



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления

прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

«Исследование влияния потепления климата на прибрежные акватории

Балтийского моря»

Исполнитель: Погорелова Полина Владимировна

Руководитель: к. ф.-м. н., доцент, Ерёмина Татьяна Рэмовна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«04» 06 2024 г.

г. Санкт-Петербург

2024

Оглавление	
Введение.....	3
1 Физико-географическое описание района.....	4
1.1 Физико-географическое описание Балтийского моря	4
1.2 Физико-географическое описание Ботнического залива.....	8
1.3 Физико-географическое описание Рижского залива.....	9
1.4 Физико-географическое описание Готландского бассейна.....	11
2. Описание материалов и методов	14
3 Исходные данные	17
4 Изменение гидрофизических и гидрохимических параметров.....	21
4.1 Изменения в Ботническом заливе	21
4.2 Изменения в Рижском заливе	28
4.3 Изменения у побережья Норвегии	36
Заключение	45
Список литературы	46

Введение

Потепление климата является фактором, влияющим на нашу планету в целом и на отдельные регионы в частности.

Одним из таких регионов является Балтийское море, являющееся одним из крупнейших европейских водоемов, крупной транспортной артерией и центром экономического интереса прилегающих стран. Учитывая, что Балтийское море является одной из самых эвтрофицированных акваторий на планете, любое, даже малозначительное, колебание климата может повлечь достаточно серьезные изменения и представлять угрозу для экосистемы.

Актуальность работы обусловлена высокой уязвимостью Балтийского моря к изменению климата, что может в последствии негативно сказываться на жизни населения прибрежных городов и их хозяйственной деятельности.

Целью работы является исследование влияния потепления климата на прибрежные акватории Балтийского моря.

Объект исследования – прибрежные акватории Балтийского моря.

Предмет исследования – изменения гидрофизических и гидрохимических характеристик.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Сбор теоретической информации о Балтийском море.
2. Сбор исходных данных о гидрофизических и гидрохимических характеристиках.
3. Анализ изменения климата на гидрофизические и гидрохимические параметры в прибрежных зонах Балтийского моря.

1 Физико-географическое описание районов исследований

1.1 Физико-географическое описание Балтийского моря

Балтийское море- внутриматериковое полузакрытое шельфовое море Евразии, находящие в северной части Европы. Является частью Атлантического океана. Омывает берега Дании, Эстонии, Финляндии, Германии, Латвии, Литвы, Польши, России, Швеции. Площадь поверхности моря 419 тыс. км². Объем воды 21.5 тыс. км³.



Рисунок 1 Географическое положение Балтийского моря

Балтийское море граничит на севере со Скандинавским полуостровом, на западе - с Ютландским полуостровом и Германией, на юге - с Польшей, Калининградской областью и странами Балтии, а на востоке - с Финляндией и Россией. С Северным морем оно соединено проливами Каттегат и Эресунн,

Большой Бельт и Малый Бельт. Береговая линия сильно изрезана из-за ледникового берегового рельефа.

Средняя глубина моря- 50 метров, что позволяет относить его к материковым шельфовым морям. Самая глубокая точка находится в Ландсорской котловине и достигает 470 м. Морское дно преимущественно мелководное, в центральной части моря есть несколько глубоководных бассейнов.

Балтийское море разделено на ряд крупных заливов и бассейнов: Ботнический, Финский и Рижский заливы на востоке, Гданьский и Курляндский заливы на юго-востоке, Кильский и Любекский заливы на западе.

Климат в регионе Балтийского моря умеренный, с переходом от морского к континентальному. Для него характерны относительно мягкая зима и умеренно теплое лето. В северных районах Балтийского моря образуется устойчивый ледяной покров.

Метеорологические условия.

Балтийское море располагается в умеренных широтах Северной Европы, что определяет особенности его метеорологического режима.

Средние температуры воздуха колеблются от -5°C в январе до $+17^{\circ}\text{C}$ в июле-августе. Годовая амплитуда температур достигает $22-25^{\circ}\text{C}$. Более низкие температуры характерны для северных, восточных и центральных районов моря, более высокие - для южных и западных.

Годовое количество осадков варьирует от 500 мм на юге до 800 мм на севере и востоке бассейна. Наибольшее количество осадков приходится на летние месяцы, наименьшее - на зимние. Устойчивый снежный покров образуется в восточных и северных частях Балтийского моря.

Преобладают ветры западных направлений, особенно характерные для холодного полугодия. Средние скорости ветра составляют 5-7 м/с, достигая 15-20 м/с при прохождении циклонов. Штормовые ветры наиболее часты в осенне-зимний период.

Высокая облачность, особенно в холодный период года, сокращает продолжительность солнечного сияния. Годовая сумма солнечной радиации варьирует от 3000 до 4000 МДж/кв.м.

Для Балтийского моря в целом характерен умеренный морской климат с достаточно контрастными сезонными колебаниями основных метеопараметров. Это определяет высокую динамичность гидрометеорологического режима региона.

Гидрологические условия.

Балтийское море, будучи внутренним морем Европы, отличается специфическими гидрологическими характеристиками.

Средние температуры поверхностного слоя варьируют от $-0,5^{\circ}\text{C}$ в феврале-марте до $+16-17^{\circ}\text{C}$ в июле-августе. Годовая амплитуда колебаний температуры воды достигает $16-18^{\circ}\text{C}$. Более высокие температуры наблюдаются в южных и западных районах моря.

Средняя солёность поверхностных вод составляет 7-8 промилле. Наиболее высокая солёность (до 15 промилле) характерна для западной и центральной частей, наиболее низкая (до 2 промилле) - для восточной. Распределение солёности определяется притоком распреснённых речных вод, особенно в восточной части.

Устойчивый ледовый покров формируется в январе-феврале в восточной и северной частях моря. Средняя продолжительность ледостава составляет 2-4

месяца. Интенсивность и продолжительность ледовых явлений зависит от суровости зимы.

Преобладают слабые (0,1-0,3 м/с) течения циклонического характера. Наиболее интенсивные течения (до 0,5-1 м/с) наблюдаются в проливах и Финском заливе. Сезонные изменения течений определяются преобладающими ветрами.

Гидрохимические условия.

В поверхностном слое концентрация кислорода, как правило, высокая, близкая к насыщению. В придонных водах центральной части моря возможно заметное снижение содержания кислорода вплоть до гипоксии и даже аноксии, особенно в летний период. Причинами дефицита кислорода являются застойные явления и интенсивные процессы разложения органического вещества.

Повышенные концентрации азота и фосфора характерны для прибрежных районов под влиянием речного стока и антропогенного загрязнения. В открытой части моря содержание биогенных элементов, как правило, ниже. Летом происходит интенсивное поглощение биогенных веществ фитопланктоном.

Высокое содержание взвешенного и растворенного органического вещества наблюдается в прибрежных зонах. В открытых районах концентрации органики, как правило, ниже. Активное потребление органики планктоном заметно снижает его содержание в летний период.

Повышенные уровни тяжёлых металлов (ртуть, кадмий, свинец) обнаруживаются в донных отложениях, особенно в прибрежных зонах. Источниками загрязнения являются промышленные и бытовые сточные воды, а также атмосферные выпадения.

1.2 Физико-географическое описание Ботнического залива.

Ботнический залив является северной частью Балтийского моря и располагается между Финляндией и Швецией. Является самым крупным заливом Балтийского моря.

Залив имеет меридионально вытянутую форму. Длина составляет 668 км, ширина- 240 км. Общая площадь акватории- около 36 тыс. кв. км.

Наибольшая глубина- 300 метров, наиболее глубоководные участки располагаются в центральной и южной части. Дно преимущественно плоское, в прибрежных районах распространены подводные скалы и отмели.

Метеорологические условия.

Ботнический залив находится в зоне континентального климата умеренных широт.

Температура воздуха характеризуется ярко выраженной сезонностью. Среднегодовая амплитуда воздуха составляет до 20 °С.

Осадки над заливом распределены неравномерно в течении года с максимумом в летние месяцы. Годовая сумма осадков составляет 500-700 мм.

Над заливом преобладают ветры западной и юго-западного направления. Наибольшее количество ветров приходится на осенний и зимний период.

Гидрологические условия.

Средняя температура в зимний период- 0°С, в летний период 15°С.

Вода имеет низкую соленость, всего 1-3 промилле на севере и 3-4 промилле в южной части. Пониженная соленость обусловлена большим речным стоком, превышающее испарение.

На поверхности имеется течение против часовой стрелки. Приливно-отливные колебания уровня моря незначительны. Залив подвержен стонно-нагонным колебаниям, вызванные ветром.

Устойчивый ледовый покров в Ботническом заливе образуется в ноябре-декабре и разрушается в апреле-июне. Толщина льда может достигать до 70 см.

Гидрохимические условия.

За счет высокого речного стока и малого испарения содержание минеральных веществ в заливе невысокое (100-200 мг/л), однако высокие концентрации растворенных биогенных элементов, таких как азот, фосфор и кремний.

Вода в Ботническом заливе хорошо насыщена кислородом. Сезонные колебания содержания кислорода незначительны.

Залив характеризуется довольно низким уровнем загрязнения.

1.3 Физико-географическое описание Рижского залива.

Рижский залив находится на юго-востоке Балтийского моря между Латвией и Эстонией.

В ширину залив имеет протяженность 137 км и 174 км в длину. Общая площадь- 18.1 тыс. км².

Залив имеет однородный рельеф дна. Средняя глубина составляет 25-30 м. Характерно плавное понижения дна от берегов к центральной части. Вдоль восточного берега тянутся более глубокие участки.

Берега залива преимущественно низменные, песчаные или галечные. На западном побережье берега более высокие, скалистые. Восточное побережье более извилистое и изрезанное. Имеются песчаные косы, пересыпи, лагуны.

Метеорологические условия.

Среднегодовая температура воздуха составляет около +6 °С. Максимальные температуры (+20-22 °С) наблюдаются в летний период. Минимальные значения температуры (-5-10 °С) наблюдаются в зимний период. Годовая амплитуда температуры достигает 25-30 °С.

Среднегодовое количество осадков- 600-700 мм. Наибольшее количество осадков приходится на летний период. Летом осадки кратковременные, но достаточно интенсивные.

Преобладает юго-западные и западные ветры. Скорость ветра в среднем составляет 4-6 м/с. Сильные ветры характерны для осенне-зимнего периода.

Гидрологические условия.

В заливе достаточно сильно выражены сезонные температурные колебания. Летом в центральной части залива формируется термоклин на глубине 10-15 м.

Соленость вод значительно ниже, чем в открытой части Балтийского моря и составляет 5-7 промилле.

Преобладает циркуляция вод по часовой стрелке. Существенную роль играют ветровые и сгонно-нагонные явления.

Устойчивый ледовый покров образуется в декабре-январе. Максимальная толщина составляет до 40-50 см. Ледоход начинается в апреле- мае.

Гидрохимические условия.

Из-за достаточно большого стока речных вод, относительной замкнутости и антропогенной нагрузки имеется повышенная концентрация биогенных элементов.

Воды достаточно сильно насыщены кислородом.

В воде и донных отложения присутствуют тяжёлые металлы. Концентрация нефтепродуктов, пестицидов- превышают фоновые значения. Основные источники загрязнения- промышленные стоки, сельское хозяйство.

1.4 Физико-географическое описание Готландского бассейна

Голландский бассейн находится у побережья Швеции.

Дно характеризуется сложным рельефом с большими перепадами глубин. Максимальная глубина достигает 459 метров в Готландской впадине. Преобладают глубины 80-120 м, с постепенным увеличением глубины к центру бассейна.

Метеорологические условия.

Температура воздуха колеблется от -5 °С в январе-феврале до +17 °С в июле-августе. Наблюдаются значительные суточные и сезонные колебания температуры.

Преобладают западные и северо-западные ветра. Средняя скорость ветра 5-7 м/с. Характерны штормовые ветры до 15-20 м/с.

Среднегодовое количество осадков составляет 500-600 мм. Максимум осадков приходится на летне-осенний период.

Район характеризуется высокой облачностью, особенно в холодное время года. Часто наблюдаются туманы, преимущественно в весенне-летний период года. Туманы образуются при взаимодействии теплых морских и более холодных воздушных масс.

Гидрологические условия.

Воды бассейна отличаются повышенной соленостью по сравнению с другими районами Балтики. Средняя соленость составляет 7-8 промилле. Вертикальное распределение солености характеризуется резким нарастанием с глубиной.

Хорошо выражена сезонная изменчивость температуры воды. Летом в верхнем слое имеется хорошо выраженный стабильный термоклин на глубине 10-20 метров.

Циркуляция вод в бассейне носит сложный, нестационарный характер. Отмечается чередования циклонических и антициклонических вихревых структур. Важную роль в формировании динамики вод играют сгонно-нагонные процессы.

Из-за резкого увеличения солености и уменьшения температуры с глубиной наблюдается четко выраженная вертикальная стратификация вод из-за которой затруднен водообмен и возникают заморные условия в придонном слое.

Гидрохимические условия.

Воды бассейна характеризуются повышенным содержанием органического вещества. Значительная часть органики содержится в придонных слоях и донных отложениях.

В поверхностном слое концентрация кислорода близка к полному насыщению, однако в придонных слоях из-за устойчивой стратификации возможно снижения содержания кислорода до критически значений (менее 1 мг/л).

В водах и донных отложениях накапливаются тяжелые металлы. Самоочищение затруднено из-за высокой стратификации.

2. Описание материалов и методов

Для анализа влияния изменения климата на прибрежные регионы Балтийского моря был выбран статистический метод, а именно расчет первичной статистики и тренда.

2.1 Первичная статистика

К показателям первичной статистики относят показатели положения и показатели рассеяния.

Показатели положения в свою очередь состоят из:

- Среднее арифметическое

Представляет собой показатель, который характеризует центральное расположение данных (их центр тяжести) и рассчитывается как сумма всех значений, деленая на их количество.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$$

- Медиана

Представляет собой значение признака, которое занимает срединное положение. Показатель центральной тенденции, который делит распределение на две равные части.

$$\sum_{i=1}^N |x_i - Me| = \min.$$

- Мода

Модой называют показатель центральной тенденции, значения признака, который встречается в выборке чаще всего.

Показатели рассеяния состоят из:

- Дисперсия

Мера разброса значений признака относительно их среднего значения.

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

- Стандартное отклонение

Характеризует среднее отклонение значений от среднего значения всей выборки.

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

- Размаха вариации

Представляет собой разность между максимальным и минимальным значением характеристики в выборке.

$$R = \max - \min .$$

- Коэффициента вариации

Показывает относительную меру разброса в процентах от среднего значения.

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

2.2 Тренд

Тренд представляет общую тенденцию изменения значений признака во времени.

Тренд может быть:

- Линейным

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

- Нелинейным

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

Так же тренд может быть:

- Восходящим (значения показателя со временем возрастают)
- Нисходящим (значения показателя со временем снижаются)
- Стационарным (значения показателя не изменяются или изменяются не значительно)

Основными характеристиками тренда являются коэффициент детерминации r^2 и величины тренда. Коэффициент детерминации представляет из себя вклад этого самого тренда в общую дисперсию ряда.

Также необходимо определить значимость коэффициента корреляции и оценить общий вклад в дисперсию.

3 Исходные данные

Для корректного статистического анализа влияния климата очень важна необходимая длина ряда данных. Это связано с тем, что климат определяется как многолетний режим погоды, характерный для региона. Большая длина ряда повышает надежность статистической оценки и выявляет более долгосрочные закономерности.

Для получения исходных данных была использована Data assimilation System (DAS). DAS представляет из себя комплексную программную систему, которая позволяет получить удаленный доступ к публичной информационной системе Балтийского моря. В первую очередь DAS связана с базой данных под название Baltic Environmental Database (BED), которая ведется в департаменте окружающей среды Балтийского моря. На Рисунок 2 *Внешний вид программы* представлен внешний вид интерфейса программы.

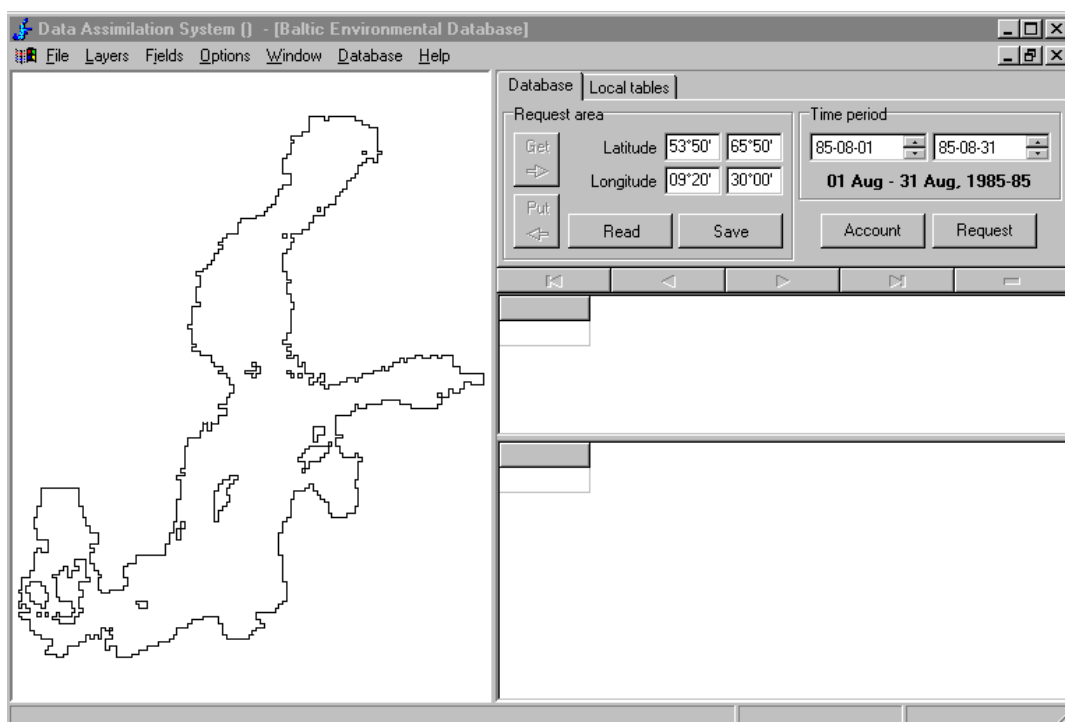


Рисунок 2 Внешний вид программы

Основными функциями системы DAS являются:

- Доступ к базам данных
- Извлечение данных, таких как: соленость, температура, концентрация кислорода, фосфатов, нитратов, нитритов, хлорофилла и других, за определенный период времени в определенном регионе Балтийского моря и использование этих данных для дальнейшего анализа.
- Визуализация распределения станций наблюдений и количества измерений (для оценки достаточности частоты выборки для последующего анализа).
- Интерполяция. Наблюдения используются для расчета данных в каждой ячейке трехмерной сетки с заданным разрешением.
- Построение горизонтальных и вертикальных распределений концентрация для заданных пространственно-временных областей. Графики представляются в виде цветных контурных карт или изолиний. Далее эти график можно использовать в описательных целях.
- Расчет интегральных количеств интерполированных переменных в заданном регионе, ограниченном координатами или интервалом временной переменной. Концентрации умножаются на соответствующие объемы по батиметрической кривой.
- Выполнение различных расчетов для одной или для нескольких переменных между двумя интерполированными значениями. Результаты могут использоваться в дальнейших расчетах, например, для стехиометрических соотношений.
- Интерполированные данные с привязкой к сетке могут быть извлечены и использованы для других целей, например, в качестве начальных полей для численных моделей.

Для определения влияния изменения климата на прибрежные зоны были выбраны данные гидрофизических и гидрохимических параметров в трех регионах за период с 1963 по 2020 год.

Выбранные регионы представляют собой прибрежные участки Ботнического, Рижского заливов и восточное побережье Дании. На рисунке Рисунок 3 представлен пример точек, в которых были взяты пробы за 1998 год. Красным обозначен регион Ботнического залива, желтым- Рижского залива, розовым- побережье Дании.

Исходные данные представляли собой таблицу, где указывалось id базы данных, с которой были взяты параметры, ширина и долгота точек, в которых брались пробы, дата и время снятия проб, название судна или прибрежной станции, глубина, значения температуры, солености, содержания кислорода в воде, фосфор в фосфатах, суммарное количество фосфора, силикаты, азот в нитратах в нитратах, нитритах и аммиаке, суммарное количество азота в воде, а также, содержание хлорофилла.

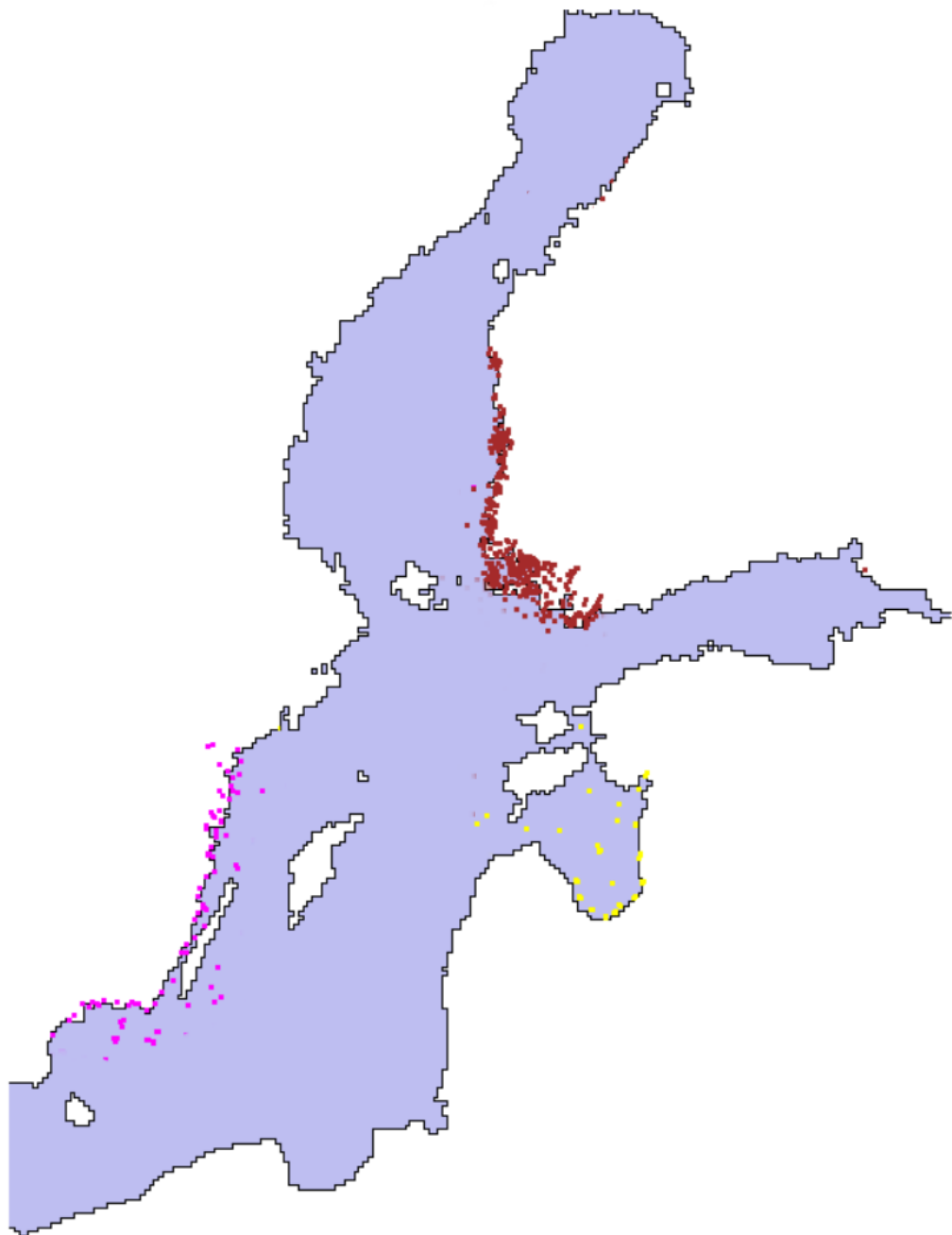


Рисунок 3 Карта точек за 1998 год

Для дальнейшего анализа исходные данные были сгруппированы по регионам, времени снятия пробы и глубине, на которой эта проба была взята. Для удобства дальнейшего статистического анализа были проведены осреднения по пространству, времени и глубине для каждого параметра.

Итоговым результатом стала таблица, в которой—для каждого параметра приведен одно усредненное значение для каждого года.

4Изменение гидрофизических и гидрохимических параметров

Для расчетов результатов в данной работе были использованы среднегодовые значения гидрофизических и гидрохимических параметров с 1964 по 2020 в трех прибрежных регионах Балтийского моря.

Данные были преобразованы в статистические ряды и рассчитаны при помощи программы excel.

4.1Изменения в Ботническом заливе

Таблица 1 Расчет первичной статистики для характеристик в Ботническом заливе

	TEMP	SALIN	TOTOXY	PO4P	TOTP	SIO4
Среднее	8.71	5.38	6.98	0.55	1.17	23.03
Медиана	8.81	5.44	6.96	0.52	1.03	22.44
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	1.05	0.39	0.20	0.25	0.37	4.62
Дисперсия выборки	1.11	0.15	0.04	0.06	0.14	21.37
Минимум	5.68	4.57	6.52	0.26	0.85	16.18
Максимум	10.99	6.11	7.53	1.47	2.87	39.75
Размах вариации	5.30	1.54	1.01	1.21	2.02	23.57
Коэффициент вариации	12.10	7.22	2.91	44.72	31.66	20.07

Продолжение Таблица 1

	NO3N	NO2N	NO23N	NH4N	TOTN	CHL
Среднее	7.54	0.20	4.52	3.79	34.56	7.17
Медиана	7.17	0.18	5.22	2.10	33.55	7.43
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	2.06	0.10	1.83	2.80	4.73	2.21
Дисперсия выборки	4.26	0.01	3.33	7.85	22.41	4.87
Минимум	2.92	0.08	1.06	1.31	26.86	0.40
Максимум	12.91	0.47	8.17	10.37	49.34	13.51
Размах вариации	9.99	0.39	7.12	9.06	22.48	13.11
Коэффициент вариации	27.40	51.09	40.37	73.97	13.70	30.81

Были построены графики (Рисунок 4-Рисунок 15) временного хода параметров и рассчитаны линейные тренды.

На Рисунок 4 видно, что имеется тренд на постепенное увеличение температуры. Соленость (Рисунок 5) же напротив имеет отрицательный тренд. Содержания кислорода (Рисунок 6) в воде не имеет сильно выраженной тенденции. Содержание фосфора в фосфатах (Рисунок 7) и общее количество фосфора (Рисунок 8) постепенно снижается. Содержание оксида кремния (Рисунок 9) имеет слабо выраженный отрицательный тренд. Количество азота в нитритах (Рисунок 10) растет, однако в нитратах (Рисунок 11) падает. Суммарное количество азота в нитритах и нитратах (Рисунок 12) также имеет положительный тренд. Количество азота в аммиаке (Рисунок 13) уменьшается. Общее количество азота (Рисунок 14) так же уменьшается. Количество хлорофилла (Рисунок 15) возрастает.

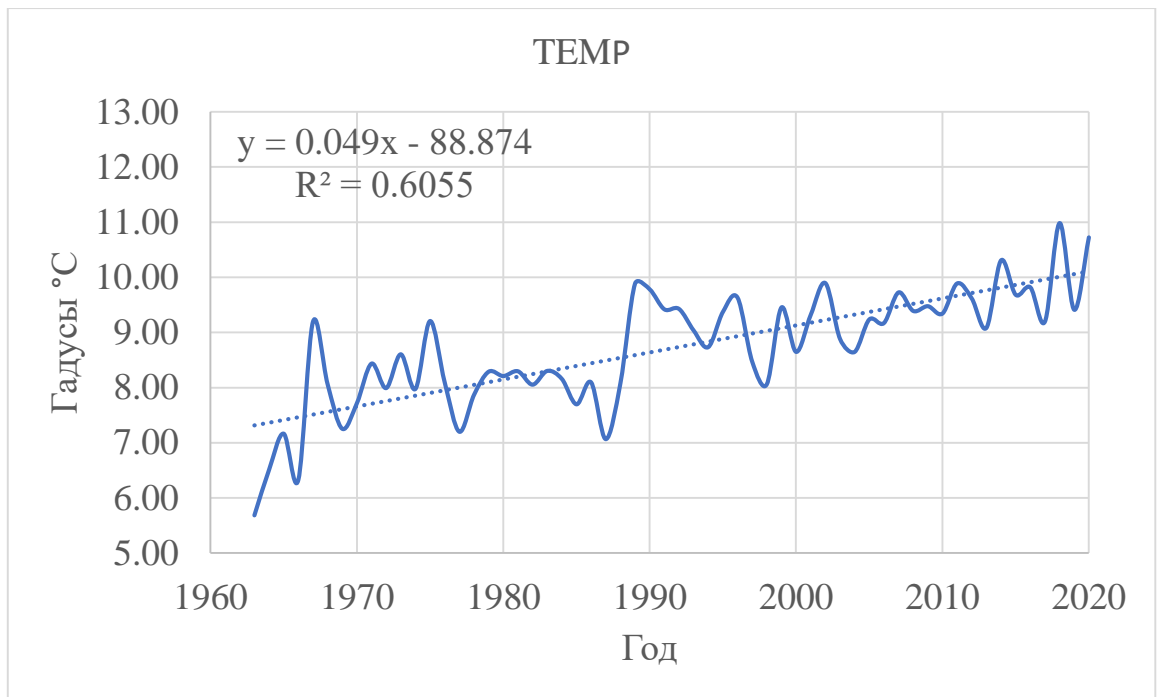


Рисунок 4 График изменения температуры в Ботническом заливе

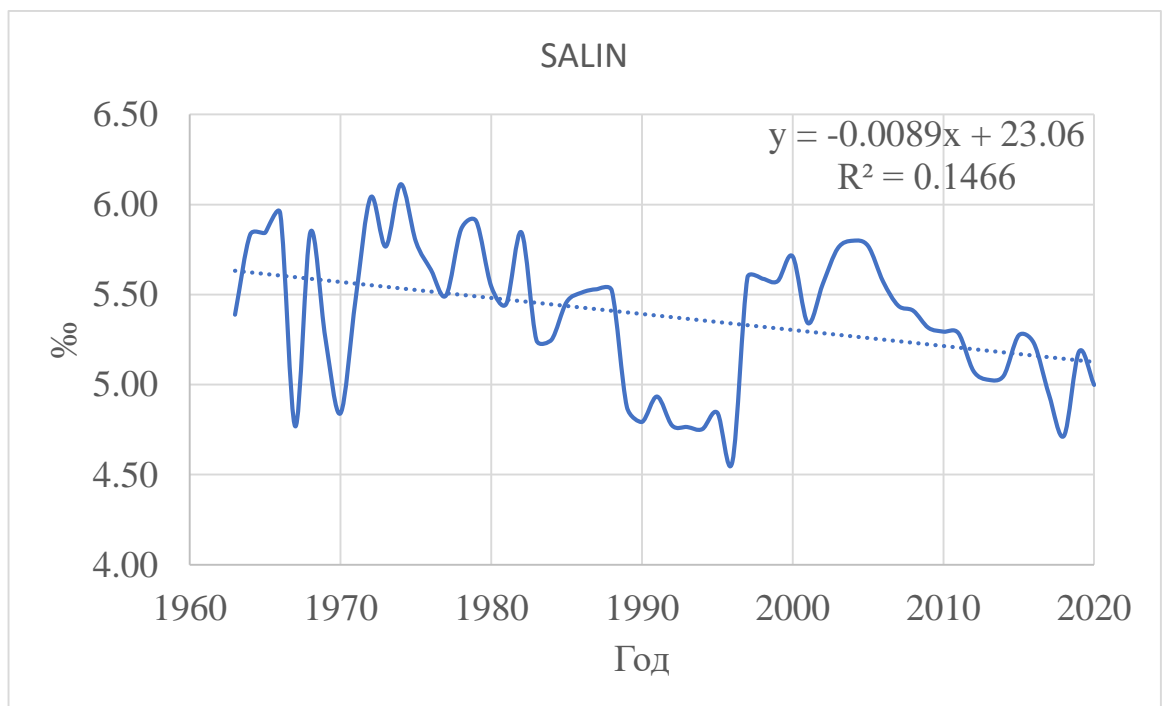


Рисунок 5 График изменения солености в Ботническом заливе

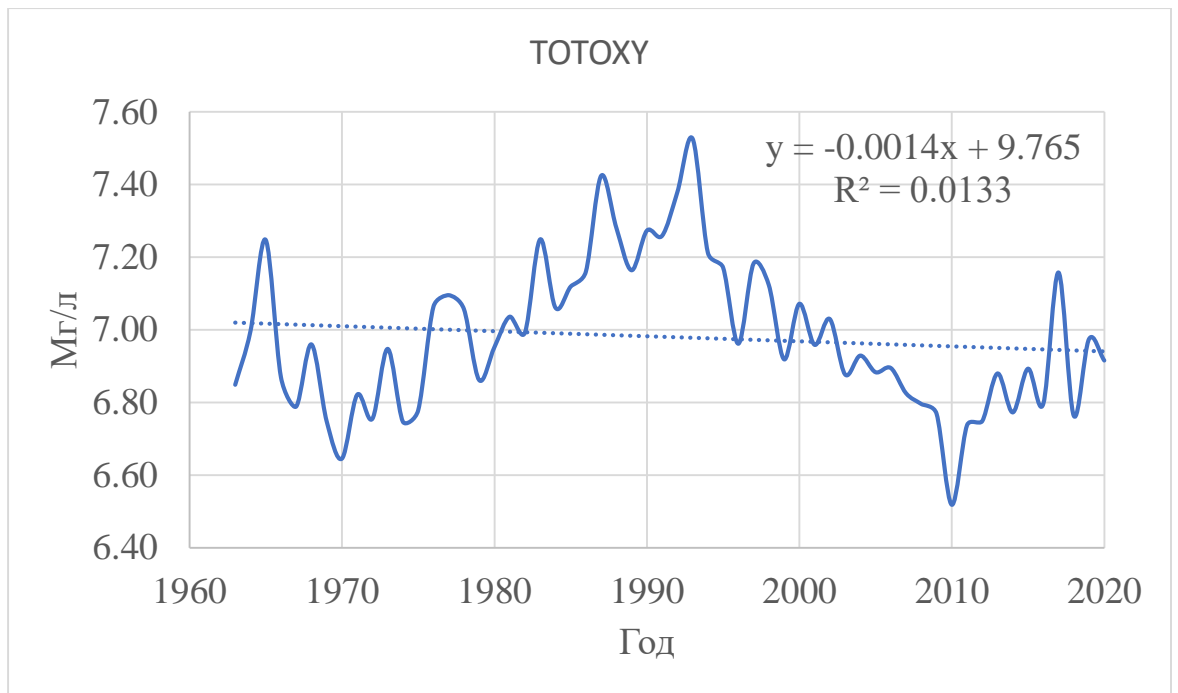


Рисунок 6 График изменения содержания кислорода в воде в Ботническом заливе

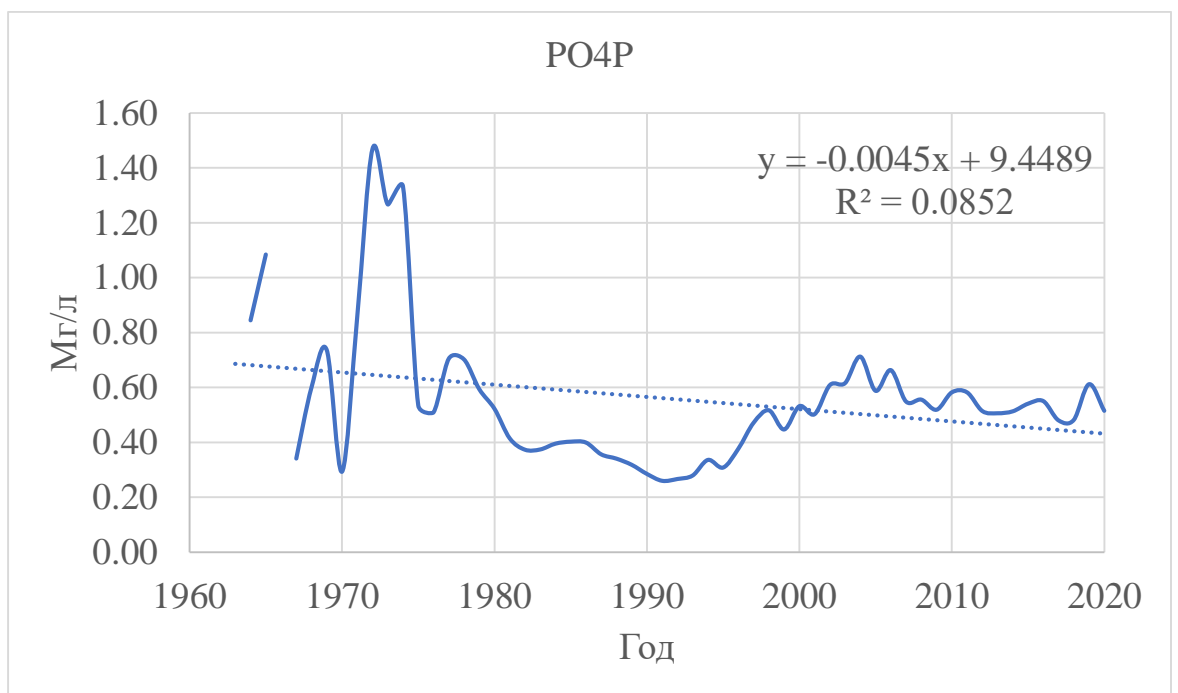


Рисунок 7 График изменения содержания фосфора в фосфатах в Ботническом заливе

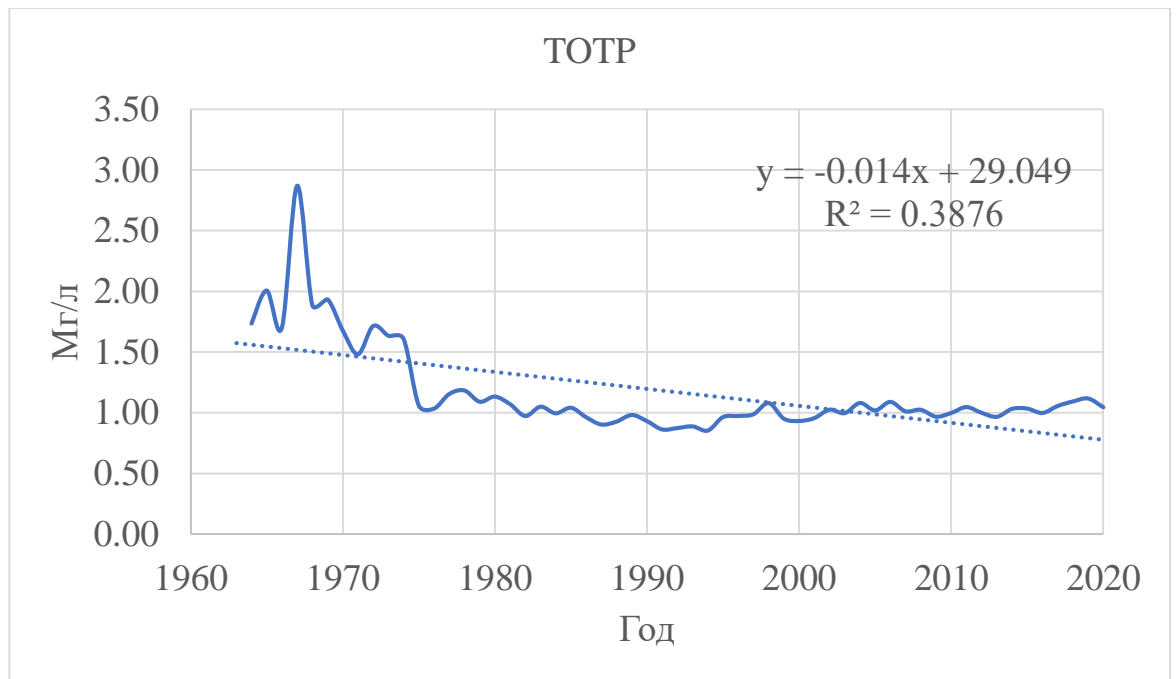


Рисунок 8 График изменения суммарного содержания фосфора в Ботническом заливе

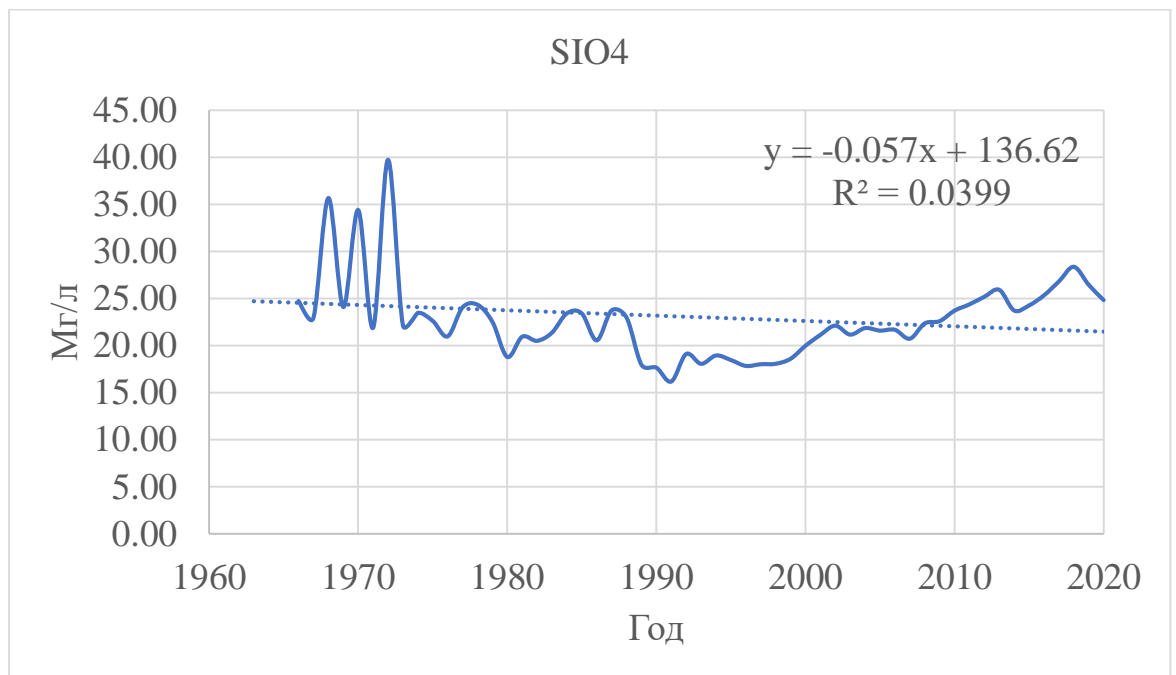


Рисунок 9 График изменения содержания оксида кремния в Ботническом заливе

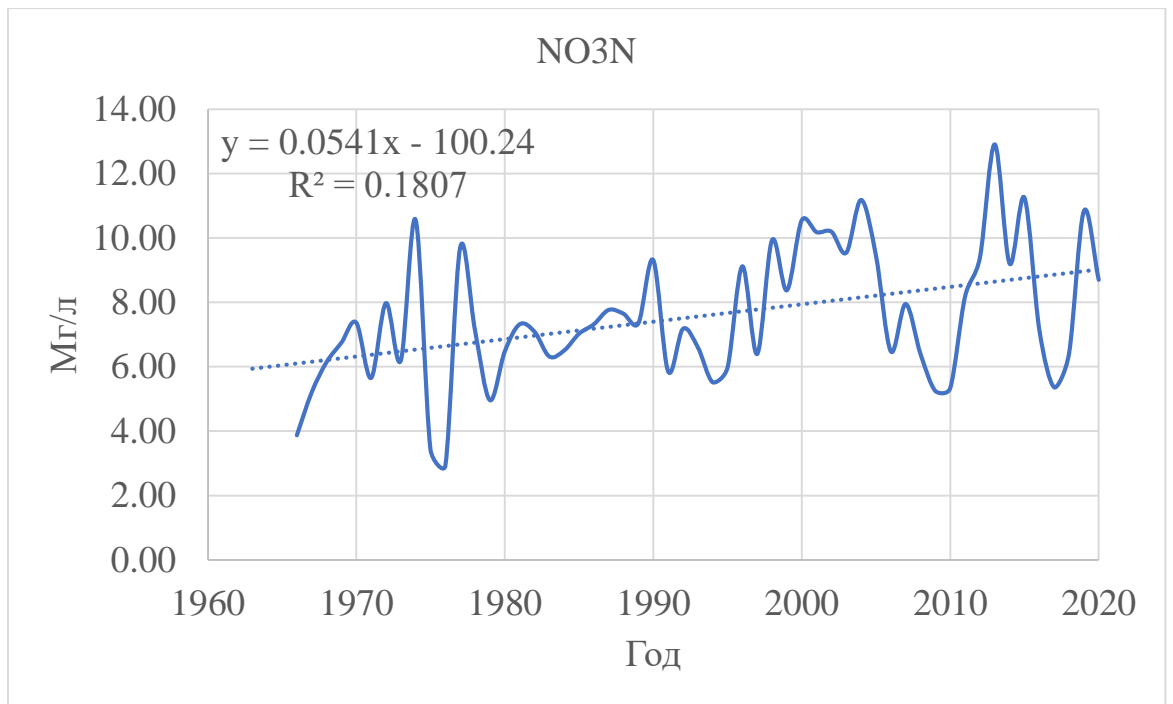


Рисунок 10 График изменения содержания азота в нитратах в Ботническом заливе

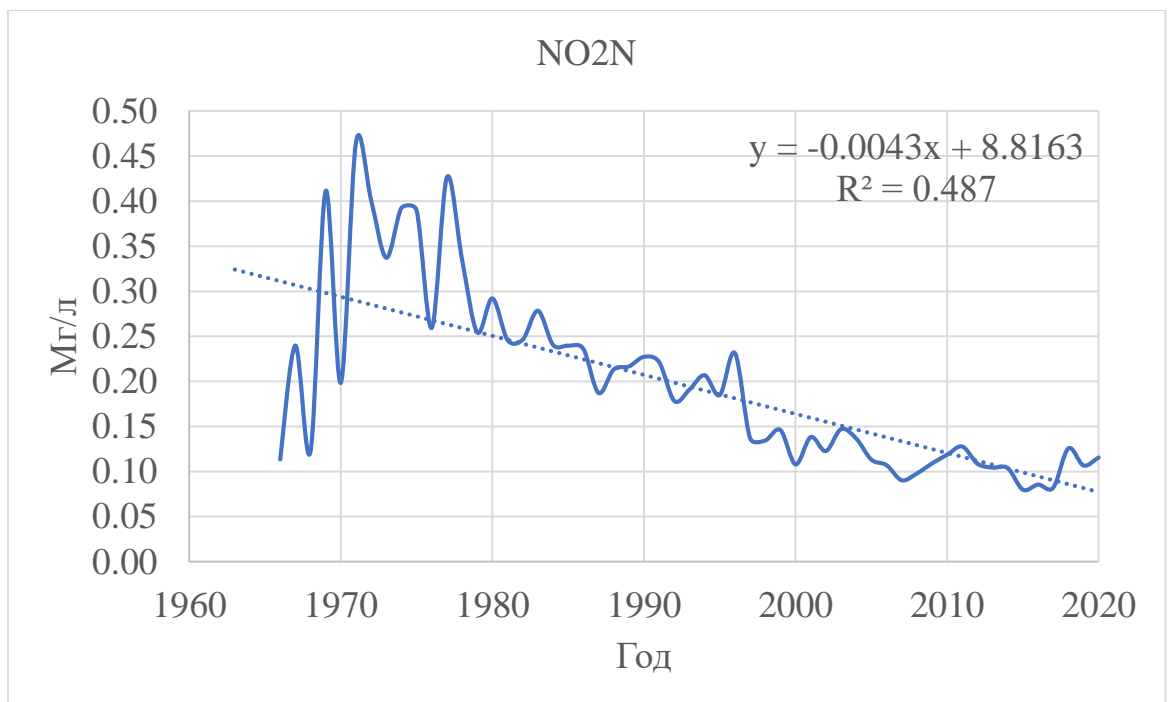


Рисунок 11 График изменения содержания азота в нитритах в Ботническом заливе

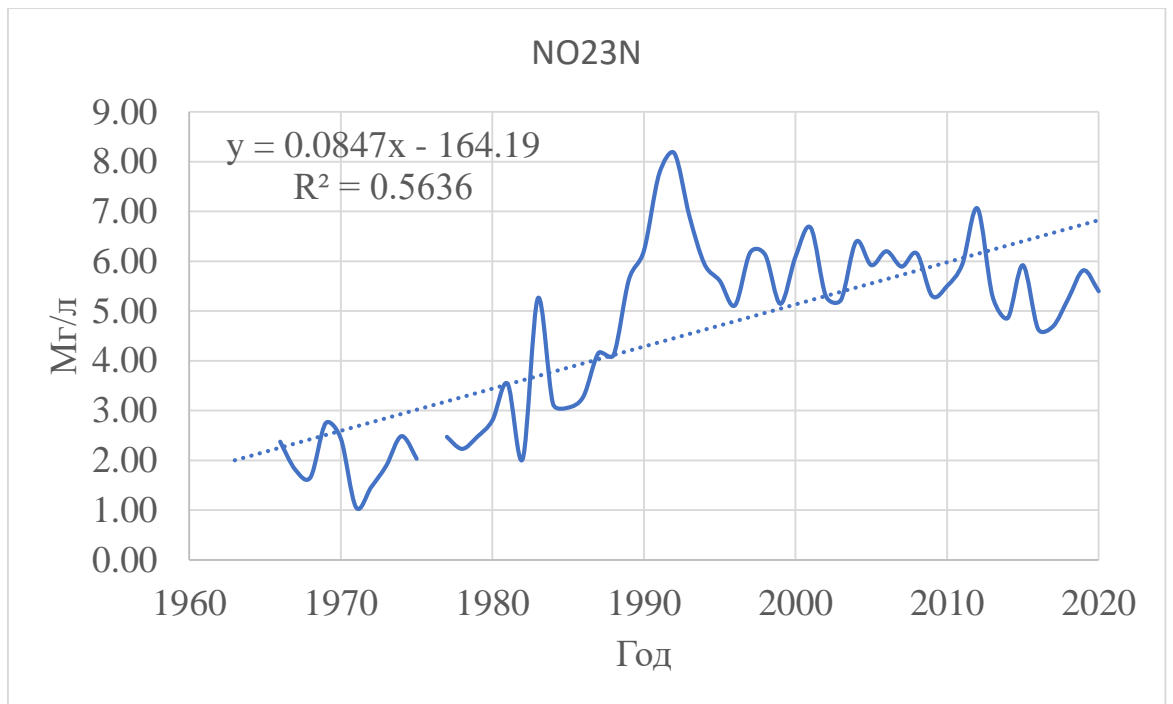


Рисунок 12 График изменения содержания азота в нитритах и нитратах в Ботническом заливе

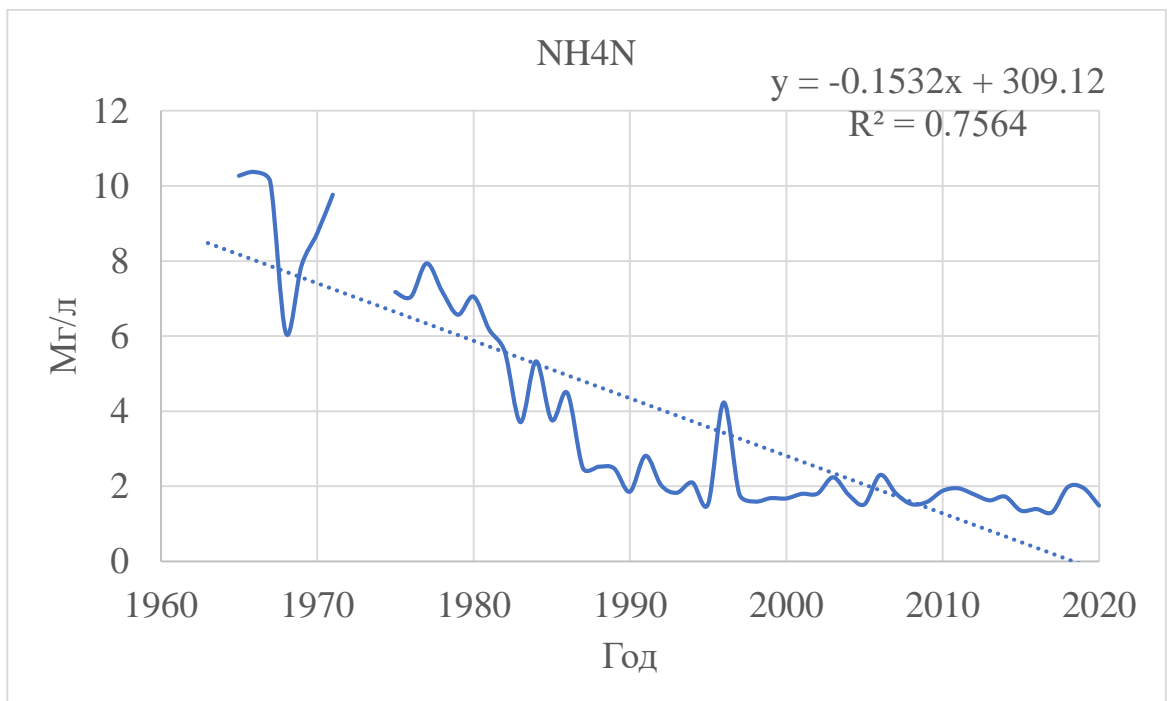


Рисунок 13 График изменения содержания азота в аммиаке в Ботническом заливе

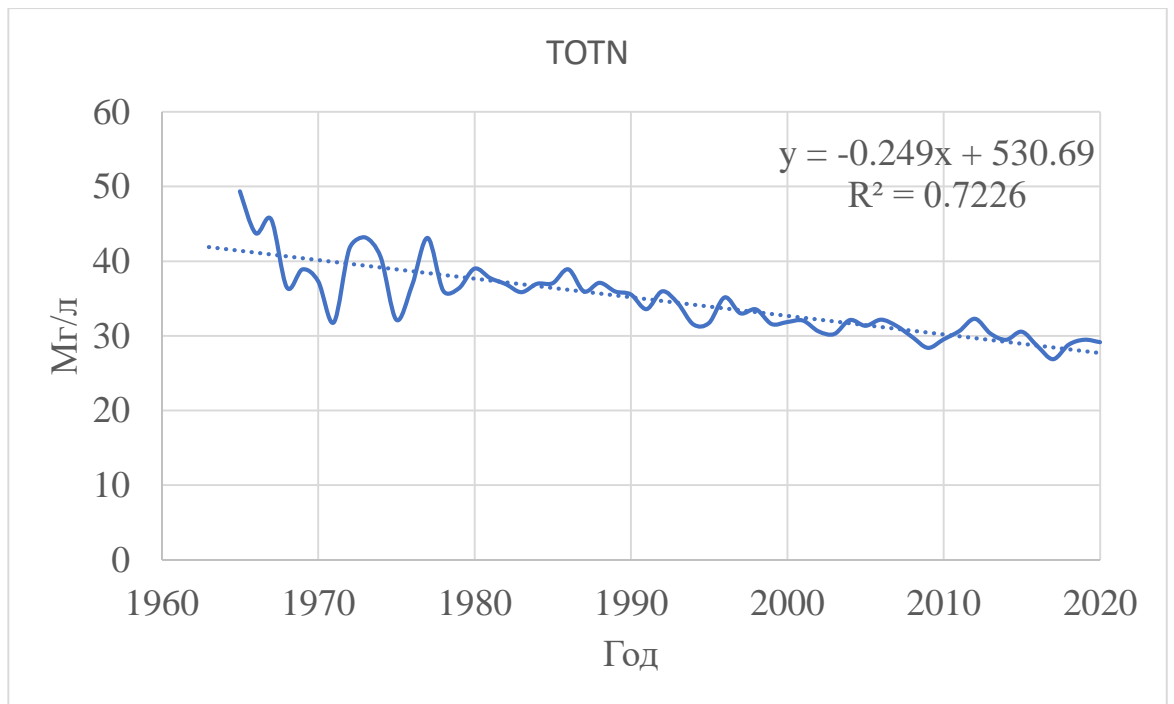


Рисунок 14 График изменения суммарного содержания азота в Ботническом заливе

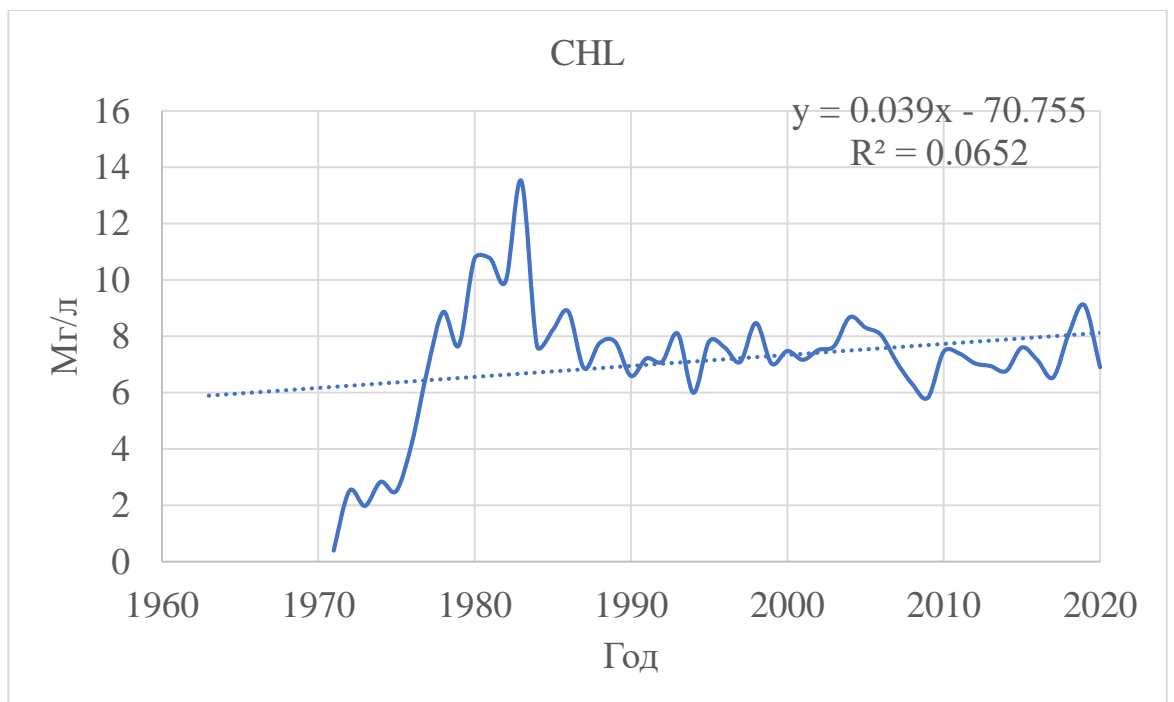


Рисунок 15 График изменения содержания хлорофилла в Ботническом заливе

4.2 Изменения в Рижском заливе

Таблица 2 Расчет первичной статистики для характеристик в Рижском заливе

	TEMP	SALIN	TOTOXY	PO4P	TOTP	SIO4
Среднее	6.78	7.35	6.75	0.73	1.05	19.34
Медиана	6.27	7.63	6.70	0.76	1.02	18.65
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	1.48	0.86	0.69	0.19	0.20	5.55
Дисперсия выборки	2.19	0.73	0.47	0.04	0.04	30.82
Минимум	3.80	5.06	4.53	0.31	0.66	9.55
Максимум	9.64	8.67	9.36	1.04	1.94	34.21
Размах вариации	5.85	3.62	4.83	0.73	1.28	24.66
Коэффициент вариации	21.81	11.67	10.20	25.77	19.18	28.71

Продолжение Таблица 2

	NO3N	NO2N	NO23N	NH4N	TOTN	CHL
Среднее	3.35	0.15	4.41	0.95	24.21	3.99
Медиана	3.34	0.14	4.25	0.82	24.72	3.79
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	1.26	0.03	1.73	0.44	5.67	2.44
Дисперсия выборки	1.58	0.00	2.98	0.20	32.17	5.96
Минимум	0.88	0.08	0.62	0.56	13.67	0.85
Максимум	6.41	0.24	8.34	2.85	36.04	11.87
Размах вариации	5.53	0.16	7.72	2.29	22.37	11.02
Коэффициент вариации	37.58	23.81	39.20	46.74	23.42	61.24

Были построены графики временного хода параметров (Рисунок 16-Рисунок 27)и рассчитаны линейные тренды.

На Рисунок 16 видно, что имеется тренд на постепенное увеличение температуры. Соленость (Рисунок 17) же напротив имеет отрицательный тренд. Содержания кислорода в воде (Рисунок 18) не имеет сильно выраженной тенденции. Содержание фосфора в фосфатах (Рисунок 19) уменьшается, однако общее количество фосфора (Рисунок 20) незначительно увеличивается. Оксид кремния (Рисунок 21) имеет отрицательный тренд. Количество азота в нитритах (Рисунок 22) и нитратах (Рисунок 23) растет. Суммарное количество азота в нитритах и нитратах (Рисунок 24) также имеет положительный тренд. Количество азота в аммиаке (Рисунок 25) имеет слабовыраженный отрицательный тренд. Общее количество азота (Рисунок 26) увеличивается. Количество хлорофилла (Рисунок 27) возрастает.

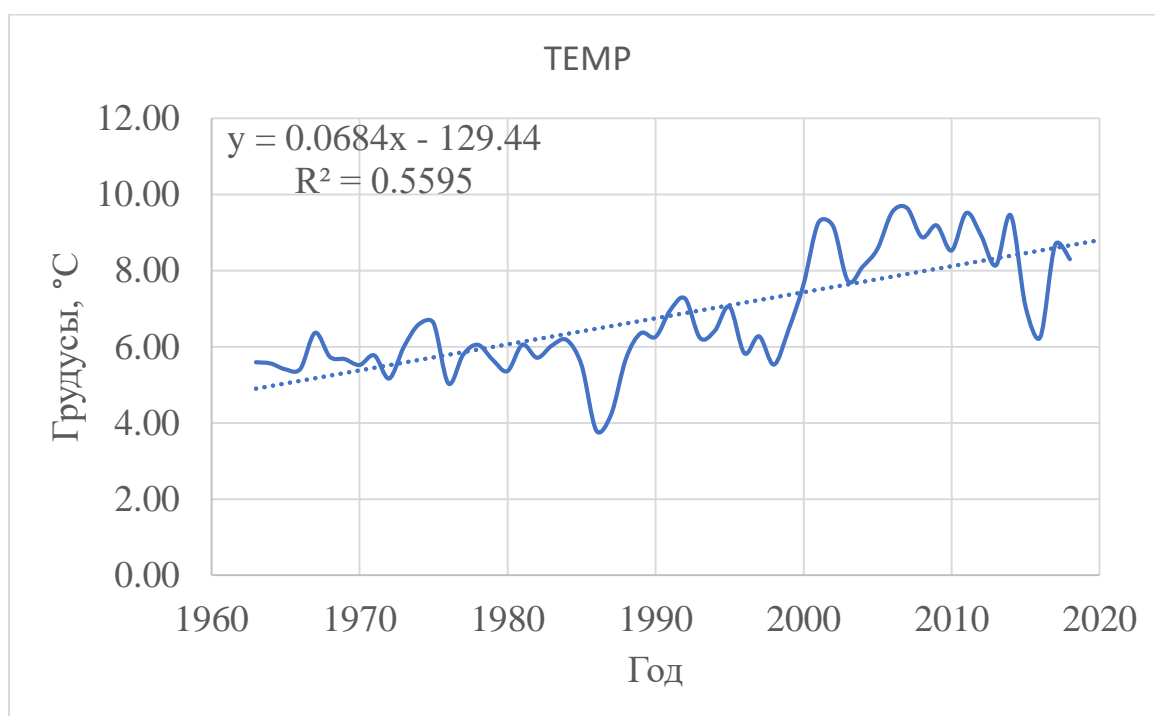


Рисунок 16 График изменения температуры в Рижском заливе

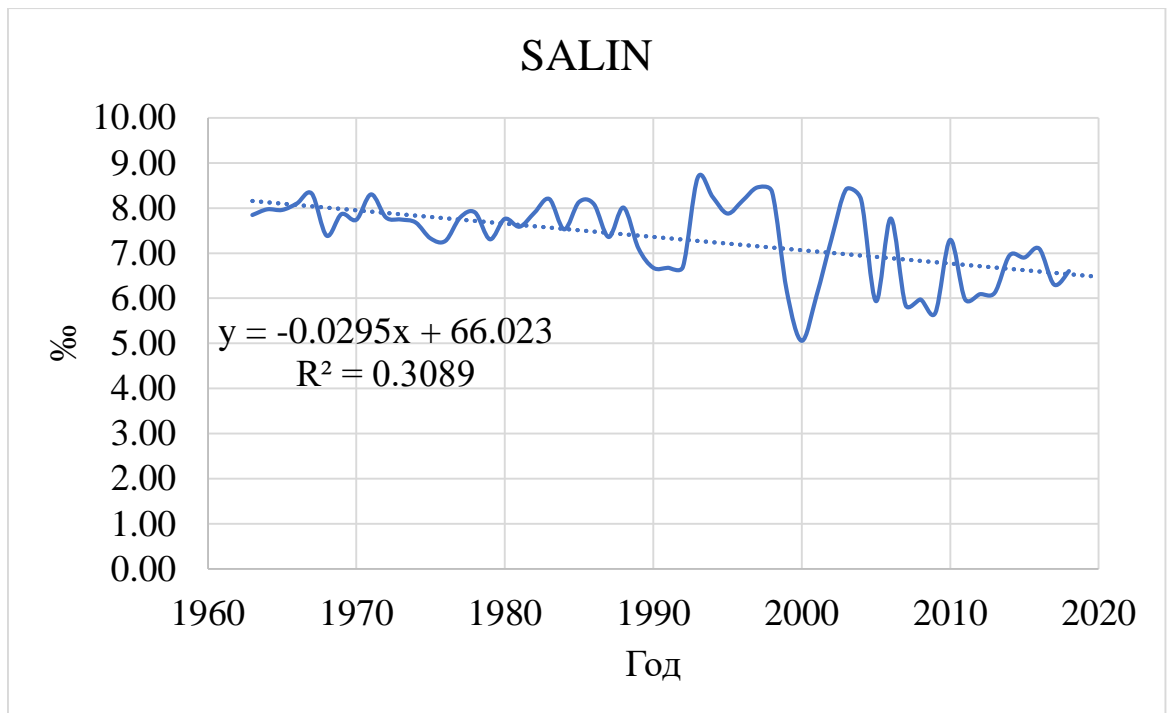


Рисунок 17 График изменения солености в Рижском заливе

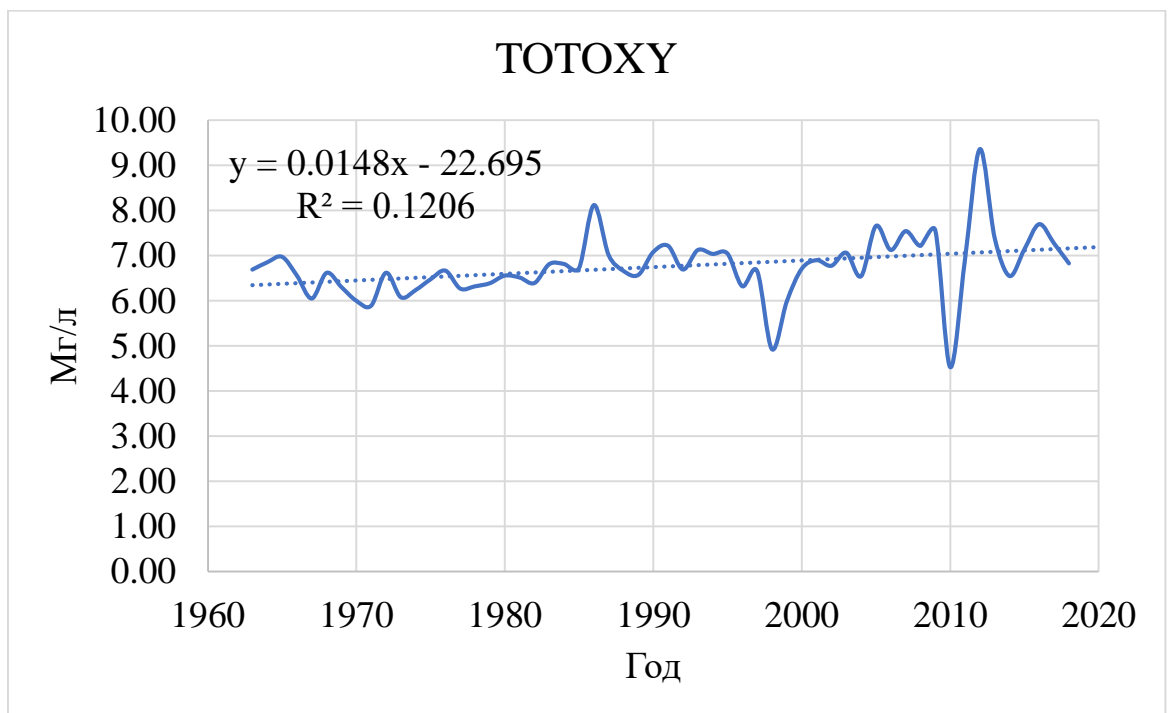


Рисунок 18 График изменения содержания кислорода в Рижском заливе

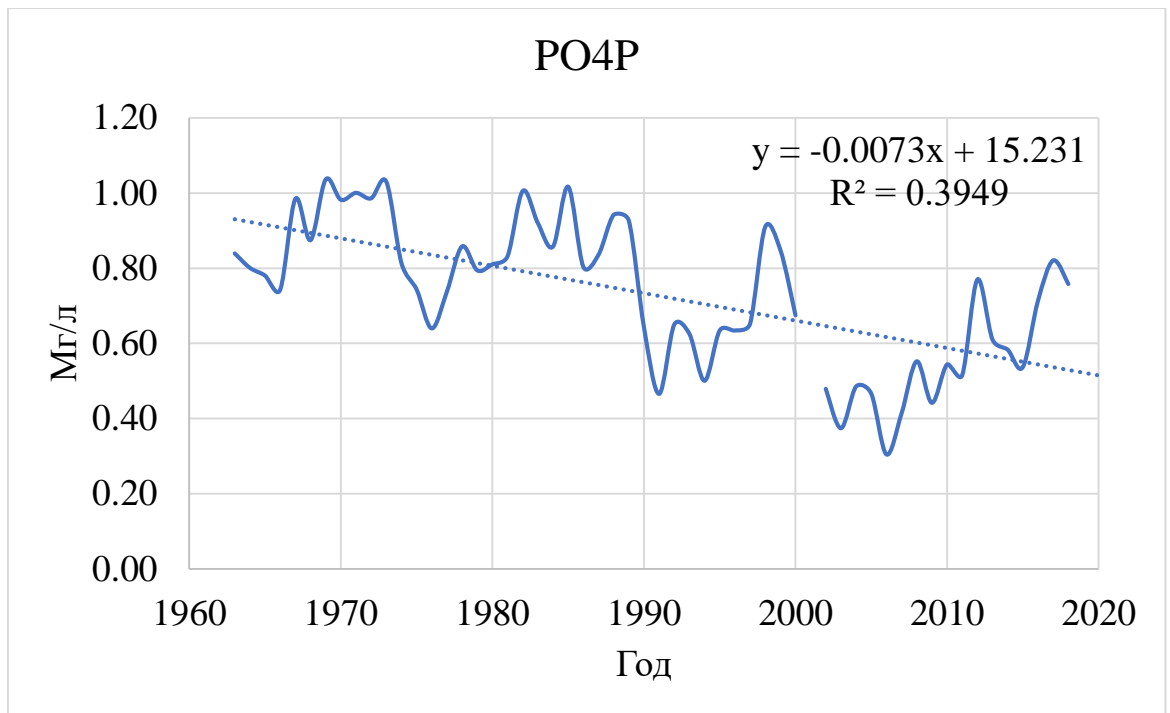


Рисунок 19 График изменения содержания фосфора в фосфатах в Рижском заливе

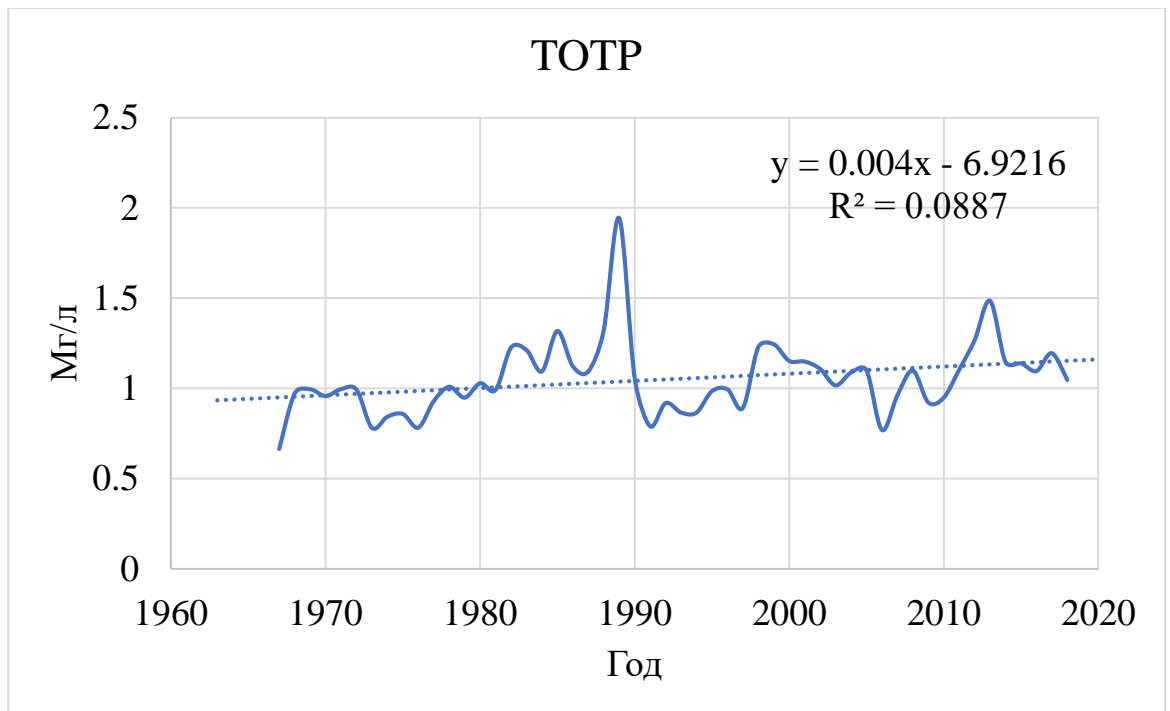


Рисунок 20 График изменения содержания суммарного фосфора в Рижском заливе

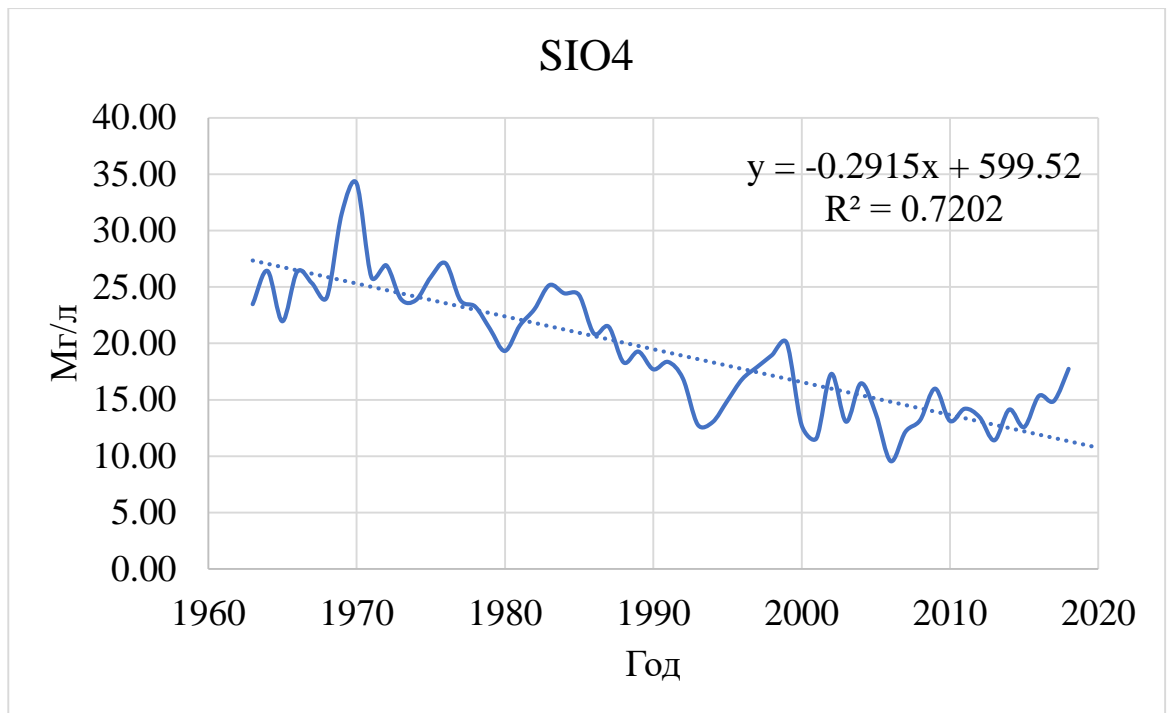


Рисунок 21 График изменения содержания оксида кремния в Рижском заливе

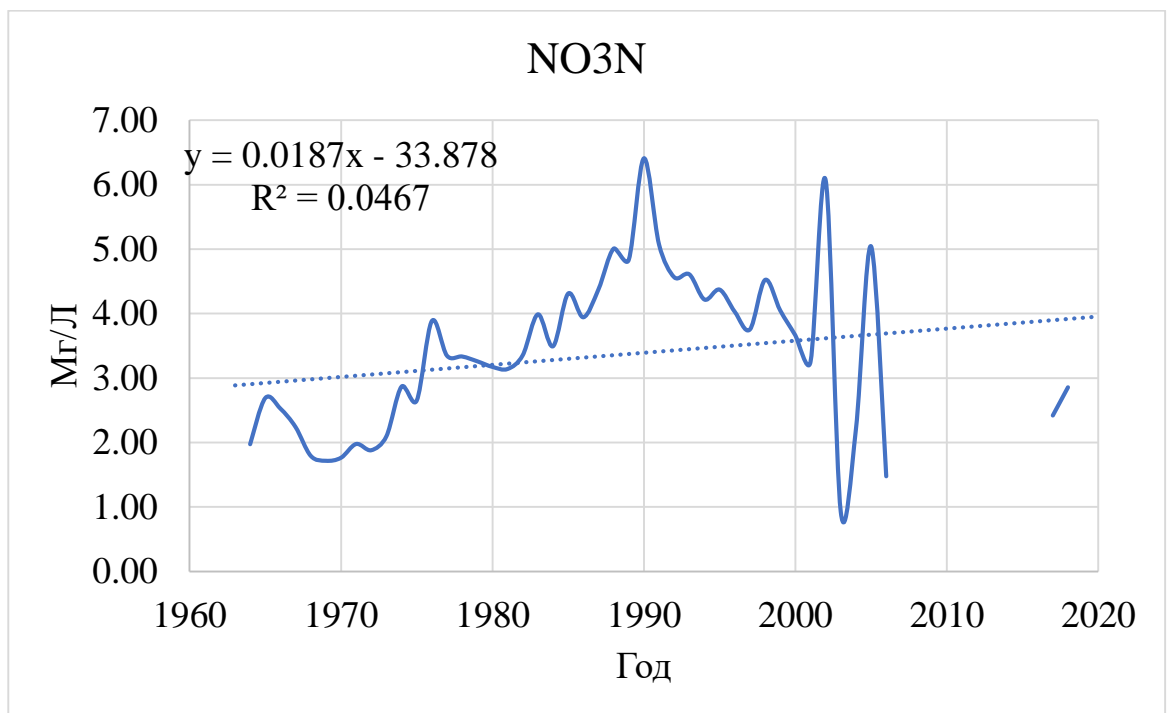


Рисунок 22 График изменения содержания азота в нитратах в Рижском заливе

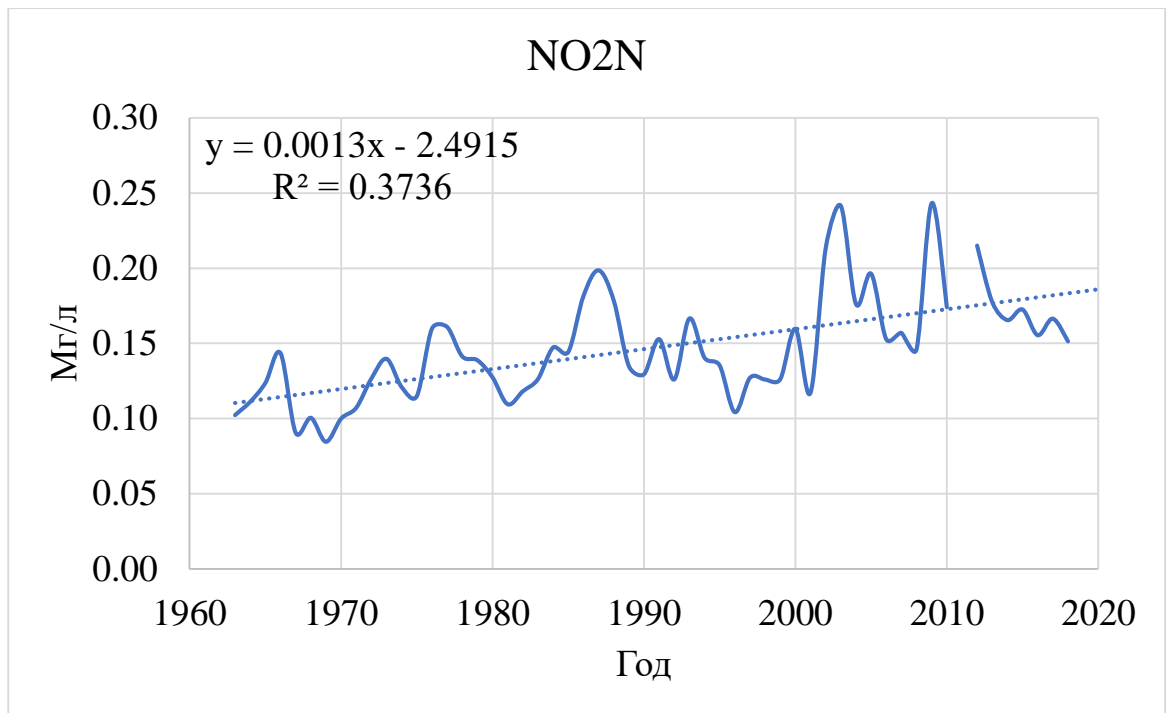


Рисунок 23 График изменения содержания азота в нитритах в Рижском заливе

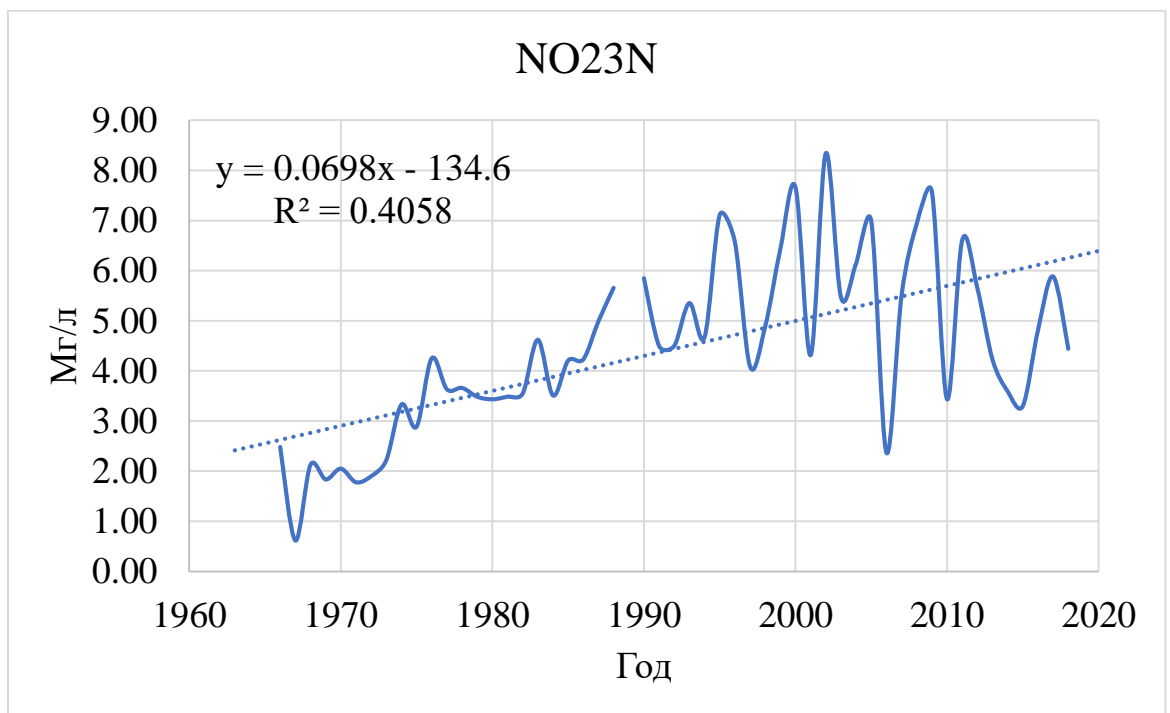


Рисунок 24 График изменения содержания азота в нитратах и нитритах в Рижском заливе

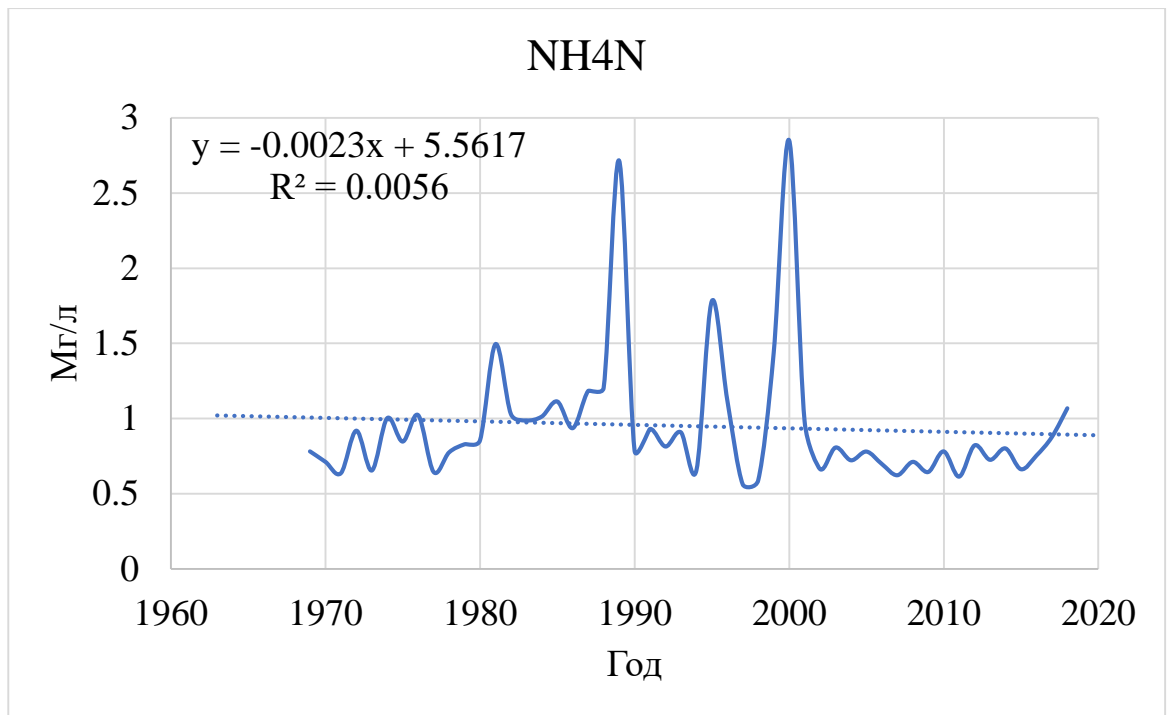


Рисунок 25 График изменения содержания азота в аммиаке в Рижском заливе

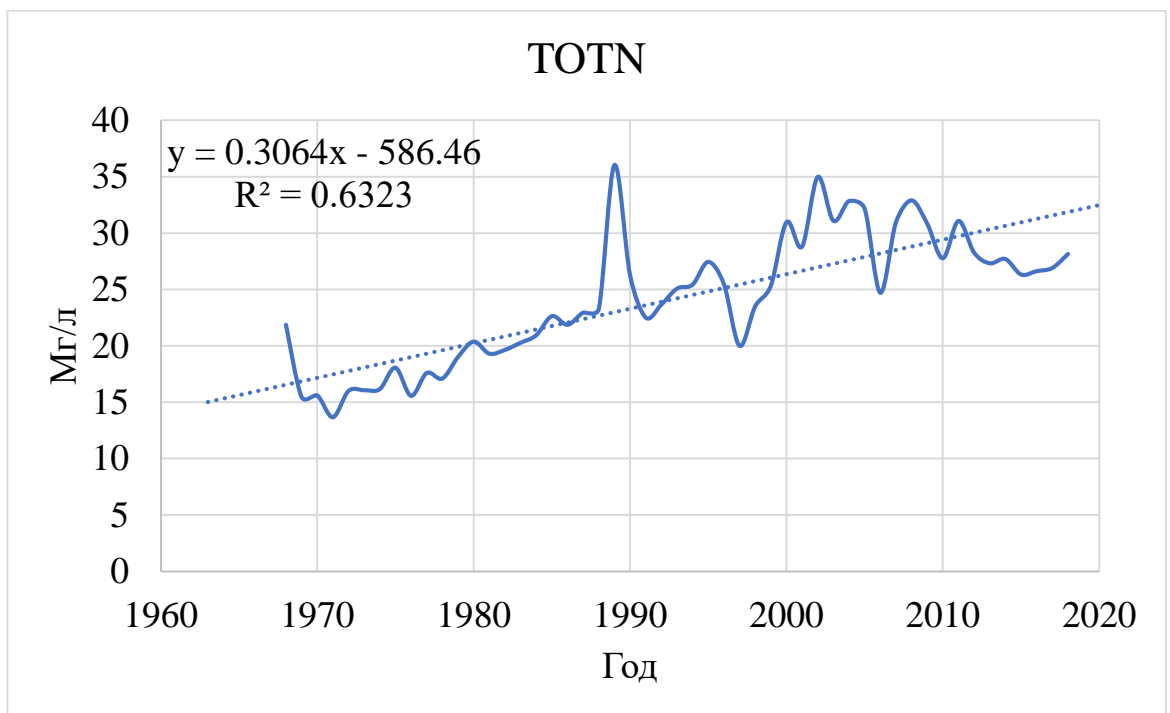


Рисунок 26 График изменения содержания суммарного азота в Рижском заливе

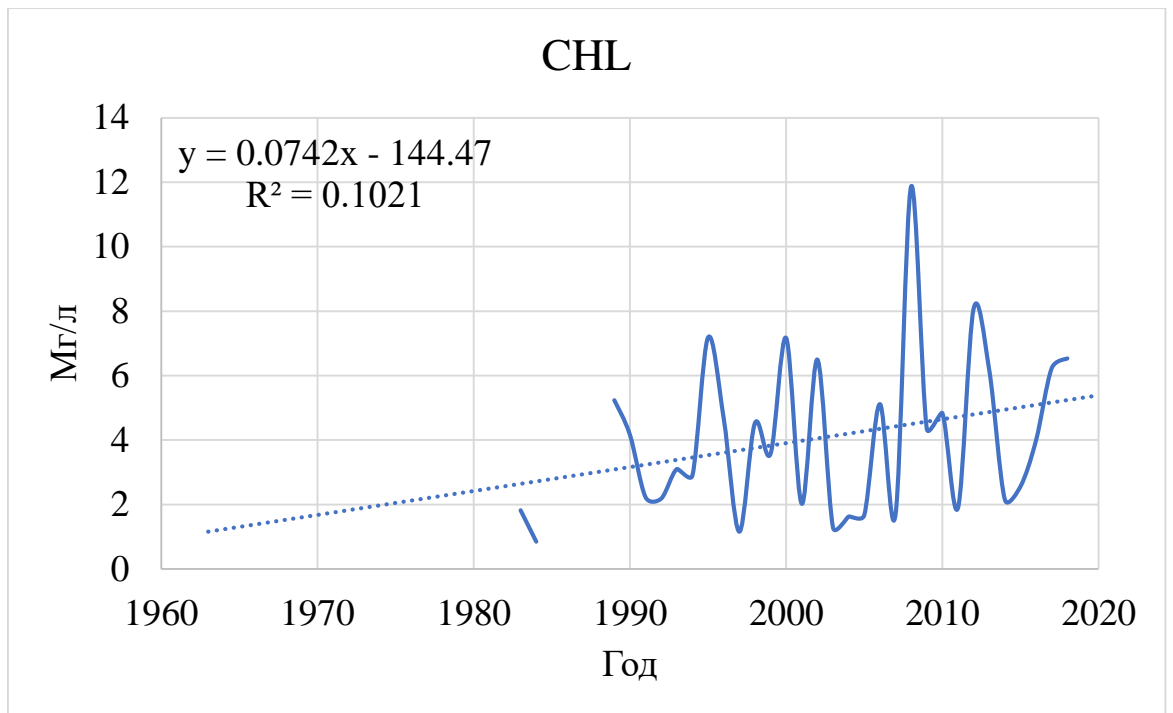


Рисунок 27 График изменения содержания хлорофилла в Рижском заливе

4.3 Изменения у побережья Норвегии

Таблица 3 Расчет первичной статистики для характеристик у берегов Норвегии

	TEMP	SALIN	TOTOXY	PO4P	TOTP	SIO4
Среднее	6.85	6.36	6.24	1.04	1.46	25.62
Медиана	6.97	6.42	6.33	0.97	1.33	25.08
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	0.87	0.72	0.52	0.35	0.45	6.53
Дисперсия выборки	0.75	0.52	0.27	0.12	0.21	42.64
Минимум	4.37	4.86	5.12	0.67	0.95	14.32
Максимум	8.43	9.05	7.54	2.27	3.08	45.09
Размах	4.05	4.19	2.42	1.59	2.12	30.77

вариации						
Коэффициент вариации	12.65	11.38	8.26	33.91	31.05	25.48

Продолжение таблицы 3

	NO3N	NO2N	NO23N	NH4N	TOTN	CHL
Среднее	3.31	0.11	7.08	2.66	27.89	4.95
Медиана	3.42	0.11	4.52	2.78	25.94	2.69
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	1.06	0.03	5.19	1.09	6.63	4.79
Дисперсия выборки	1.13	0.00	26.98	1.19	43.99	22.90
Минимум	1.02	0.04	1.05	0.10	10.14	0.50
Максимум	5.14	0.24	19.18	4.83	41.95	19.80
Размах вариации	4.13	0.20	18.13	4.73	31.81	19.30
Коэффициент вариации	32.18	30.92	73.39	41.07	23.78	96.75

Были построены графики временного хода параметров (Рисунок 28-Рисунок 39) и рассчитаны линейные тренды.

На Рисунок 28 видно, что имеется тренд на постепенное увеличение температуры. Соленость (Рисунок 29) имеет слабовыраженный положительный тренд. Содержания кислорода в воде (Рисунок 30) имеет слабовыраженный положительный тренд. Содержание фосфора в фосфатах (Рисунок 31) и общее количество фосфора (Рисунок 32) уменьшается. Оксид кремния (Рисунок 33) имеет отрицательный тренд. Количество азота в

нитритах (Рисунок 34) и нитратах (Рисунок 35) растет. Суммарное количество азота в нитритах и нитратах (Рисунок 36) также имеет положительный тренд. Количество азота в аммиаке (Рисунок 37) не имеет сильно выраженного тренда. Общее количество азота (Рисунок 38) уменьшается. Количество хлорофилла (Рисунок 39) уменьшается.

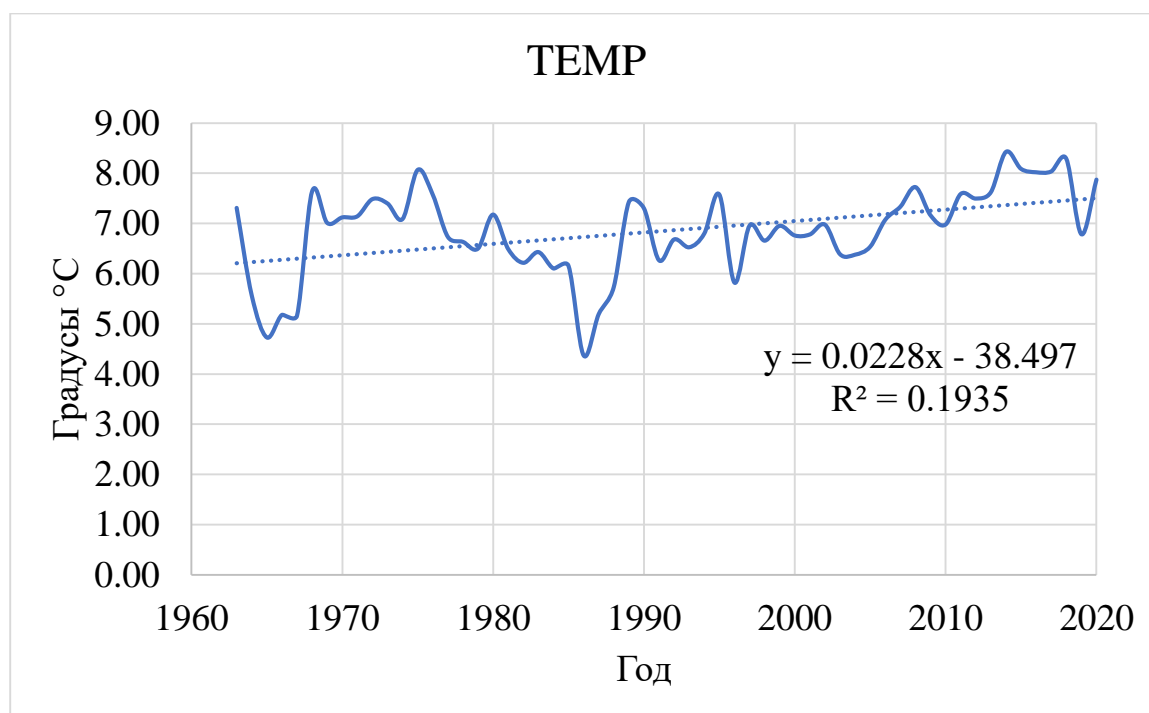


Рисунок 28 График изменения температуры у берегов Норвегии

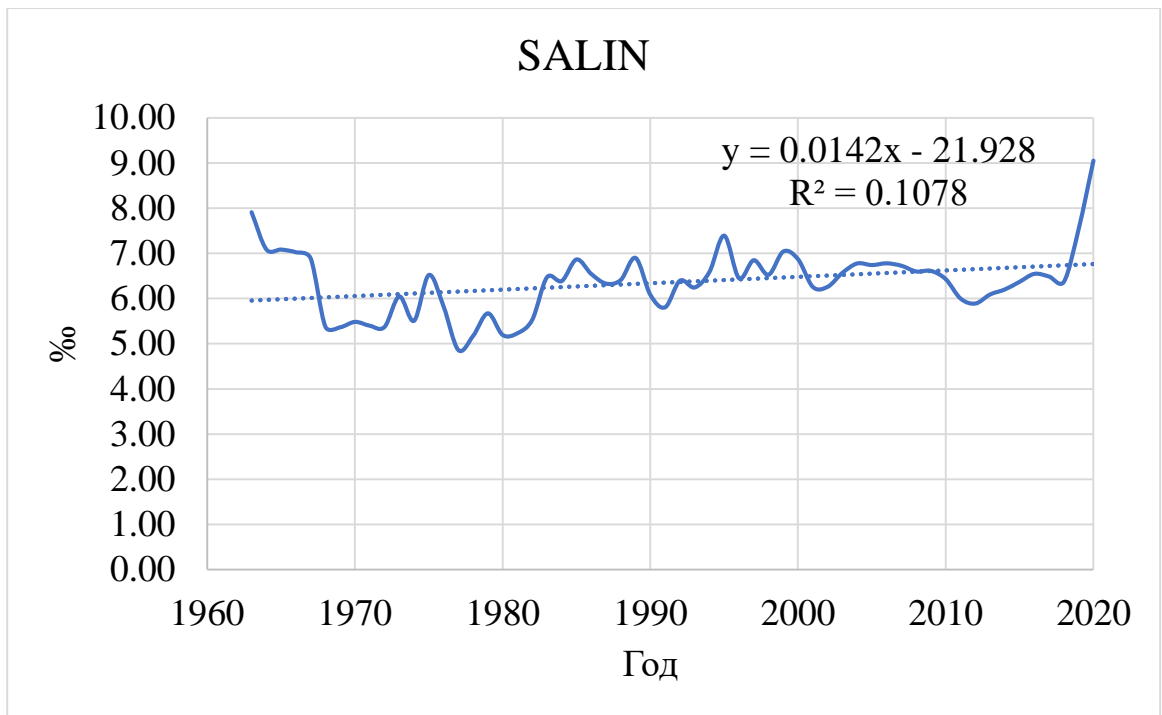


Рисунок 29 График изменения солености в у берегов Норвегии

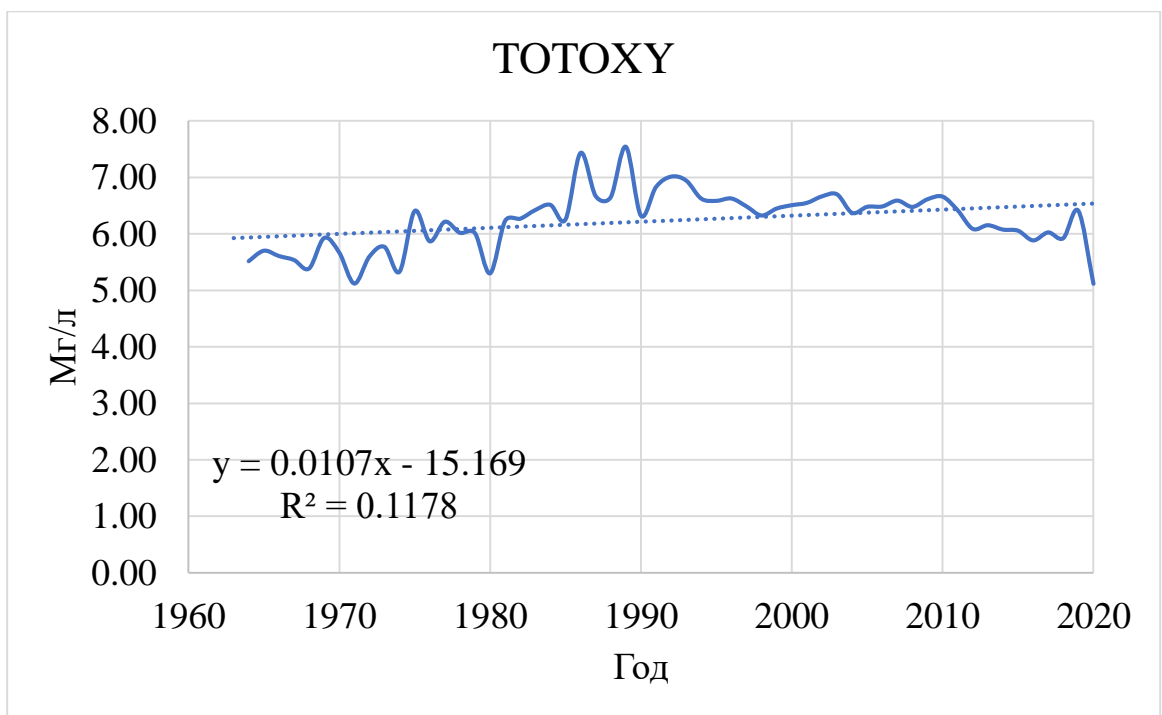


Рисунок 30 График изменения содержания кислорода у берегов Норвегии

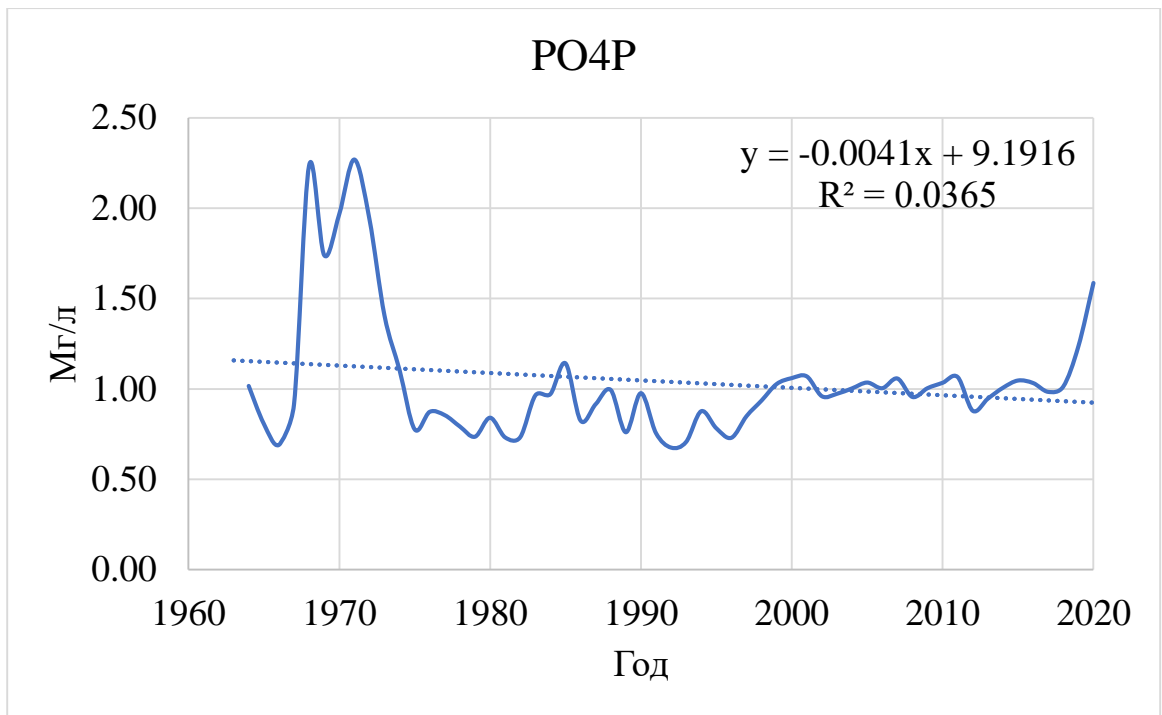


Рисунок 31 График изменения содержания фосфора в фосфатах у берегов Норвегии

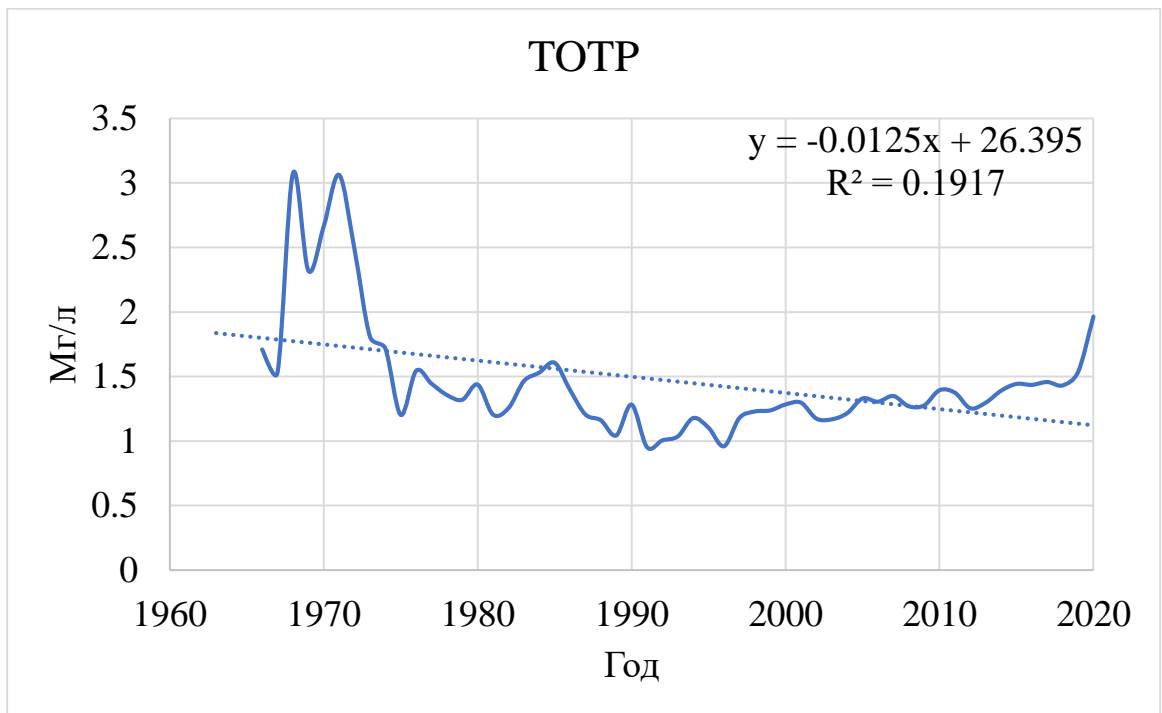


Рисунок 32 График изменения содержания суммарного фосфора у берегов Норвегии

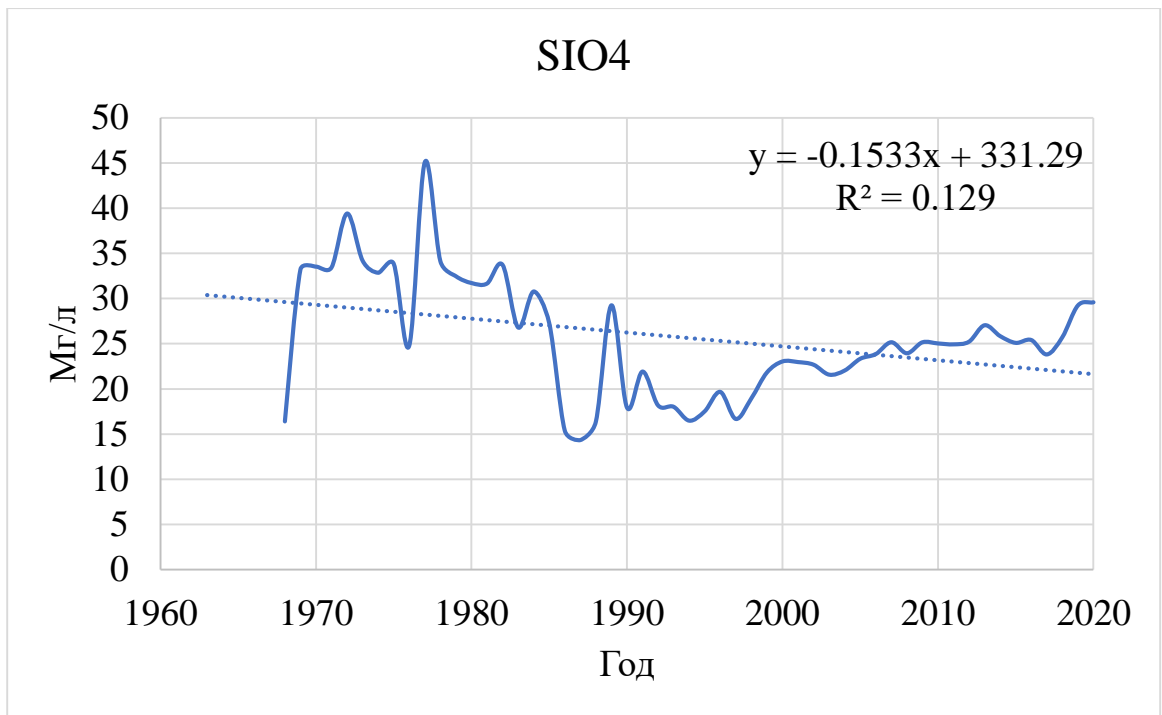


Рисунок 33 График изменения содержания оксида кремния у берегов Норвегии

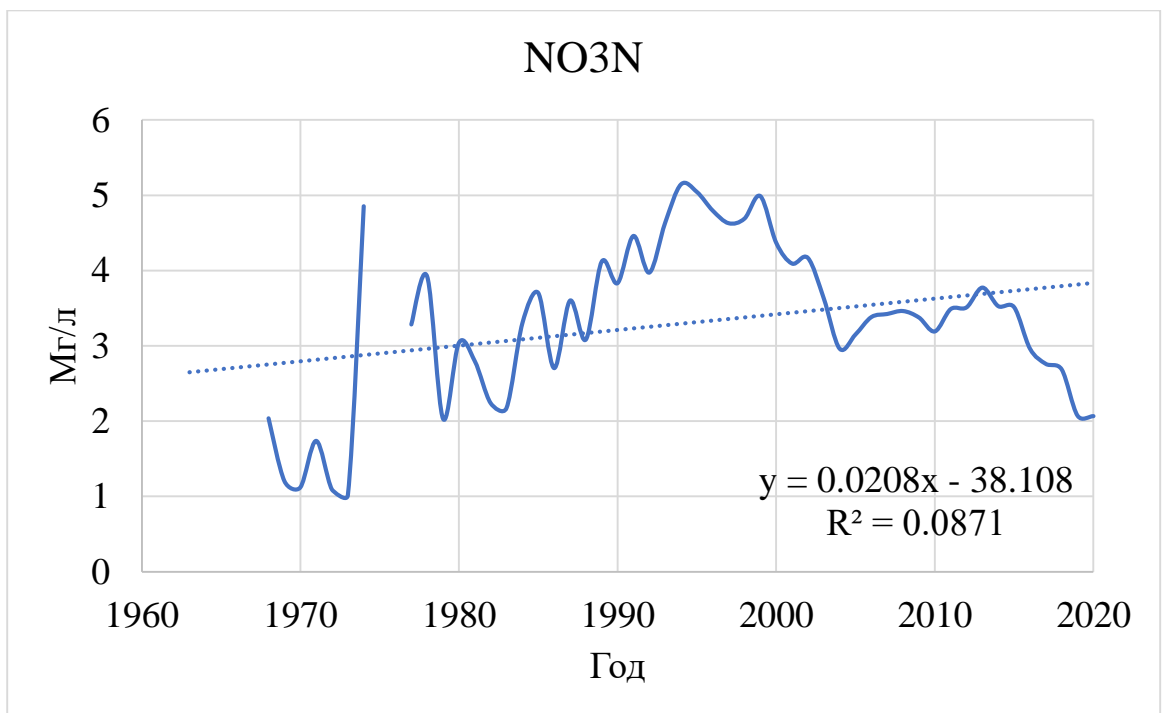


Рисунок 34 График изменения содержания азота в нитратах у берегов Норвегии

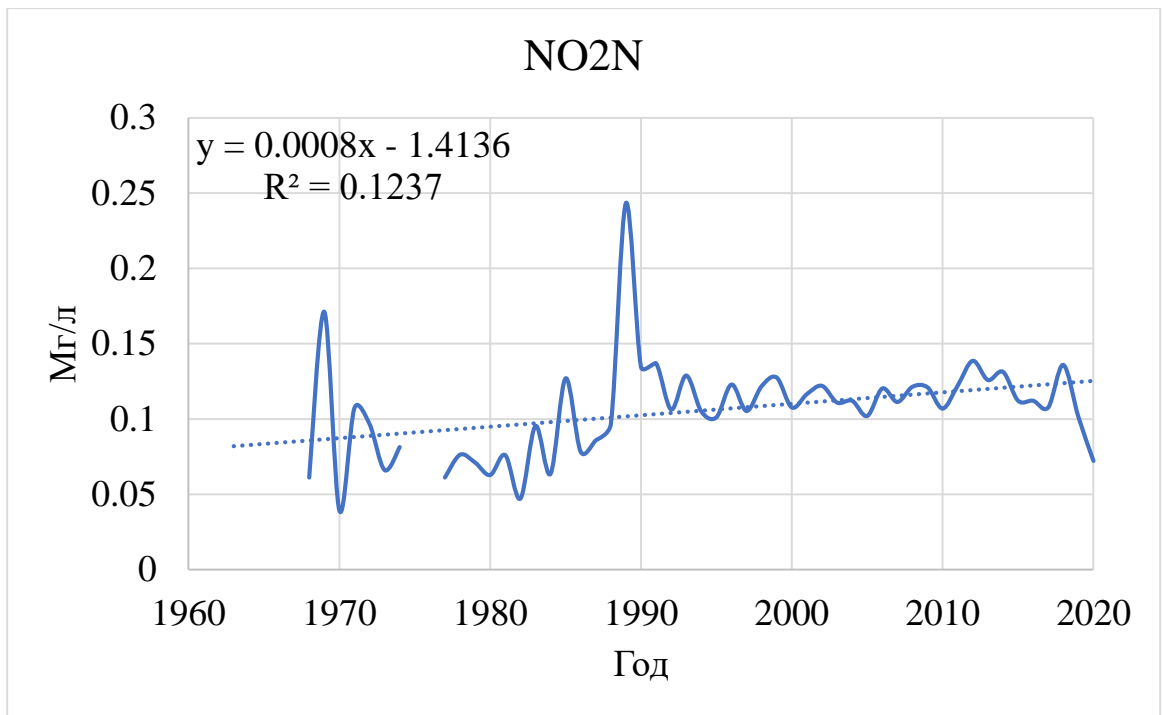


Рисунок 35 График изменения содержания азота в нитритах у берегов Норвегии

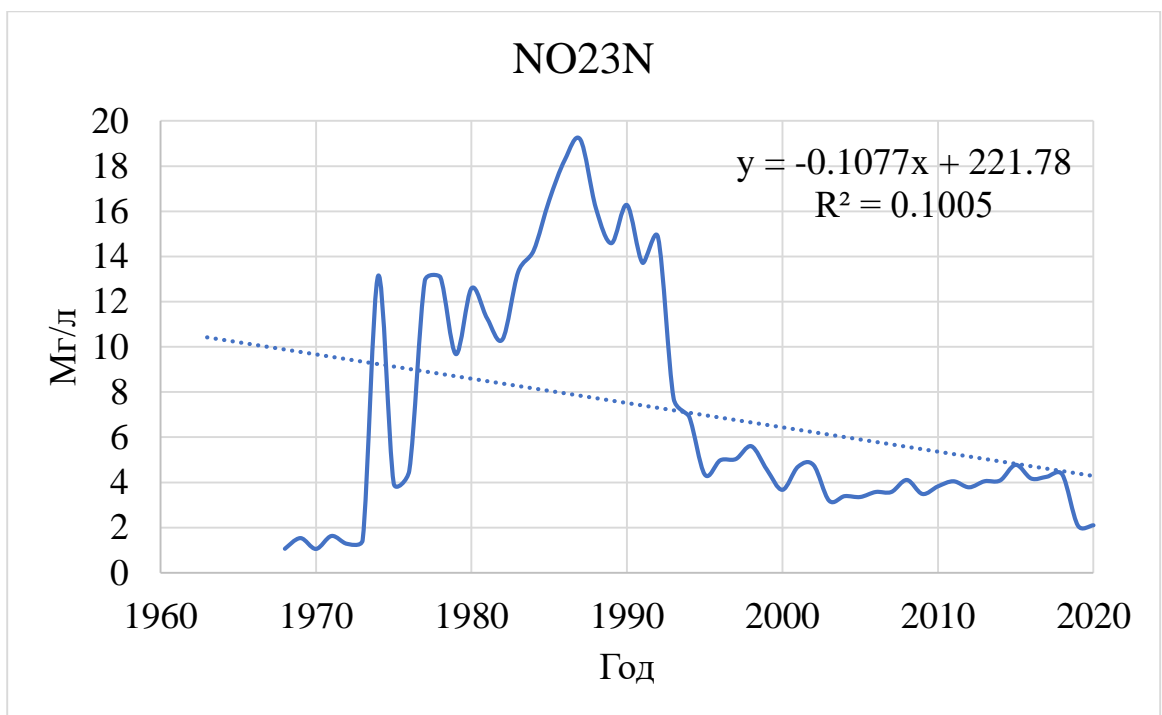


Рисунок 36 График изменения содержания азота в нитритах и нитратах у берегов Норвегии

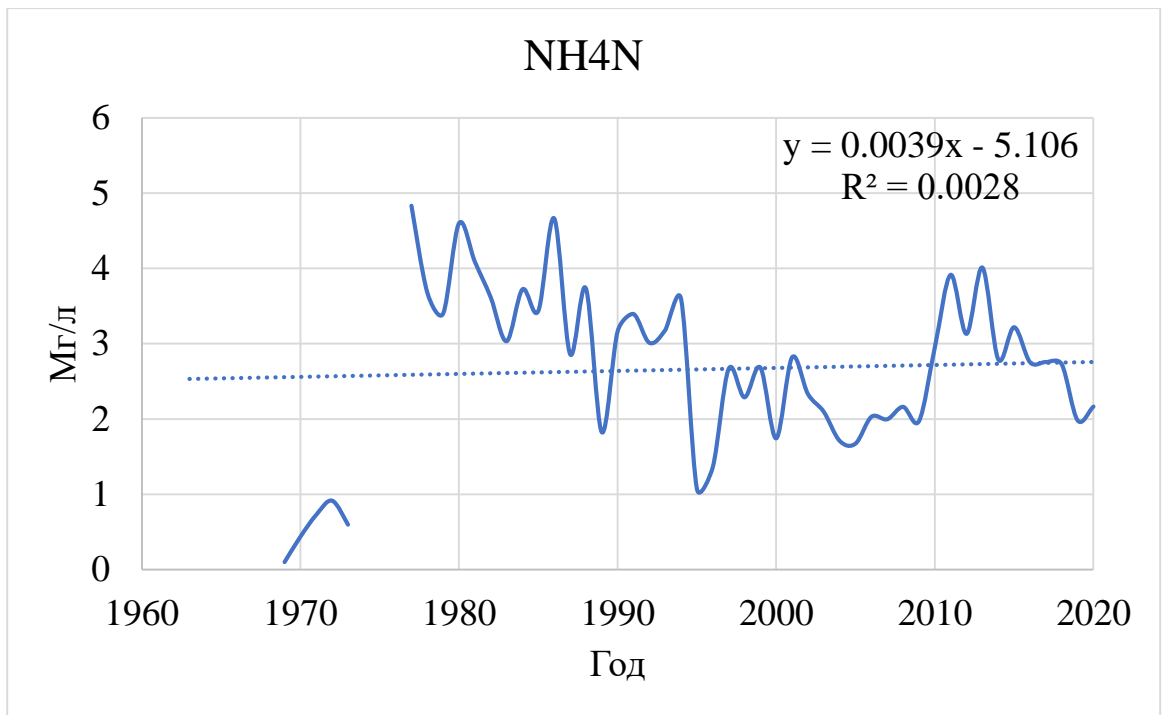


Рисунок 37 График изменения содержания азота в аммиаке у берегов Норвегии

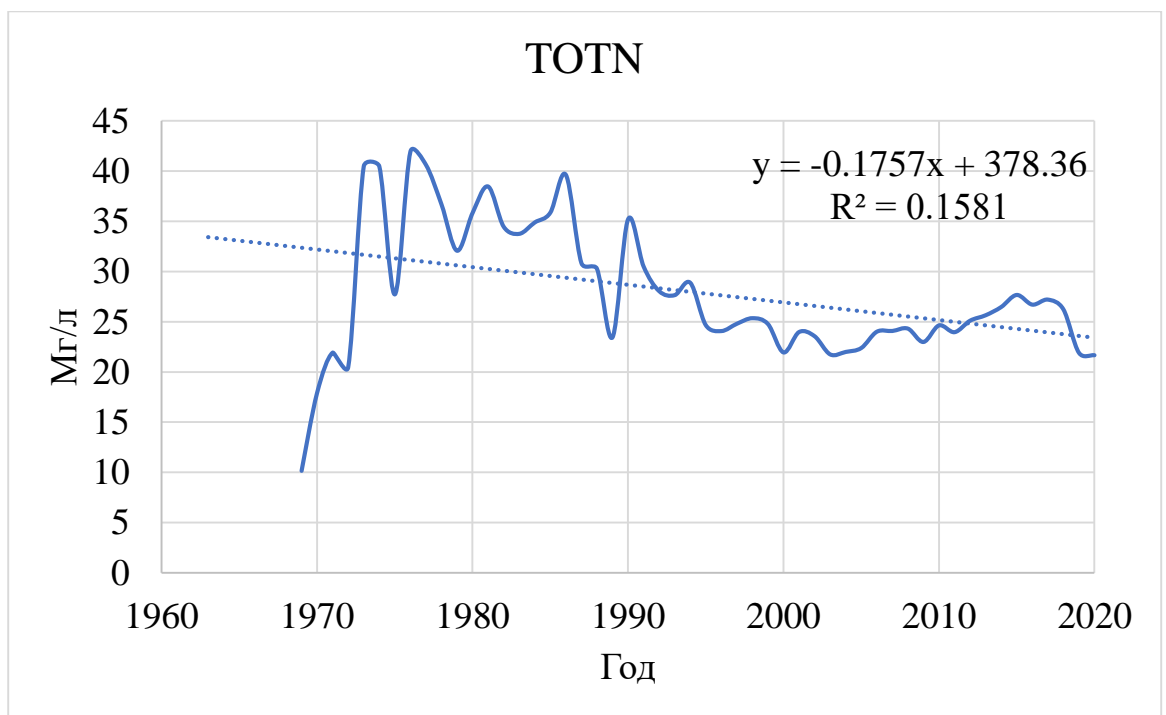


Рисунок 38 График изменения содержания суммарного азота у берегов Норвегии

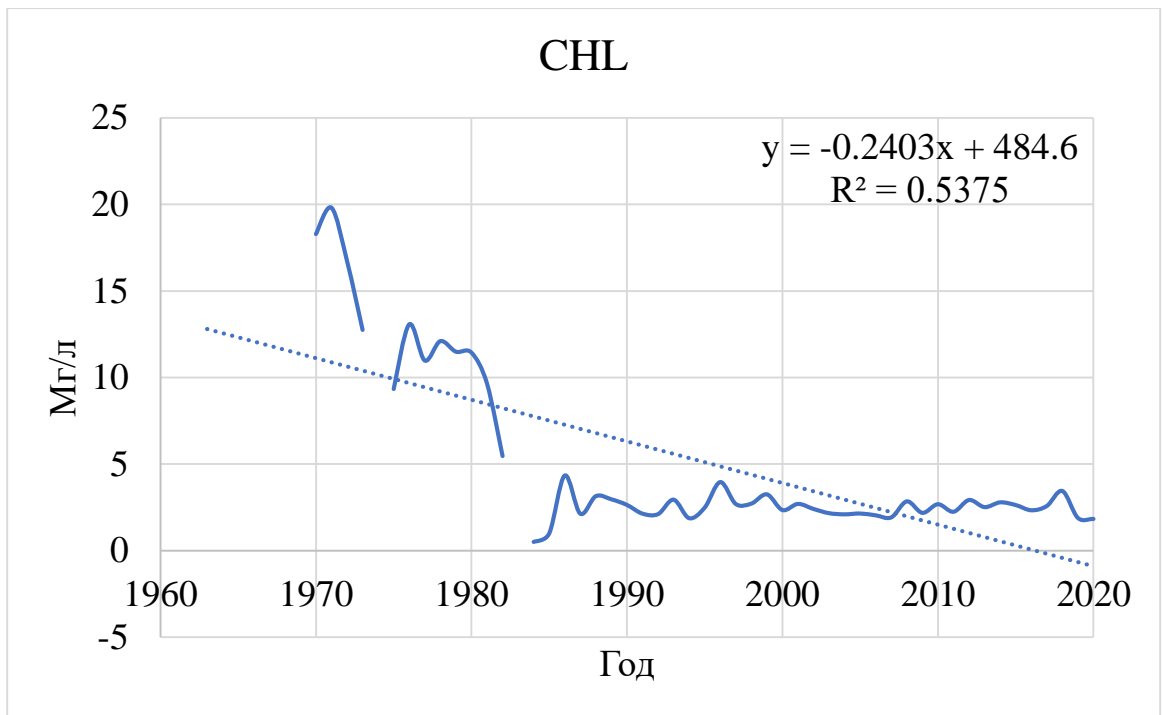


Рисунок 39 График изменения содержания хлорофилла у берегов Норвегии

Заключение

В ходе данной выпускной квалификационной работы было рассмотрено влияние потепления климата на прибрежные береговые регионы Балтийского моря.

Проведенное исследование позволило выявить и проанализировать основные тенденции изменения гидрофизических и гидрологических параметров Балтийского моря.

Установлено, что в последние десятилетия в Балтике наблюдается отчетливый тренд повышения температуры воды, что сопровождается незначительным снижением концентрации кислорода, снижением количества фосфора и нитратов и увеличением количества хлорофилла. Данные изменения оказывают комплексное воздействие на прибрежные зоны

Повышение температуры способствует активизации биологических процессов, что может приводить к положительным эффектам (увеличение продуктивности морских экосистем), так и к негативным (ускорение эвтрофикации, вспышки развития токсичных водорослей).

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки и внедрения комплексных мер по адаптации прибрежных районов к грядущим климатическим изменениям.

В заключении хочется сказать, что дальнейшие исследования в этом направлении, включающие детальный анализ уязвимости секторов экономики и населения к климатическим воздействиям, а также оценку эффективности адаптационных мероприятий, будут способствовать повышению устойчивости прибрежных регионов Балтийского моря к климатическим изменениям.

Список литературы

1. Алекин О.А. Химия океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. 232 с.
2. Алимов А. Ф., Голубков С. М. Изменения в экосистемах восточной части Финского залива // Вестник Российской академии наук. 2008.№3.
3. Борисов А. Н. Влияние изменения климата на биоразнообразие прибрежных районов Балтийского моря // Экология и природопользование. – 2019. – Т. 18. – С. 56-64.
4. Буканова Т.В. Тенденции эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным. Диссертация на соиск. уч. степ. Канд. геогр. н.: 25.00.28 / Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук. Калининград, 2014. 142 стр.
5. Васильчук Ю. К. Изменение климата и его последствия для прибрежных районов Балтийского моря // География и природные ресурсы. – 2017. – Т. 4. – № 2. – С. 115-123.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 03. Балтийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Справочник. // СПб: Гидрометеиздат, 1992. — 451 стр.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 03. Балтийское море. Выпуск 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. Справочник. // СПб: Гидрометеиздат, 1994. — 435 стр.
8. Давидана И.Н., Савчук О.П., СПб Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива. Вып. 5, часть 2. Гидрометеорологические, гидрохимические, гидробиологические, геологические условия и динамика вод Финского залива / Гидрометеиздат, 1997. - 450 с.
9. Документы ХЕЛКОМ :: Хельсинкская конвенция по Балтийскому морю [Электронный ресурс]. Режим доступа:

- http://helcom.ru/helcom_documents/helsinki_convention (дата обращения: 30.05.2024).
10. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2011. – Под ред. Коршенко А.Н., Обнинск, «Артифекс», 2012, 196 с.
 11. Кондратьев К. Л. и др. Анализ изменения уровня воды в Балтийском море в контексте изменения климата // Проблемы гидрометеорологии и экологии. – 2016. – Т. 21. – № 3. – С. 45-53.
 12. Массовая концентрация азота нитратного в морской воде. Методика измерений фотометрическим методом после восстановления в кадмиевом редуторе [Текст]: РД 52.10.745 – 2010.
 13. Массовая концентрация азота нитритного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса [Текст]: РД 52.10.740-2010.
 14. Массовая концентрация фосфатов в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом [Текст]: РД 52.10.738-2010
 15. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом"(утв. Росгидрометом 27.03.2006) [Текст]: РД 52.24.382-2006
 16. Некрасов А.В., Еремина Т.Р., Провоторов П.П. Гидрофизические процессы. В кн.: Финский залив в условиях антропогенного воздействия. Отв. ред. В.А. Румянцев и В.Г. Драбкова. СПб.: Институт озероведения РАН, Северо-Балтийский морской фонд, 1999, с. 5-47. 3. Глинка М.И. (Финский залив // Фидер — Фурьеризм. — М. : Советская энциклопедия, 1956. — (Большая советская энциклопедия : [в 51 т.] / гл. ред. Б. А. Введенский ; 1949—1958, т. 45)
 17. Петров О. В. . Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря, СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 78 с.
 18. План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю / СПб.: Диалог, 2008. – 112 с. ISBN 978-5-903053-50-6

19. Савчук О.П., Вулфф Ф. Круговорот азота и фосфора в открытой Балтике // Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря: Международный проект «Балтика». СПб.: Гидрометеоздат, 1997. Вып. 5. С. 63-103.
20. Саломатина О. Э. Интенсификация ветров в прибрежных районах Балтийского моря в условиях изменения климата // Морские исследования. – 2018. – Т. 85. – № 6. – С. 87-94.
21. Сборник рекомендаций Хельсинкской комиссии: Справочно-методическое пособие. СПб.: Диалог, 2008. 712 с.
22. Смирнова Е. М. Динамика песчаного побережья Балтийского моря в условиях изменения климата // Геоморфология. – 2017. – Т. 5. – С. 31-40.
23. Фрумин Г. Т. «Распределение фосфора общего по суббассейнам Балтийского моря» (журнал «Экологическая химия», 2012, 21(4); 199–204).
24. Шапрова О.В., Ерёмина Т.Р., Ланге Е.К. «Анализ изменчивости параметров эвтрофирования в Финском заливе по данным натурных наблюдений» Ученые записки №44.
25. Шишкин Б.А. Современное состояние экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива. - Исследования водной экосистемы Ладожское озеро - р.Нева - Невская губа и восточная часть Финского залива. Л.: Труды ГГИ, вып. 1, 1988
26. Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива. Вып. 5, часть 2. Гидрометеорологические, гидрохимические, гидробиологические, геологические условия и динамика вод Финского залива / Под ред. И.Н. Давидана, О.П. Савчука СПб:
27. Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. М. Недр Геохимия окружающей среды, 1990. 335 с.
28. Edgars Pudzis, Sanda Geipele, Armands Auzins, Andrejs Lazdins, Jevgenija Butnicka, Krista Krumina, Indra Ciuksa, Maris Kalinka, Una Krutova, Mark Gritliht, Marii Prii-Pärn, Charlotta Björklund, Susanne Vävare, Johanna

- Hagström, Ingela Granqvist, Malin Josefina Hallor, Evaluation of Formal and Informal Spatial Coastal Area Planning Process in Baltic Sea Region, 2021
29. Harri T. Kankaanpää a, Pekka Alenius b, Pekka Kotilainen a, Petra Roiha b, Decreased surface and bottom salinity and elevated bottom temperature in the Northern Baltic Sea over the past six decades, 2023
30. HELCOM, 2013 Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region. Balt. Sea Environ. Proc. No. 133. 27 HELCOM. Development of tools for assessment of eutrophication in the Baltic Sea // Baltic Sea environmental proceedings. 2006. № 104. 64 p.
31. HELCOM. Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. // Baltic Sea Environment Proceedings. 2009. № 115B. 148 p.
32. Joachim W. Dippner, Georgs Kornilovs, Karin Junker, A Multivariate Baltic Sea Environmental Index, 2012
33. Leppäkoski E. and Olenin S. The Meltdown of Biogeographical Peculiarities of the Baltic Sea: The Interaction of Natural and Man-made Processes // Ambio. 2001. V. 30 (4–5). P. 202–209.
34. Markus Meier, Christian Dieterich, Kari Eilola, Matthias Groöger, Anders Höglund, Hagen Radtke, Sofia Saraiva, Future projections of record-breaking sea surface temperature and cyanobacteria bloom events in the Baltic Sea, 2019
35. Thomas Neumann, Kari Eilola, Bo Gustafsson, Barbara Müller-Karulis, Ivan Kuznetsov, H. E. Markus Meier, Oleg P. Savchuk, Extremes of Temperature, Oxygen and Blooms in the Baltic Sea in a Changing Climate, 2012