклин). Над ним в поверхностных горизонтах (20—30 м) образуется сезонный слой больших вертикальных градиентов плотности, обусловленный резким изменением температуры воды на этих горизонтах[5].

1.3. Температурный режим.

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[5].

В некоторых районах моря строение вод имеет свои особенности. Например, в Арконском районе летом отсутствует холодный промежуточный слой, что объясняется сравнительно небольшой глубиной этой части моря и влиянием горизонтальной адвекции. Борнхольмскому району присуща теплая прослойка (7—11°), наблюдаемая зимой и летом. Ее образуют теплые воды, приходящие сюда из несколько более прогреваемого Арконского бассейна[5].

Зимой температура воды несколько ниже у берегов, чем в открытых частях моря, при этом у западного берега она несколько выше, чем у восточного. Так, среднемесячная температура воды в феврале у Вентспилса 0,7°, на той же широте в открытом море — около 2°, а у западного берега — 1°.Летом температура поверхностных вод неодинакова в разных районах моря[5].

Понижение температуры у западных берегов, в центральном и южном районах объясняется преобладанием западных ветров, сгоняющих поверхностные слои воды от западных берегов. К поверхности поднимаются более холодные нижележащие воды. Кроме того, вдоль Шведских берегов на юг проходит холодное течение из Ботнического залива[5].

Четко выраженные сезонные изменения температуры воды охватывают только верхние 50—60 м, глубже температура меняется очень мало. В холодный сезон она сохраняется примерно одинаковой от поверхности до горизонтов 50— 60 м, а глубже несколько понижается до дна.

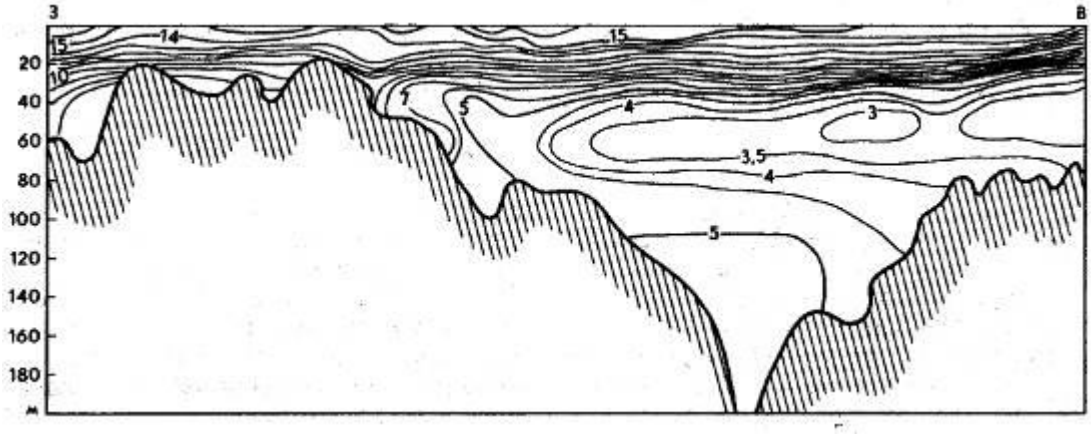

Рис.3 «Температура воды (°С) на продольном разрезе в Балтийском море».

В теплый сезон повышение температуры воды в результате перемешивания распространяется до горизонтов 20—30 м. Отсюда она скачкообразно понижается до горизонтов 50—60 м и затем снова несколько повышается к дну. Холодный промежуточный слой сохраняется летом, когда поверхностный слой прогревается и термоклин выражен более резко, чем весной[5].

1.4. Циркуляция воды и течения в Балтийском море.

Вертикальное распределение океанологических характеристик в Балтийском море показывает, что в южных и центральных районах море разделено слоем скачка плотности на верхний (0—70 м) и нижний (от 70 м до дна) слои. В конце лета — начале осени, когда над морем преобладают слабые ветры, ветровое перемешивание распространяется до горизонтов 10—15 м в северной части моря и до горизонтов 5—10 м в центральных и южных частях и служит главным фактором формирования верхнего однородного слоя. В течение осени и зимы с увеличением скоростей ветра над морем перемешивание проникает до горизонтов 20—30 м в центральных и южных районах, а на востоке — до 10—15 м, так как здесь дуют сравнительно слабые ветры. По мере усиления осеннего охлаждения (октябрь — ноябрь) увеличивается интенсивность конвективного

перемешивания. В эти месяцы в центральных и южных районах моря, в Арконской, Готландской и Борнхольмской впадинах, оно охватывает слой от поверхности примерно до 50—60 м. Здесь термическая конвекция достигает своей критической глубины (для более глубокого распространения перемешивания требуется осолонение поверхностных вод за счет льдообразования) и ограничивается слоем скачка плотности. В северной части моря, в Ботническом заливе и на западе Финского залива, где осеннее охлаждение более значительно, чем в других районах, конвекция проникает до горизонтов 60—70 м[6].

Обновление глубинных вод, моря происходит главным образом за счет притока Каттегатских вод. При их активном поступлении глубинные и придонные слои Балтийского моря хорошо вентилируются, а при малых количествах втекающих в море соленых вод на больших глубинах во впадинах создаются застойные явления вплоть до образования сероводорода[6].

Наиболее сильное ветровое волнение наблюдается осенью и зимой в открытых, глубоких районах моря при продолжительных и сильных юго-западных ветрах. Штормовые 7—8-балльные ветры развивают волны высотой до 5— 6 м и длиной 50—70 м. В Финском заливе сильные ветры этих направлений образуют волны высотой 3—4 м. В Ботническом заливе штормовые волны достигают высоты 4—5 м. Самые крупные волны бывают в ноябре. Зимой при более сильных ветрах образованию высоких и длинных волн препятствуют льды[6].

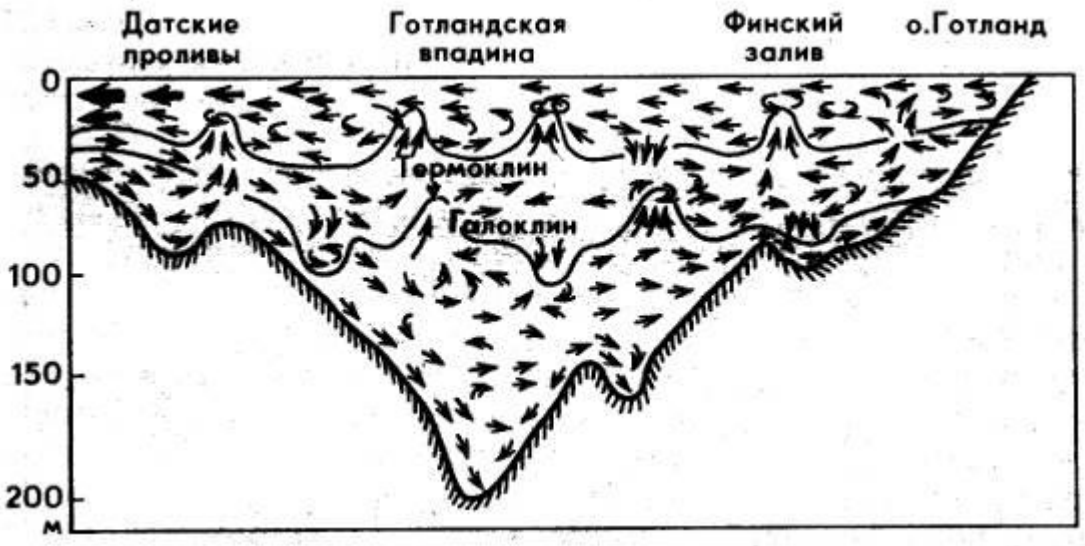

Рис.4 «Циркуляция вод в Балтийском море».

Скорость постоянных течений Балтийского моря очень невелика и равна примерно 3—4 см/с. Иногда она увеличивается до 10—15 см/с. Схема течений весьма неустойчива и часто нарушается ветром (рисунок 4).

Преобладающие в море ветровые течения особенно интенсивны осенью и зимой, а во время сильных штормов их скорость может достигать 100— 150 см/с[6].

Глубинная циркуляция в Балтийском море определяется поступлением вод через Датские проливы. Входное течение в них обычно проходит до горизонтов 10—15 м. Затем эта вода, как более плотная, опускается в нижележащие слои и глубинным течением медленно переносится сначала на восток, а затем на север. При сильных западных ветрах вода из Каттегата втекает в Балтийское море практически по всему сечению проливов. Восточные ветры, напротив, усиливают выходное течение, которое распространяется до горизонтов 20 м, и только у дна сохраняется входное течение[6].

Вследствие большой степени изоляции от Мирового океана приливы в Балтийском море почти не заметны. Колебания уровня приливного характера в отдельных пунктах не превышают 10—20 см. Наиболее заметны

эти движения на севере Ботнического залива, где скорость подъема суши доходит до 0,90— 0,95 см/год, тогда как на юге подъем сменяется опусканием берега со скоростью 0,05 — 0,15 см/год[6].

Сгонно-нагонные колебания уровня происходят довольно быстро и достигают значительных величин. В открытых районах моря они равны примерно 0,5 м, а в вершинах бухт и заливов бывают 1—1,5 и даже 2 м. Совместное действие ветра и резкое изменение атмосферного давления (при прохождении циклонов) вызывают сейшевые колебания уровенной поверхности с периодом 24—26 ч. Изменения уровня, связанные с сейшами, не превышают 20—30 см в открытой части моря и достигают 1,5 м в Невской губе. Сложные сейшевые колебания уровня — одна из характерных черт режима Балтийского моря[6].

С колебаниями уровня моря связаны катастрофические петербургские наводнения.

1.5. Гидрологическая характеристика моря, бескислородные зоны.

Слабый водообмен с океаном, значительный сток рек с материка и двухслойная вертикальная структура Балтийского моря определяют его гидрологические 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 25 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 65-70 м, в нижележащем слое 22-35 м резким уменьшением и низкими величинами на глубинах 78-98 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[6].

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 83-85 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[5].

Эвтрофикация является самой серьезной проблемой Балтийского моря. Наиболее сильно эта проблема затронула Финский залив. Несмотря на сокращение в последнее время сброса эвтрофицирующих биогенных элементов, наблюдается увеличение видимых признаков эвтрофикации, таких как массовое цветение сине-зеленых водорослей, непрозрачность воды, «слизистые» пляжи и рост числа бескислородных участков дна. По имеющимся оценкам, изменение климата будет ускорять эвтрофикацию Балтийского моря[5].

2. Описание исходных данных Балтийского региона за период с 1979 по 2010 гг.

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 различных показателя:

- 1. Скорость ветра (м/с)
- 2. Температура воздуха (t, C)
- 3. Количество осадков (мм/сут).

Данные приведены в таблицах, в приложении А.

Для исследования климатических изменений использовались данные многолетних наблюдений за температурой воздуха, количеством осадков и скоростью ветра за 1979 по 2010 гг:

а) скорость ветра, данные взяты с архива Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division [9].

Monthly GLDAS_CLM10_M.001 product

Среднегодовые данные приведены в таблицах № 13, 14, в приложении А;

б) температура воздуха, данные на высоте 2 метра были взяты с архива Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division[9].

Среднегодовые данные приведены в таблицах № 15, 16, в приложении А;

в)количество осадков, данные взяты с архива Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division[9].

Среднегодовые данные приведены в таблицах № 17, 18, в приложении А;

Для выполнения сравнительного анализа климатических изменений в Балтийском регионе, временные ряды перечисленных характеристик были разбиты на два периода: с 1979 по 1994 годы – I период и с 1995 по 2010 годы – II период.

2.1 Изменения скорости ветра.

Для анализа многолетней изменчивости скорости ветра, 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 2.3.

График 2.2 – Среднегодовая изменчивость скорости ветра за 1979-1994 гг.

График 2.3 – Среднегодовая изменчивость скорости ветра за 1995-2010 гг.

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.

$$r = R^2, \tag{1.1}$$

где r – коэффициент корреляции;

R^2 – коэффициент детерминации.

Определим критерий Стьюдента, выборочное значение которого рассчитывается по формуле:

$$t^* = \frac{|r|}{\sigma_r}, \tag{2.1}$$

где t^* – критерий Стьюдента

σ_r – средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции.

Средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции вычисляется по формуле:

$$\text{бr} = \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}} \tag{2.2}$$

Далее определяется критическое значение tкр (α, у), где уровень значимости α принимается равным 5%. а число степеней свободы

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

где N- длина ряда.

Данные критического критерия были взяты из таблицы критического значения Стьюдента[13] (Таблица 12, приложение А).

Данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости скорости ветра Балтийского моря за

I период исследования (1979-1994)

Параметр	Значение параметра
r	0,0438
N	16
y	14
α	0,05
σ_r	0,266749
t*	0,1642

Таблица 2 - Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости скорости ветра Балтийского моря за II период исследования (1995-2010)

Параметр	Значение параметра
r	0,7109
N	16
y	14
α	0,05
σ_r	0,132193
t*	5,37774

Рассмотрим I период. Так как критерий Стьюдента ниже, чем критический критерий - коэффициент корреляции незначим, тренд отсутствует и в данном периоде не имеется тенденция на повышение или понижение скорости ветра..

Во II периоде критерий Стьюдента выше критического значения - тренд значимый и понижение скорости ветра в данном периоде наблюдается по всей акватории Балтийского моря.

2.2 Изменения температуры воздуха.

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 воздуха, построив графики многолетней изменчивости на основании таблиц № 2.4, 16

(приложение А), в исследуемых точках, построенных на графиках с 2.4 по 2.5.

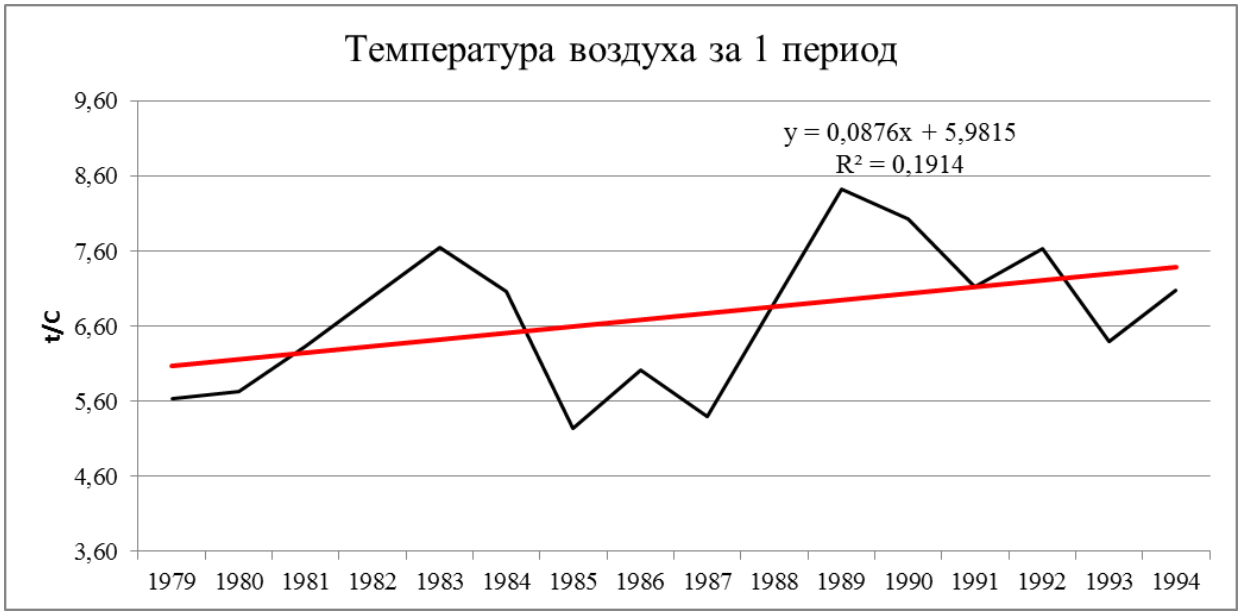

График 2.4 – Среднегодовая изменчивость температуры воздуха за 1979-1994 гг.

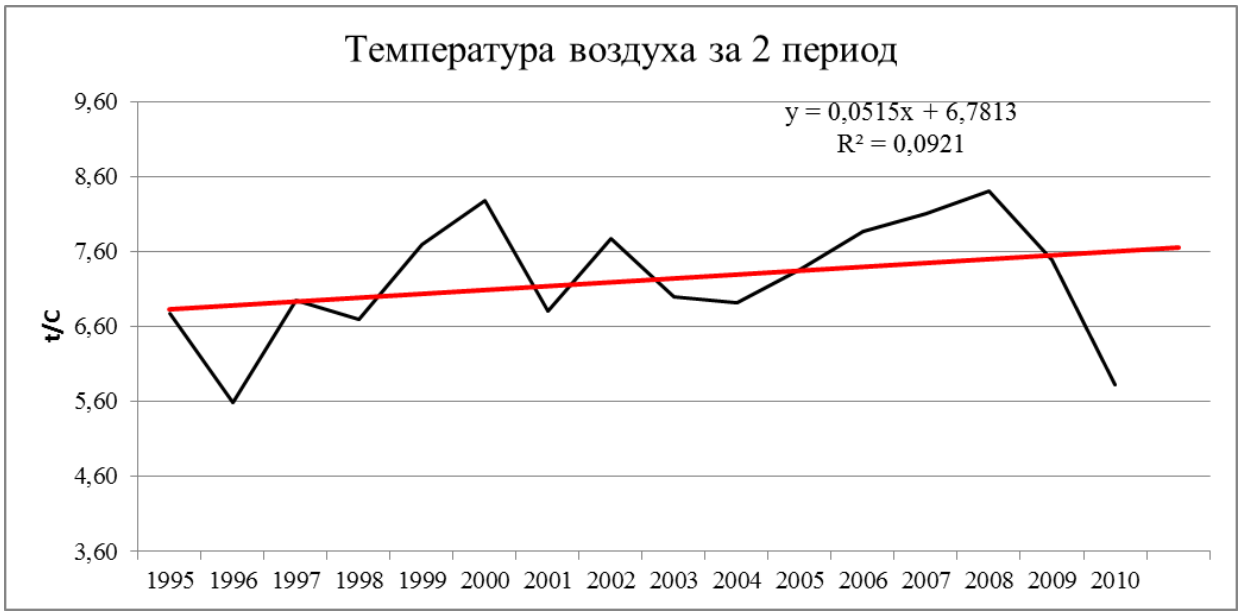

График 2.5 – Среднегодовая изменчивость температуры воздуха за 1995-2010 гг.

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

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

Параметр	Значение параметра
r	0,1914
N	16
y	14
α	0,05
σ_r	0,25747
t*	0,743386

Таблица 3. Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости температуры воздуха над Балтийским морем за I период исследования.

Параметр	Значение параметра
r	0,0921
N	16
y	14
α	0,05
σ_r	0,264994
t*	0,347555

Таблица 4. Оценка коэффициента корреляции на значимость изменчивости температуры воздуха над Балтийским морем за II период исследования.

В первом периоде над всей акваторией Балтийского моря критерий Стьюдента ниже критического, тренд незначимый и по всем районам БМ не наблюдается резко выраженного понижения или повышения температуры..

Во втором периоде, критерий Стьюдента также ниже критического, тренд незначимый и над поверхностью БМ не наблюдается повышение или понижение температуры воздуха.

2.3 Изменение количества осадков.

Уровень одна 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 количества осадков, выпадающих над БМ, построив графики на основании данных в таблицах № 2.6, 2.7 (приложение А).

На графиках с 2.6 по 2.7 видны различные годовые изменения количества осадков над акваторией Балтийского моря.

График 2.6 – Среднегодовое количество осадков за период с 1979-1994 гг.

График 2.7 – Среднегодовое количество осадков за период с 1995-2010 гг.

Проведем оценку тренда изменения количества осадков над всей акваторией БМ. Данные расчетов приведем в таблицах № 7 и 8.

Параметр	Значение параметра
r	0,0034
N	16
y	14
α	0,05
σ_r	0,267258
t*	0,012722

Таблица 7. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости количества осадков над Балтийским морем за I период.

Параметр	Значение параметра
r	0,1174
N	16
y	14
α	0,05
σ_r	0,263578
t*	0,44541

Таблица 8. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости количества осадков над Балтийским морем за II период.

За первый период при сравнении критериев наблюдается, что критерий Стьюдента ниже критического, что указывает на отсутствие тренда, и подтверждает, что нет понижения или повышения количества осадков над акваторией.

Во втором периоде по данным расчетов также не наблюдалась значимости тренда, в связи с критерием Стьюдента ниже критического. Количество осадков не росло и не снижалось.

2.4. Анализ изменения климата по статистическим данным, полученным на основе расчетов за 2 периода с 1979 по 2010 гг и МОЦАО, как инструмент прогнозирования климатических моделей в будущем.

Анализируя вышеизложенное, подтверждаются климатические изменения в акватории Балтийского моря за исследуемый I период. Не смотря на отсутствие тренда на повышение скорости воздуха, она повышалась в среднем на 0.007 м/с в год, а во II периоде тренд был значим, и скорость понижалась на
0.06 м/с в год.

Температура воздуха в I периоде повышалась на 0.09 ^{0}C /год , а во II периоде - на 0.05 ^{0}C/год, несмотря на отсутствие тренда.

Над Балтийским морем в первом периоде наблюдалось уменьшение количества выделяемых осадков в среднем на 0,09 мм/год, и повышение количества во II периоде наблюдения в среднем на 0,4 мм/год, т.к. тренд отсутствовал и критерий Стьюдента был ниже критического.

В общем, климатическая таблица Балтийского моря за период 1979-2010 Представлена в приложении А (таблица 11). Анализируя ее, можно сказать, что климат во 2 периоде был чуть благоприятнее, чем в 1 периоде.

Наибольшее распространение при прогнозе на длительную перспективу (столетие) получили сложные трехмерные модели совместной общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) или для простоты – климатические модели. Современные МОЦАО включают в качестве основных компонентов интерактивные блоки атмосферы, океана,

деятельного слоя почвы, криосферы и биосферы. Поскольку для многих процессов пространственное разрешение МОЦАО пока еще недостаточно, то они представлены в моделях с помощью параметризацией, основанных на соотношениях между климатическими характеристиками разных масштабов. Численные эксперименты с использованием МОЦАО можно проводить на многие сотни лет.

МОЦАО основаны на различных сценариях развития человечества, при этом главным параметром этих сценариев является задание выбросов в атмосферу углекислого газа. Чем сильнее предполагается развитие, тем выше уровень выбросов парниковых газов в атмосферу.

3. Анализ прогноза температуры поверхности воды и солености Балтийского моря при «мягком» сценарии изменения глобального климата за 2007-2040 гг.

В данной главе проводится анализ изменчивости физико-химических характеристик в Балтийском регионе в исследуемые климатические периоды, а также сопоставление изменений и прогнозирование климата, которые произойдут в период с 2007 по 2040 гг.

Прогнозирование климата Балтийского моря в будущем будет основано на двух климатических моделях (ECHAM и HADLEY), в которых отдельно рассмотрим два периода: лето и зима.

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]:

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

где t* – критерий Стьюдента

σ_r – средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции.

Средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции вычисляется по формуле:

$$\text{бr} = \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}} \qquad (2.2)$$

Далее определяется критическое значение tкр (α, y), где уровень значимости α принимается равным 5%. а число степеней свободы

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

где N- длина ряда.

3.1. Температура поверхности воды и солености Балтийского моря за 2007-2040 гг по модели ECHAM (зимний и летний периоды).

Для определения значимости тренда сначала построим график температуры поверхности воды и солености на основе спрогнозированных данных.

Данные представлены в Приложении Б в Таблице 19.

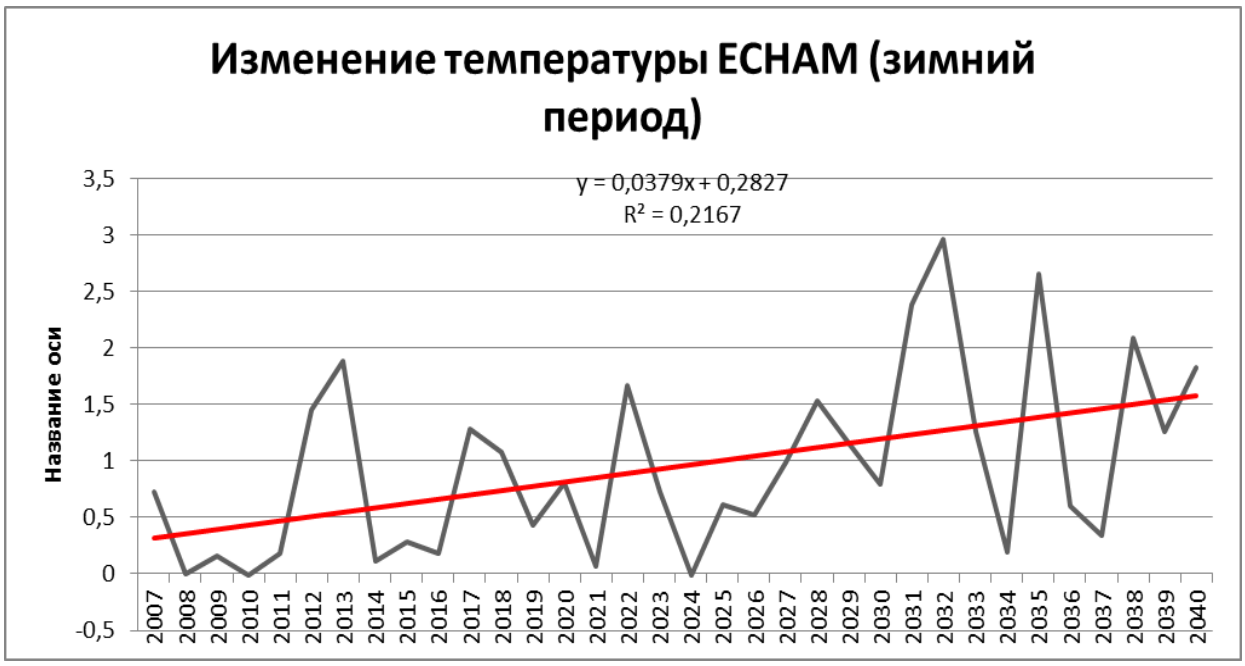

График 2.8 – Изменение температуры поверхности воды за период 2007-2040 гг.

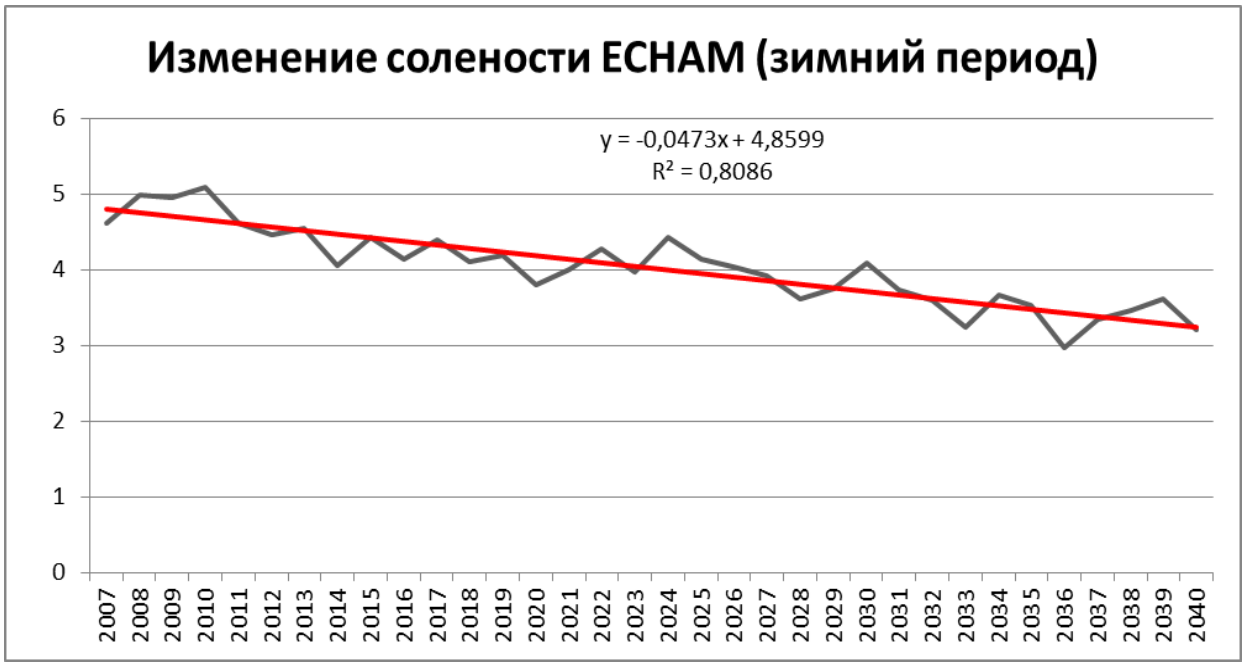

График 2.9 – Изменение солености БМ за период 2007-2040 гг.

Для анализа изменения температуры поверхности и солености воды БМ по модели ECHAM использовалась статистическая модель тренда и критическое значение Стьюдента, представленные в Таблице 9 и 10.

Таблица 9. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости температуры поверхности Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,2167
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,168475
t*	1,286241

Таблица 10. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости солености Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,8086
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,061194
t*	13,21369

Анализируя полученные статистические данные, можно сделать вывод: значение критерия Стьюдента поверхности воды БМ по модели ECHAM

(Зима) меньше критического значения, тренд отсутствует – понижения или повышения температуры не наблюдается.

Значение критерия Стьюдента солености БМ по модели ECHAM (Зима) больше критического значения, тренд присутствует – наблюдается резкое уменьшение солености воды, что скорее всего связано с увеличением количества осадков или с таянием льдов.

Для определения значимости тренда сначала построим график температуры поверхности воды и солености на основе спрогнозированных данных.

Данные представлены в Приложении Б в Таблице 20.

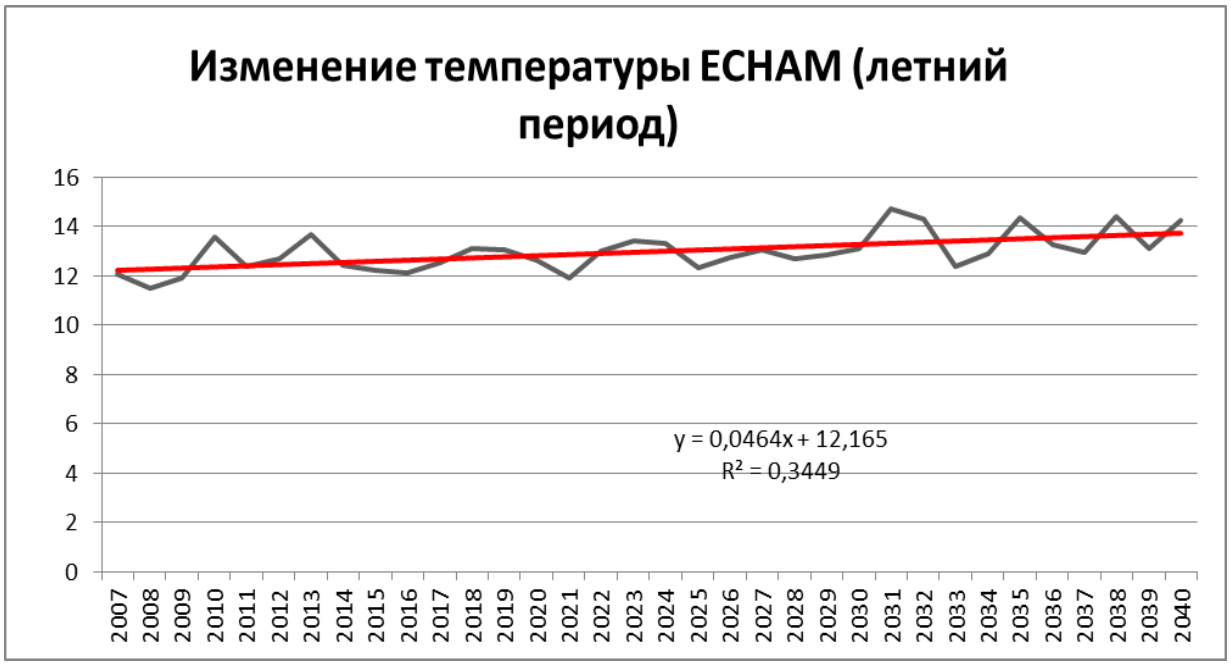

График 3.0 – Изменение температуры поверхности воды за период 2007-2040 гг.

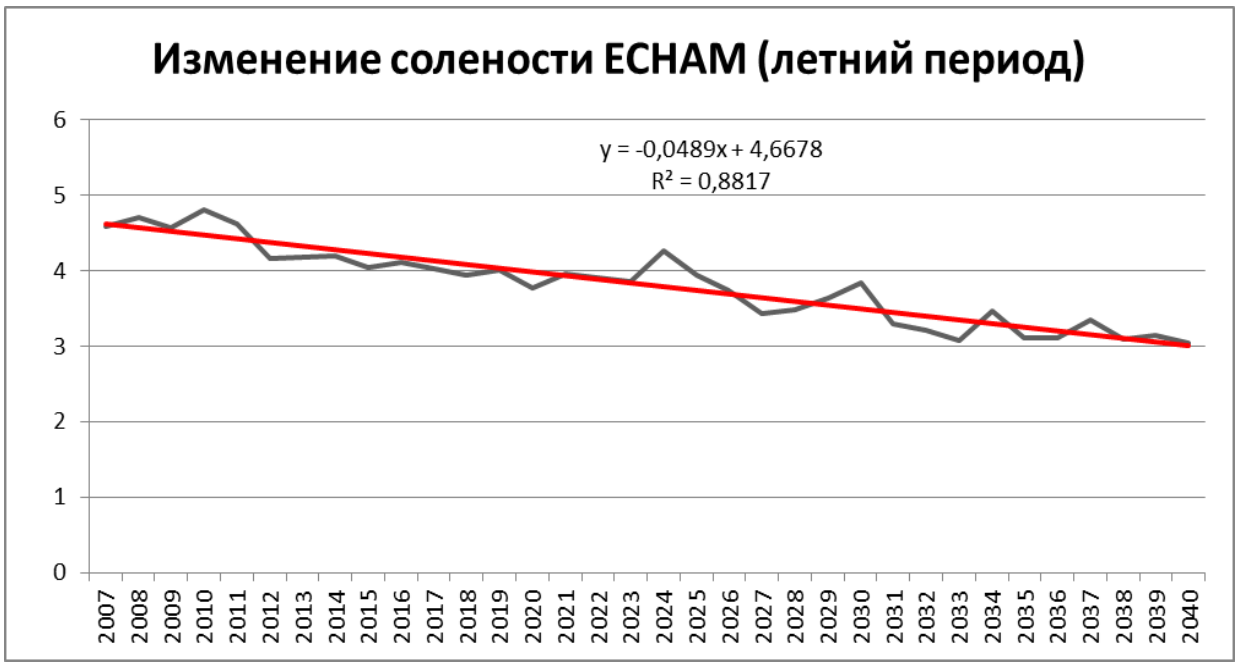

График 3.1 – Изменение солености БМ за период 2007-2040 гг.

Для анализа изменения температуры поверхности и солености воды БМ по модели ECHAM использовалась статистическая модель тренда и критическое значение Стьюдента, представленные в Таблице 11 и 12.

Таблица 11. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости температуры поверхности Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,3449
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,155748
t*	2,214474

Таблица 12. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости солености Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,8817
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,039351
t*	22,40581

Анализируя полученные статистические данные, можно сделать вывод: значение критерия Стьюдента поверхности воды БМ по модели ECHAM (Лето) больше критического значения, тренд значимый – наблюдается повышение температуры поверхности воды.

Значение критерия Стьюдента солености БМ по модели ECHAM (Лето) больше критического значения, тренд значимый – наблюдается резкое уменьшение солености воды, что скорее всего связано с увеличением количества осадков или количества сточных вод.

3.2 Температура поверхности воды и солености Балтийского моря за 2007-2040 гг по модели HADLEY (зимний и летний периоды).

Для определения значимости тренда сначала построим график температуры поверхности воды и солености на основе спрогнозированных данных.

Данные представлены в Приложении Б в Таблице 21.

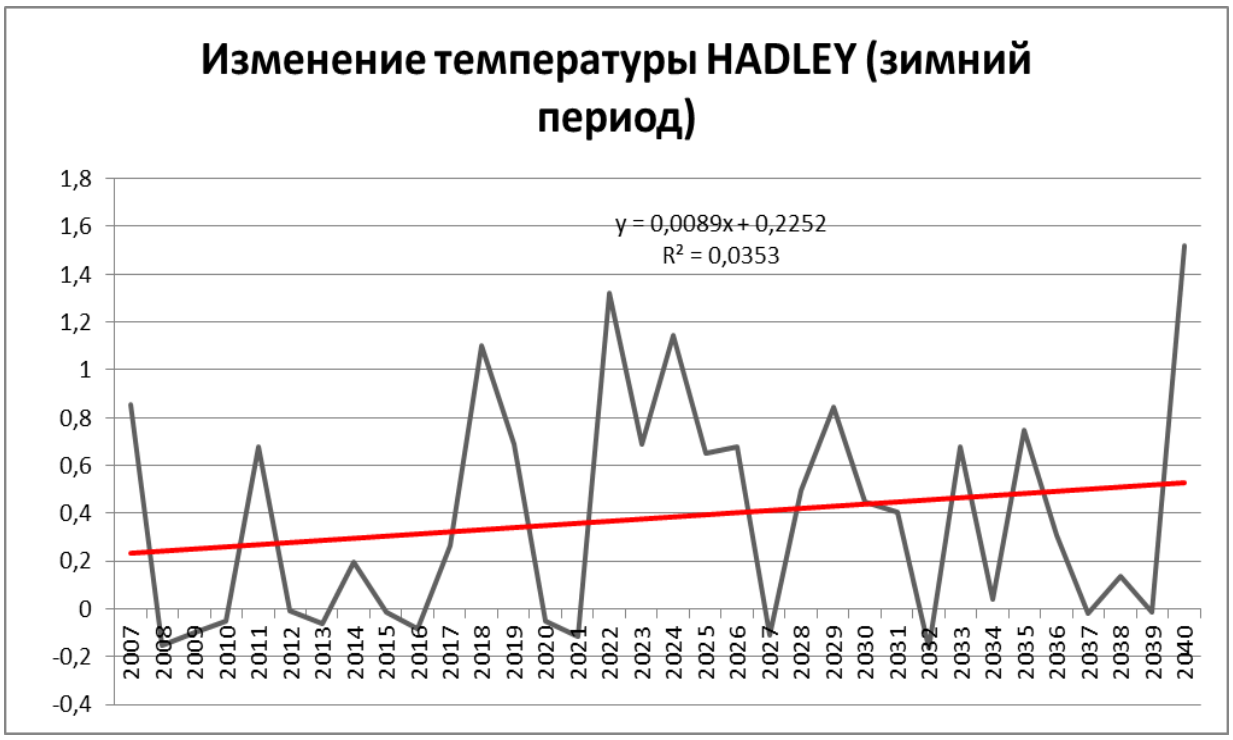

График 3.2 – Изменение температуры поверхности воды за период 2007-2040 гг.

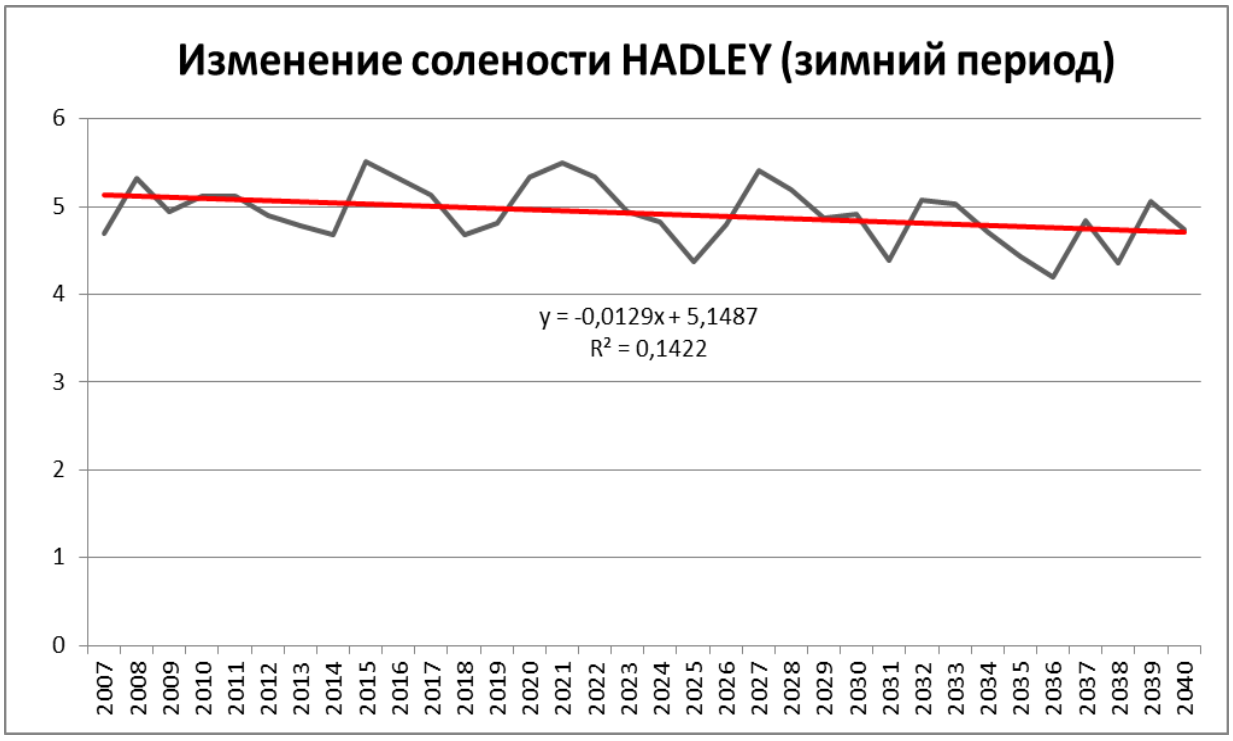

График 3.3 – Изменение солености БМ за период 2007-2040 гг.

Для анализа изменения температуры поверхности и солености воды БМ по модели HADLEY использовалась статистическая модель тренда и критическое значение Стьюдента, представленные в Таблице 13 и 14.

Таблица 13. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости температуры поверхности Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,0353
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,176556
t*	0,199936

Таблица 14. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости солености Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,1422
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,173202
t*	0,821006

Анализируя полученные статистические данные, можно сделать вывод: значение критерия Стьюдента поверхности воды БМ по модели HADLEY (Зима) меньше критического значения, тренд незначимый – резкое повышение или понижение температуры поверхности воды не наблюдается.

Значение критерия Стьюдента солености БМ по модели HADLEY (Зима) меньше критического значения, тренд незначимый – уменьшение солености воды не наблюдается.

Для определения значимости тренда сначала построим график температуры поверхности воды и солености на основе спрогнозированных данных.

Данные представлены в Приложении Б в Таблице 22.

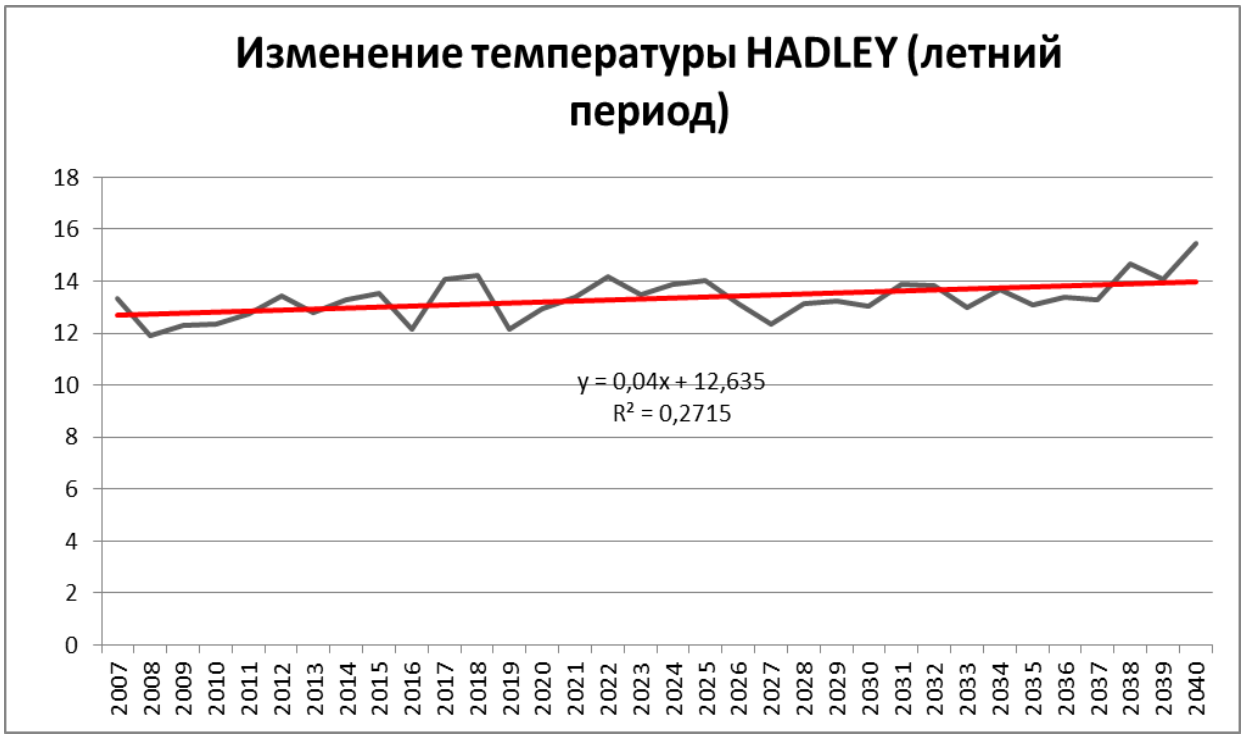

График 3.4 – Изменение температуры поверхности воды за период 2007-2040 гг.

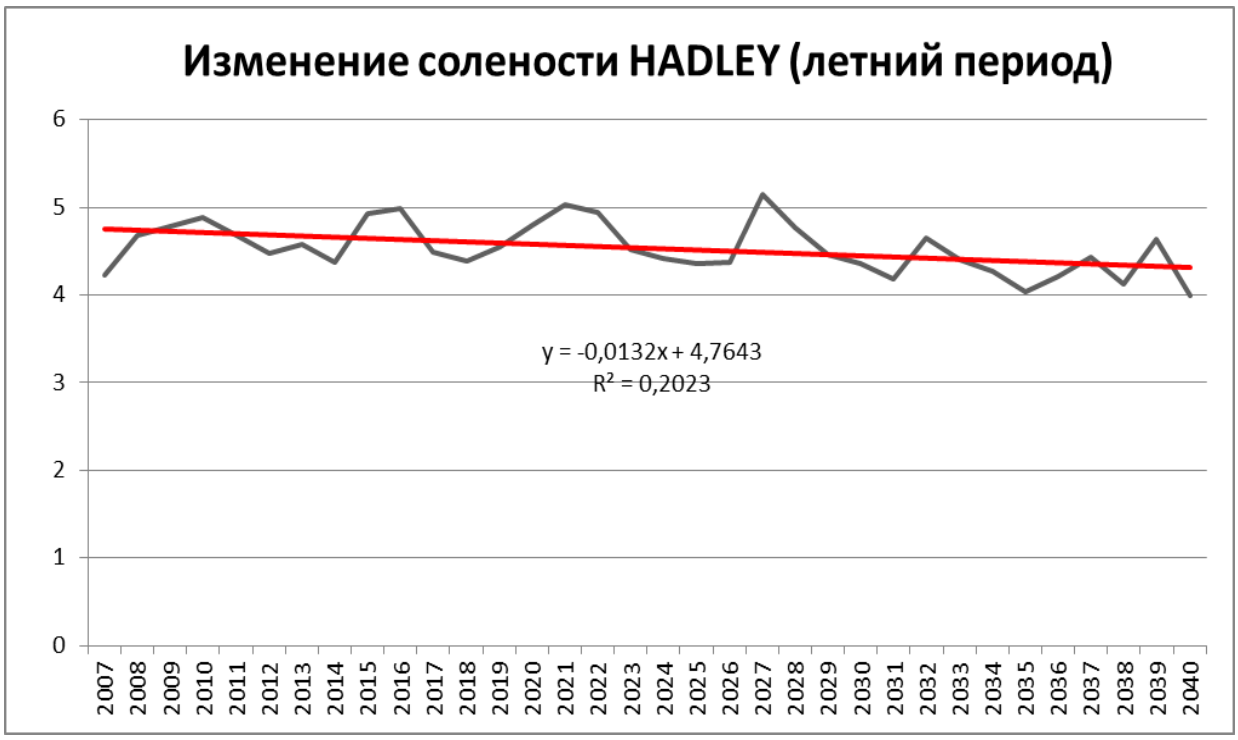

График 3.5 – Изменение солености БМ за период 2007-2040 гг.

Для анализа изменения температуры поверхности и солености воды БМ по модели HADLEY использовалась статистическая модель тренда и критическое значение Стьюдента, представленные в Таблице 15 и 16.

Таблица 15. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости температуры поверхности Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,2715
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,163746
t*	1,658055

Таблица 16. Оценка коэффициента корреляции

на значимость изменчивости солености Балтийского моря за период 2007-2040 гг.

Параметр	Значение параметра
r	0,2023
N	34
y	32
α	0,05
σ_r	0,169542
t*	1,193214

Анализируя полученные статистические данные, можно сделать вывод: значение критерия Стьюдента поверхности воды БМ по модели HADLEY (Лето) меньше критического значения, тренд незначимый – резкое повышение или понижение температуры поверхности воды не наблюдается.

Значение критерия Стьюдента солености БМ по модели HADLEY (Лето) меньше критического значения, тренд незначимый – уменьшение солености воды не наблюдается.

3.3 Анализ и сравнение статистических данных сценарных расчетов на климатических моделях для Балтийского региона.

Если проанализировать все полученные данные по различным моделям, то можно выявить, что модели ECHAM предоставляют более «жесткий» прогноз, чем модели HADLEY, так как по заданным параметрам (температура поверхности и соленость) в 2 периодах (лето и зима) за 2007-

2040 гг.тренд был незначимый и тенденции к уменьшению или увеличению не наблюдалось за все время исследования.

Изучив более детально статистику, которую мы получили, можно сказать следующее:

1. На основе модели ECHAM в зимнее и летнее время за весь исследуемый период температура поверхности воды будет увеличиваться на 1,2 °C и 1,9 °C соответственно.
2. На основе этой же модели соленость за все исследуемое время в обоих периодах имела тенденцию к резкому уменьшению, что было отражено в графиках с помощью тренда, и уменьшение составило 1,6 ‰ и 1,5 ‰.
3. На основе модели HADLEY в зимнее и летнее время за весь исследуемый период температура поверхности воды в Балтийском море будет увеличиваться на 0,36 °C и на 1,2 °C.
4. На основе этой же модели соленость БМ за все исследуемое время в 2 периодах уменьшалась, хоть и незначительно - 0,3 ‰ и 0,4 ‰.

Из всех проанализированных данных можно сделать вывод, что температура независимо от времени года будет только расти, что означает увеличение CO2 в атмосфере к 2040 г; а соленость, наоборот, уменьшаться, что означает увеличение уровня моря, количества осадков, а также таяние льдов (опять же из-за повышения среднегодовой температуры).

В общем и целом прогноз на ближайшие 34 года не очень благоприятный, и конечно же он подтверждает теорию о глобальном потеплении климата, причем скорее всего не только над акваторией Балтийского моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведена оценка влияния изменения климата на температуру воздуха, количества осадков и скорость ветра над акваторией Балтийского региона с 1979 по 2010 гг.

Проведенный анализ температуры воздуха за два периода показал, что в обоих периодах наблюдалось повышение температуры и увеличение количества осадков, что естественно говорит нам о постепенном потеплении климата.

Температура поверхности воды Балтийского моря увеличивалась на протяжении всего исследуемого периода с 2007 по 2040 годы.

Соленость, наоборот, уменьшалась на всем исследуемом периоде по различным прогностическим моделям.

На основании полученных результатов, предполагаем, что наблюдается явное потепление климата, которое можно проследить еще в прогнозе за предыдущее время (1979-2010 гг), и которое в явном виде в прогнозе на будущее (2007-2040 гг). Глобальное потепление приводит к изменению гидрометеорологических характеристик всей акватории Балтийского моря, подъему уровня моря; более высоким температурам (особенно в зимнее время); повышению эвтрофикации, которая в свою очередь ведет к цветению воды и увеличению бескислородных зон, что губительно сказывается на растительном и животном мире 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. Гущин.–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.: Гидрометеоиздат, 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 коэффициеина 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.

16. https://geographyofrussia.com/baltijskoe-more-2/

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Гидрометеорологические характеристики Балтийского моря за период с 1979 по 2010 гг.

Таблица 13 – скорость ветра за I период (1979-1994 гг)

1 период	
Год	м/с
1979	4,23
1980	3,92
1981	4,07
1982	3,91
1983	4,28
1984	3,85
1985	3,80
1986	3,99
1987	3,75
1988	3,90
1989	3,97
1990	4,13
1991	3,87
1992	4,14
1993	4,20
1994	4,35

Продолжение приложения А

Таблица 14– температура воздуха за II период (1995-2010 гг)

2 период	
Год	м/с
1995	4,49
1996	3,98
1997	4,32
1998	4,44
1999	4,26
2000	4,04
2001	3,89
2002	4,00
2003	3,69
2004	3,71
2005	3,58
2006	3,44
2007	3,85
2008	3,86
2009	3,53
2010	3,43

Таблица 15 –температура воздуха за I период (1979-1994 гг)

1 период	
Год	t, ℃
1979	5,63
1980	5,73
1981	6,33
1982	6,99
1983	7,65
1984	7,06
1985	5,24
1986	6,01
1987	5,39
1988	6,90
1989	8,42
1990	8,03
1991	7,13
1992	7,62
1993	6,40
1994	7,08

Продолжение приложения А

Таблица 16 – Температура воздуха за II период (1995-2010 гг)

2 период	
Год	t, ℃
1995	6,77
1996	5,59
1997	6,95
1998	6,69
1999	7,70
2000	8,28
2001	6,80
2002	7,76
2003	7,00
2004	6,92
2005	7,35
2006	7,87
2007	8,10
2008	8,41
2009	7,48
2010	5,82

Таблица 17 – уровень количества осадков за I период (1979-1994 гг)

1 период	
Год	мм/сут
1979	64,60
1980	74,67
1981	79,02
1982	52,51
1983	66,02
1984	65,52
1985	70,71
1986	66,69
1987	66,83
1988	70,46
1989	59,49
1990	74,10
1991	61,30
1992	62,38
1993	68,09
1994	71,91

Продолжение приложения А

Таблица 18 – уровень количества осадков за II период (1995-2010 гг)

2 период	
Год	мм/сут
1995	68,98
1996	56,84
1997	64,75
1998	75,33
1999	69,35
2000	66,91
2001	72,83
2002	64,94
2003	58,00
2004	69,50
2005	61,58
2006	62,00
2007	79,91
2008	75,05
2009	69,73
2010	75,37

Таблица 24. Критические значения критериев Стьюдента.

tкр			
y	α = 0,05	α = 0,01	α = 0,001
1	12,7	63,65	636,61
2	4,303	9,925	31,602
3	3,182	5,841	12,923
4	2,776	4,604	8,610
5	2,571	4,032	6,869
6	2,447	3,707	5,959
7	2,365	3,499	5,408
8	2,306	3,355	5,041
9	2,262	3,250	4,781
10	2,228	3,169	4,587
11	2,201	3,106	4,437
12	2,179	3,055	4,318
13	2,16	3,012	4,221
14	2,145	2,977	4,140
15	2,131	2,947	4,073
16	2,12	2,921	4,015

Продолжение приложения А

Таблица 25 – Средние значения различных климатических характеристик за 1 и 2 периоды.

Параметр	I период	II период
Скорость ветра (м/с)	4,02	3,91
Тем-ра воздуха (℃)	6,73	7,22
Кол-во осадков (мм/сут)	67,14	68,19

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ДАННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЕСНАМ И ХАДЛИ (ЛЕТО И ЗИМА) БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЗА 2007-2040 гг.

Таблица 18 – Критическое значение Стьюдента для анализа статистических данных.

	tкр		
y	α = 0,05	α = 0,01	α = 0,001
1	12,7	63,65	636,61
2	4,303	9,925	31,602
3	3,182	5,841	12,923
4	2,776	4,604	8,610
5	2,571	4,032	6,869
6	2,447	3,707	5,959
7	2,365	3,499	5,408
8	2,306	3,355	5,041
9	2,262	3,250	4,781
10	2,228	3,169	4,587
11	2,201	3,106	4,437
12	2,179	3,055	4,318
13	2,16	3,012	4,221
14	2,145	2,977	4,140
15	2,131	2,947	4,073
16	2,12	2,921	4,015
17	2,11	2,898	3,965
18	2,101	2,878	3,922

Продолжение приложения Б

Таблица 18 – Критическое значение Стьюдента для анализа статистических данных.

19	2,093	2,861	3,883
20	2,086	2,845	3,850
21	2,08	2,831	3,819
22	2,074	2,819	3,792
23	2,069	2,807	3,768
24	2,064	2,797	3,745
25	2,06	2,787	3,725
26	2,056	2,779	3,707
27	2,052	2,771	3,690
28	2,049	2,763	3,674
29	2,045	2,756	3,659
30	2,042	2,750	3,646
31	2,04	2,744	3,633
32	2,037	2,738	3,622
33	2,035	2,733	3,611
34	2,032	2,728	3,601
35	2,03	2,724	3,591
36	2,028	2,719	3,582
37	2,026	2,715	3,574
38	2,024	2,712	3,566
39	2,023	2,708	3,558
40	2,021	2,704	3,551
41	2,02	2,701	3,544

Продолжение приложения Б

Таблица 18 – Критическое значение Стьюдента для анализа статистических данных.

42	2,018	2,698	3,538
43	2,017	2,695	3,532
44	2,015	2,692	3,526
45	2,014	2,690	3,520
46	2,013	2,687	3,515
47	2,012	2,685	3,510
48	2,011	2,682	3,505
49	2,01	2,680	3,500
50	2,009	2,678	3,496

Таблица 19 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели ECHAM (Зима) за период 2007-2040 гг.

Год	T, °C	S, ‰
2007	0,72775	4,615794
2008	-0,00157	4,998235
2009	0,156301	4,956092
2010	-0,01746	5,102671
2011	0,177465	4,623475
2012	1,449673	4,466437
2013	1,887719	4,556825
2014	0,109955	4,056966
2015	0,280132	4,427824
2016	0,185356	4,150913

Продолжение приложения Б

Таблица 19 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели ECHAM (Зима) за период 2007-2040 гг.

2017	1,283574	4,392102
2018	1,081947	4,11079
2019	0,429353	4,200397
2020	0,801603	3,801012
2021	0,070352	4,010712
2022	1,663284	4,285692
2023	0,725737	3,979847
2024	-0,01462	4,429301
2025	0,608429	4,143694
2026	0,524743	4,048764
2027	0,987242	3,922045
2028	1,536426	3,613313
2029	1,160693	3,761038
2030	0,794634	4,085815
2031	2,383546	3,729492
2032	2,959325	3,594712
2033	1,256811	3,237266
2034	0,189677	3,664084
2035	2,659307	3,538702
2036	0,597566	2,973175
2037	0,34515	3,341797
2038	2,084401	3,47024

2039	1,260929	3,623574
2040	1,82479	3,202107

Продолжение приложения Б

Таблица 20 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели ECHAM (Лето) за период 2007-2040 гг.

Год	T, °C	S, ‰
2007	12,0955	4,584698
2008	11,47438	4,69822
2009	11,88943	4,572071
2010	13,55558	4,797765
2011	12,39816	4,622362
2012	12,68632	4,166756
2013	13,7072	4,17932
2014	12,45618	4,188852
2015	12,21456	4,044634
2016	12,11958	4,114843
2017	12,54069	4,027502
2018	13,13011	3,940031
2019	13,07374	4,004894
2020	12,61907	3,770125
2021	11,93924	3,956893
2022	13,01446	3,898634
2023	13,43515	3,862344
2024	13,33904	4,267089
2025	12,31456	3,947161
2026	12,72549	3,728318

2027	13,0451	3,428008
2028	12,71582	3,485632

Продолжение приложения Б

Таблица 20 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели ECHAM (Лето) за период 2007-2040 гг.

2029	12,86843	3,626671
2030	13,1291	3,83824
2031	14,72093	3,287923
2032	14,32936	3,20671
2033	12,38025	3,074265
2034	12,88333	3,468441
2035	14,33515	3,100596
2036	13,29137	3,116441
2037	12,97766	3,343914
2038	14,4299	3,095535
2039	13,12848	3,134262
2040	14,27418	3,043908

Таблица 21 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели Хадли (Зима) за период 2007-2040 гг

Год	T, °C	S, ‰
2007	0,853816	4,694001

2008	-0,15076	5,329785
2009	-0,09728	4,944029
2010	-0,05269	5,118289
2011	0,676647	5,114608

Продолжение приложения Б

Таблица 21 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели Хадли (Зима) за период 2007-2040 гг

2012	-0,01087	4,896184
2013	-0,06093	4,781378
2014	0,193173	4,685346
2015	-0,0117	5,512757
2016	-0,08489	5,325534
2017	0,267138	5,138974
2018	1,099043	4,682265
2019	0,685485	4,805706
2020	-0,05004	5,331755
2021	-0,11384	5,501627
2022	1,318513	5,336787
2023	0,688791	4,938907
2024	1,140851	4,824
2025	0,651943	4,366696
2026	0,678425	4,801732
2027	-0,10848	5,414281
2028	0,496657	5,196297
2029	0,840769	4,868525
2030	0,448687	4,916342

2031	0,404613	4,392678
2032	-0,16128	5,079164
2033	0,676765	5,036639
2034	0,038052	4,707982

Продолжение приложения Б

Таблица 21 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели Хадли (Зима) за период 2007-2040 гг

2035	0,7459	4,424095
2036	0,307422	4,201639
2037	-0,02038	4,844462
2038	0,138577	4,351096
2039	-0,01181	5,064036
2040	1,520416	4,736366

Таблица 22 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели Хадли (Лето) за период 2007-2040 гг

Год	T, °C	S, ‰
2007	13,34791	4,222843
2008	11,89263	4,680056
2009	12,27606	4,779182
2010	12,3625	4,886783
2011	12,71949	4,678909
2012	13,42795	4,469733

2013	12,80579	4,577466
2014	13,30316	4,374163
2015	13,52249	4,930865
2016	12,15141	4,981011
2017	14,07462	4,489679

Продолжение приложения Б

Таблица 22 – Спрогнозированные данные температуры поверхности воды и солености Балтийского моря по модели Хадли (Лето) за период 2007-2040 гг

2018	14,23485	4,392211
2019	12,16794	4,555342
2020	12,95345	4,801395
2021	13,39874	5,029147
2022	14,16227	4,948915
2023	13,49119	4,523151
2024	13,86799	4,413876
2025	14,01683	4,362225
2026	13,15211	4,379631
2027	12,35617	5,149298
2028	13,13767	4,770245
2029	13,25014	4,453222
2030	13,02042	4,353127
2031	13,85645	4,178708
2032	13,84753	4,647263
2033	12,97755	4,396238
2034	13,67892	4,267309
2035	13,09372	4,038985
2036	13,39001	4,21646

2037	13,30304	4,43777
2038	14,64246	4,130002
2039	14,06241	4,630622
2040	15,44963	3,99331

Продолжение приложения Б

Таблица 23 – Средние значения по моделям ECHAM и HADLEY за зимний и летний периоды, и общее среднее значение за 2 периода (2007-2040 гг).

	Зима (ECHAM)	Зима (Хадли)	Лето (ECHAM)	Лето (Хадли)
T, °C	0,946183	0,380492	12,97757	13,33516
S, ‰	4,032791	4,922469	3,812443	4,533504
Общ. Знач. T	0,6633375		13,156365	
Общ. Знач. S	4,47763		4,1729735	