МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Многолетняя динамика солесодержания на озерах-охладителях Калининской АЭС**

Исполнитель **Малышева Дарья Вадимовна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«27» мая 2026 г.

Санкт–Петербург
2026

Содержание

Введение 1
1 Информационное обеспечение озер-охладителей Калининской АЭС 3
1.1. Физико-географическое описание района 3
1.2 Описание работы и влияния на водные объекты Калининской атомной электростанции 5
2 Информация о гидрометеорологических и гидрохимических показателях озер-охладителей Калининской АЭС 8
2.1 Оценка изменений метеорологических показателей 8
2.2 Оценка изменения гидрологического и термического режима 10
3 Формирование базы данных для исследования 13
3.1 Данные дистанционного зондирования 13
3.2 Данные экологических отчетов 19
3.3 Оценка минерализации вод озер-охладителей по экспедиционным данным 23
3.4 Рекогносцировочное обследование объекта 24
4 Прогнозирование изменения динамики солесодержания в озерах 27
4.1 Солесодержание 27
4.2 Сценарная оценка климата 32
Заключение 38
Список литературы 40
Приложение А – Спутниковые снимки 45
Приложение Б – Сценарная климатическая информация 51

Введение

Актуальность работы. Калининская атомная электростанция оказывает влияние на состояние системы озер, которая находится вблизи станции. В процессе работы станция сбрасывает отработанную воду в озера, изменяя их термический и гидрохимический режимы. Соленость и температура – главные маркеры для оценки этого влияния. Отсутствие систематических измерений на озерах не позволяет в полной мере оценить влияние АЭС на водоемы. В связи с этим применение методов дистанционного зондирования для мониторинга указанных параметров представляется актуальным и эффективным решением данной проблемы.

Цель исследования: изучить многолетнюю динамику солесодержания в озерах-охладителях при помощи данных дистанционного зондирования.

Задачи исследования:

а) изучить данные, которые есть в свободном доступе – экологические отчеты, статьи и заметки, написанные в результате экспедиций;

б) выявить многолетнюю динамику гидрометеорологических показателей водосбора озер-охладителей;

в) выявить связь между гидрометеорологическими показателями (например, температура воды) и солесодержанием;

г) оценить влияние работы КАЭС на озера-охладители;

д) предложить методику прогноза состояния озер-охладителей.

План исследования:

а) изучить исследуемый объект;

б) провести анализ состояния проблемы – сформировать базу данных исследования, провести анализ научной литературы;

в) оценить режим гидрометеорологических показателей озер и его динамику за наиболее долгий период при помощи ДЗЗ;

г) выявить связь солесодержания и гидрометеорологических показателей (температуры воды и др.);

д) провести статистическую обработку данных;

е) оценить влияние работы КАЭС на солесодержание в озерах-охладителях;

ж) разработать и апробировать методику оценки прогнозного состояния озер-охладителей.

Влияние Калининской АЭС на систему прилегающих озер не должно ограничиваться изменением температуры и солености. Сброс отработанных вод нарушает термический режим водоемов, что ведет к снижению концентрации растворенного кислорода, провоцирует эвтрофикацию («цветение» воды) и меняет видовой состав ихтиофауны, создавая угрозу биоразнообразию региона. Кроме того, гидрохимические аномалии могут служить индикаторами нештатных ситуаций на объекте атомной энергетики, требуя постоянного контроля.

Отсутствие систематических наземных измерений не позволяет в полной мере оценить эти риски и создает барьеры для принятия эффективных управленческих решений. В этом контексте применение методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) становится не просто актуальным, а безальтернативным инструментом. Он обеспечивает высокую периодичность, пространственный охват и оперативность получения данных при существенном снижении экономических затрат. Интеграция спутниковых данных в систему мониторинга позволит не только оценить текущее состояние озер, но и создать основу для прогнозирования изменений и обеспечения экологической безопасности в долгосрочной перспективе.

1 Информационное обеспечение озер-охладителей Калининской АЭС

1.1. Физико-географическое описание района

Физико-географическое описание сделано по следующем источникам [5, 7, 11, 32].

Тверская область расположена в европейской части России, общая площадь составляет 8420,1 тыс. га. Тверская область граничит на севере с Вологодской областью, на северо-западе – с Новгородской, на востоке – с Ярославской, на юго-востоке – с Московской, на западе – с Псковской и на юге – со Смоленской.

Рельеф

Для области характерен равнинный рельеф, сформированный ледниковыми структурами – моренами, грядами, озерно-ледниковыми и аллювиальными низинами. Самая высокая точка области – 343 м, расположена вблизи истоков реки Цны, на Цнинском поднятии.

Самыми крупными природными территориальными комплексами, являются физико-географические провинции. На территории Тверской области расположены Верхневолжская, Смоленско-Московская, Валдайская и Прибалтийская провинции, которые также заходят и в соседние области. Прибалтийская провинция представляет собой низменную (до 150 м) плоскую наклоненную к западу равнину. В состав Валдайской провинции входят Западно-Двинская и Вышневолоцкая низменности, окраина Валдайской возвышенности, а также Воробьевы горы и Лесная гряда. Смоленско-Московская провинция располагается на Валдайской и Бельской возвышенностях, отличается самой большой в области средней высотой (200–300 м). Верхневолжская провинция включает территории восточных и юго-восточных районов области.

Климат

Климат на территории Тверской области влажно-континентальный. Преобладающая воздушная масса – континентальный воздух умеренных широт. Средняя температура зимой варьируется от –5 до –10 ºС, летом диапазон от 15 до 20 ºС.

В Тверской области в год выпадает в среднем 550–750 мм осадков.

Гидрологический режим

Область располагается на водоразделе Каспийского и Балтийского морей. Реки относятся к бассейнам: Волги, Западной Двины, Невы. Средняя густота речной сети в регионе – 0,2 км/км^2, на западе и северо-западе 0,3 – 0,35 км/км^2, на юго-востоке 0,12 – 0,15 км/км^2.

Всего в области насчитывается около 800 рек, с общей длиной свыше 17000 км. 21 река имеет протяженность более 100 км (Волга, Западная Двина, Молога, Медведица, Межа, Торопа, Тверца, Обша, Шоша, Тьма и др.). Основная часть рек представляет собой малые реки длиной менее 100 км, что объясняется прежде всего водораздельным положением территории.

В регионе расположено более 3500 озер и искусственных водоемов. Наиболее крупными считаются: Селигер, Волго, Шлино, Кафтино, Великое, Пирос, Сиг, Вселуг, Верестово, Серемо, Удомля, Стерж и т.д. Большинство озер имеют ледниковое происхождение, но также встречаются карстовые и пойменные водоемы.

Питание рек и озер Тверской области по большей части смешанного типа (снегодождевое и подземное питание). Ледостав на реках области обычно начинается в конце ноября, заканчивается в конце марта начале апреля.

Растительность

Массивы лесов занимают более 60 % площади территории области. Леса преимущественно смешанные, чаще всего встречаются ель, сосна, осина, береза, клен, липа, дуб и орешник. На луга и сельскохозяйственные угодья приходится

около 24 % территории. На территории так же встречаются болота: верховые – на водоразделах, низинные – в поймах рек.

1.2 Описание работы и влияния на водные объекты Калининской атомной электростанции

Калининская атомная электростанция расположена в Тверской области, в 120 км от города Тверь. Находится на берегу озера Удомля, рядом расположен одноименный город. До 2004 года на станции функционировали два энергоблока, и водозабор для охлаждения системы производился из озера Удомля. В озеро Песьво сбрасывалась подогретая вода. После запуска в 2004 г. и 2011 г. третьего и четвертого энергоблоков, увеличился объем потребляемой воды. Отработанная вода стала сбрасываться в оба озера. На данный момент функционируют все 4 энергоблока, общей мощностью 4000 МВт, забор воды производится из разных источников, но большая часть водоснабжения по-прежнему осуществляется за счет воды из озер Удомля и Песьво. Так же источниками являются артезианские скважины и сеть водопроводов. Водопотребление Калининской АЭС за 2023–2024 года представлены в таблице 1 [28].

Таблица 1 – Основные параметры водопотребления Калининской АЭС

	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Разрешенный лимит
	млн. $м^3$/год	млн. $м^3$/год	млн. $м^3$/год	млн. $м^3$/год
Оборотное водоснабжение	6720,853	6823,913	6702,679	не лимитируется
Потребление воды на производственные нужды	64,281	66,614	64,499	76,47

	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Разрешенный лимит
	млн. $м^3$/год	млн. $м^3$/год	млн. $м^3$/год	млн. $м^3$/год
Хозяйственно-питьевые нужды	0,714	0,82	0,874	не лимитируется
Технический водозабор из скважин	1,316	1,826	1,6785	2,88
Хозяйственно-питьевые нужды для профилактория	0,014	0,0146	0,0156	0,1246
Водозабор из скважин для подпитки Водохранилища Калининской АЭС	7,963	7,792	5,984	11,783

По данным источника [28] забор воды производится из:

а) водохранилище Калининской АЭС (оз. Удомля и оз. Песьво);

б) 6 артезианских скважин для охлаждения реакторного отделения;

в) сеть водопроводов МУП «Удомельские коммунальные системы»;

г) 2 артезианские скважины Профилактория-санатория КлнАЭС;

д) 8 скважин для подпитки водохранилища АЭС, расположенные на участке «Елманова Горка».

Основным источником водоснабжения являются именно озера-охладители.

Характеристика озер-охладителей

Водохранилище Калининской АЭС образовано озерами Песьво и Удомля с подъемом уровня воды в них за счет строительства в устье р. Съежи гидроузла. Река Съежа – единственная река, вытекающая из озера Удомля. Приток р. Уверь, принадлежит бассейну Балтийского моря. Протяженность р. Съежи составляет 104 км, общая площадь водосбора – 1240 $км^2$. Створ плотины гидроузла

водохранилища Калининской АЭС расположен в 102,8 км от устья р. Съежи, площадь водосбора в створе гидроузла – 400 км^2. [29, 30]

Озера Удомля и Песьво питают реки Сьюча, Хомутова, Тихомандрица, Овсянка, а также несколько пересыхающих ручьев.

В 1987 году на р. Съежа была построена плотина для поддержания необходимого напорного подпорного уровня (НПУ) на озерах (156,25 м БС).

На рисунке 1 показана общая карта местности.

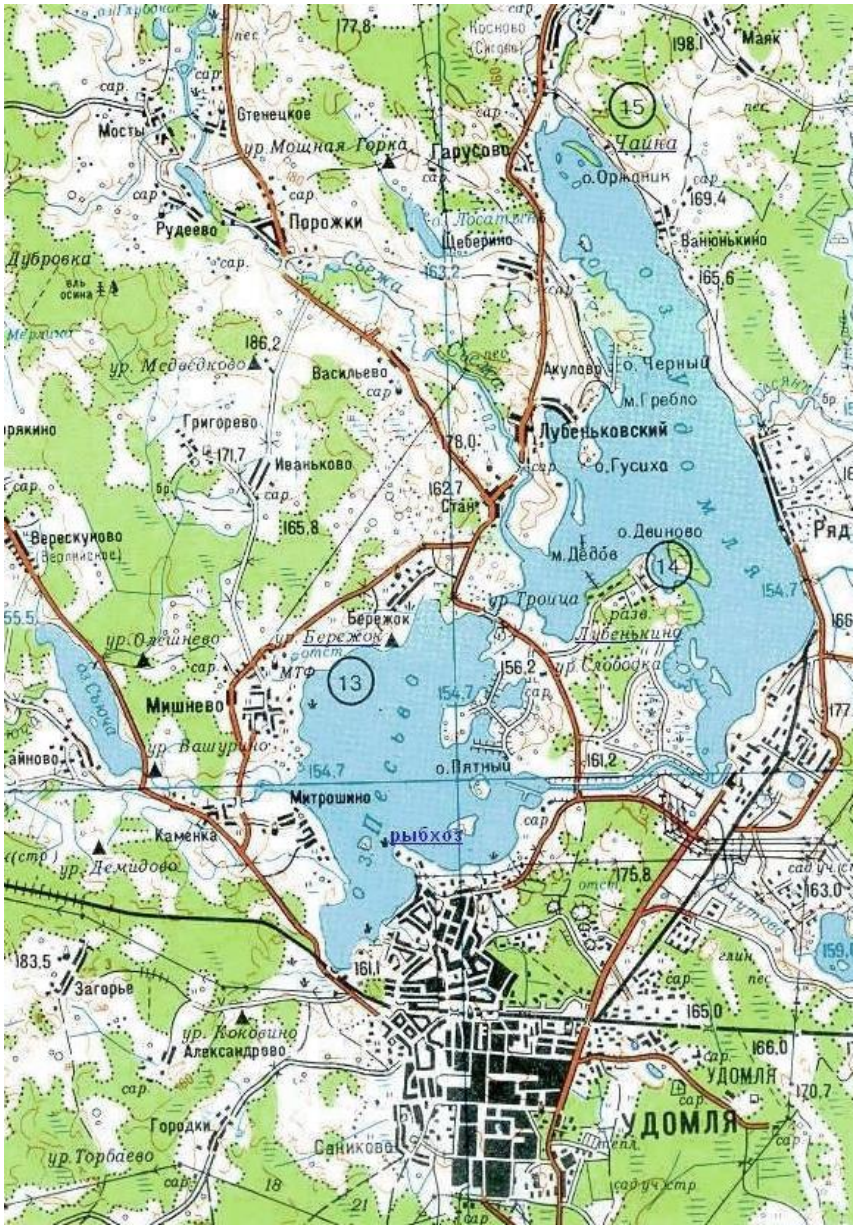


Рисунок 1 – Общая карта местности.

2 Информация о гидрометеорологических и гидрохимических показателях озер-охладителей Калининской АЭС

2.1 Оценка изменений метеорологических показателей

Ближайшая метеостанция (МС) расположена в д. Ряд на восточном берегу оз. Удомля. Метеорологические наблюдения на посту начались в мае 1943 г. Деревня Ряд расположена в южной части Вышневолоцкой низины, рельеф местности ровный, слегка холмистый. [31]

Хронологический график среднегодовых температур представлен на рисунке 2 за период с 1966 по 2024 гг.

На рисунке 2 видно, что есть несколько лет, характеризующиеся повышенной среднегодовой температурой – 1975 г, 1989 г. Минимальные среднегодовые температуры отмечаются в 1966, 1976, 1987 гг. За последние 15 лет минимальная среднегодовая температура отмечена в 2012 году, и составила 3,53 ºС, в то время как минимальная среднегодовая температура воздуха в 1976 году составила 1,60 ºС. Повышение среднегодовой температуры говорит об изменении климата, которое в том числе может быть связано с работой Калининской АЭС.

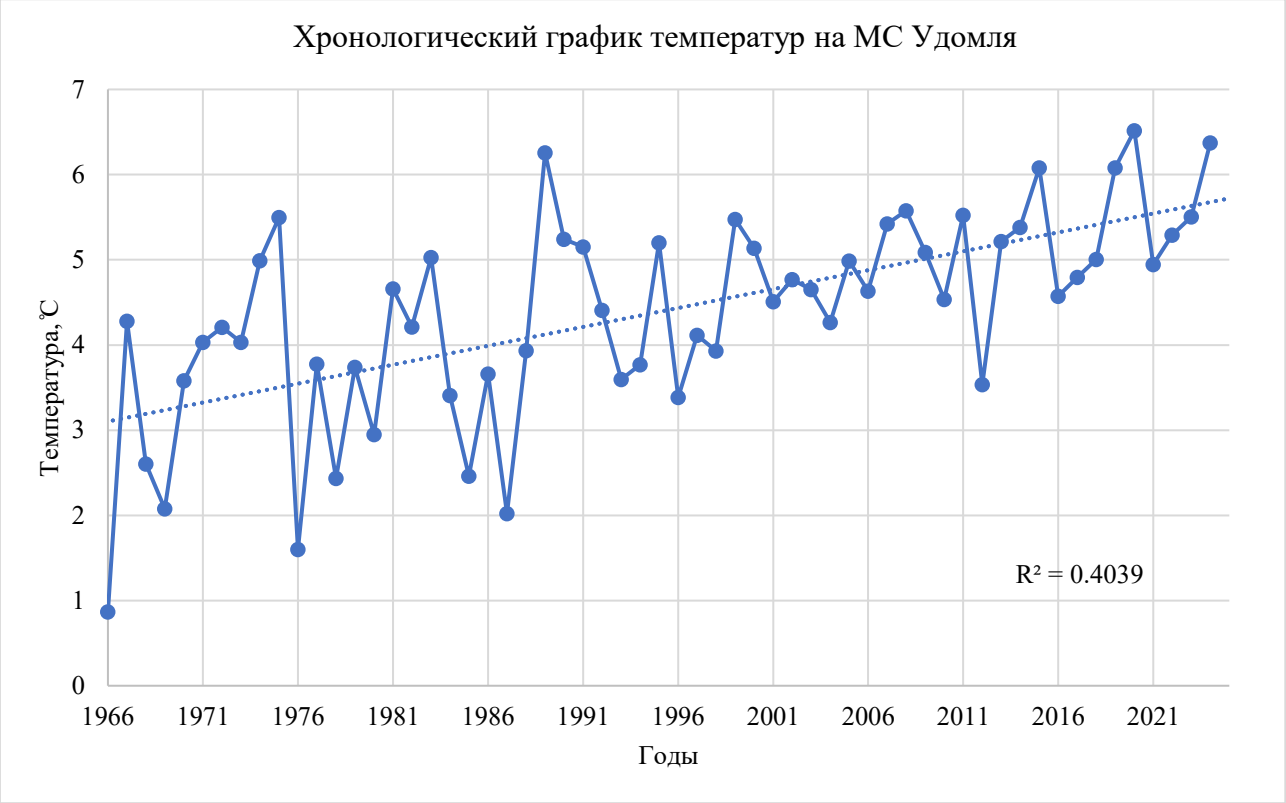


Рисунок 2 – Хронологический график среднегодовых температур.

Отмечается значимый тренд на повышение температуры, о чем свидетельствуют статистические характеристики: R^2=0,40, $t_{2\alpha}$=2,00 <R/σ_r=8,05.

Хронологический график хода осадков за период 1966–2025 гг. показан на рисунке 3 за период с 1966 по 2024 гг.

На рисунке 3 видно, что наблюдается увеличение количества осадков, выпадающих на озера и их водосборы. Максимальные осадки отмечаются в 1971, 1987, 2006, 2010, 2016 годах.



Рисунок 3 – Хронологический график осадков.

Анализ временного ряда суточных сумм осадков на метеостанции Удомля за период с 1966 по 2020 год показал, что абсолютные максимумы осадков (свыше 100 мм) наблюдались преимущественно в последние два десятилетия. В то же время в 1960–1980-х годах такие экстремумы фиксировались значительно реже.

2.2 Оценка изменения гидрологического и термического режима

Гидрологический режим

Озера Удомля и Песьво имеют ледниковое происхождение. Общая площадь водной поверхности около 20 км^2, средняя глубина озера Удомля – 11,7 м, оз. Песьво – 6,4 м. Сток из озер осуществляется по реке Съежа, в 1987 г. зарегулированной плотиной. Объем среднего многолетнего стока в створе гидроузла 116,7 млн м^3, минимальный наблюденный расход воды – 0,02 м^3/с, максимальный – 50,2 м^3/с [29].

Наибольшая часть годового стока для р. Съежи приходится на долю весеннего половодья. Половодье начинается в первой–второй декаде апреля, дождевые паводки чаще всего наблюдаются в июле.

Регулярные мониторинговые гидрохимические наблюдения Тверским ЦГМС производятся только на озерах Селигер и Стерж. На Удомле и Песьво измерения производились лишь в отдельные периоды. [5]

Сейчас на озерах, притоках и реке Съеже есть гидрологические посты – они показаны на рисунке 4. Однако, измерения на этих постах отсутствуют в открытом доступе.

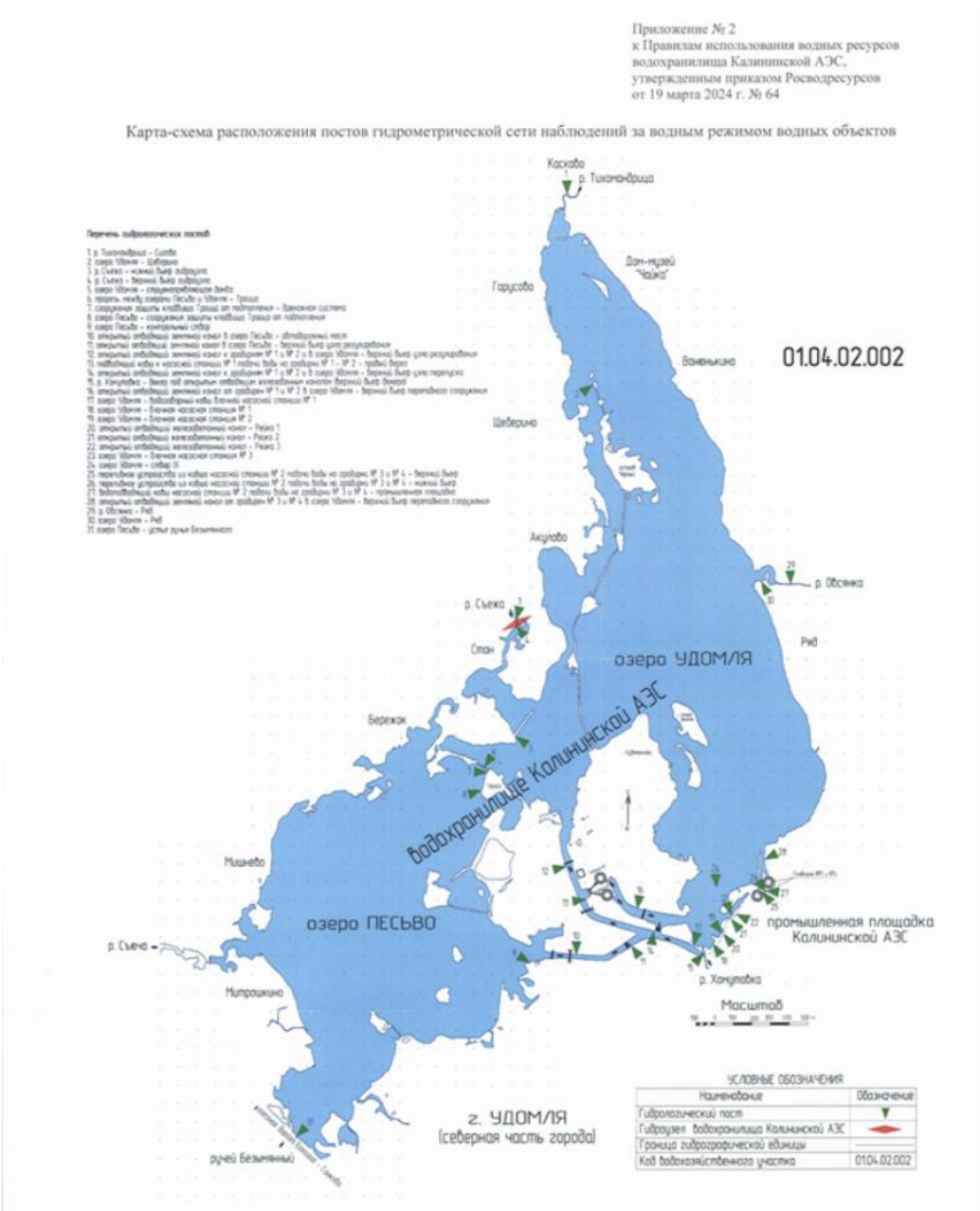


Рисунок 4 – Карта-схема расположения гидрологических постов [28].

Термический режим

В 2010 году в северо-западной части оз. Удомля была построена водонаправляющая дамба. До зарегулирования стока р. Съежи толщина льда на озерах в период ледостава достигала 0,4–0,6 м. Начало ледостава наблюдалось в середине ноября, окончание – в конце апреля. После зарегулирования стока ледовый режим изменился – сплошное ледяное поле образовывалось только в некоторых местах, не участвующих в циркуляции вод. После строительства дамбы в общей схеме циркуляции начала принимать участие северная часть

оз. Удомля. На данный момент на озерах наблюдается лишь образование ледовых заберегов толщиной до 0,4 м. На рисунке 5 представлен снимок территории за зимний период. На озерах не наблюдается ледостав, в то время как соседнее озеро Сьюча полностью покрыто льдом.

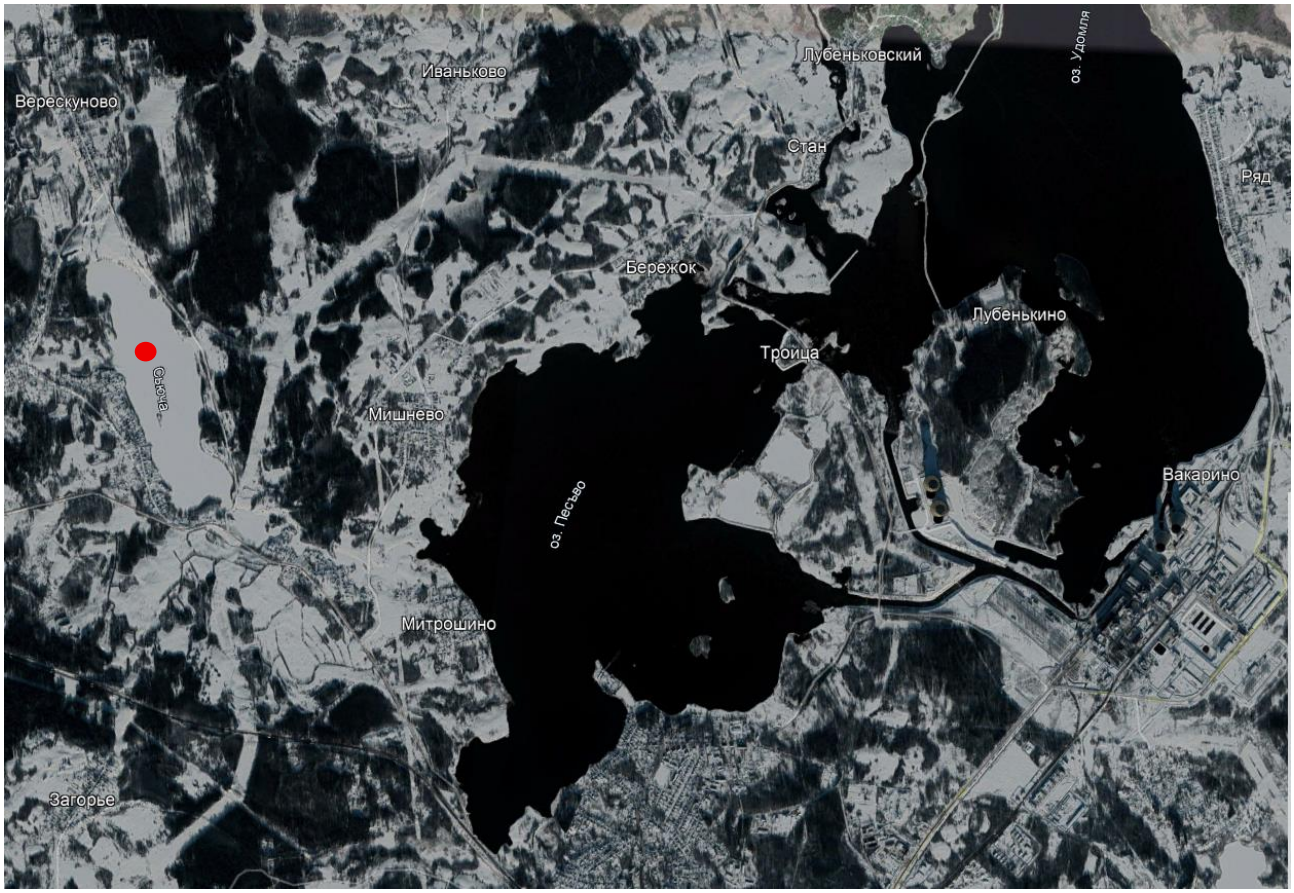


Рисунок 5 – Спутниковый снимок территории за зимний период, *Google Earth Pro*. Оз. Сьюча отмечено красной меткой.

3 Формирование базы данных для исследования

Основной задачей данной работы стал анализ многолетней минерализации озер-охладителей Калининской АЭС. Прямых измерений в открытом доступе нет, поэтому были использованы доступные методы.

3.1 Данные дистанционного зондирования

При помощи данных дистанционного зондирования возможно определить температуру поверхности земли. Для этих целей используются спутниковые снимки космических аппаратов *Landsat* 8-9. Такие аппараты имеют на борту датчики видимого (*OLI*), коротковолнового и ближнего диапазонов, а также камеры дальнего инфракрасного диапазона (*TIRS*) [8]. Архивы спутниковых снимков находятся в свободном доступе, например, на сайте *USGS – Earth Explorer* [35].

Для примера, на рисунке 6 показан необработанный спутниковый снимок исследуемых озер на 5 сентября 2024 г., в спектре (*band*) 10.

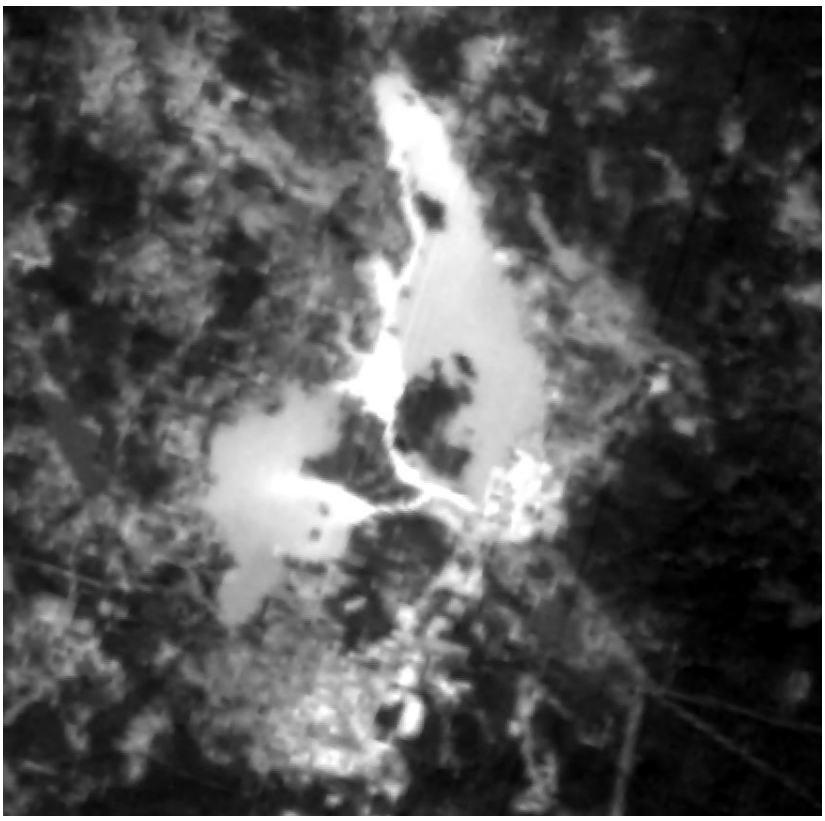


Рисунок 6 – Спутниковый снимок до обработки, *band* 10. (05.09.2024).

Обработка спутниковых снимков производилась в программе *QGis* при помощи функции «калькулятор растров». Для обработки использовалась следующая формула [33]:

$$Tb(10) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{(ML \cdot DN + AL} + 1\right)}, \quad (1)$$

где $Tb(10)$ – яркостная температура слоя в кельвинах;

K_1, K_2 – константы для данного вида спутника;

ML – множитель коэффициента масштабирования;

DN – цифровое число из пикселя файла;

AL – аддитивный коэффициент масштабирования.

Таким образом можно получить яркостную температуру поверхности.

Для пересчета яркостной температуры в реальную температуру поверхности необходимо ввести поправку, полученную с помощью спектра 11. Пример снимка в указанном спектре показан на рисунке 7.

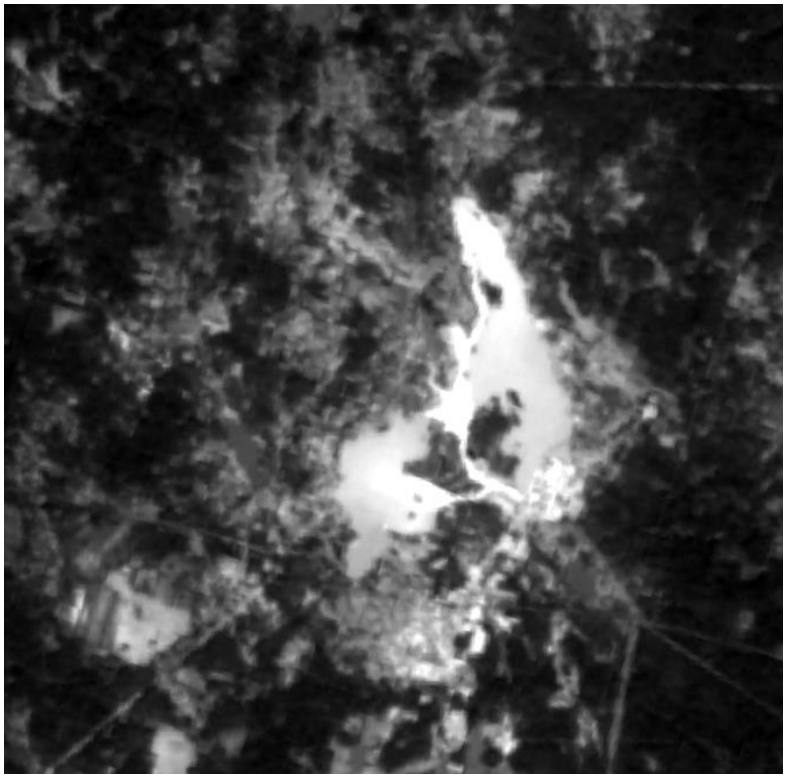


Рисунок 7 – Спутниковый снимок поверхности, *band* 11 (05.09.2024).

Для определения температуры в спектре 11 используется формула:

$$Tb(11) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{(ML \cdot DN + AL} + 1\right)}. \quad (2)$$

У каждого спектра свои значения констант, для спутника *Landsat* эти значения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов и констант для спутниковых снимков *Landsat* 8-9

Коэффициент	*Band* 10	*Band* 11
K_1	774,8853	480,8883

K_2	1321,0789	1201,1442
ML	0,00033420	0,00033420
AL	0,1	0,1

Для получения температуры вводится поправка по формуле:

$$T = Tb(10) + 1{,}4 \cdot (Tb(10) - Tb(11) - 0{,}4) - 273{,}15. \quad (3)$$

Таким образом, можно получить спутниковый снимок реальных температур поверхности в градусах Цельсия, пример показан на рисунке 8.

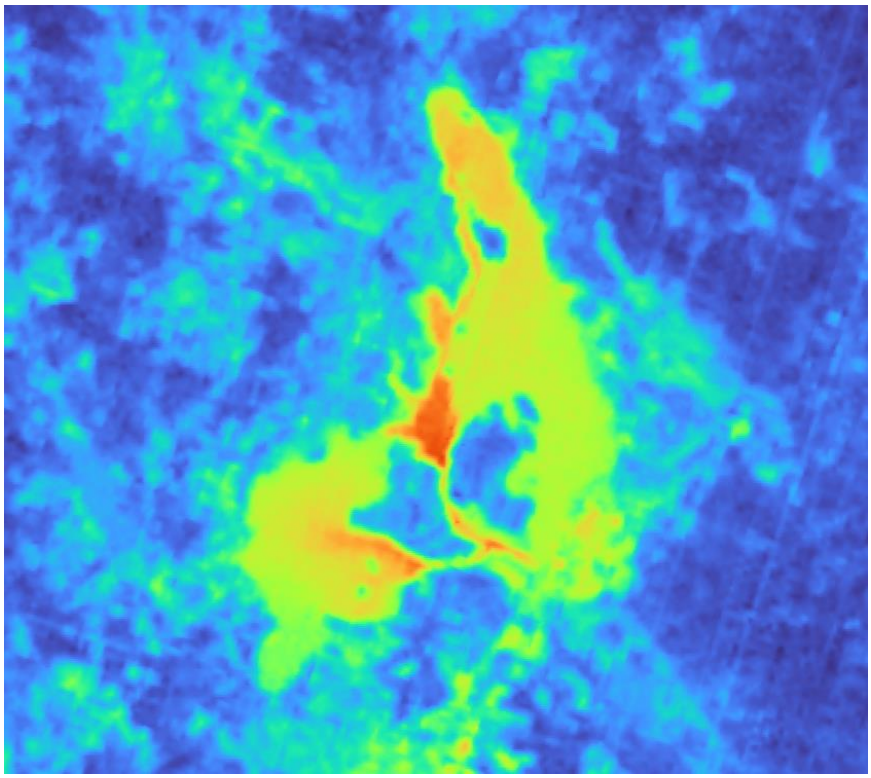


Рисунок 8 – Температуры поверхности на 05.09.2024 г.

Приложение *QGis* позволяет снять значение температуры с любой точки поверхности. Таким образом, были обработаны спутниковые снимки с 2014 по 2024 гг. Был выбран период, с наименьшей облачностью – август–сентябрь. Сложность выбора снимков заключается в облачности – не все снимки оказались

пригодны для обработки. Например, снять значения со снимка за 2022 год не удалось.

Все полученные спутниковые снимки представлены в Приложении А.

Для оценки влияния АЭС на термический режим водоемов были сняты значения температур в 9 точках на поверхности, точки показаны на рисунке 9. Значения температур в этих точках представлены в таблице 3.

Точки 1–5 отражают температуру на поверхности водохранилища АЭС, точки 1, 3 расположены в местах сброса отработанных вод. Точки 6-9 расположены на соседних водоемах района, они необходимы для оценки влияния работы АЭС на водохранилище.

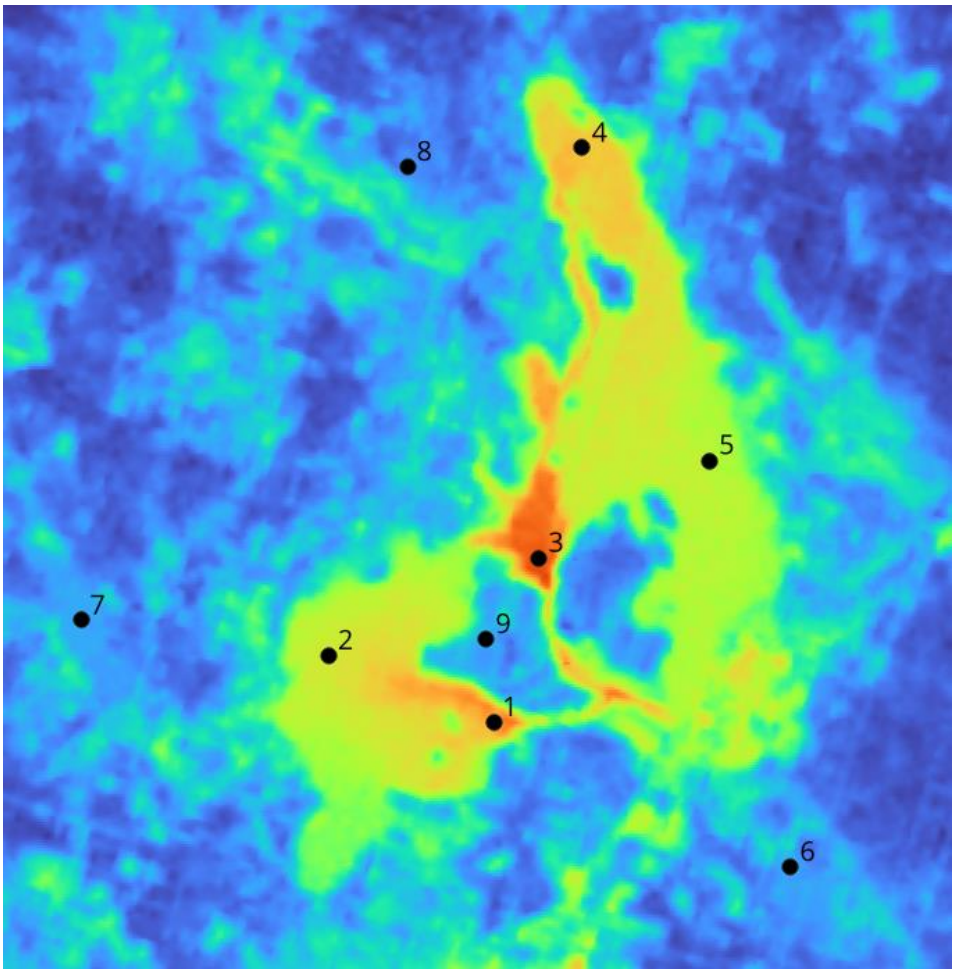


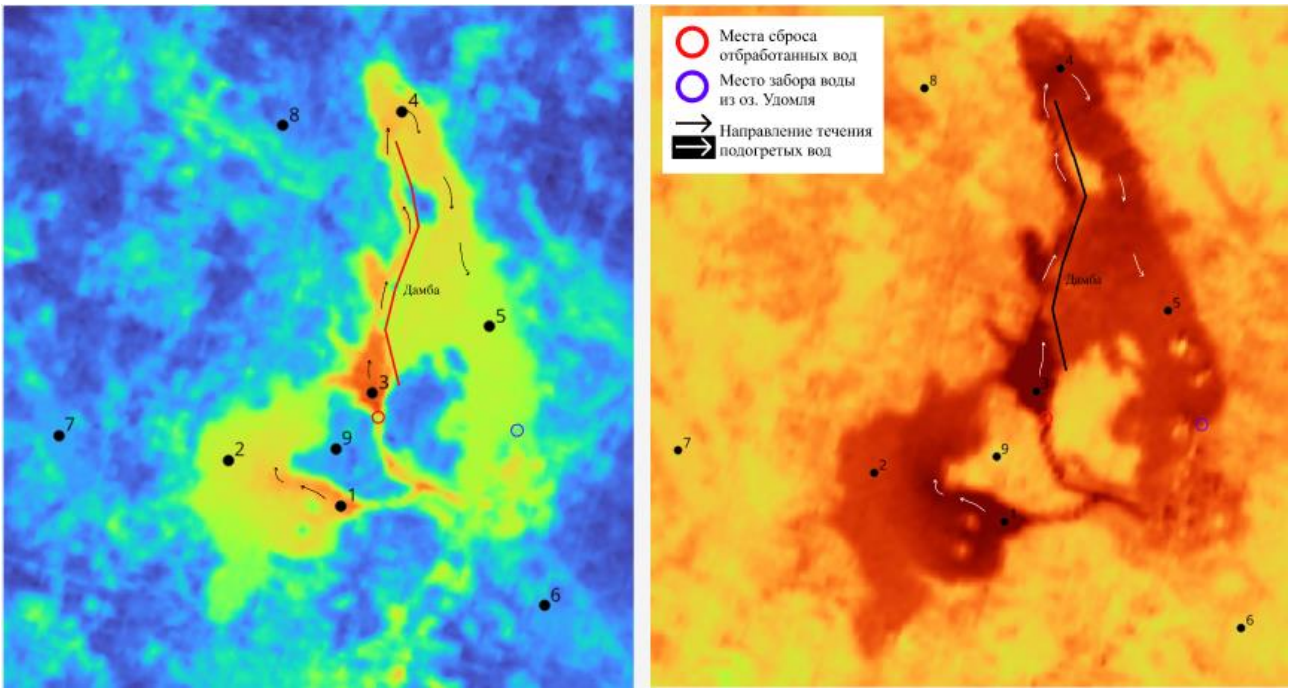
Рисунок 9 – Точки измерения температур, 05.09.2024

Таблица 3 – Температура поверхности воды в выбранных точках

	Температура поверхности воды, полученная по спутниковым снимкам, ℃									Среднемесячная температура воздуха, ℃
	Озера-охладители					оз. Саминец	оз. Съюча	оз. Лосатынь	заводь Артемиха	МС Удомля
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
26.09.2014	21,5	17,9	23,6	19,8	20,0	9,8	11,0	10,2	10,1	11,0
13.09.2015	26,50	21,6	27,2	24,2	21,7	14,2	14,8	14,2	14,3	12,6
14.08.2016	22,2	20,7	23,8	22,6	21,3	16,6	18,5	8,7	18,3	16,0
17.08.2017	27,9	24,8	28,8	25,5	25,3	19,7	19,2	19,8	19,9	17,1
05.09.2018	25,3	22,7	27	24,2	22,0	17,1	16,8	17,2	17,7	11,4
08.09.2019	24,4	22,4	24,8	22,7	22,2	14,0	15,3	14,2	12,2	12,8
26.09.2020	21,9	19,1	24,5	20,9	21,1	–	11,8	11,8	12,7	10,3
28.08.2021	22,3	19,6	24,1	21,6	21,6	14,7	15,7	15,3	14,0	15,5
23.08.2022	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16,3
19.09.2023	22,9	19,3	24,9	21,5	19,5	13,7	13,8	13,8	14,4	8,3
05.09.2024	28,0	25,1	29,1	26,6	24,2	18,7	18,6	18,4	18,9	13,8
08.09.2025	26,5	24,1	28,6	24,8	23,8	17,2	17,5	17,3	17,3	15,0

Снимки охватывают период работы всех четырех энергоблоков станции. Температура воды на озерах-охладителях повышена относительно других водоемов района на 6–10 ℃. На снимках (рисунок 10) так же отчетливо видно направление движения подогретых вод вдоль дамбы в северный залив озера Удомля. Температура в месте забора воды (район точки 5) меньше, чем температура воды в северной части (точка 4).

а) *б*)



Рисунки 10 – Направление движения подогретых вод, дамба на озерах: *а* – 05.09.2024; *б* – 13.09.2015.

3.2 Данные экологических отчетов

На сайте атомной электростанции ежегодно публикуются отчеты по экологической безопасности, освещающие основную деятельность Калининской АЭС, воздействие на окружающую среду, различные выбросы [12-28].

На территории проводится регулярный мониторинг окружающей среды, в том числе экологический контроль качества поверхностных вод в местах

водопользования. Результаты этого контроля за 2024 год представлены в таблице 4 [28]. Схема контроля гидрохимических показателей показана на рисунке 11.

Таблица 4 – Результаты экологического контроля качества поверхностных вод

Наименование	Место отбора		ПДК мг/дм^3
	Прорезь между оз. Удомля и Песьво, мг/дм^3	Оз. Удомля, створ VIII-3 (поверхность), мг/дм^3	
Ион аммония	0,25	0,208	0,5
БПКn	1,927	1,608	3
Взвешенные вещества	3,158	3,608	10
Железо общее	0,055	0,058	0,1
Нитрат-ион	1,134	1,067	40
Нитрит-ион	0,018	0,025	0,08
Сульфат-ион	9,3	9,108	100
Фосфат-ион	0,076	0,081	0,15
Хлорид-ион	6,817	6,345	300
Сухой остаток	226,5	234,667	1000
Нефтепродукты	0,012	0,014	0,05



Рисунок 11 – Схема контроля гидрохимических показателей на водоеме-охладителе (водохранилище Калининской АЭС) [28].

Минерализация воды зависит от содержания в ней ионов солей. Наибольшая доля приходится на сульфат-ион и хлорид-ион, поэтому эти вещества были выбраны для дальнейшего анализа.

Проанализированы отчеты за 2006–2024 г. Содержание главных ионов (относительно общего количества) представлено на рисунке 12.



Рисунок 12 – Содержание главных ионов.

Отмечено понижение содержания хлорид-ионов и повышение содержания сульфат-ионов. Линии тренда значимы (хлорид-ион: R^2=0,52, $t_{2\alpha}$=2,11 < R/σ_r=6,12; сульфат-ион: R^2=0,39, $t_{2\alpha}$=2,11 < R/σ_r=4,18).

Согласно О.А. Алекину («Общая гидрохимия», 1953 г. [1]) общей тенденцией является увеличение относительного содержания ионов Cl^- и Na^- с повышением минерализации воды. Таким образом, можно предположить понижение солесодержания на озерах Удомля и Песьво за период 2006–2024 гг.

Помимо экологических отчетов, проводились нерегулярный отбор проб воды на химический и биологический анализы. Например, по результатам исследования 2019 года, озеро Удомля отнесено к озерам со средней минерализацией воды (308 мг/дм^3). Так как измерения проводились единично, их недостаточно для выявления динамики. Более подробно это изучено в источниках [2-6, 10, 11].

3.3 Оценка минерализации вод озер-охладителей по экспедиционным данным

Была пройдена акселерация проекта на НПО «Гидротехпроект» в виде стажировки.

НПО «Гидротехпроект» проводит регулярный мониторинг вод озер-охладителей Калининской АЭС. В том числе производится измерение минерализации (солесодержания) в различных точках. НПО «Гидротехпроект» любезно предоставило данные, которые не являются закрытыми в экспедиционных отчетах.

Изменение содержания минерализации за 2010 – 2022 гг. показано на рисунке 13.

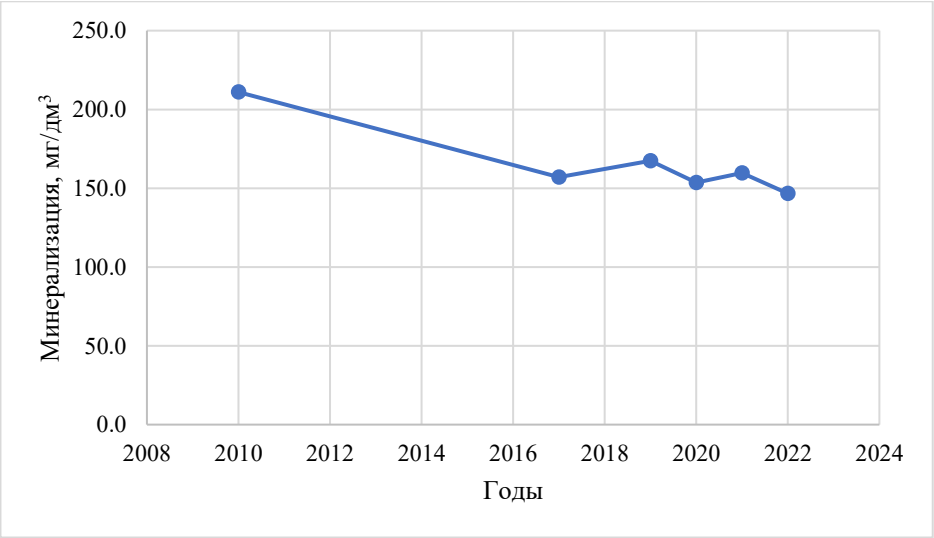


Рисунок 13 – Содержание минерализации по результатам измерения на озерах-охладителях.

За период 2010–2022 гг. минерализация понизилась на 30 %.

Анализируя полученные данные, можно говорить о понижении солесодержания на озерах-охладителях Калининской АЭС, что согласуется с результатами, полученными при анализе экологических отчетов.

3.4 Рекогносцировочное обследование объекта

В рамках рекогносцировочного обследования был совершен выезд на берег оз. Песьво 06.04.2026. На рисунке 14 показан общий вид с берега оз. Песьво.



Рисунок 14 – Вид с берега озера Песьво на градирни.

Были проведены измерения качества воды с помощью тест-полосок. Пробы были взяты в двух точках, отмеченных на рисунке 15.

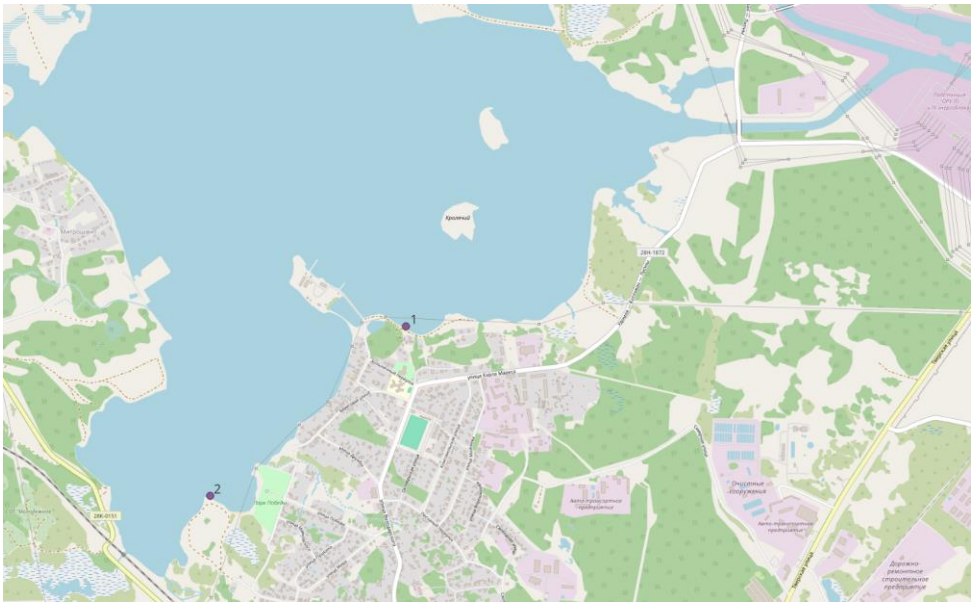


Рисунок 15 – Расположение точек отбора проб.

Результаты проверки представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты проверки

Параметр	Точка №1	Точка №2	Параметр	Точка №1	Точка №2
pH	7,7	7,7	Свободный хлор, мг/л	3	0.5
Общая щёлочность, мг/л	120	100	Бром, мг/л	4	1
Карбонаты	80	100	Нитриты, мг/л	0	0
Общая жесткость, мг/л	250	100	Нитраты, мг/л	10	5
Циануровая кислота, мг/л	0	0	Железо, мг/л	0	0
Медь, мг/л	0	0,1	Хром/ Cr(VI), мг/л	0	0
Ртуть, мг/л	0	0	Свинец, ppb	0	3
Общий хлор, мг/л	3	3	Фторид, мг/л	0	3

Также проводилось измерение температуры термометром. Температура в точке 1 составила 23 ℃, в точке 2 – 19 ℃. Измерения проводились в 13:42 и 14:28 соответсвенно. Температура воздуха в это время достигала 10–12 ℃. На рисунках 16–17 изображен процесс определения параметров воды и измерение температуры.



Рисунок 16 – Определение параметров.



Рисунок 17 – Измерение температуры воды в озере Песьво.

По результатам проверки выявлено повышенную жесткость воды, наличие свободного хлора, свинца, фториды, повышенную температуру воды для данного времени года.

На берегах озера обнаружено большое количество мусора, что так же может влиять на экологическое состояние вод озер.

4 Прогнозирование изменения динамики солесодержания в озерах

4.1 Солесодержание

Солесодержание в общем виде зависит от геологического строения местности и элементов водного баланса (приток, осадки, испарение и др.). Так как геологические условия постоянны в данной местности, изменение солесодержания будет зависеть от изменения притока, осадков и испарения.

При расчете испарения как элемента водного баланса, учитывается скорость и направление ветра над акваторией, упругость водяного пара, температура и др.

Приток в озера относительно постоянен, зависимость солесодержания от него крайне мала – за время работы АЭС единственным изменением стала подпитка водохранилища из скважин. Так как химический состав воды из скважин нам не известен, влияние этого параметра на солесодержание выявить невозможно.

Для выявления зависимости были сняты значения температур поверхности воды со спутниковых снимков на те даты, в которые производились измерения минерализации.

Большая часть измерений производилась в периоды, на которые нет пригодных к обработке спутниковых снимков – исследуемая территория покрыта облаками. По этой причине были выбраны следующие снимки местности за даты: 17.08.2017, 09.04.2019, 12.09.2019, 11.05.2022, 12.06.2022. На рисунках 18–20 представлены снимки за 2017, 2022 года. На рисунке 21 показан снимок за 11.05.2022 с облачностью, не позволяющей снять значения температур.

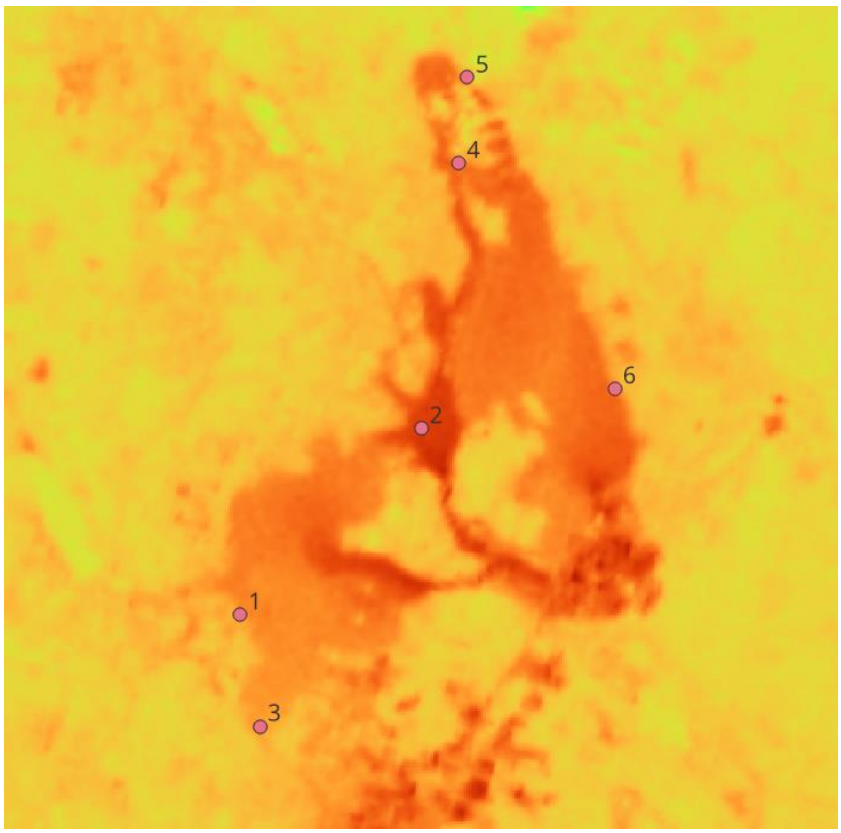


Рисунок 18 – Температуры поверхности и места измерения минерализации, 17.08.2017.

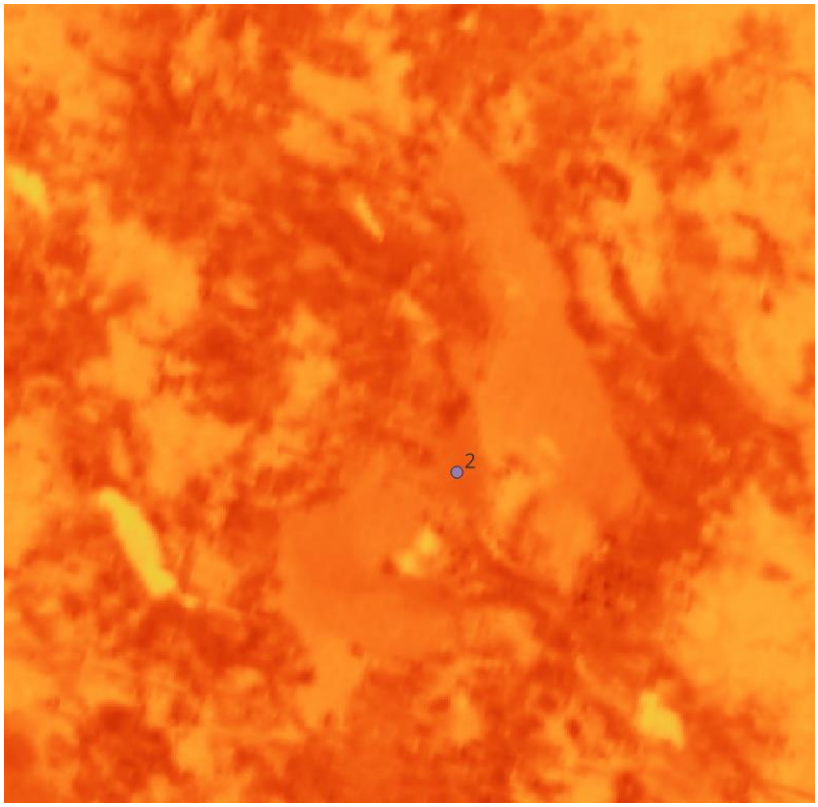


Рисунок 19 – Температуры поверхности и место измерения минерализации, 11.05.2022.

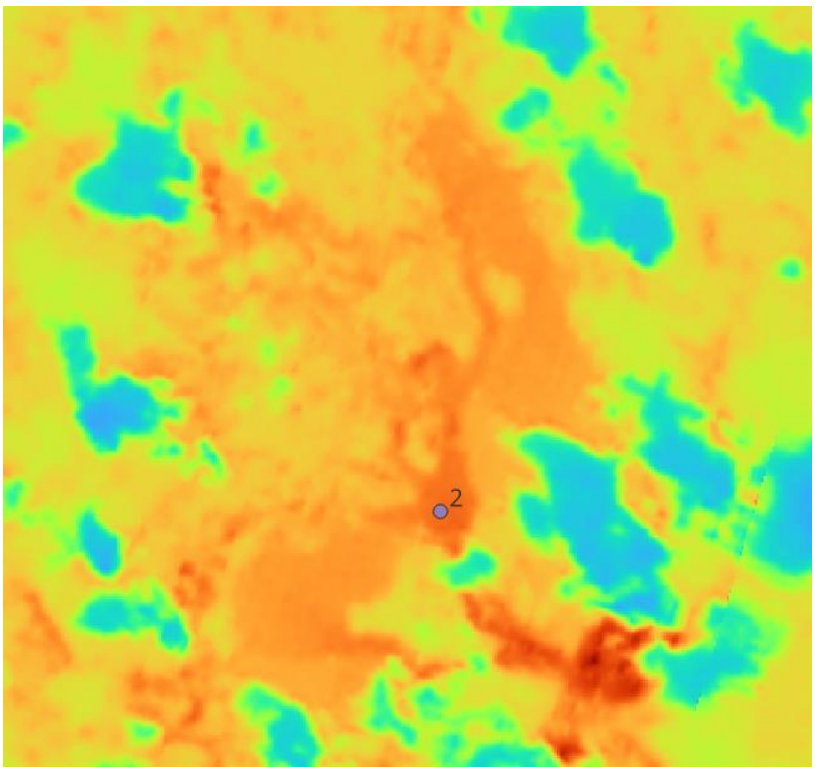


Рисунок 20 – Температуры поверхности и место измерения минерализации, 12.06.2022.

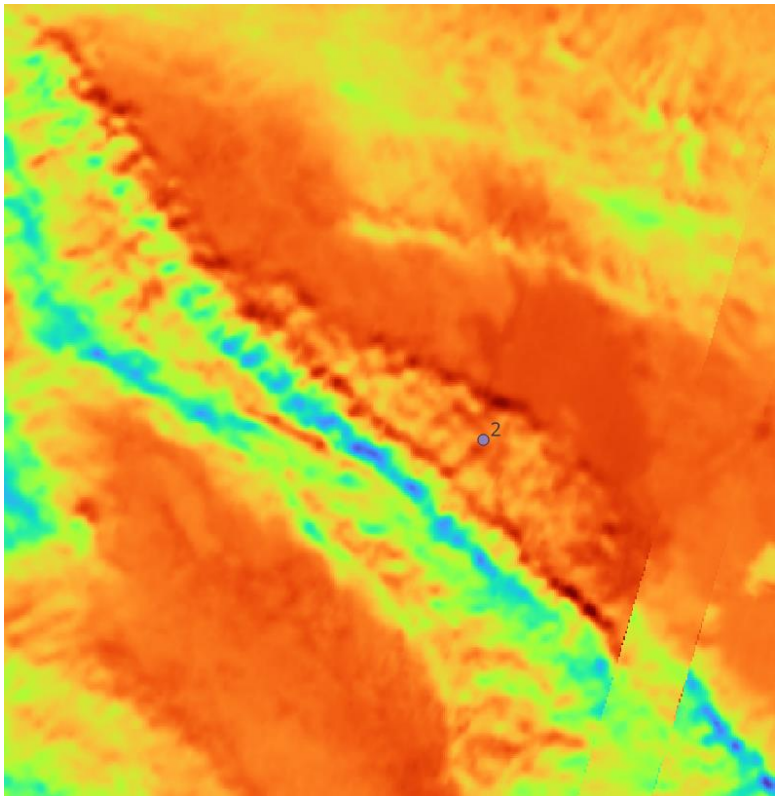


Рисунок 21 – Пример снимка с облачностью, непригодного для снятия температуры поверхности, 21.05.2022.

В основном, измерения минерализации производилось в месте забора воды из озера Удомля и в месте сброса воды в озеро Песьво. В 2017 году было проведено несколько измерений, их места отмечены на рисунке 12 точками 1–6. Для дальнейшей обработки были выбраны места сброса воды в озеро Песьво и точка 2 на снимке 2017 года.

Для указанных дат также были взяты значения сумм осадков за три дня до измерения (с учетом времени добегания осадков по водосбору озер). Все данные представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения минерализации, температур, сумм осадков для указанных дат

	Минерализация, мг/л	Температура поверхности воды, ℃	Сумма осадков, мм
11.05.2022	127	22,59	2,8
14.06.2022	153	25,63	2,8
09.04.2019	168	17,21	1,0
12.09.2019	167	25,35	0,0
17.08.2017	157	27,79	0,3

Все точки были нанесены на трехмерный график с помощью компьютерного приложения *MatLab* и также построен график зависимости минерализации от температуры воды (рисунки 22, 23).

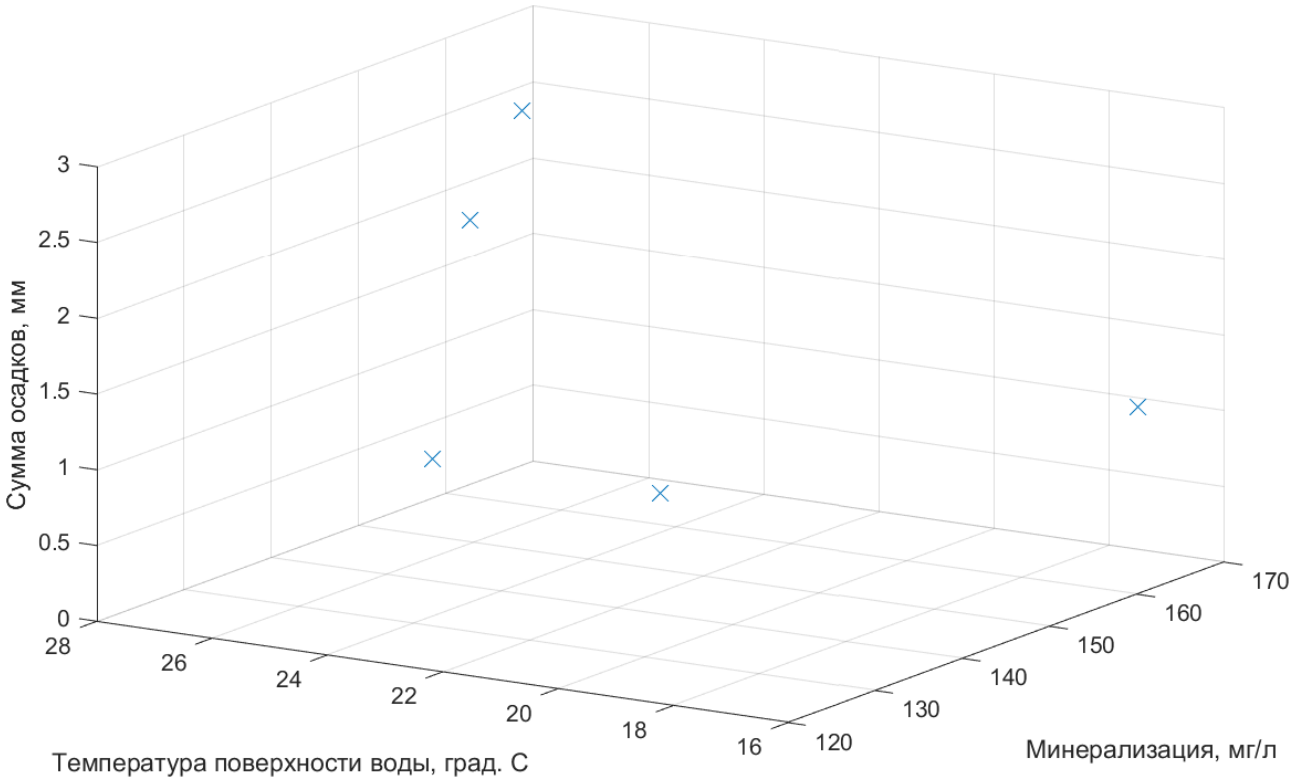


Рисунок 22 – Трехмерный график соотношения минерализации, температур и сумм осадков.

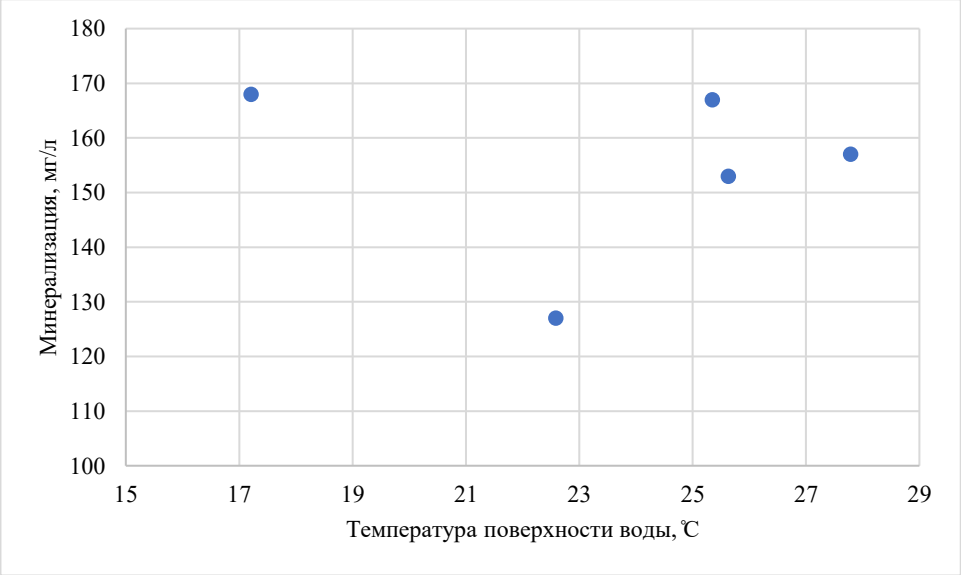


Рисунок 23 – Зависимость минерализации от температуры поверхности воды.

На графиках видно, что существует зависимость между минерализацией и температурой воды и осадками, но выпадает одна точка на обоих графиках – 09

апреля 2019 года. В этот день наблюдалась повышенная минерализация при относительно низкой температуре поверхности воды.

Конечно, сделать значимые выводы по построенным графикам не представляется возможным из-за малого объема информации.

Развитию данного направления исследования будут посвящены дальнейшие работы.

4.2 Сценарная оценка климата

Режим озер не является естественным и управляется человеком – при помощи плотины в устье р. Съежа контролируется сток из озер, а дамба изменила циркуляцию вод. Подпитка водохранилища происходит в том числе из скважин, химический состав вод которых неизвестен [28]. Таким образом, предсказать изменение солесодержания крайне сложно. Однако, минерализация в том числе зависит от испарения. Подпитка водохранилища компенсирует испарение, и объема воды достаточно для нормальной работы АЭС в данных климатических условиях.

Изменение климата приводит к изменению температуры поверхности и изменению количества выпавших осадков – одних из основных компонентов водного баланса.

Для прогнозирования изменения этих параметров используются климатические сценарии. Климатический сценарий – предполагаемое изменение климата в будущем, основанное на различных факторах, основным из которых является антропогенное влияние.

Существует множество возможных сценариев, для структурирования которых используются три существенных фактора: степень изменения климата (интенсивность дополнительного радиационного воздействия из-за парникового эффекта), различные социально-экономические сценарии *SPA* (*Shared*

Socioeconomic Pathways) («Общие предположения климатической политики») [36].

с

1) *SSP 126* – наиболее оптимистичный сценарий изменения климата, предполагающий принятие мер по снижению антропогенной нагрузки.

2) *SSP 245* – представляет средний сценарий будущих выбросов парниковых газов, так же предполагающий принятие мер по уменьшению антропогенной нагрузки.

3) *SSP 370* – предполагает отсутствие мер по снижению антропогенной нагрузки

4) *SSP 585* – представляет собой наименее благоприятный сценарий, предполагающий увеличение техногенной нагрузки на экосистему.

Использовались сценарии Института метеорологии имени Макса Планка (*MPI*). Рассмотрены климатические сценарии среднемесячных значений температур и осадков в четырех точках, отражающих изменение метеопараметров на рассматриваемой территории – они указаны на рисунке 24, а их координаты в таблице 7.

Таблица 7 – Координаты точек

№ точки	Широта	Долгота
1	58.75520927	33.75
2	56.89001	33.75
3	58.75520927	35.625
4	56.89001	35.625

Получены данные для трех периодов: 2035–2054 гг., 2055–2074 гг., 2075–2094 гг. Климатические сценарии брались с сайта *Earth System Grid Federation* [34], с последующей обработкой в *Python*.

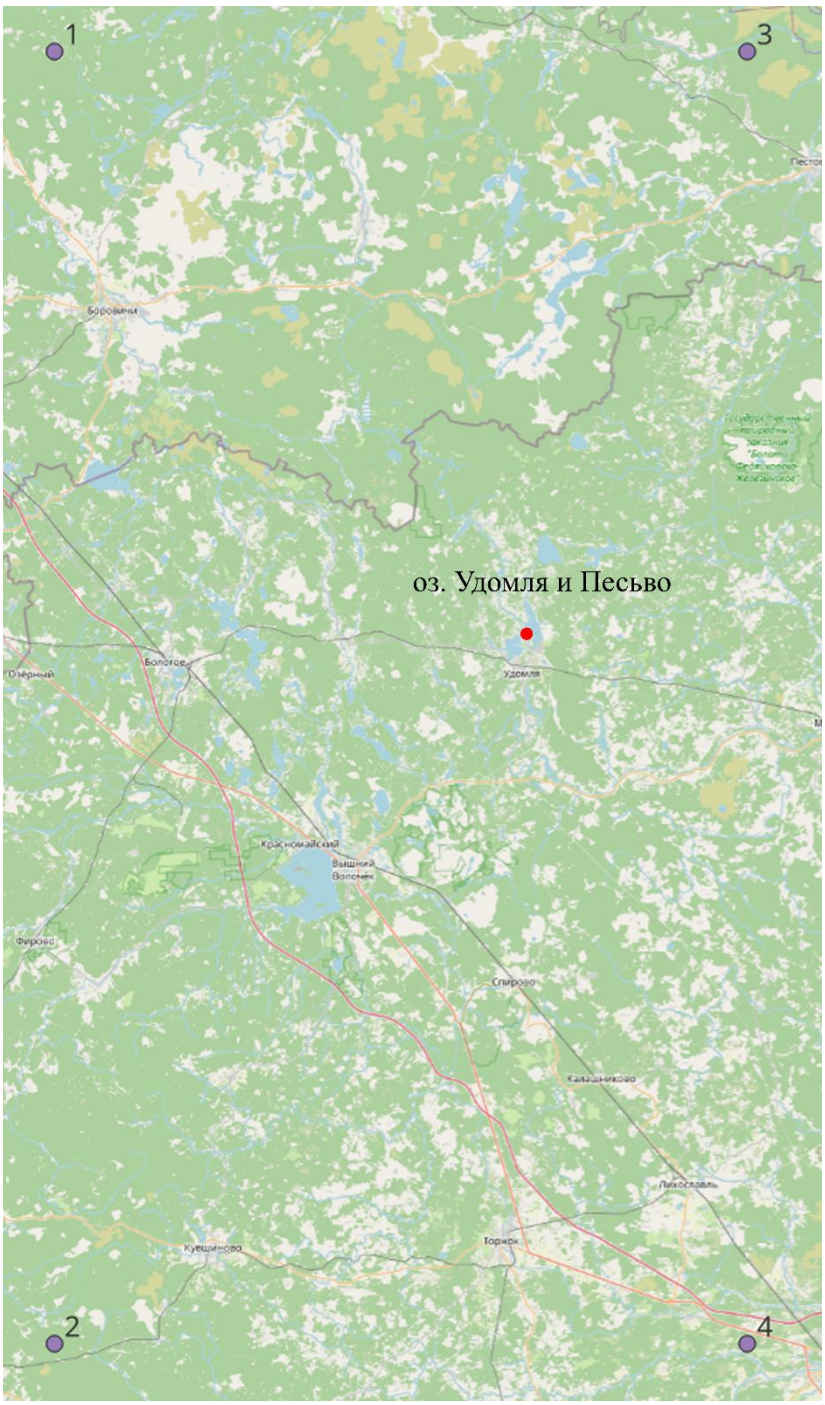


Рисунок 24 – Точки, для которых были рассмотрены климатические сценарии.

По полученным данным построены хронологические графики среднегодовых температур и осадков для каждой точки по каждому климатическому сценарию. Для примера приведены графики для точки 1 на рисунках 25–28.

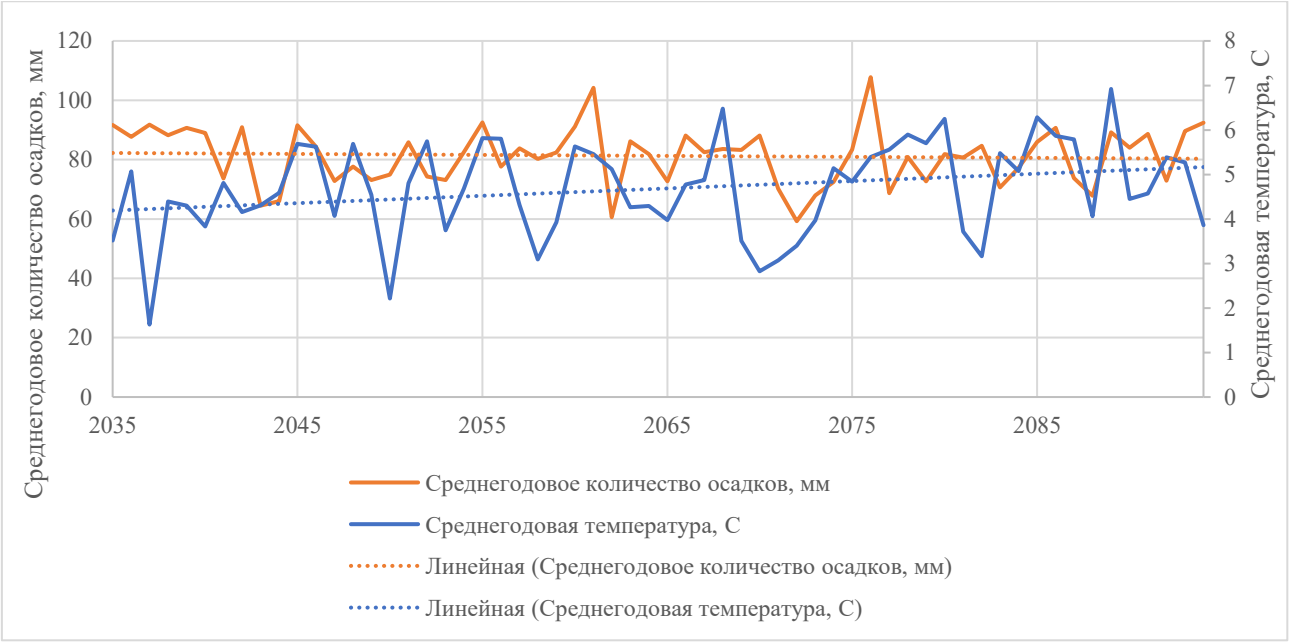


Рисунок 25 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 126*, 2035–2094 гг.

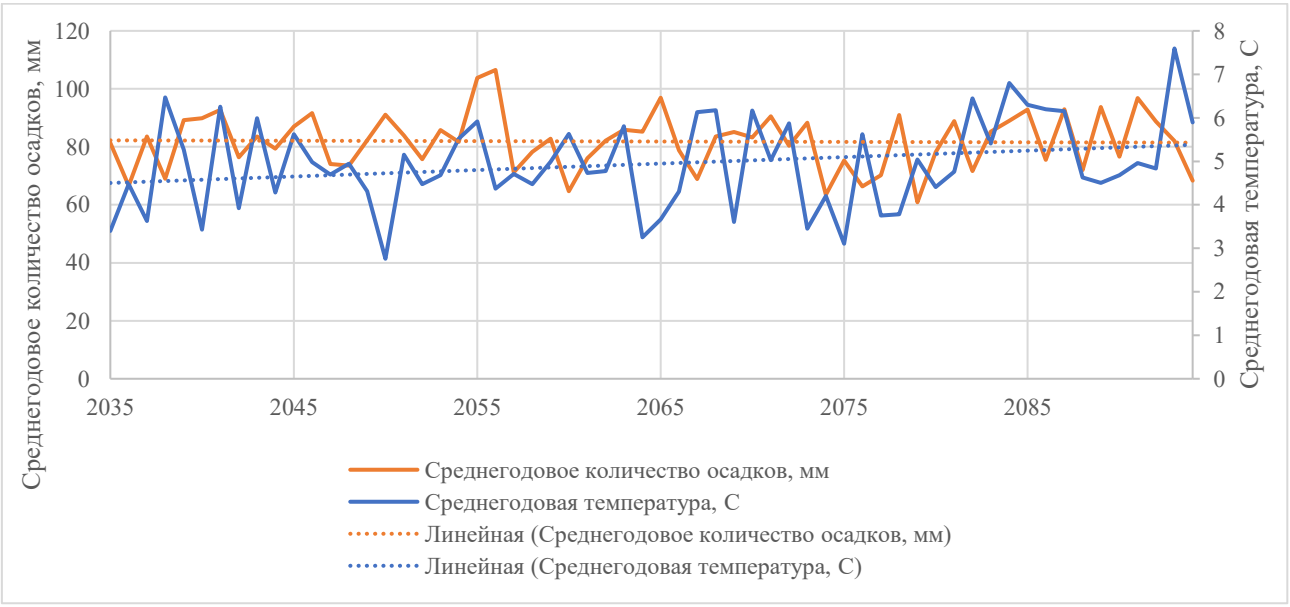


Рисунок 26 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 245*, 2035–2094 гг.

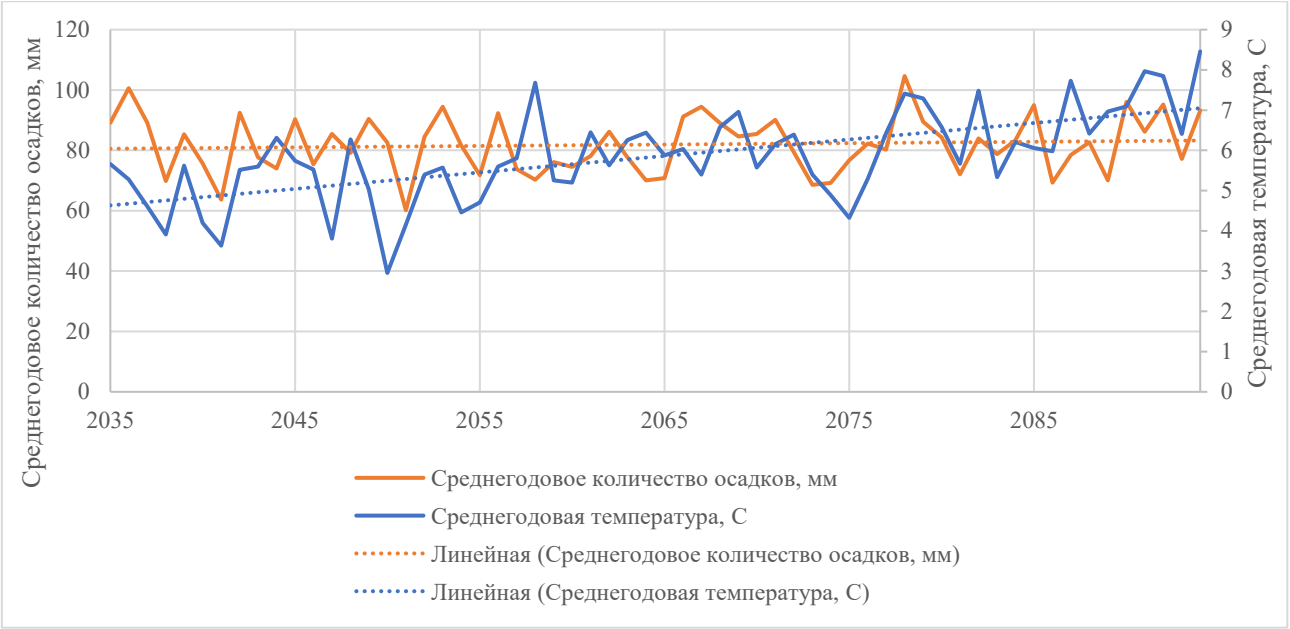


Рисунок 27 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 370*, 2035–2094 гг.

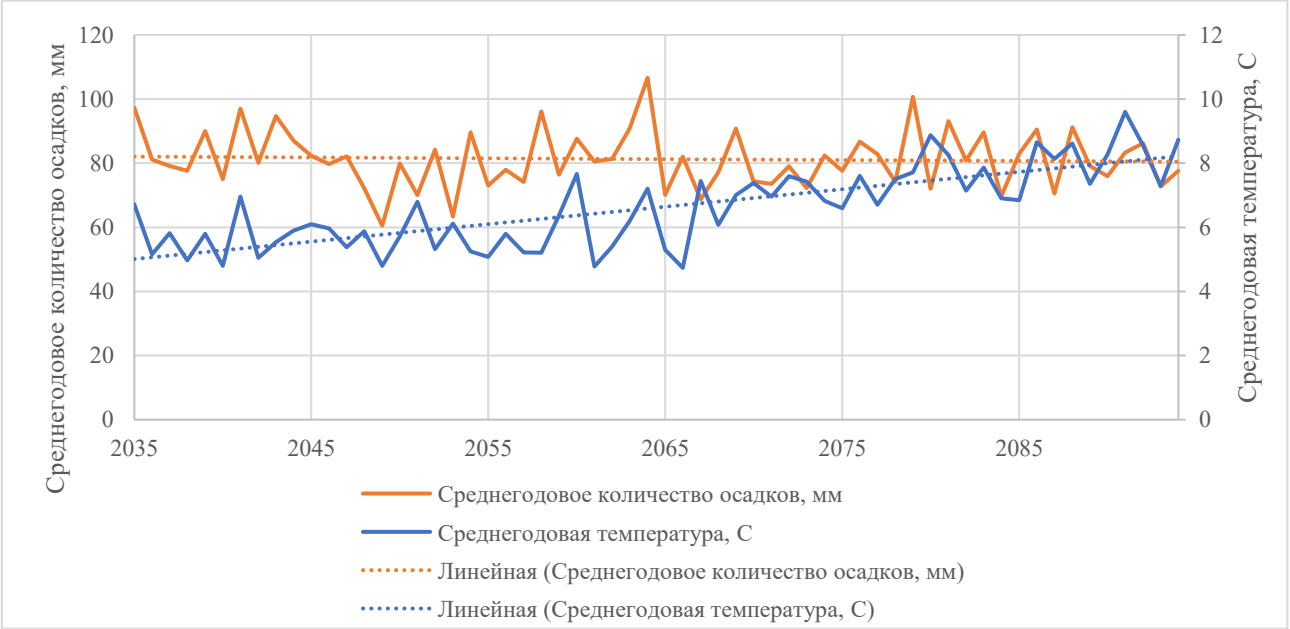


Рисунок 27 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 585*, 2035–2094 гг.

Для большинства точек и сценариев отмечаются значимые тренды для среднегодовых температур, в то время как для осадков не выявлен ни один значимый тренд, так как рассматриваются стационарные климатические периоды. Наиболее значимый тренд выявлен для среднегодовых температур

сценария SSP 585 (R^2=0,69, $t_{2\alpha}$=2,00 <R/σ_r=14,1), что отражает особенность данного сценария, а именно – наибольшее повышение температуры воздуха. Для сравнения, статические характеристики тренда среднегодовых температур по сценарию *SSP 126* таковы: R^2=0,07, $t_{2\alpha}$=2,00 <R/σ_r=2,22.

Температура и осадки не являются главными факторами изменения минерализации в озерах, но они могут влиять на водный баланс, а также на работу электростанции. По этой причине необходимо учитывать различные климатические прогнозы для стратегического планирования функционирования всех систем озер-охладителей.

Подробная информация сценарного изменения климатических характеристик представлена в Приложении А и Б. Представлен практически весь спектр сценарного развития климатической обстановки, который позволит адаптировать эксплуатацию системы охлаждения КАЭС в новых климатических условиях.

Заключение

В рамках данной работы проведен анализ влияния Калининской АЭС на состояние озер-охладителей Удомля и Песьво. Отмечено изменение климата и повышение среднегодовой температуры. Рассмотрено изменение термического и гидрологического режимов озер и вытекающей реки Съежа.

Строительство гидроузла в 1987 году на реке привело к повышению подпорного уровня и увеличению площади зеркала водохранилища, что позволяет контролировать объем воды в котловине озер. Режим озер и реки перестал быть естественным. Для пополнения водохранилища используются грунтовые воды, химический состав которых неизвестен. Следовательно, влияние этих вод на состояние озер выявить невозможно.

Для оценки термического режима озер использовались данные дистанционного зондирования земли с последующей обработкой. Анализ термического режима показал изменение температуры поверхностных вод и ледового режима. Температура воды в озерах не опускается ниже 0℃, ледостав не наблюдается. Наибольшая температура отмечается в местах сброса отработанных вод с АЭС. Для понижения температуры воды в местах водозабора была построена дамба, изменившая циркуляцию подогретых вод.

Проанализированы экологические отчеты АЭС, результат анализа показал понижение солесодержания в озерах по хлорид-иону (согласно О.А. Алекину). Данный вывод подтвердился после анализа результатов измерений минерализации, полученных в рамках стажировки в НПО «Гидротехпроект». Минерализация с 2010 года понизилась на 30 %.

Проведен рекогносцировочный выезд, показавший повышенную температуру воды на дату 06.04.2026 и антропогенное воздействие в виде мусора на берегах озер.

Зависимость минерализации от температуры воды и количества осадков нельзя назвать полной из-за нехватки данных. Для более полного анализа необходим регулярный мониторинг солесодержания на озерах.

Состояние озер-охладителей, а также термический, гидрологические режимы не являются естественными и контролируются человеком. На изменение солесодержания озер могут влиять метеохарактеристики. Приведены графики изменения температуры и количества осадков по нескольким климатическим сценариям: от наиболее (*SSP 126*) до наименее благоприятного (*SSP 585*) Анализ изменения климата необходим для корректировки нагрузки на озера со стороны Калининской АЭС.

Список литературы

1 Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А Алекин. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1953. – 296 с.

2 Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Чекмарева Е.А. Изменение гидроэкологического состояния водоемов-охладителей под влиянием сброса теплых вод объектами теплоэнергетики Тверской области // Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии: сборник докладов Международной научно-практической конференции памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова, 28–31 марта 2018 г., Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург: (издательство), 2018. – С. 343–347.

3 Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Чекмарева Е.А. Изменение экологического состояния водоемов под влиянием теплового загрязнения // Пресноводные экосистемы – современные вызовы : тезисы докладов и стендовых сообщений Международной конференции, 10–18 сентября 2018 г. – Иркутск : ООО «Мегапринт», 2018. – С. 167–168.

4 Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Чекмарева Е.А. Оценка загрязненности водных масс и донных отложений водоемов-охладителей Калининской АЭС тяжелыми металлами // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 171–176.

5 Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Чекмарева Е.А. Современное состояние качества воды различных типов озер Тверской области // Озера Евразии: проблемы и пути их решения : материалы II Международной конференции, 19–24 мая 2019 г. – Казань, 2019. – Ч. 2. – С. 60–65. – ISBN 978-5-9690-0527-3.

6 Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Чекмарева Е.А. Сравнительная гидрохимическая характеристика различных типов озер Тверской области // Вестник Тверского государственного университета. Серия «География и геоэкология». 2024. № 1 (45). С. 13–22.

7 Дорофеев А.А., Хохлова Е.Р. Ландшафты Тверской области / А.А. Дорофеев, Е.Р. Хохлова. – Тверь: Тверской государственный университет, 2016. – 120 с. – ISBN 978-5-7609-1179-7.

8 Жаданова П. Д., Лаврова О. Ю. Влияние выбора данных спутников *Landsat 8/9 и Sentinel 2A/2B* на результаты определения мутности воды в приустьевых зонах рек //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21. – №. 3. – С. 244.

9 Комиссаров А.Б., Григорьева И.Л., Чекмарёва Е.А., Кузовлев В.В. Альгофлора планктона водоёмов-охладителей объектов электроэнергетики Тверской области // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2019. № 2. С. 226–238.

10 Кузовлев В.В., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарёва Е.А. Содержание биогенных веществ в воде озер Песьво и Удомля // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах : труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием, 28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул. – Барнаул: (издательство), 2017. – С. 120–123.

11 Лепехин И.А., Даландуцкий Н.И., Демичева М.Ю. К вопросу совершенствования мониторинга уровней воды на водных объектах Тверской области и прогнозирования их динамики в период половодья // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Науки об обществе и гуманитарные науки. – 2023. – № 2(33). – С. 75-80. – DOI 10.46573/2409-1391-2023-2-75-80.

12 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2008 год / АО «Концерн Росэнергоатом» филиал «Калининская атомная станция». – Удомля, 2009. – 19 с.

13 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2009 год / АО «Концерн Росэнергоатом» филиал «Калининская атомная станция». – Удомля, 2010. – 31 с.

14 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2010 год. – Москва: Издательство АНО «Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли», 2011. – 39 с.

15 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2011 год. – Тверь: Издательство ООО «РТМ принт», 2012. – 36 с.

16 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2012 год / АО «Концерн Росэнергоатом» филиал «Калининская атомная станция». – Удомля, 2013. – 18 с.

17 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2013 год / АО «Концерн Росэнергоатом» филиал «Калининская атомная станция». – Удомля, 2014. – 34 с.

18 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2014 год / АО «Концерн Росэнергоатом» филиал «Калининская атомная станция». – Удомля, 2015. – 32 с.

19 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2015 год / АО «Концерн Росэнергоатом» филиал «Калининская атомная станция». – Удомля, 2016. – 36 с.

20 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2016 год. – Тверь: Типография ООО «ПолиПРЕСС», 2017. – 36 с.

21 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2017 год. – Тверь: Типография ООО «ПолиПРЕСС», 2018. – 44 с.

22 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2018 год. – Тверь: Типография ООО «ПолиПРЕСС», 2019. – 50 с.

23 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2019 год. – Санкт-Петербург: Типография ООО «Сфера», 2020. – 48 с.

24 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2020 год. – Санкт-Петербург: Типография ООО «Сфера», 2021. – 48 с.

25 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2021 год. – Санкт-Петербург: Типография ООО «Сфера», 2022. – 48 с.

26 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2022 год. – Санкт-Петербург: Типография ООО «Сфера», 2023. – 48 с.

27 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2023 год. – Санкт-Петербург: Типография ООО «Сфера», 2024. – 48 с.

28 Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2024 год. – Санкт-Петербург: Типография ООО «Сфера», 2025. – 48 с.

29 Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 19.03.2024 № 64 «Об утверждении Правил использования водных ресурсов водохранилища Калининской АЭС» // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. – 2024.

30 Семчуков А.Н., Задонская О.В. Оценка влияния Калининской АЭС на гидротермический режим р. Съежа // Известия АО РГО. 2023. № 3 (70). *URL:* https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-kalininskoy-aes-na-gidrotermicheskiy-rezhim-r-sezha (дата обращения: 31.05.2026).

31 Справочник по климату СССР. Вып. 8: Ярославская, Калининская, Московская, Владимирская, Смоленская, Калужская, Рязанская и Тульская области. История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов. – Москва: Гидрометеоиздат, 1968. – 229 с.

32 Шабанова О.С. Географические особенности озер Тверской области // Всероссийская научно-практическая конференция ГРАНЬ НАУКИ 2022: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «ГРАНЬ НАУКИ 2022» (27 декабря 2022 г). – Ростов-на-Дону – Мадрид: ООО «ЭльДирект», ООО «Сфера», 2022. – 400 с.

33 Du C., Ren H., Qin Q., Meng J., Zhao **S.** A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data // *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. No 1. P. 647–665.

34 Earth System Grid Federation [Электронный ресурс] // ESGF: [сайт]. – URL: https://esgf.github.io/index.html (дата обращения: 20.05.2026).

35 Landsat 8 OLI/TIRS Level-1 Data Products [Электронный ресурс] // U.S. Geological Survey (USGS) EarthExplorer. – URL: https://earthexplorer.usgs.gov (дата обращения: 02.04.2026).

36 Michael Böttinger, Dr. Dieter Kasang [Электронный ресурс] // DKRZ: [сайт]. – URL: https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios (дата обращения: 20.05.2026).

Приложение А – Спутниковые снимки

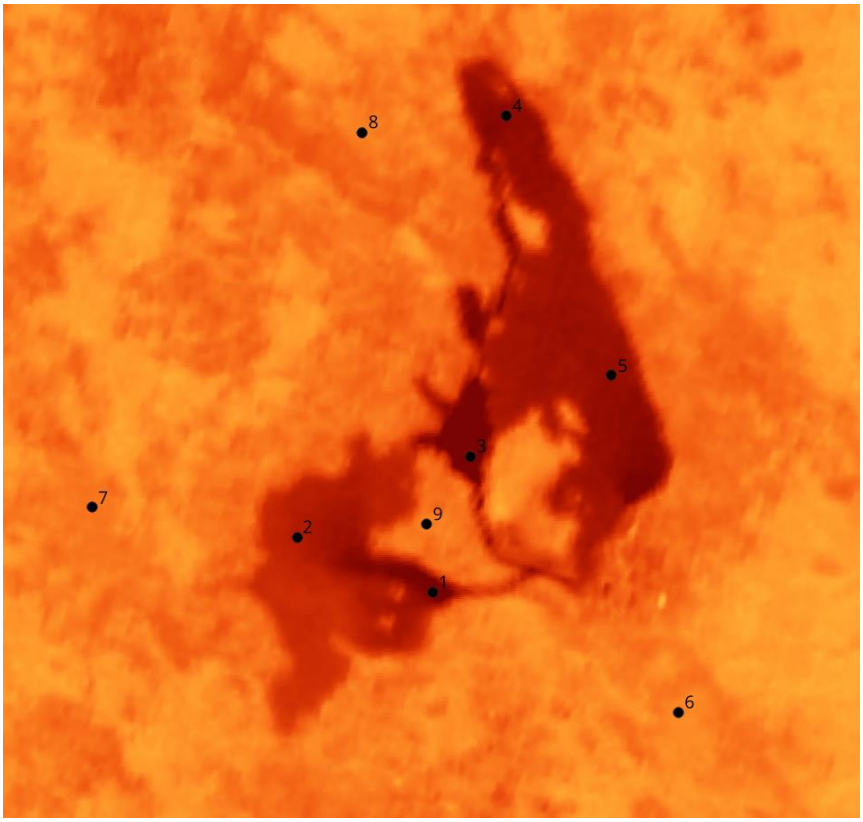


Рисунок А.1 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 26.09.2014 г.

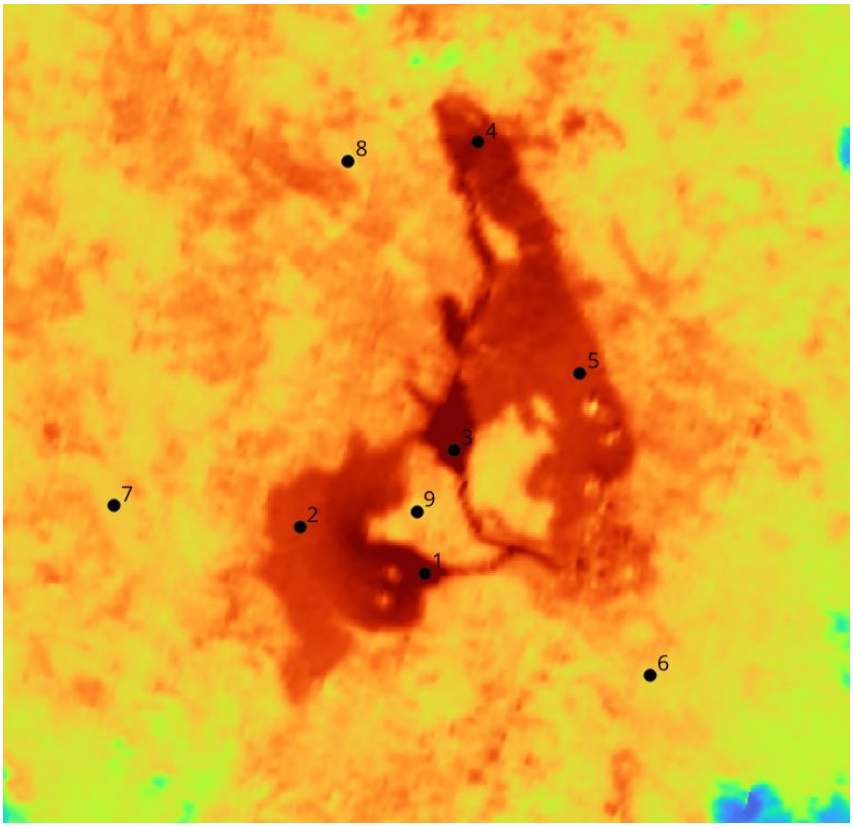


Рисунок А.2 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 13.09.2015 г.

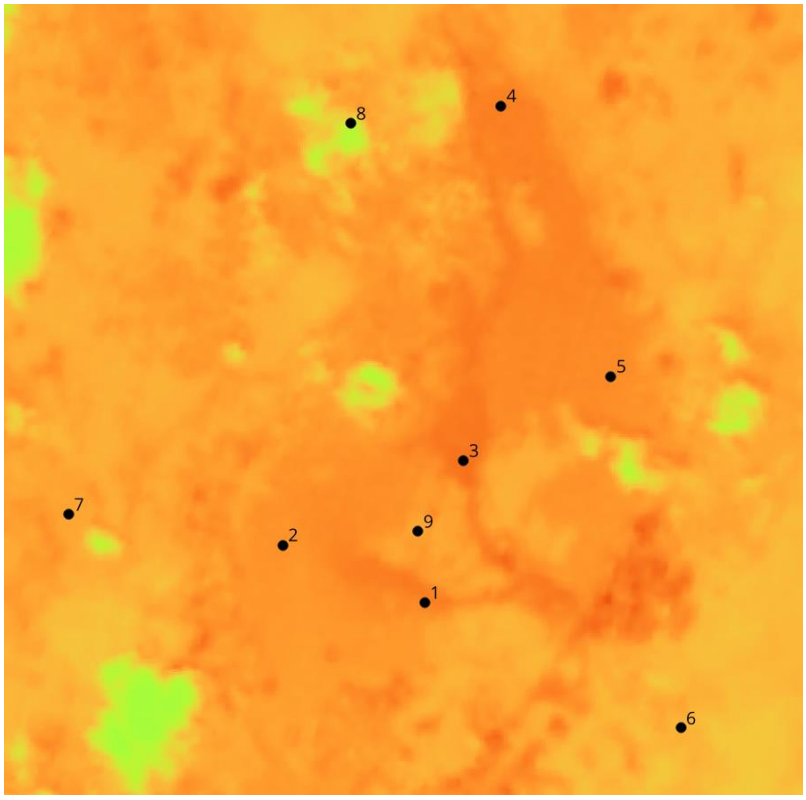


Рисунок А.3 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 14.08.2016 г.

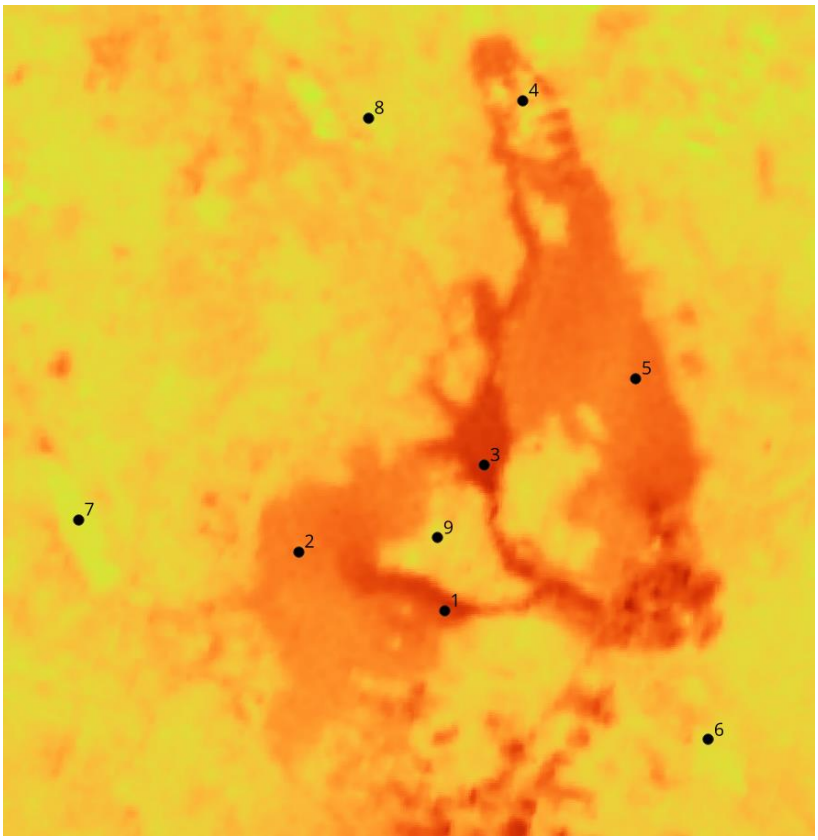


Рисунок А.4 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 17.08.2017 г.

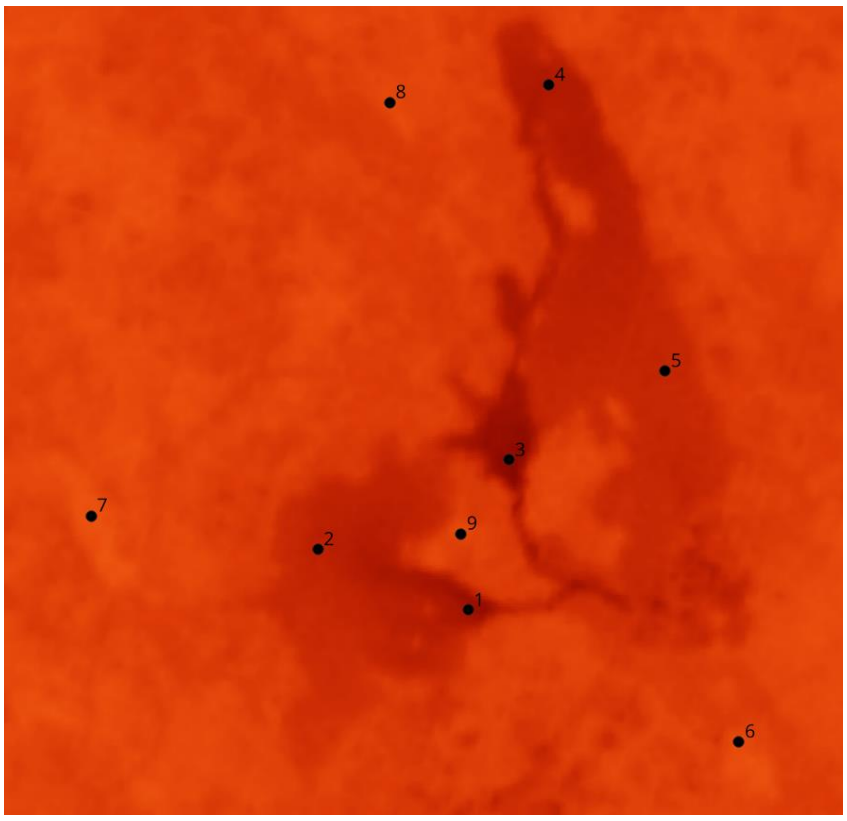


Рисунок А.5 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 15.09.2018 г.

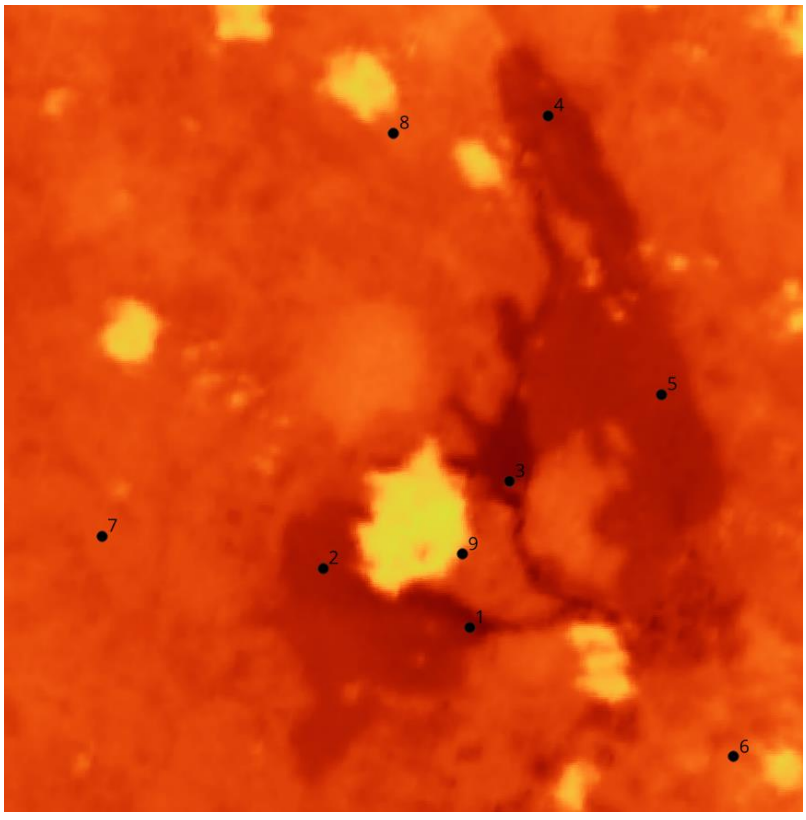


Рисунок А.6 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 08.09.2019 г

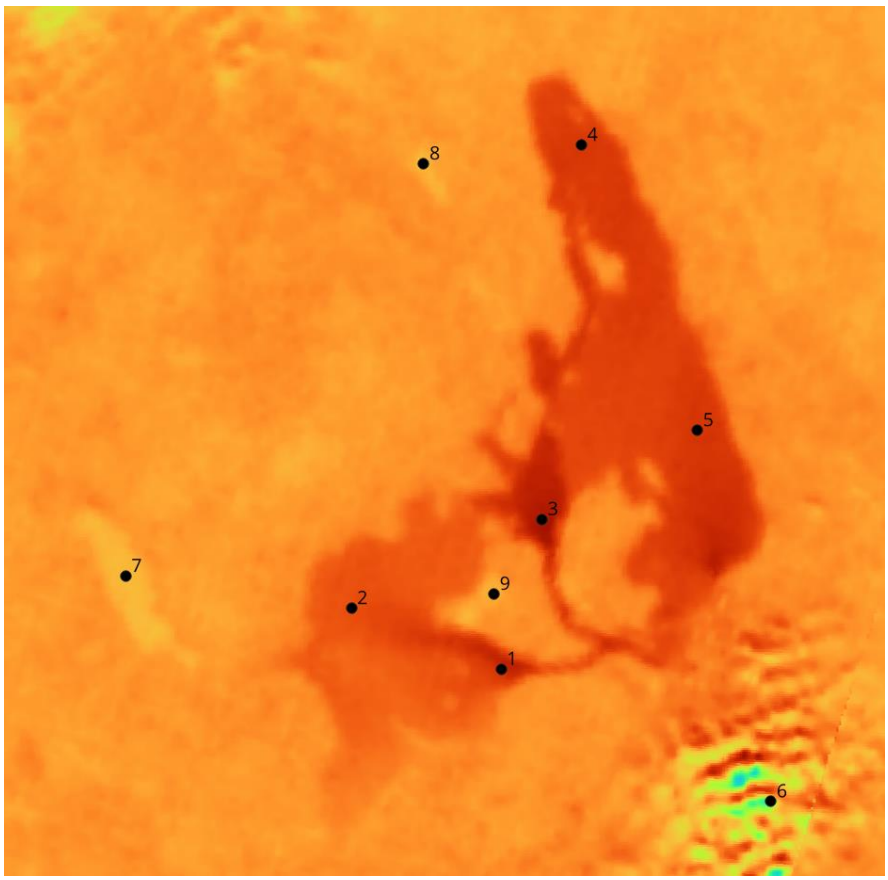


Рисунок А.7 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 26.09.2020 г

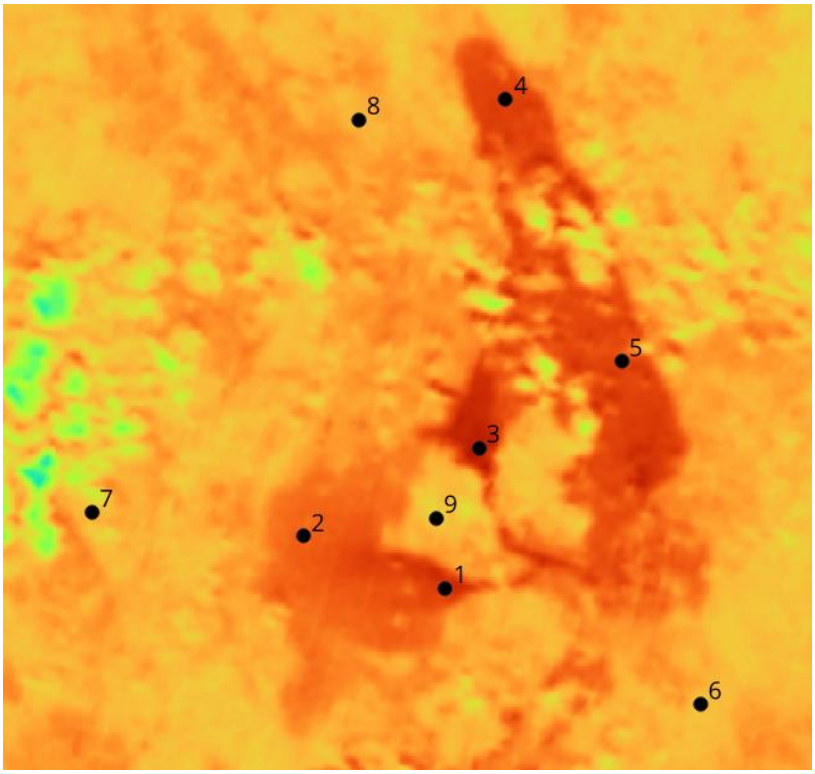


Рисунок А.8 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 28.08.2021 г

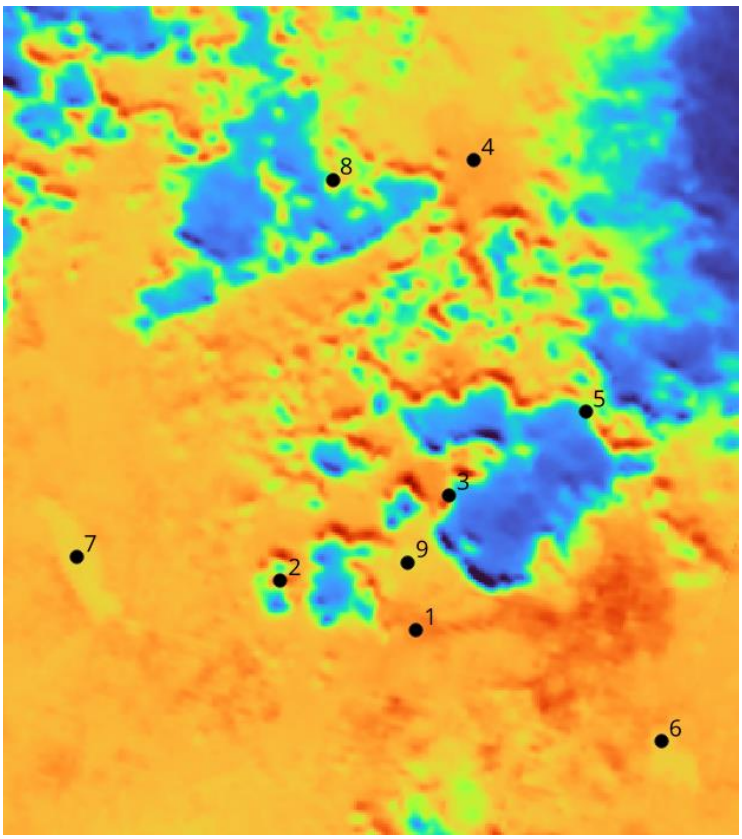


Рисунок А.9– Спутниковый снимок температуры поверхности на 23.08.2022 г – непригодный для снятия значений.

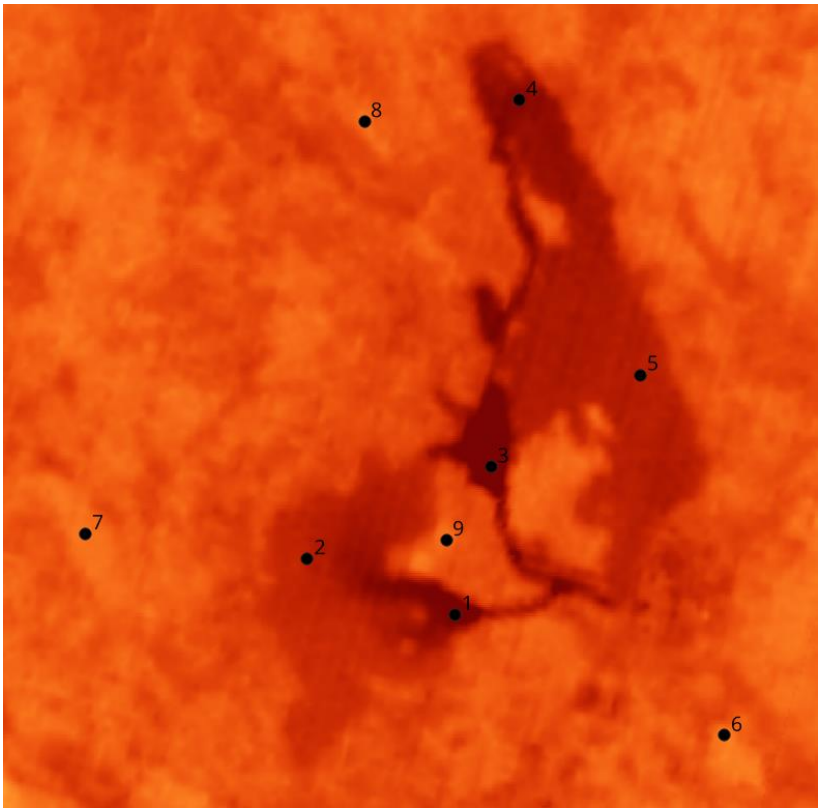


Рисунок А.10 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 19.09.2023 г

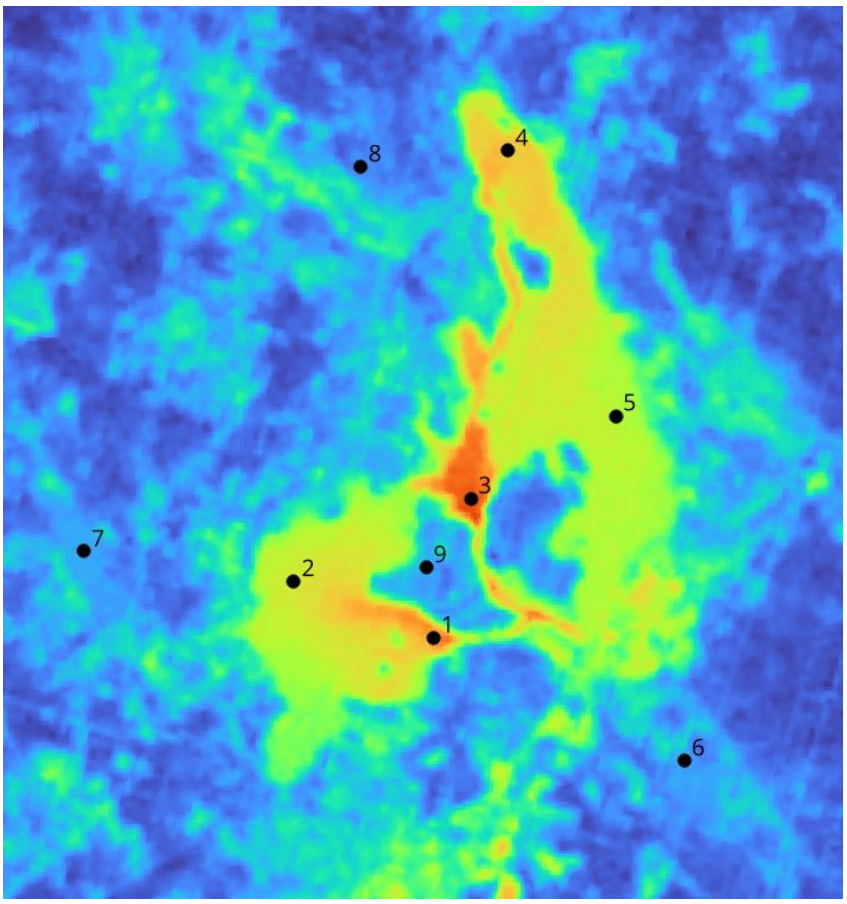


Рисунок А.11 – Спутниковый снимок температуры поверхности на 05.09.2024 г

Приложение Б – Сценарная климатическая информация

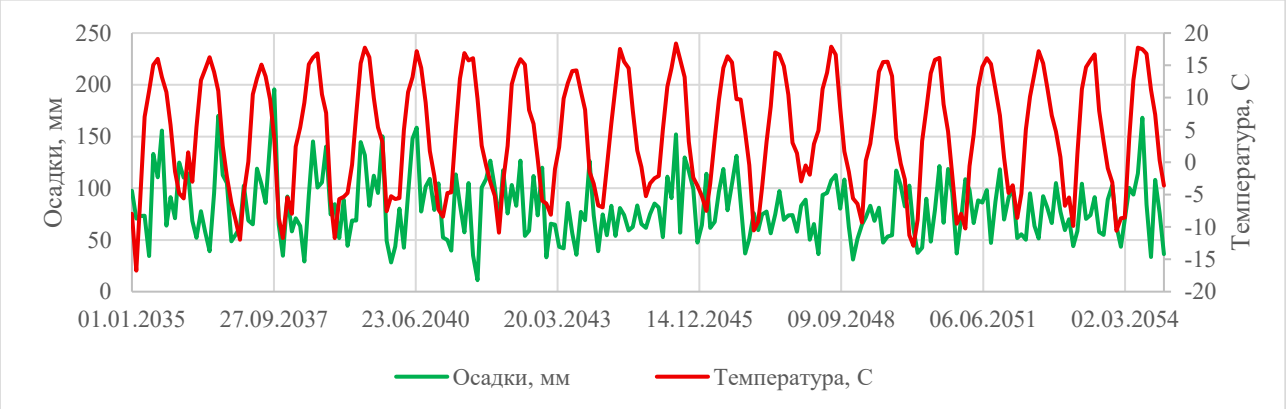


Рисунок Б.1 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 126* за период 2035–2054 гг.

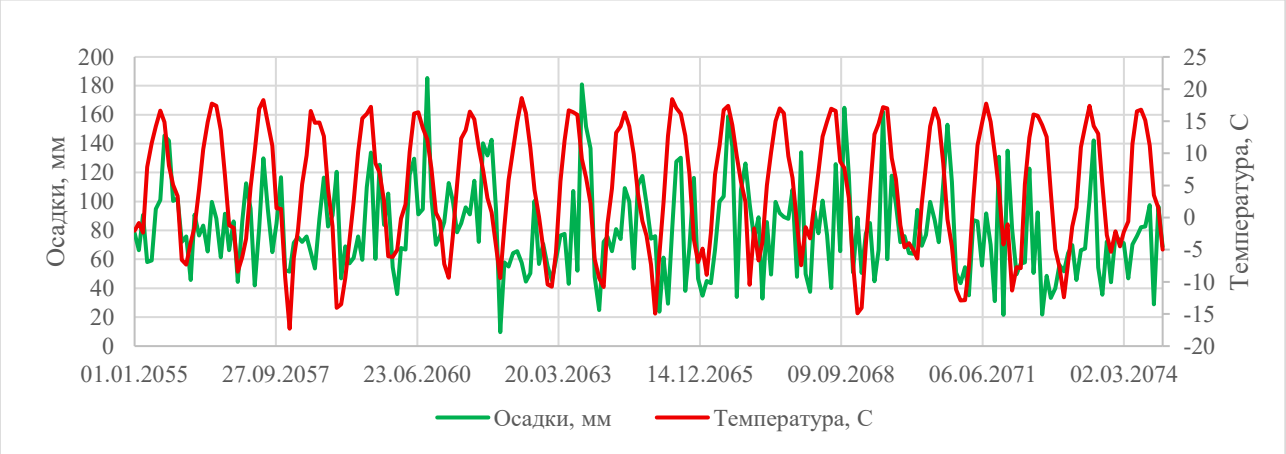


Рисунок Б.2 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 126* за период 2055–2074 гг.

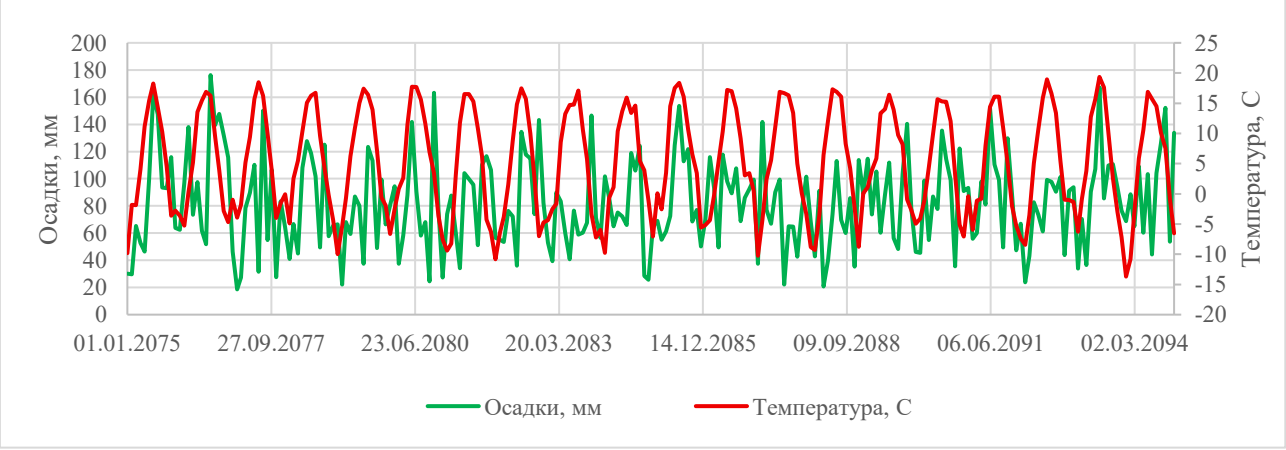


Рисунок Б.3 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 126* за период 2075–2094 гг.

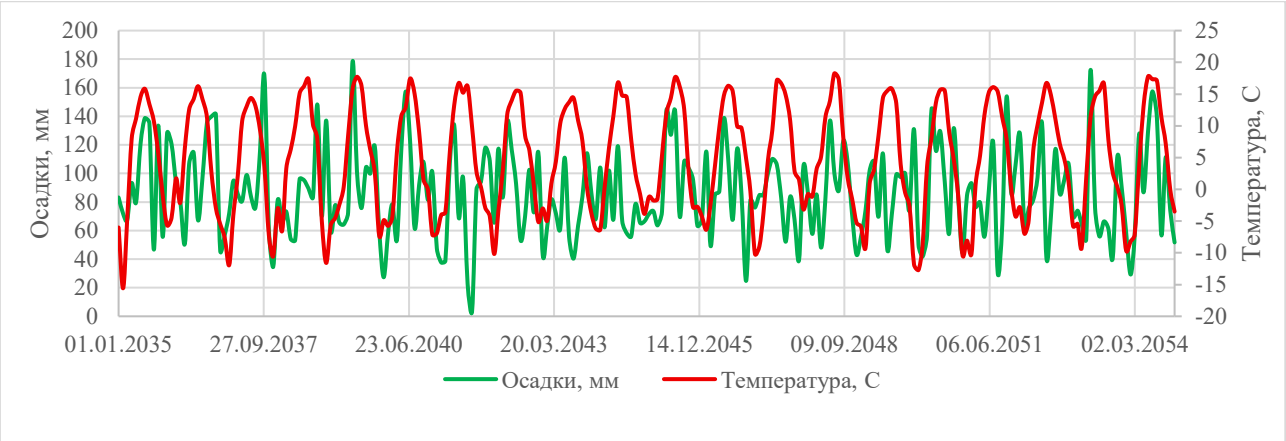


Рисунок Б.4 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 126* за период 2035–2054 гг.

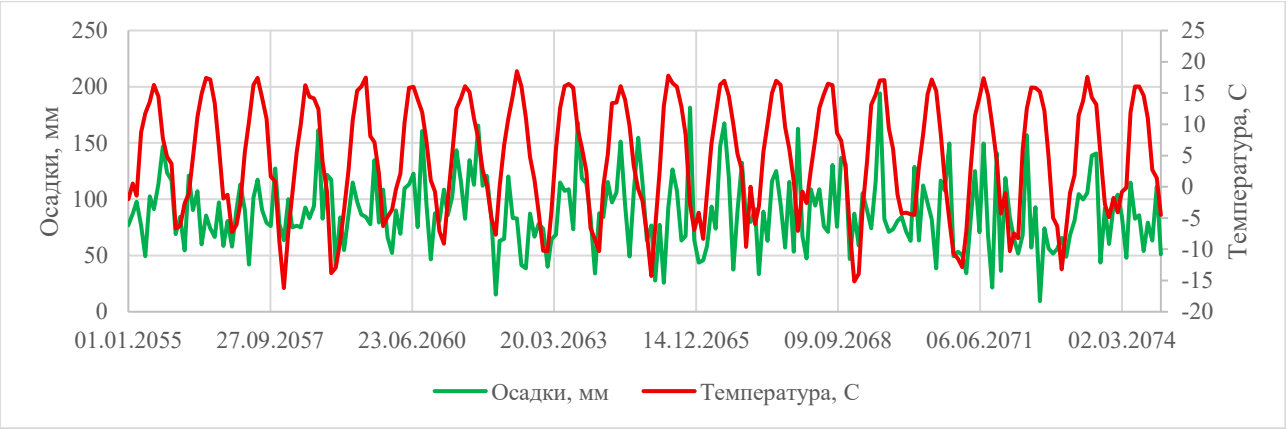


Рисунок Б.5– Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 126* за период 2055–2074 гг.

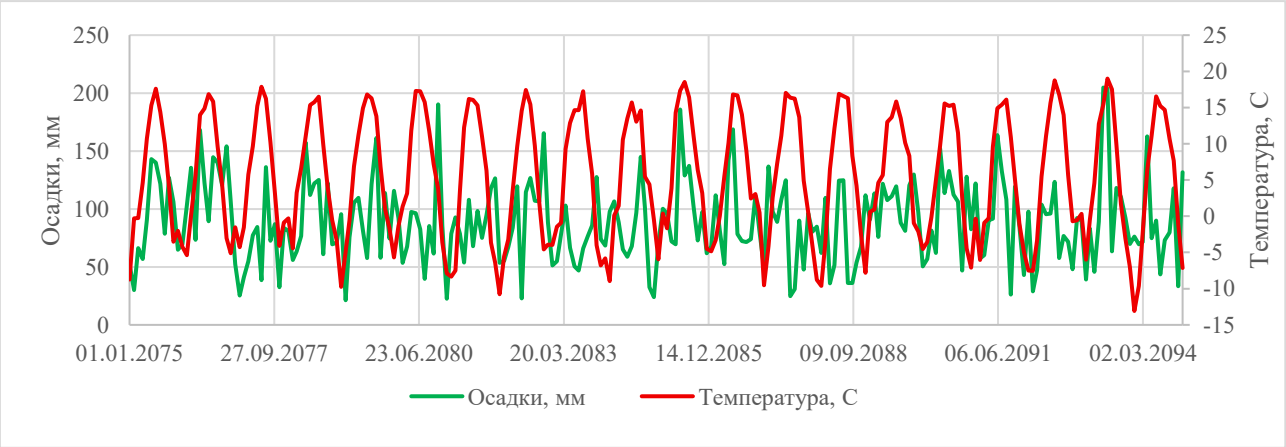


Рисунок Б.6 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 126* за период 2075–2094 гг.

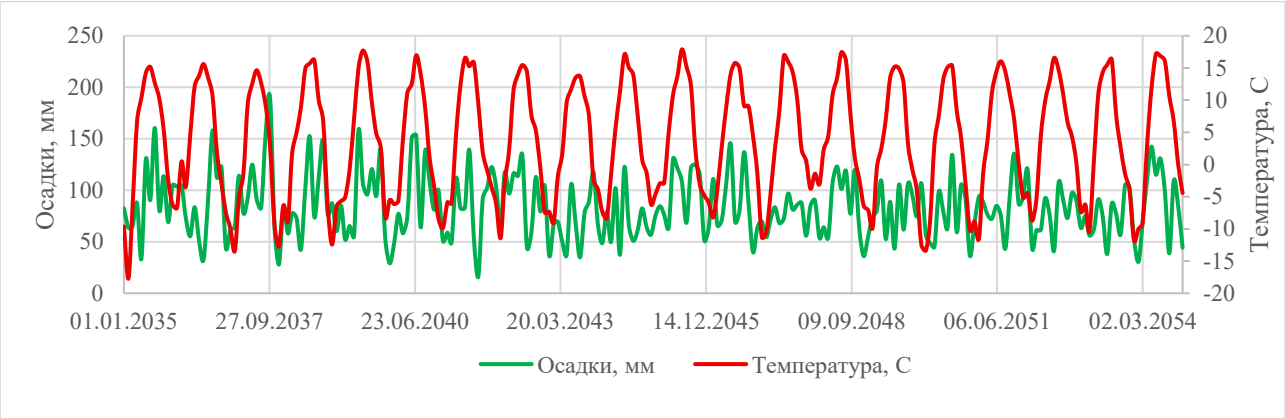


Рисунок Б.7 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 126* за период 2035–2054 гг.

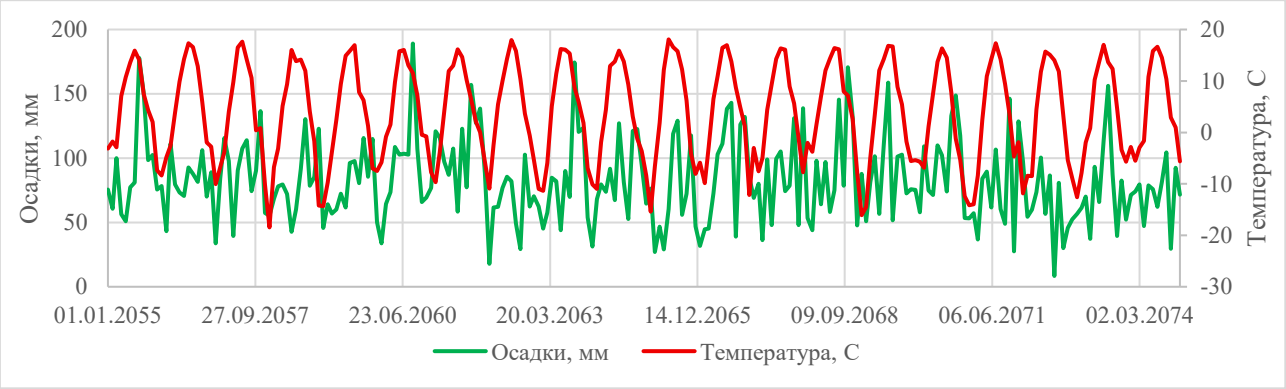


Рисунок Б.8– Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 126* за период 2055–2074 гг.

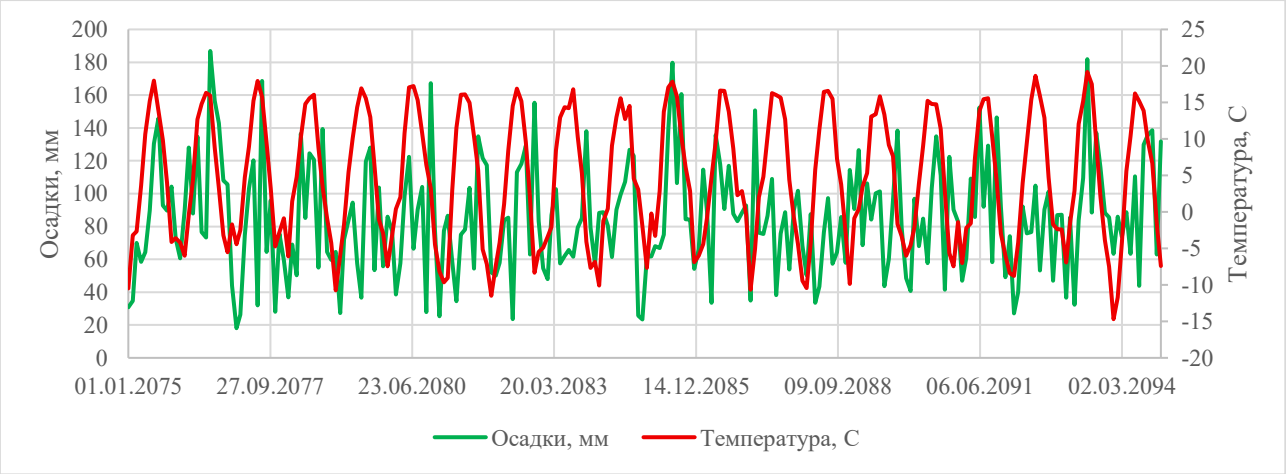


Рисунок Б.9 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 126* за период 2075–2094 гг.

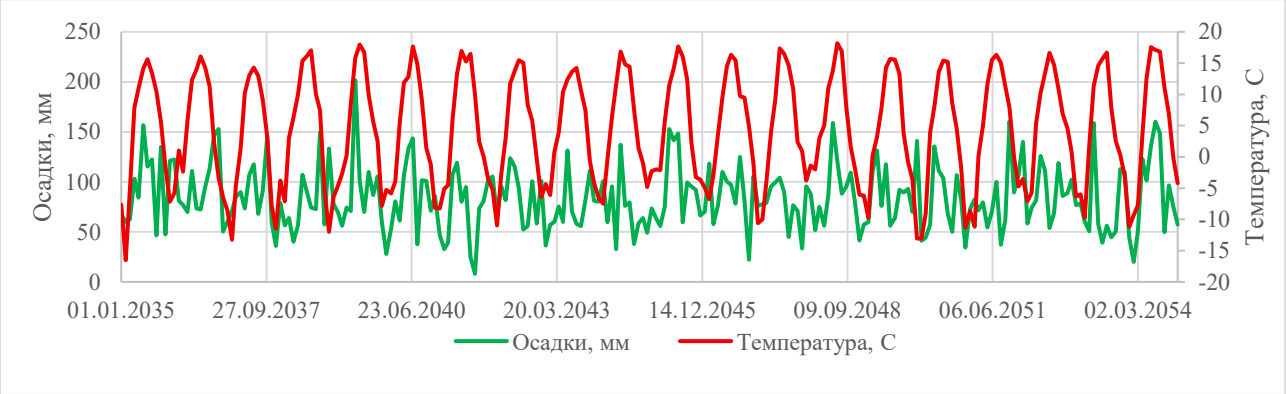


Рисунок Б.10 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 126* за период 2035–2054 гг.

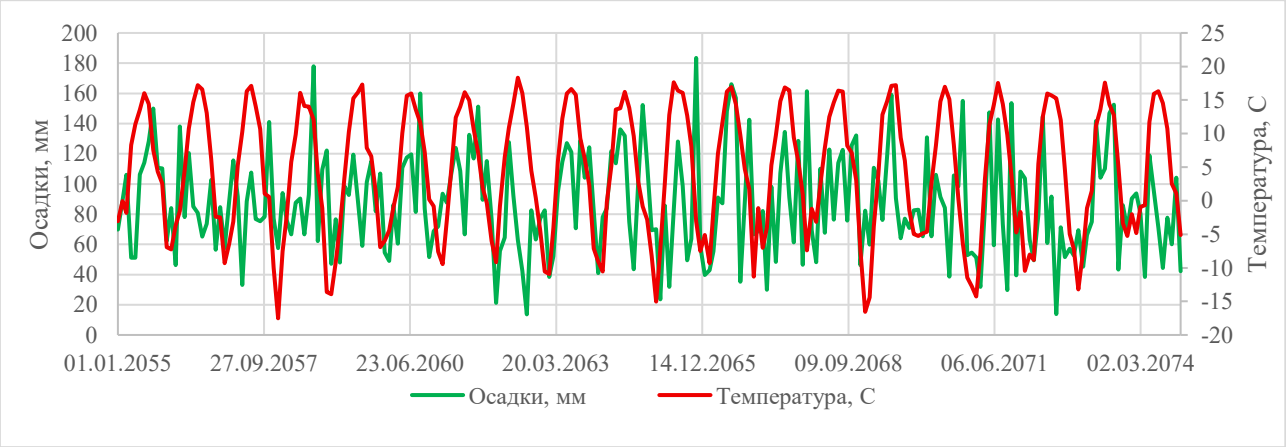


Рисунок Б.11– Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 126* за период 2055–2074 гг.

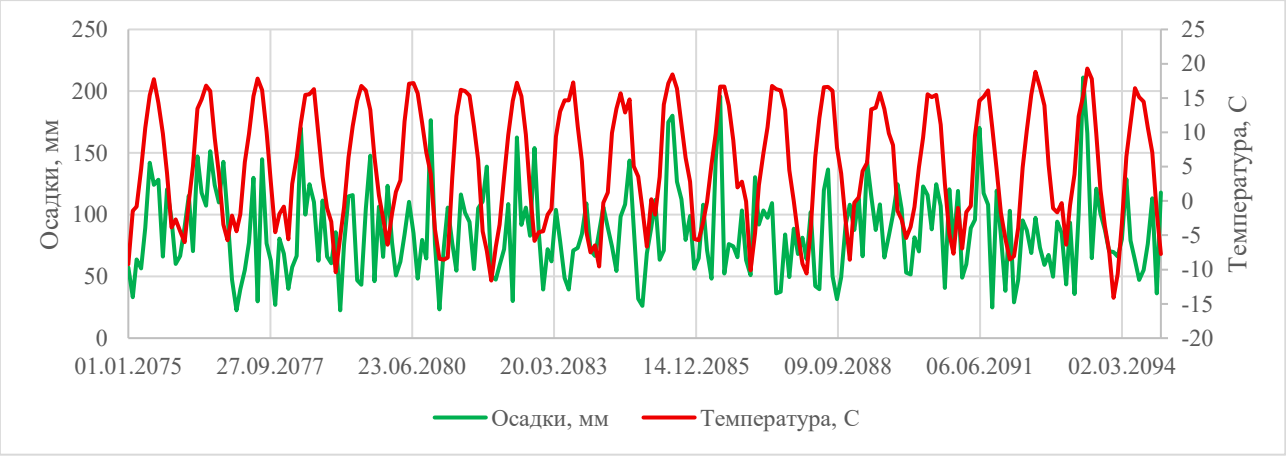


Рисунок Б.12 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 126* за период 2075–2094 гг.

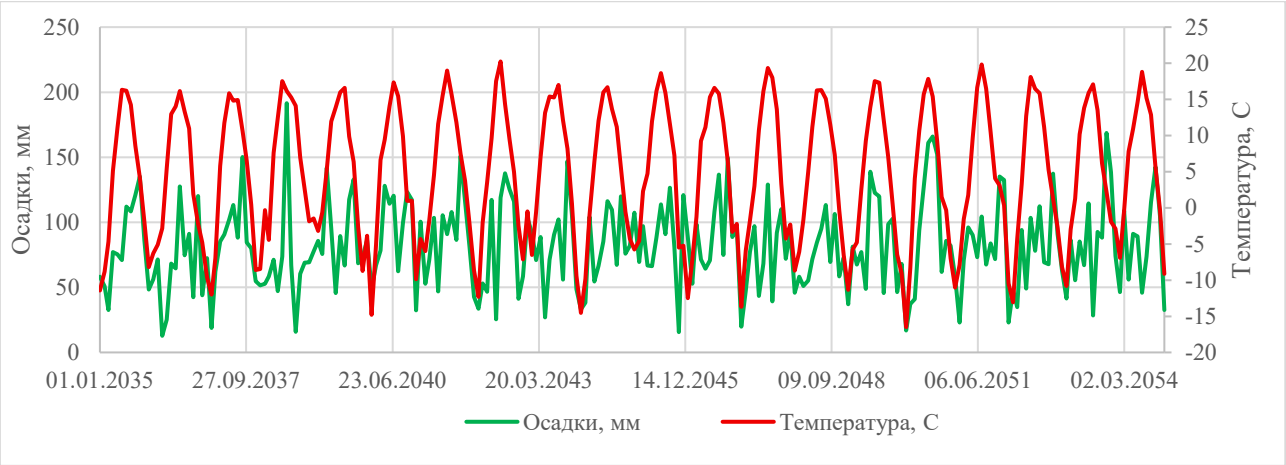


Рисунок Б.13 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 245* за период 2035–2054 гг.

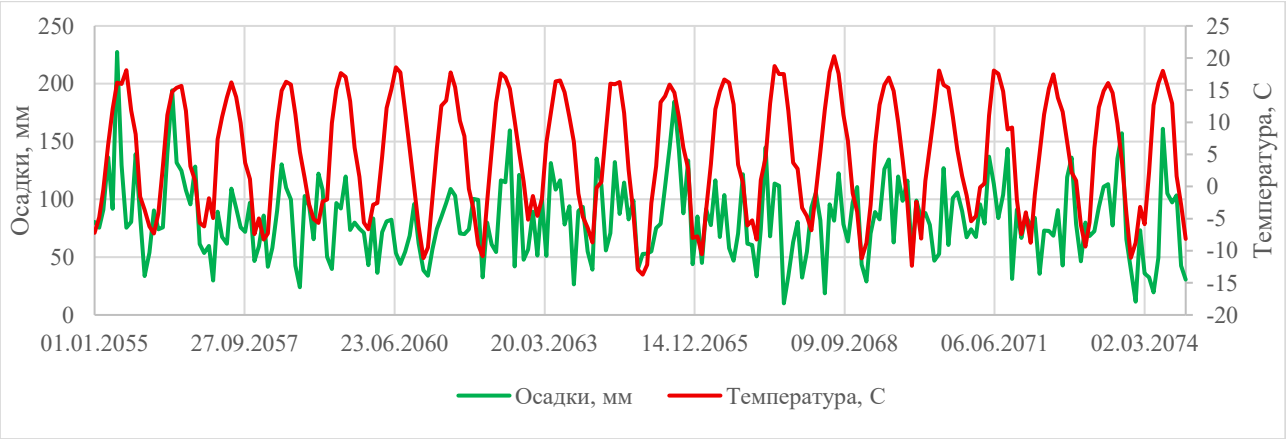


Рисунок Б.14 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 245* за период 2055–2074 гг.

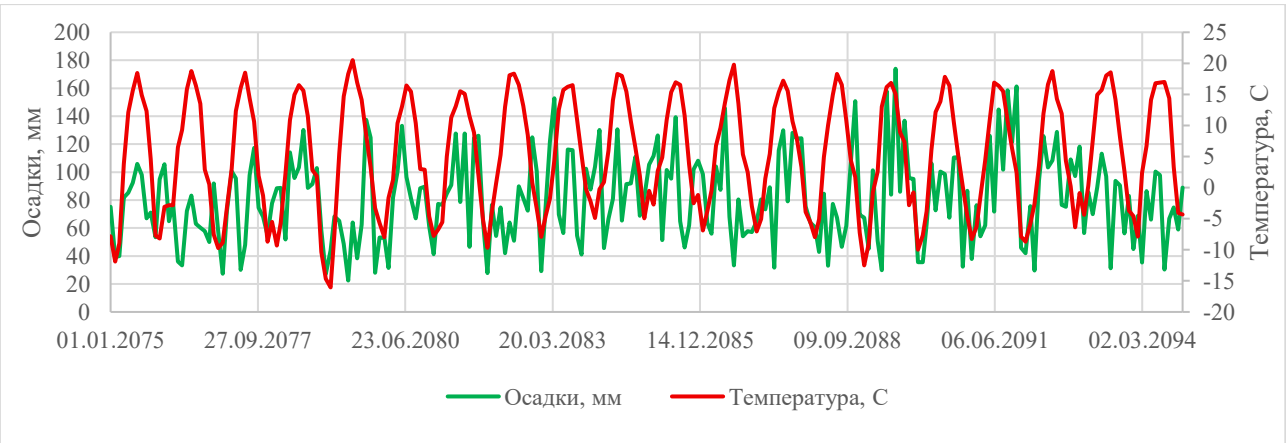


Рисунок Б.15 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 245* за период 2075–2094 гг.

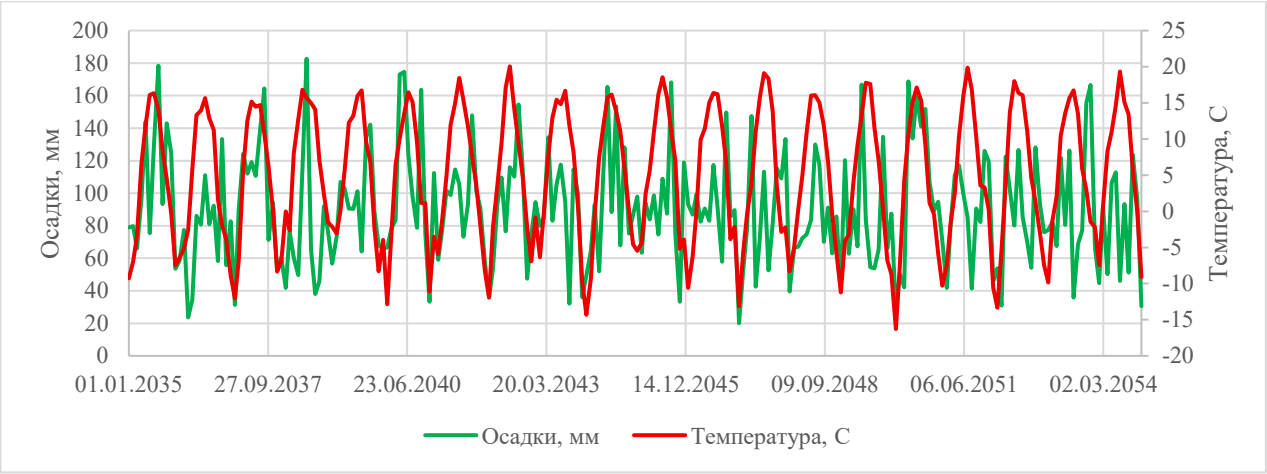


Рисунок Б.16 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 245* за период 2035–2054 гг.

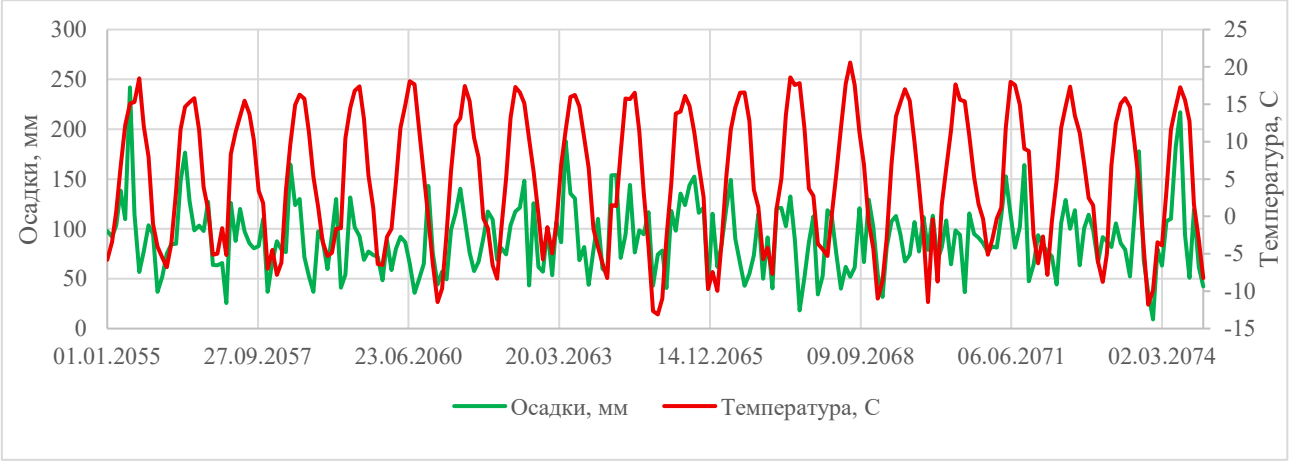


Рисунок Б.17 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 245* за период 2055–2074 гг.

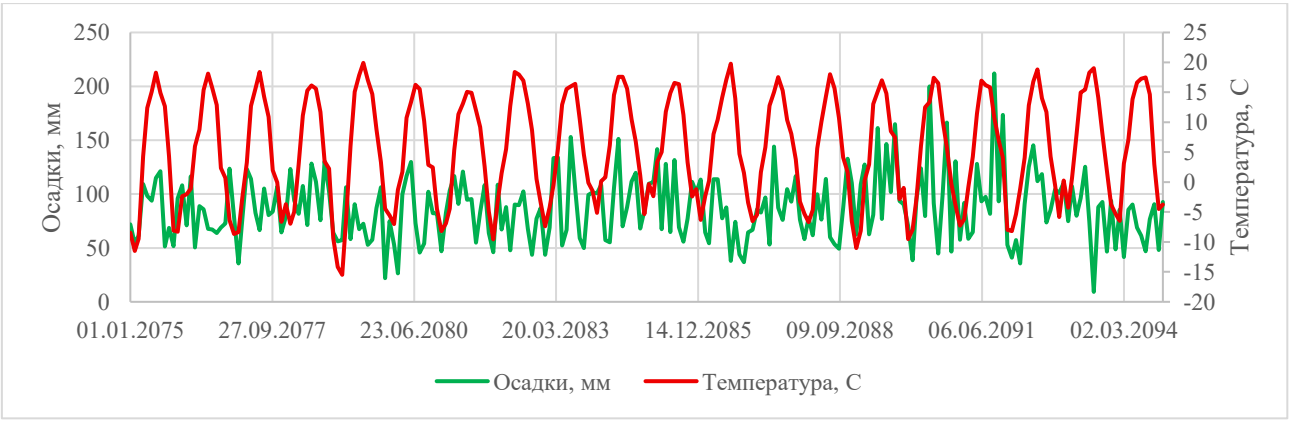


Рисунок Б.18 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 245* за период 2075–2094 гг.

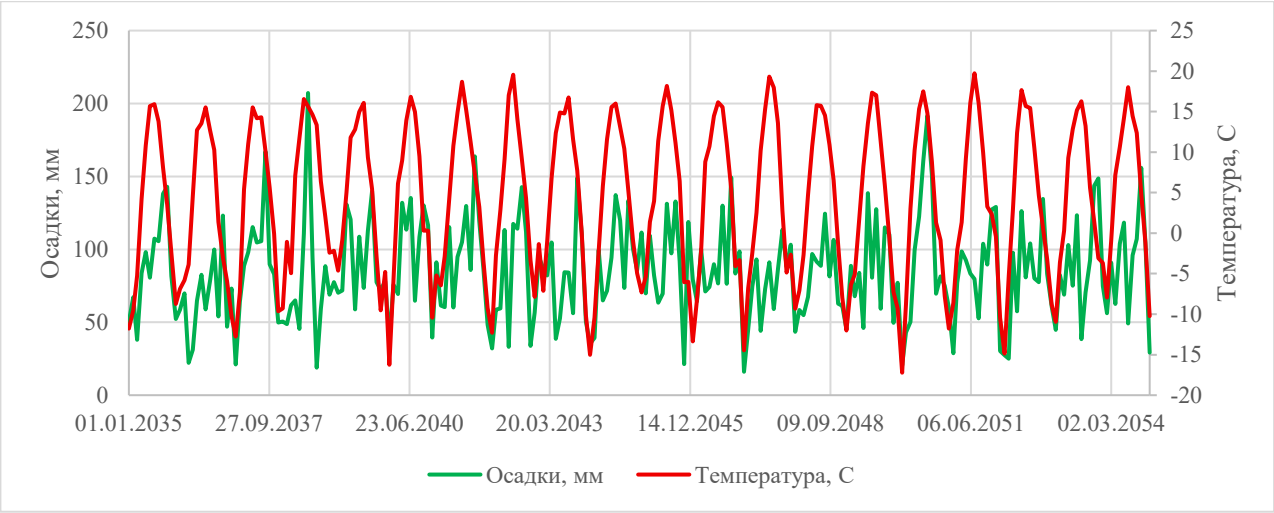


Рисунок Б.19 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 245* за период 2035–2054 гг.

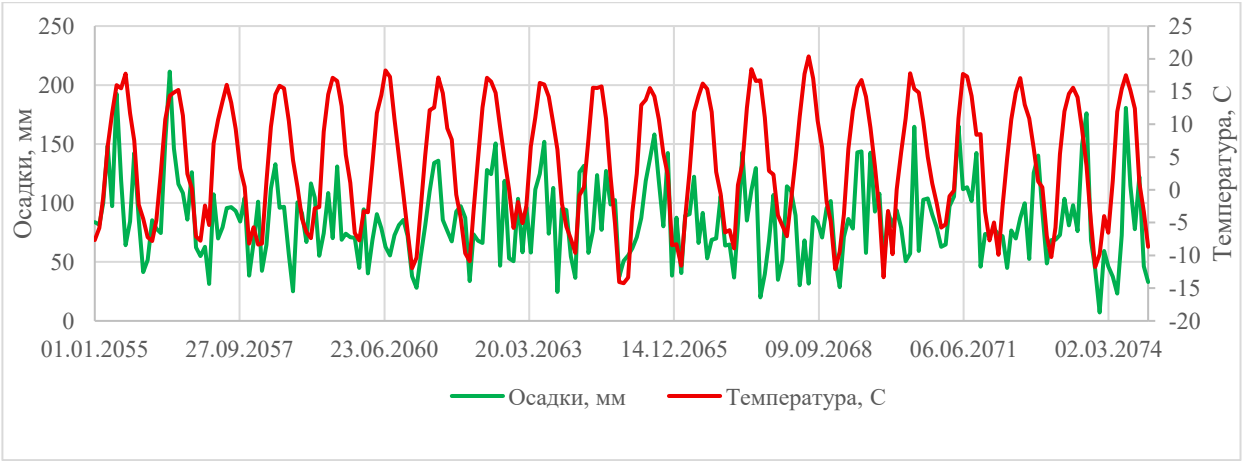


Рисунок Б.20 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 245* за период 2055–2074 гг.

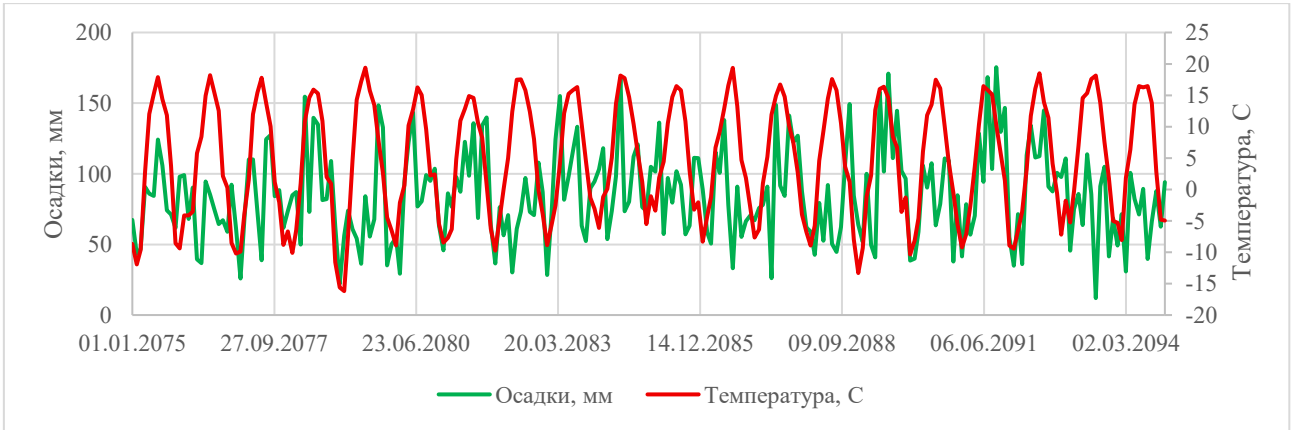


Рисунок Б.21 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 245* за период 2075–2094 гг.

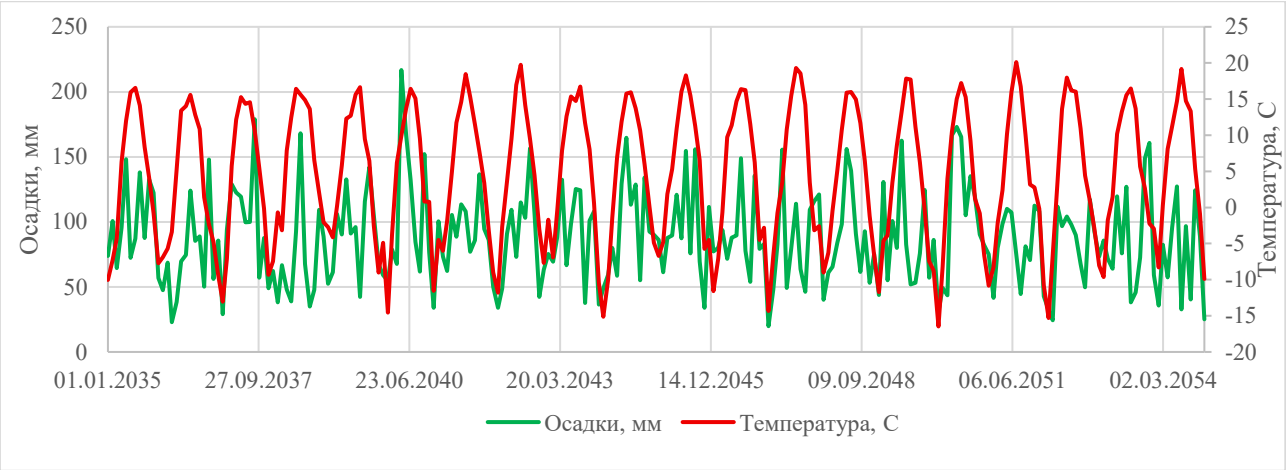


Рисунок Б.22 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 245* за период 2035–2054 гг.

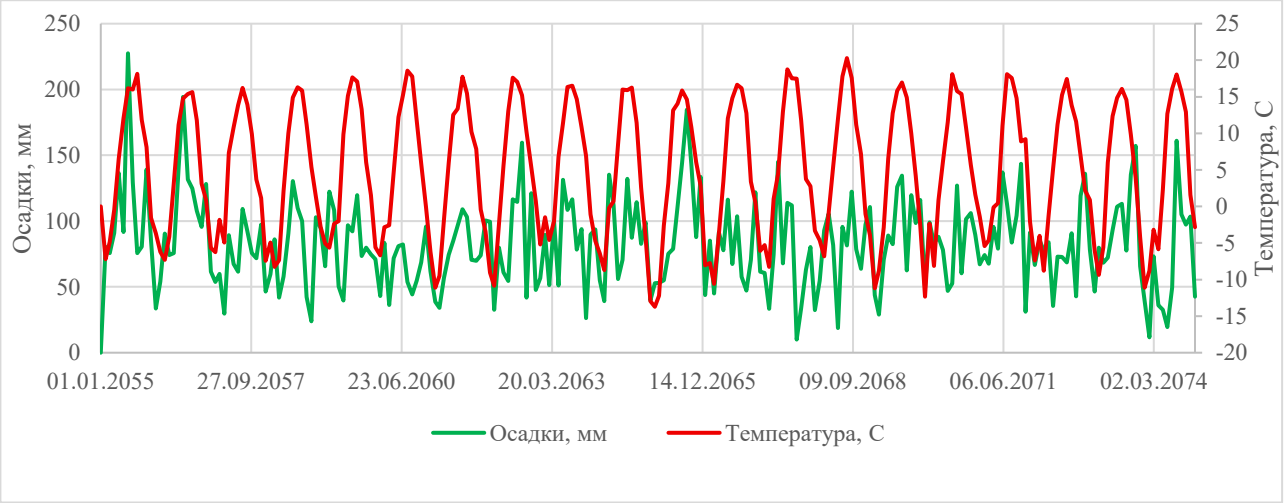


Рисунок Б.23 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 245* за период 2055–2074 гг.

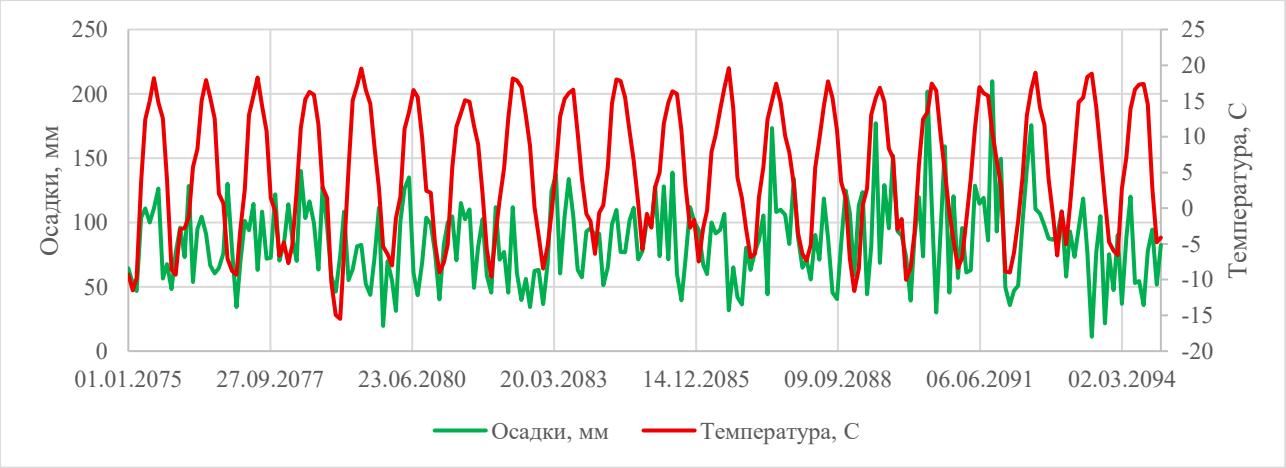


Рисунок Б.24 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 245* за период 2075–2094 гг.

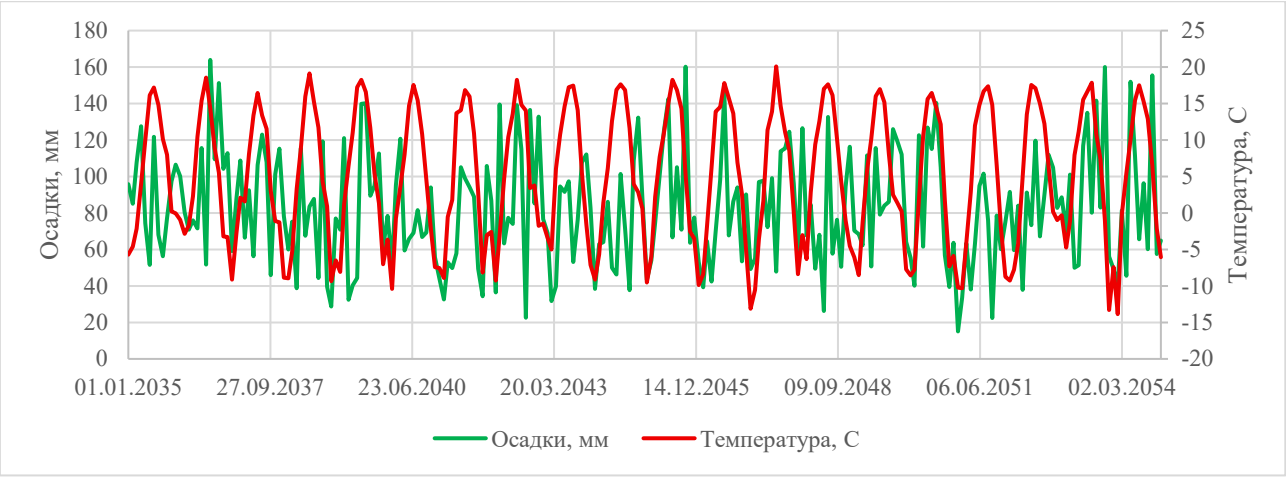


Рисунок Б.25 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 370* за период 2035–2054 гг.

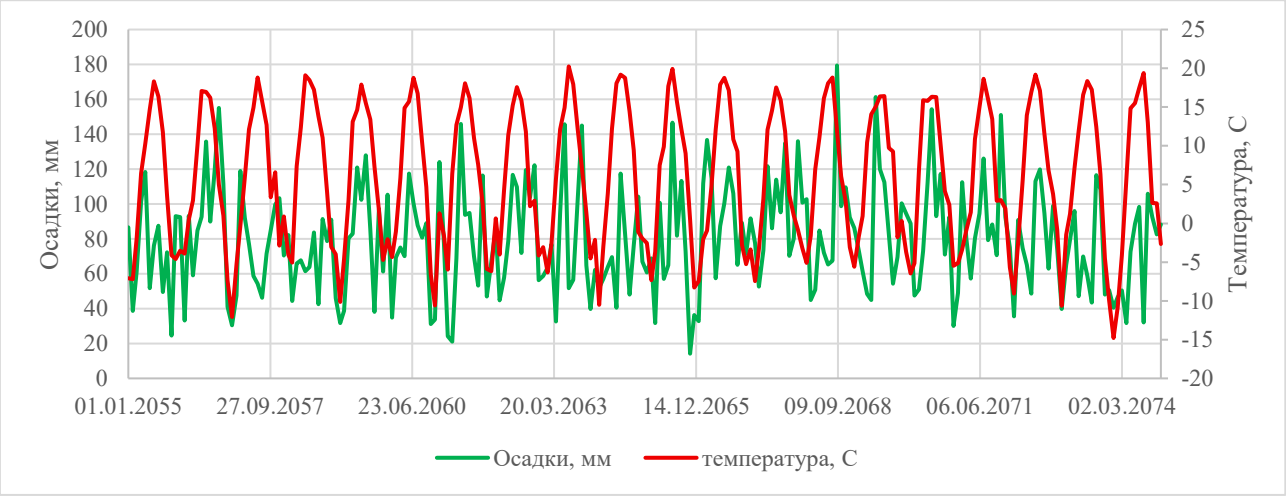


Рисунок Б.26 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 370* за период 2055–2074 гг.

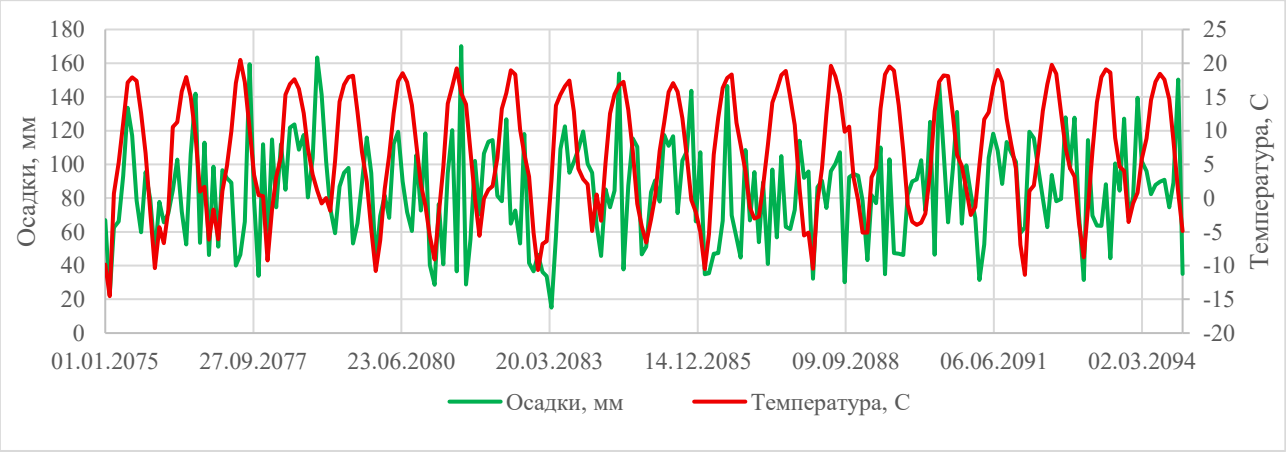


Рисунок Б.27 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 370* за период 2075–2094 гг.

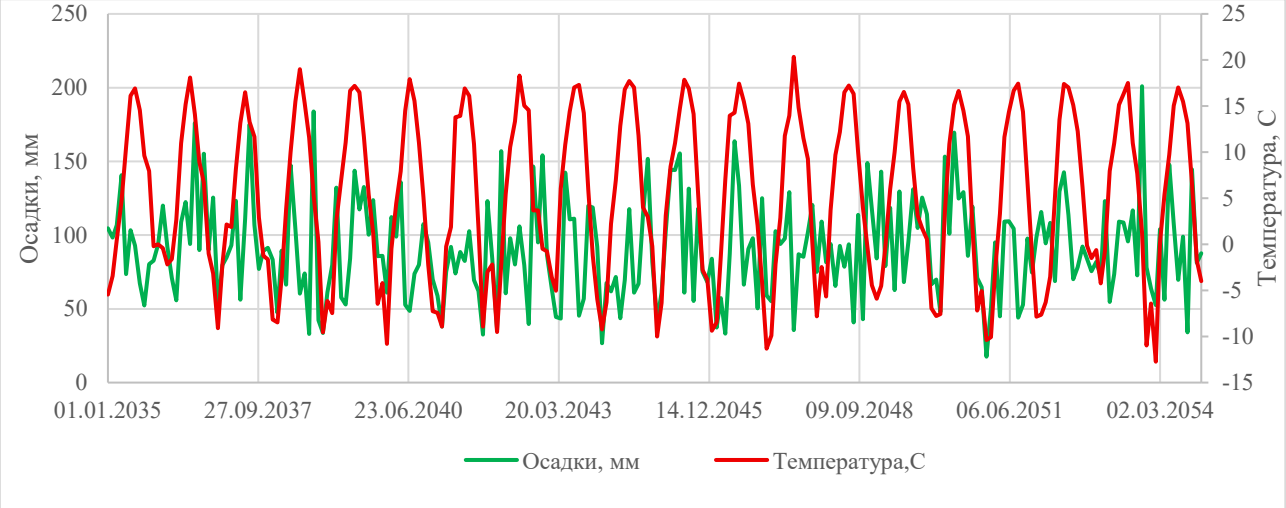


Рисунок Б.28 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 370* за период 2035–2054 гг.

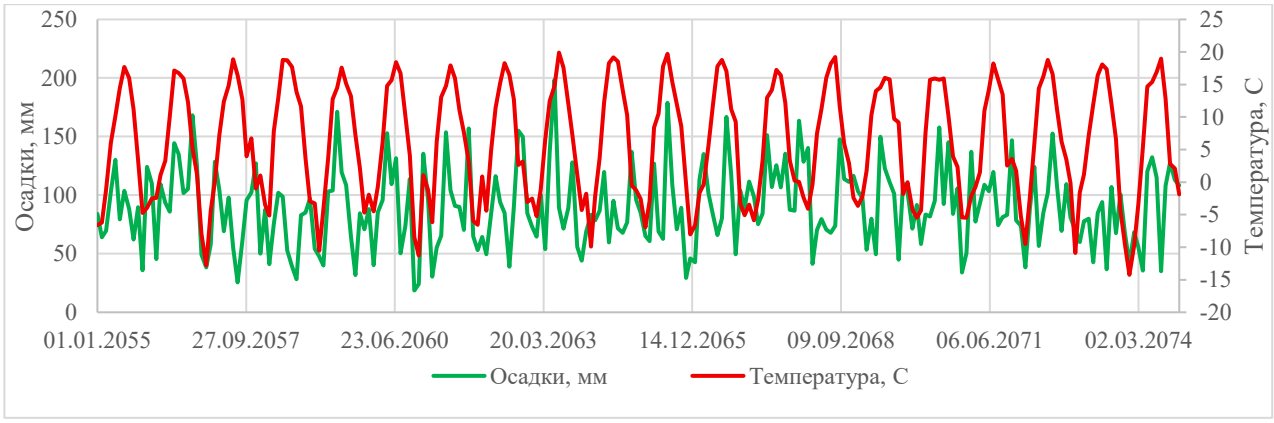


Рисунок Б.29 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 370* за период 2055–2074 гг.

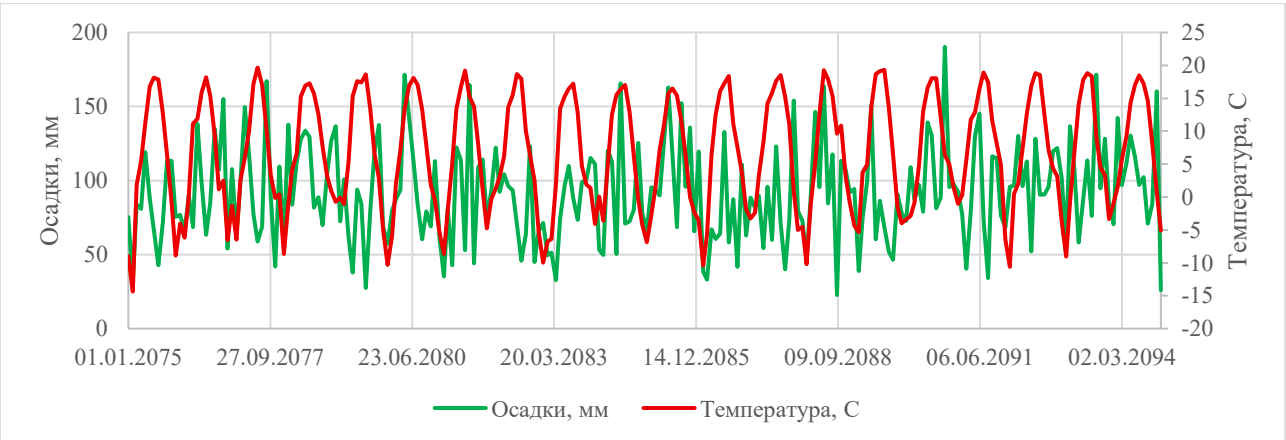


Рисунок Б.30 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 370* за период 2075–2094 гг.

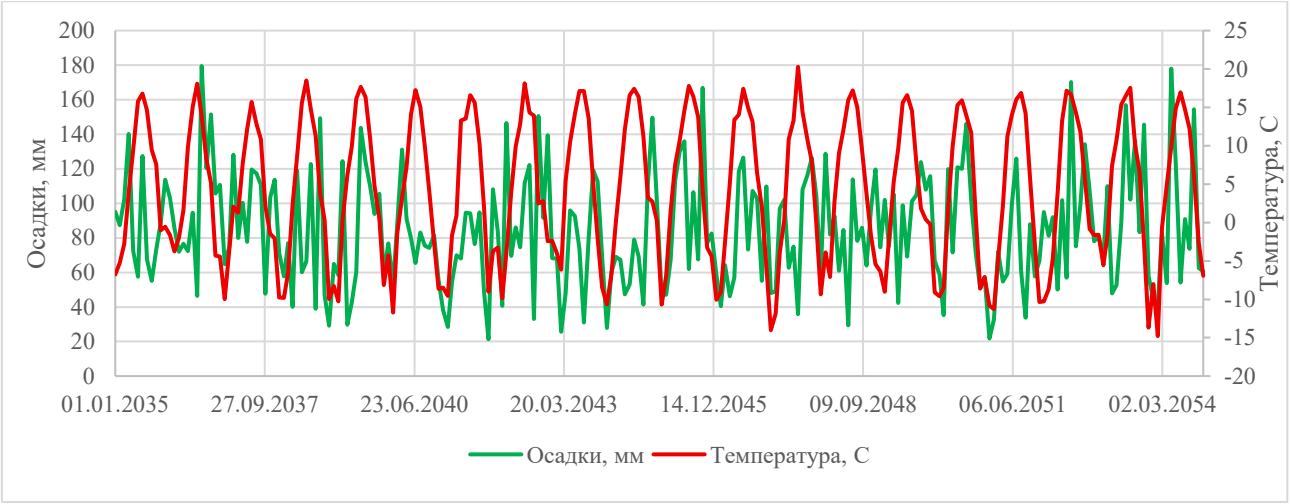


Рисунок Б.31 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 370* за период 2035–2054 гг.

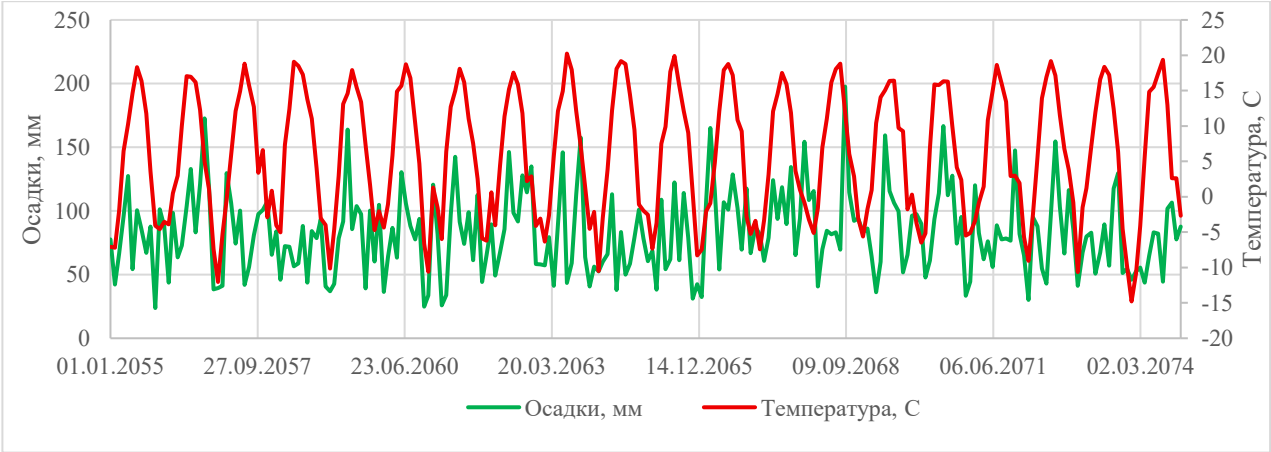


Рисунок Б.32 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 370* за период 2055–2074 гг.

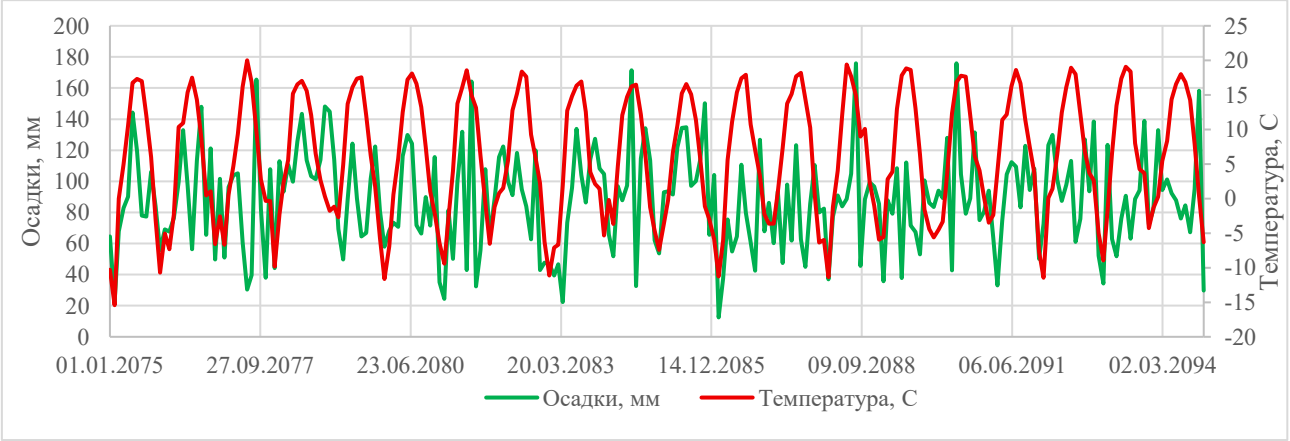


Рисунок Б.33 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 370* за период 2075–2094 гг.

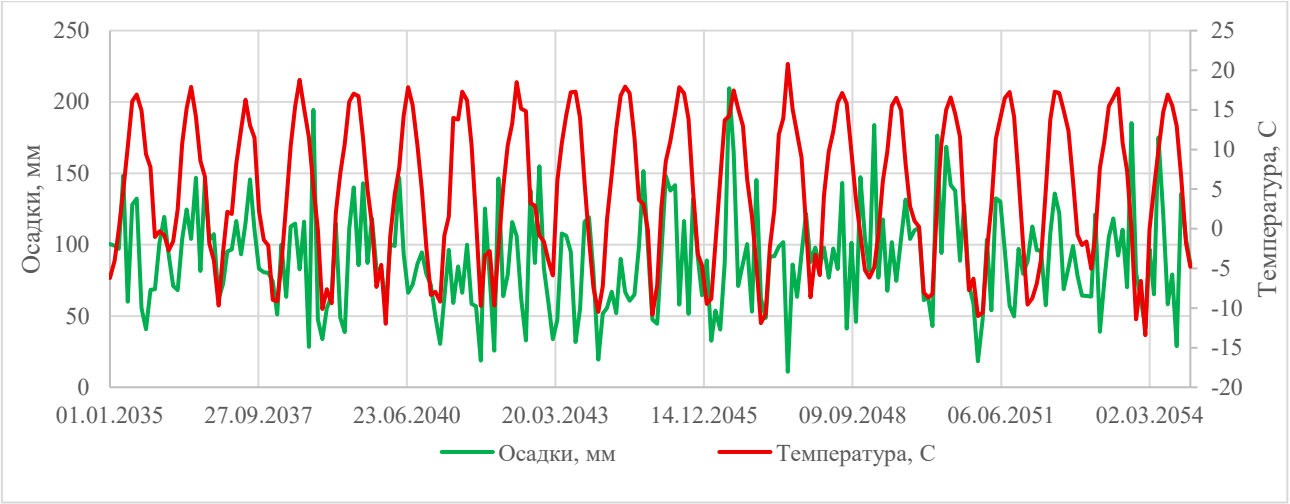


Рисунок Б.34 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 370* за период 2035–2054 гг.

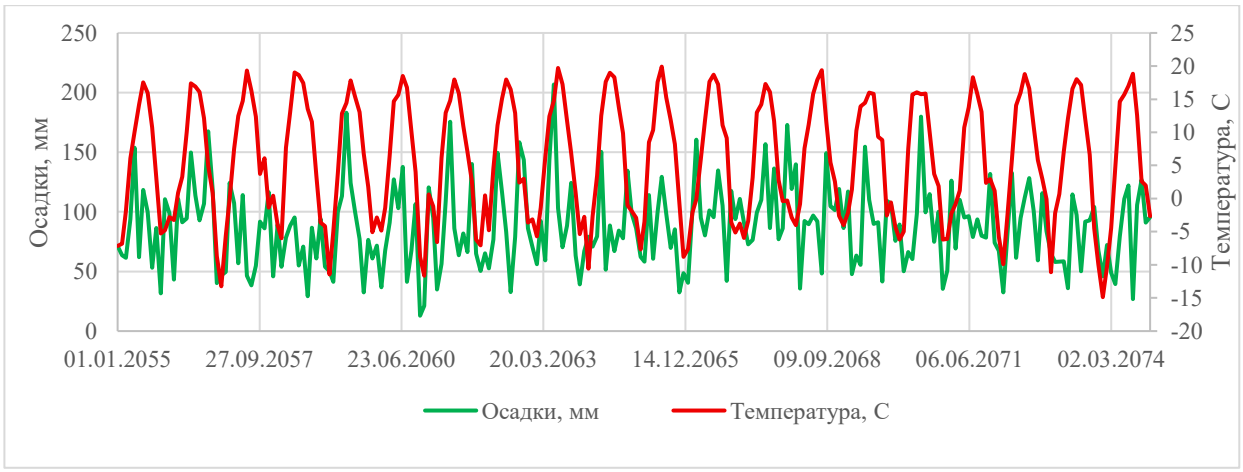


Рисунок Б.35 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 370* за период 2055–2074 гг.

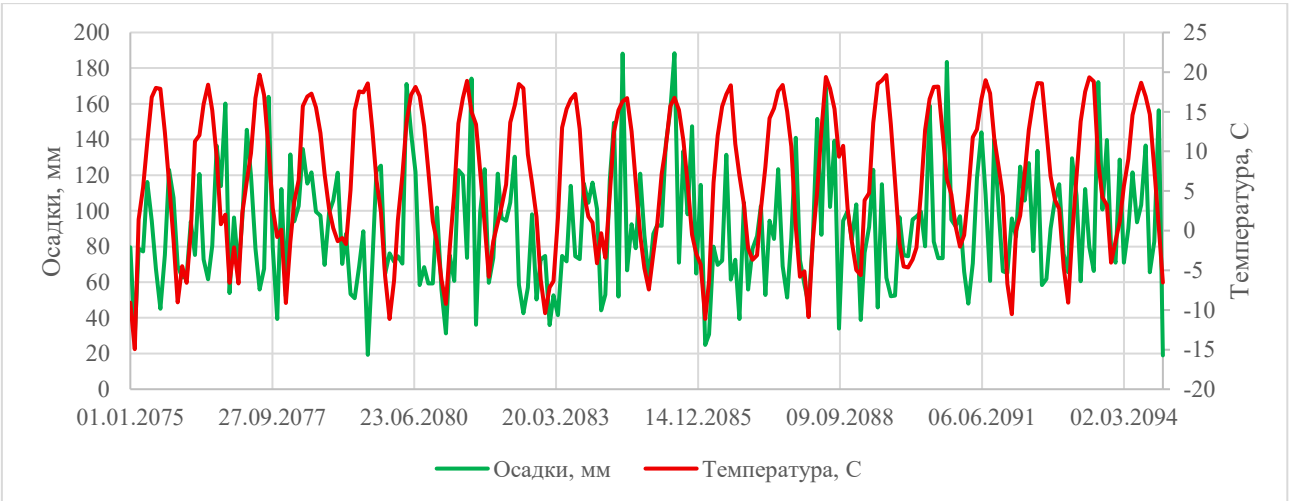


Рисунок Б.36 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 370* за период 2075–2094 гг.

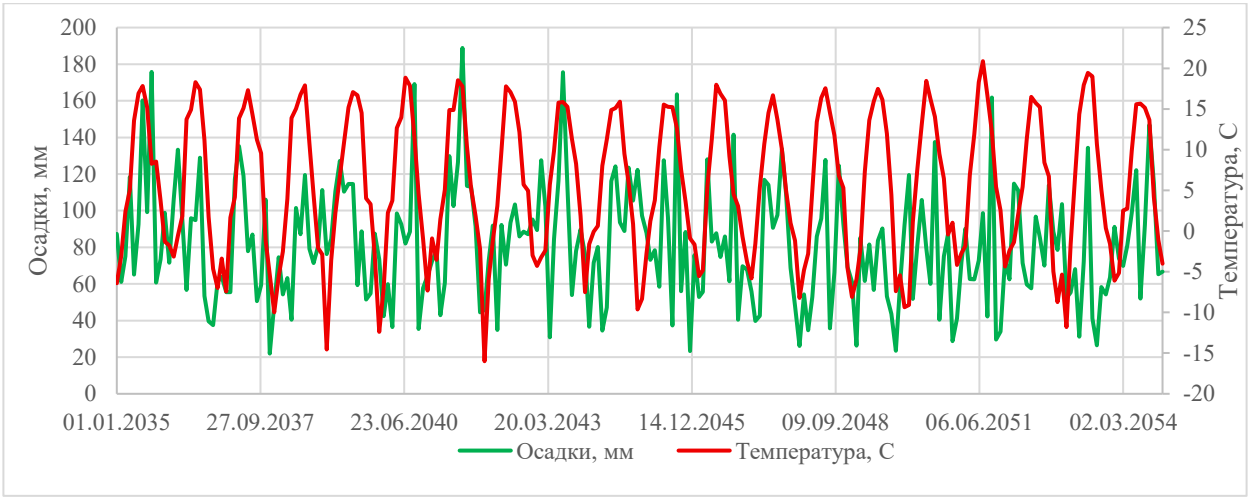


Рисунок Б.37 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 585* за период 2035–2054 гг.

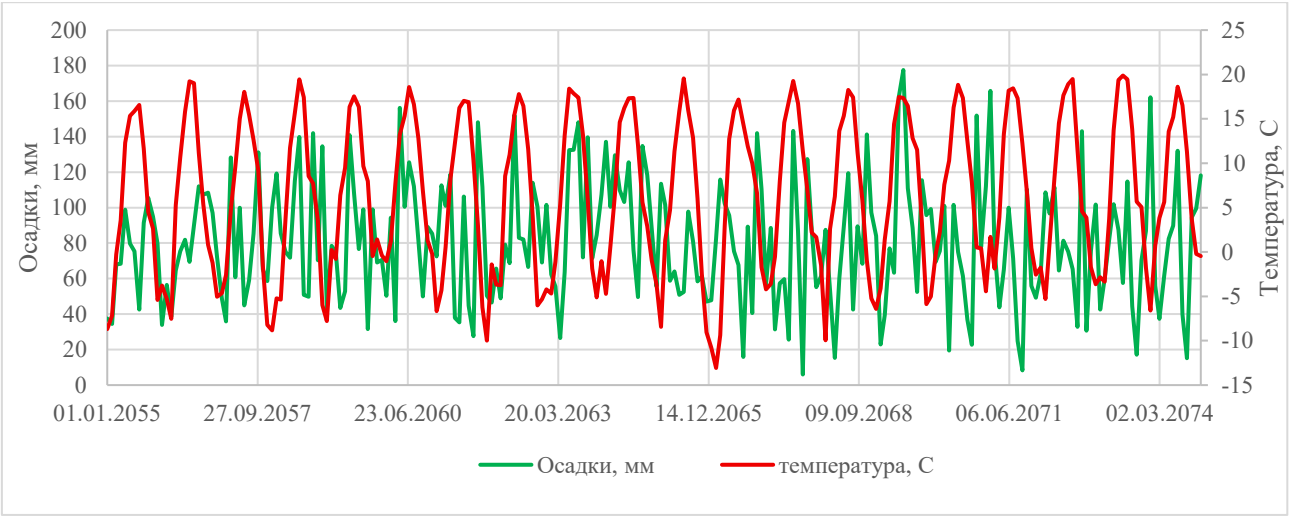


Рисунок Б.38 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 585* за период 2055–2074 гг.

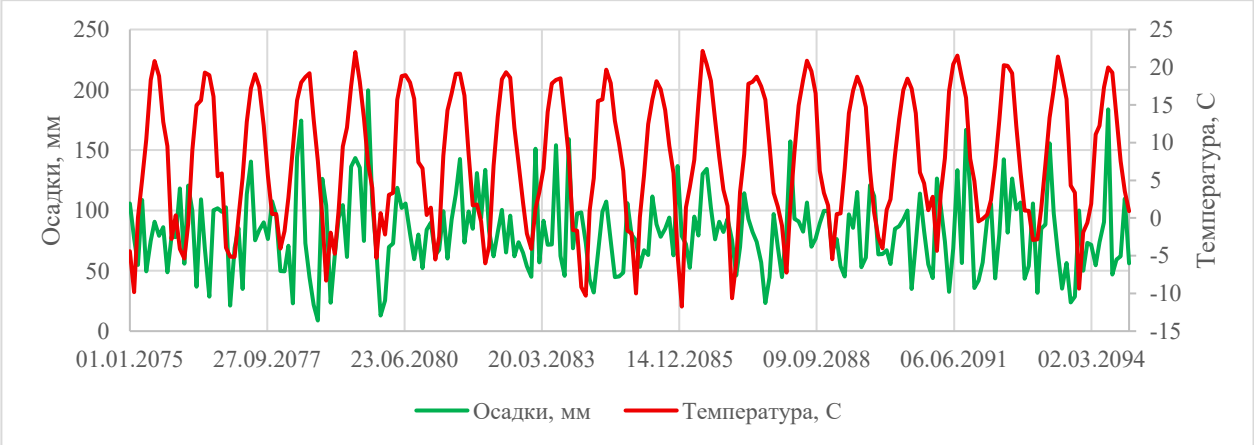


Рисунок Б.39 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 1 по сценарию *SSP 585* за период 2075–2094 гг.

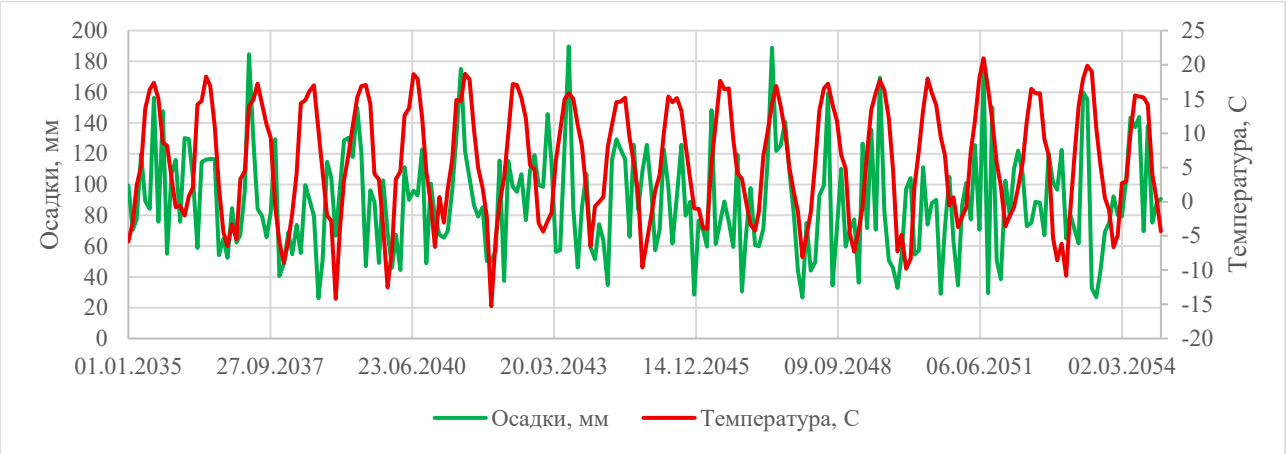


Рисунок Б.40 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 585* за период 2035–2054 гг.

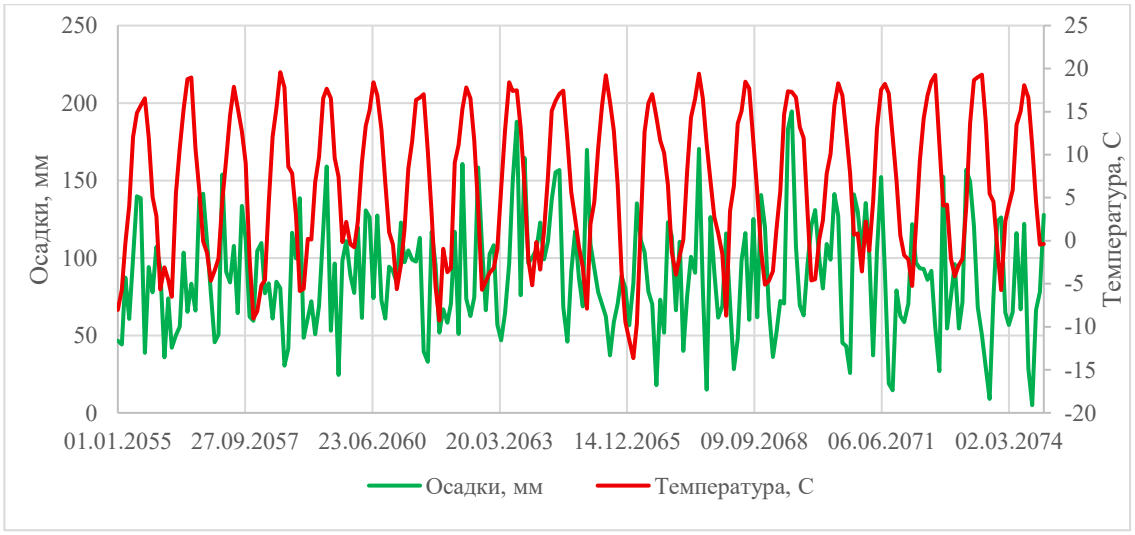


Рисунок Б.41 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 585* за период 2055–2074 гг.

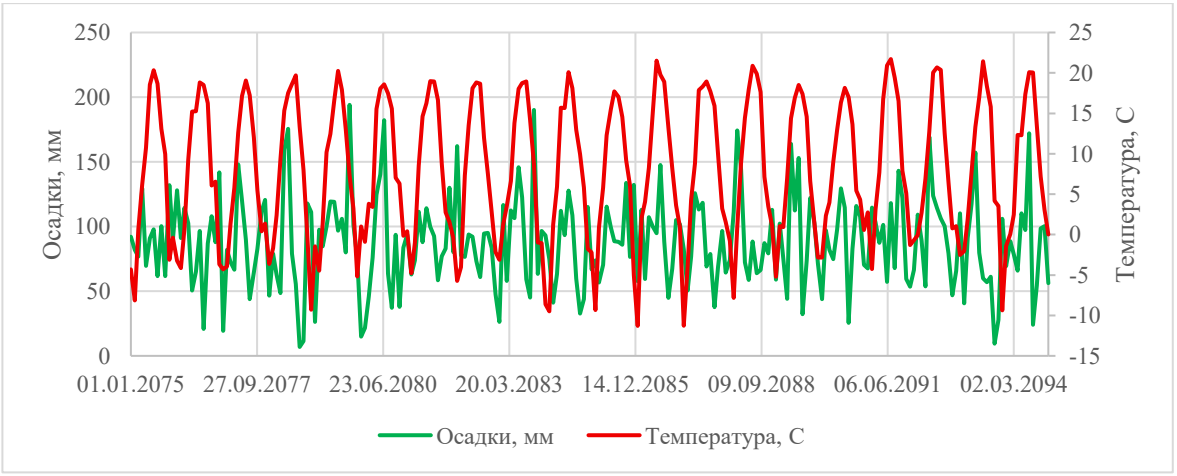


Рисунок Б.42 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 585* за период 2075–2094 гг.

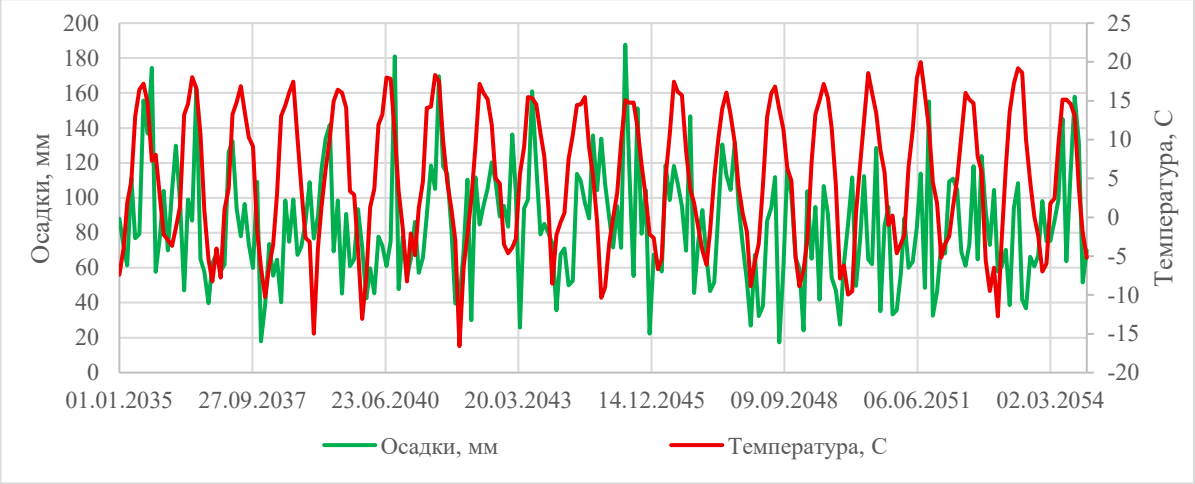


Рисунок Б.43 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 585* за период 2035–2054 гг.

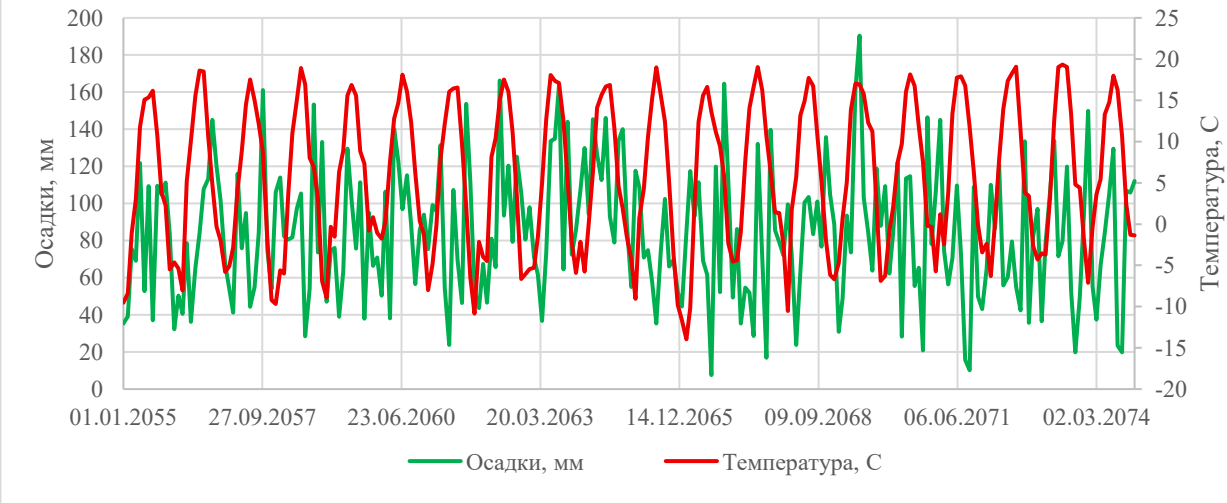


Рисунок Б.44 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 585* за период 2055–2074 гг.

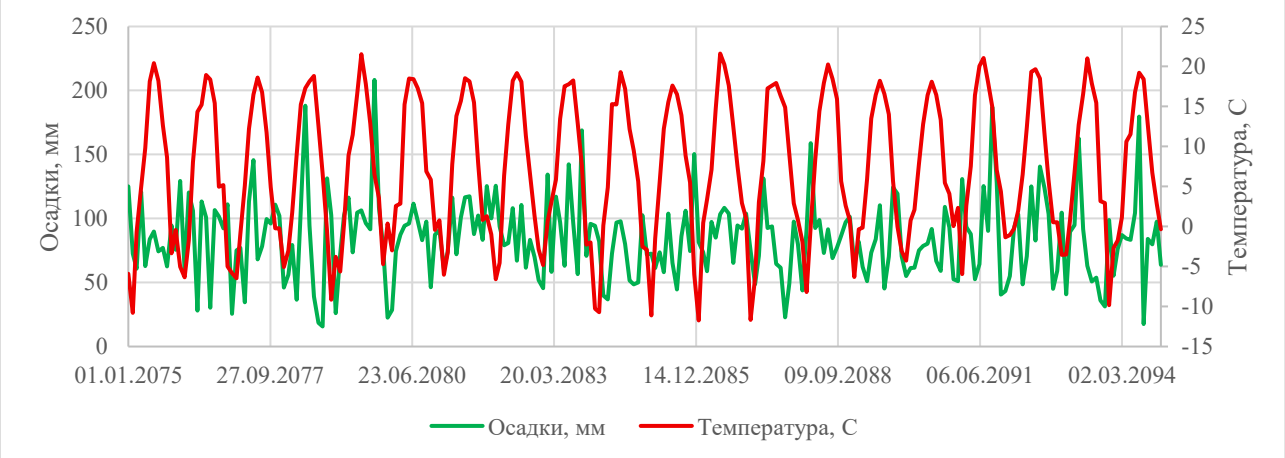


Рисунок Б.45 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 585* за период 2075–2094 гг.

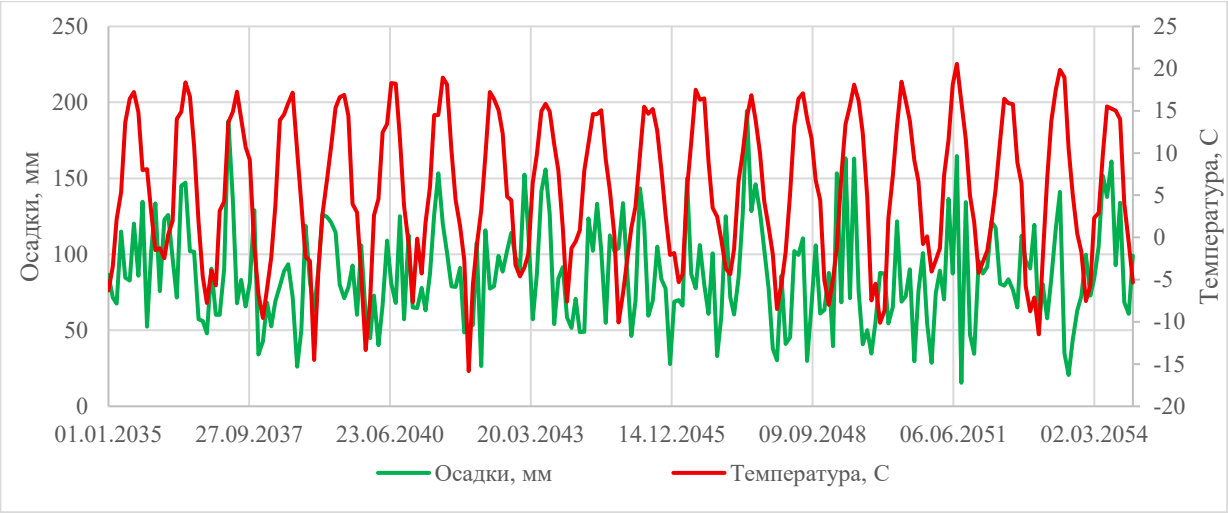


Рисунок Б.46 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 585* за период 2035–2054 гг.

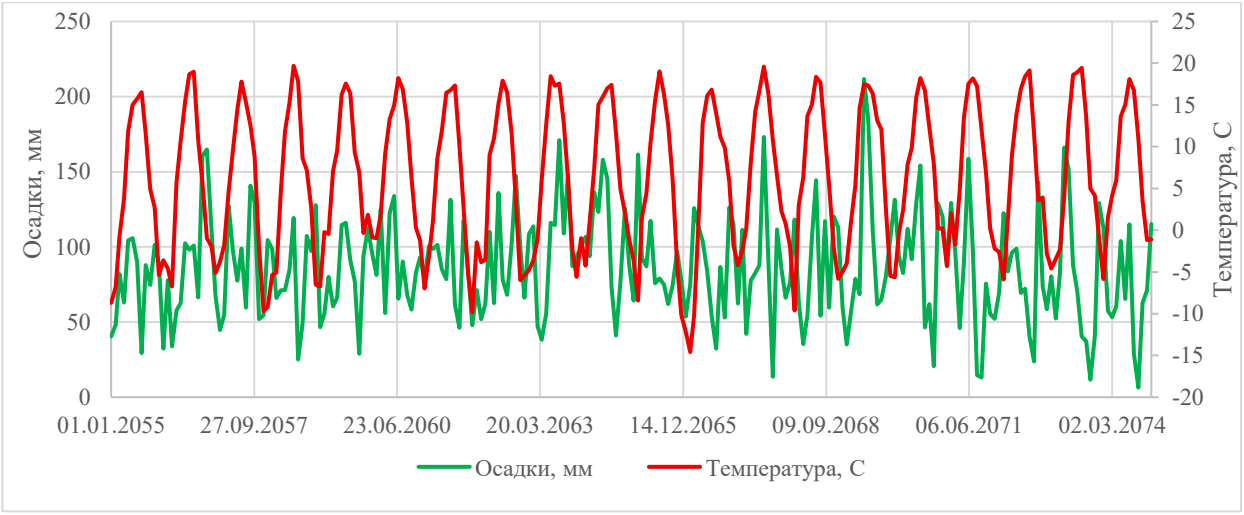


Рисунок Б.47 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 585* за период 2055–2074 гг.

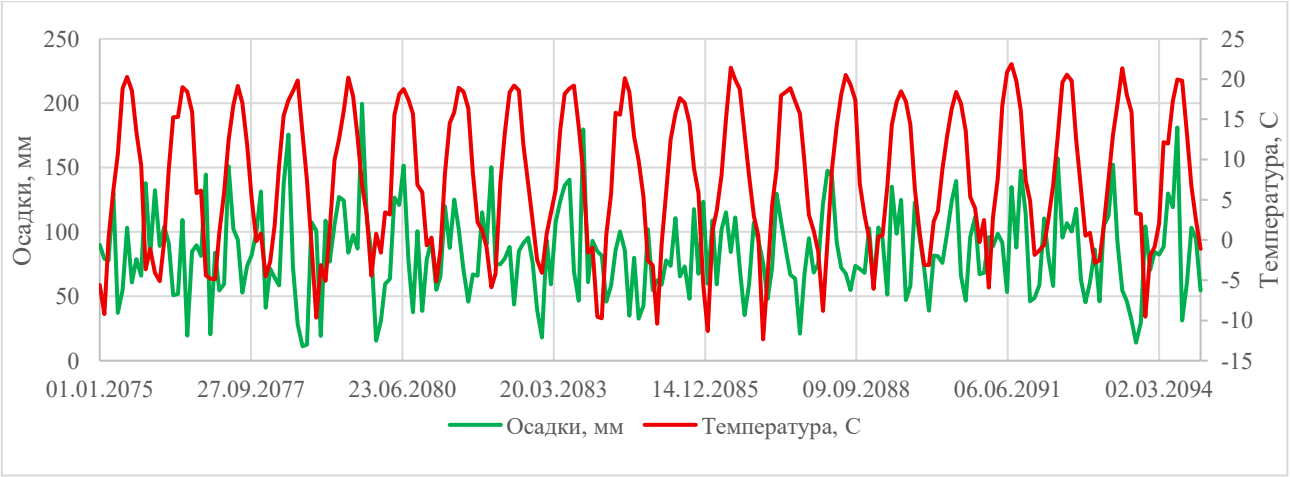


Рисунок Б.48 – Среднемесячные значения температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 585* за период 2075–2094 гг.



Рисунок Б.49 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 126*, 2035–2094 гг.



Рисунок Б.50 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 245*, 2035–2094 гг.

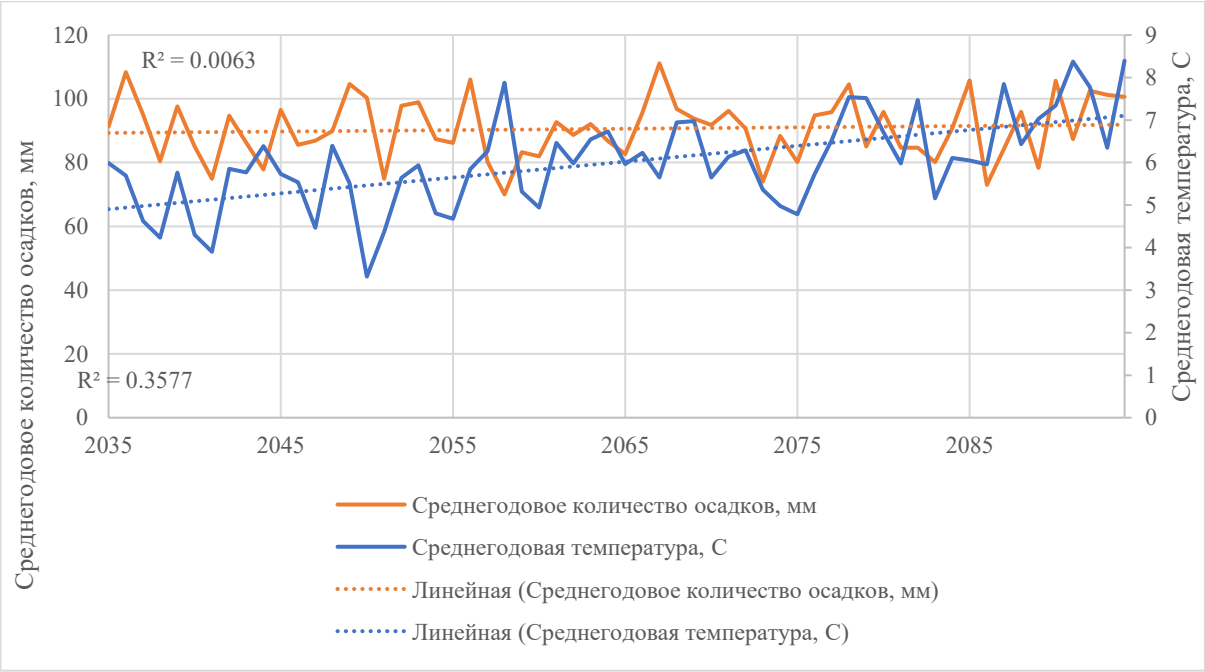


Рисунок Б.51 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 370*, 2035–2094 гг.

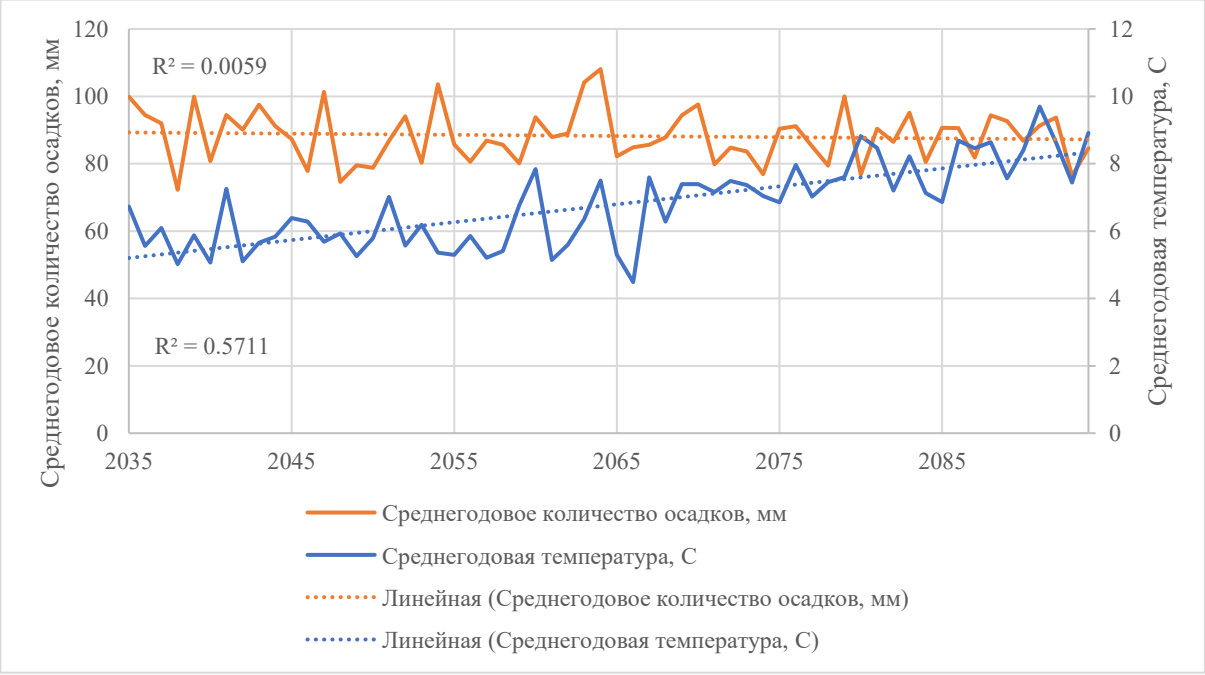


Рисунок Б.52 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 2 по сценарию *SSP 585*, 2035–2094 гг.

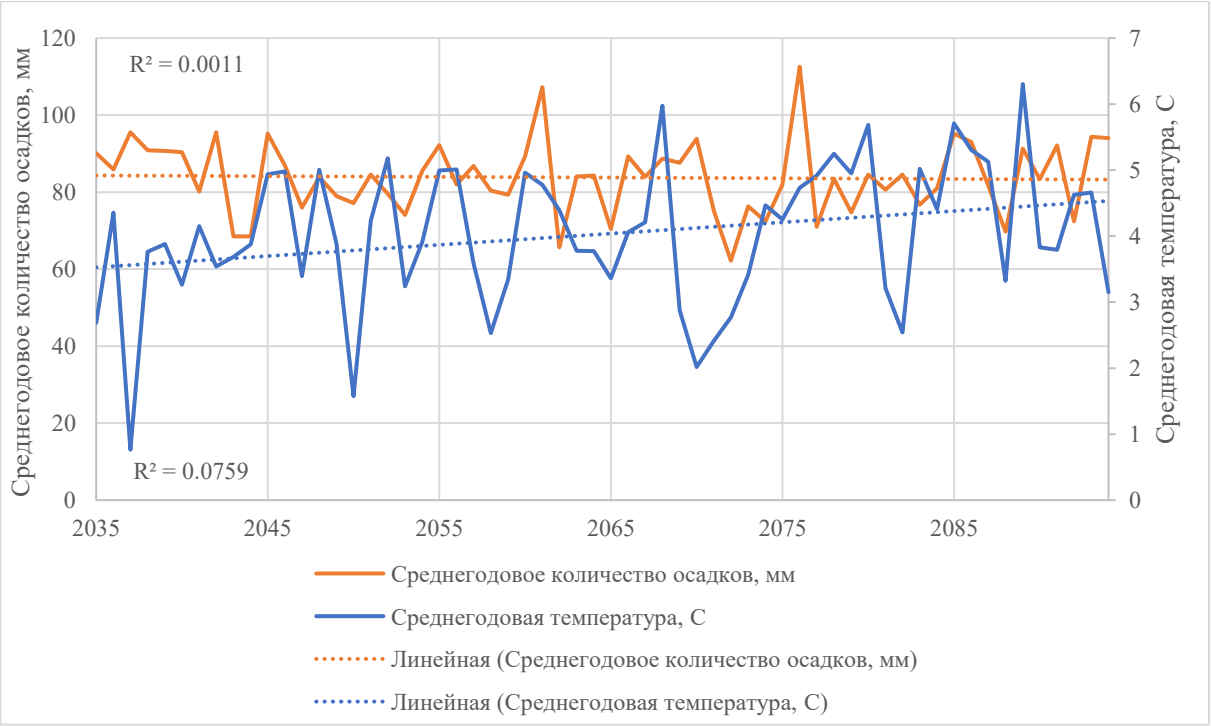


Рисунок Б.53 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 126*, 2035–2094 гг.

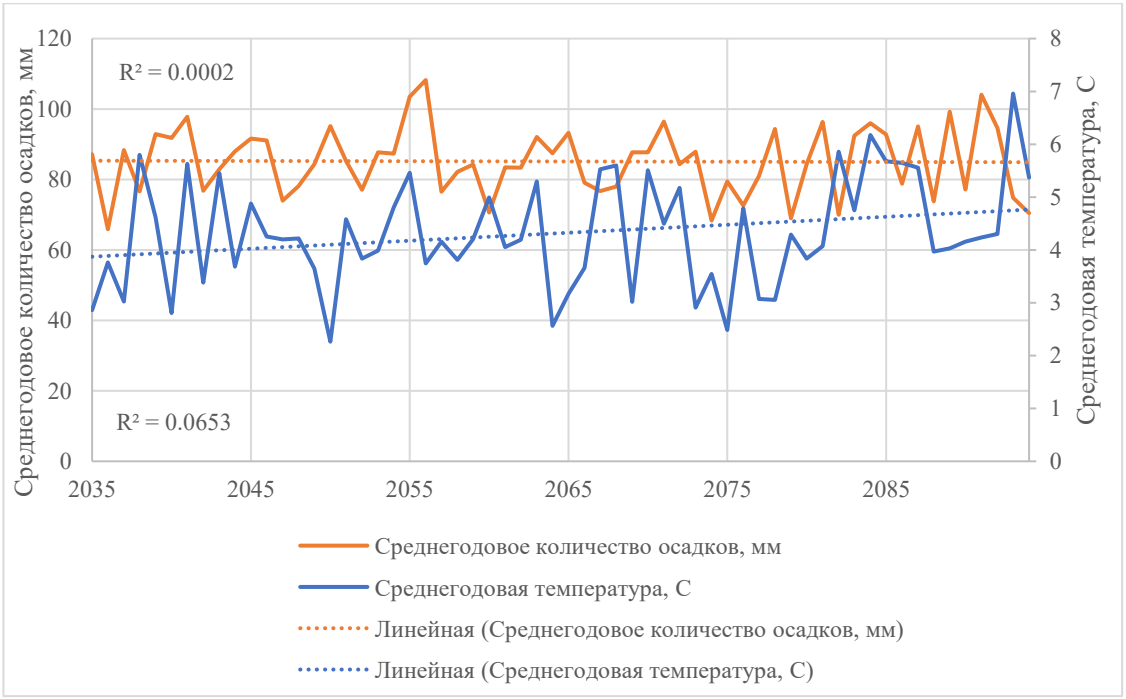


Рисунок Б.54 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 245*, 2035–2094 гг.

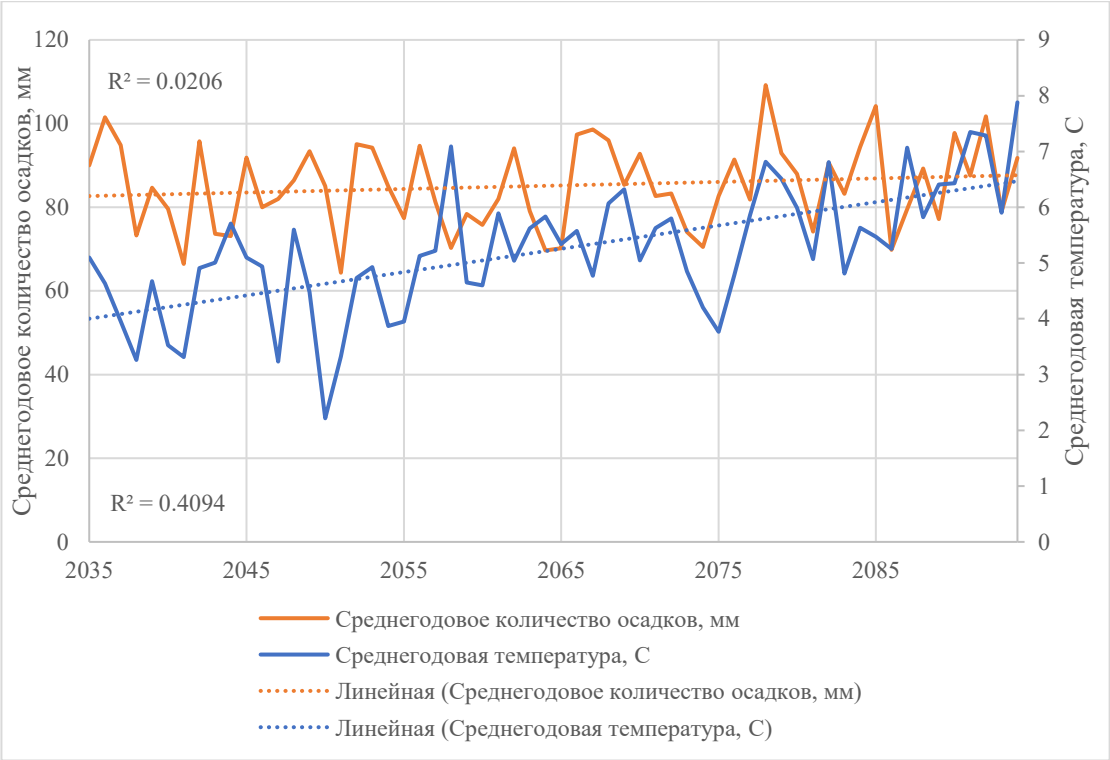


Рисунок Б.55 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 370*, 2035–2094 гг.

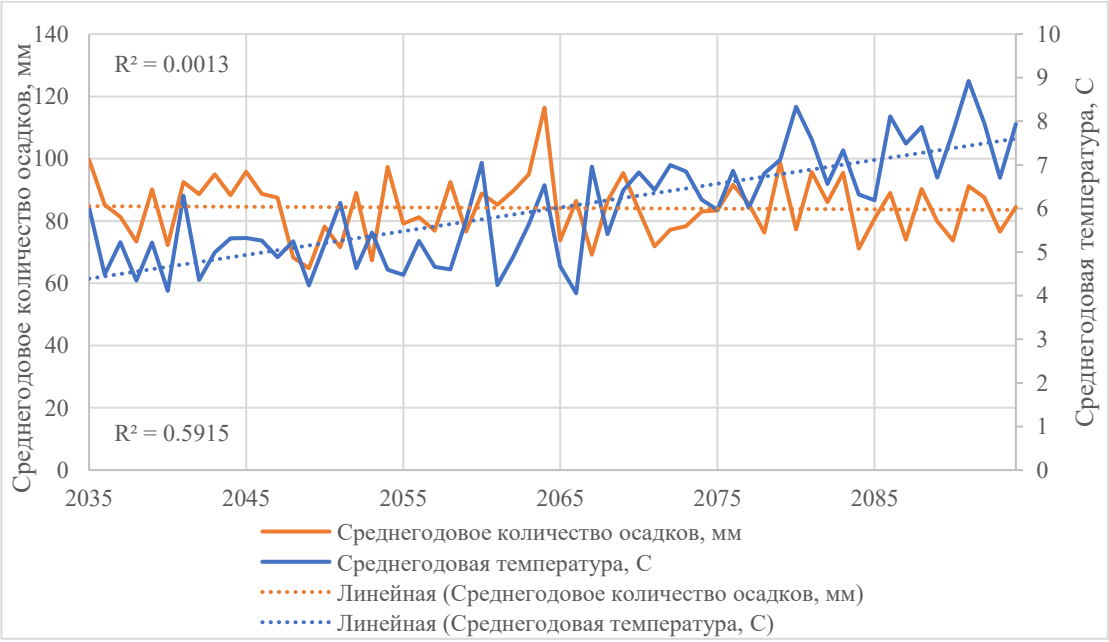


Рисунок Б.56 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 3 по сценарию *SSP 585*, 2035–2094 гг.

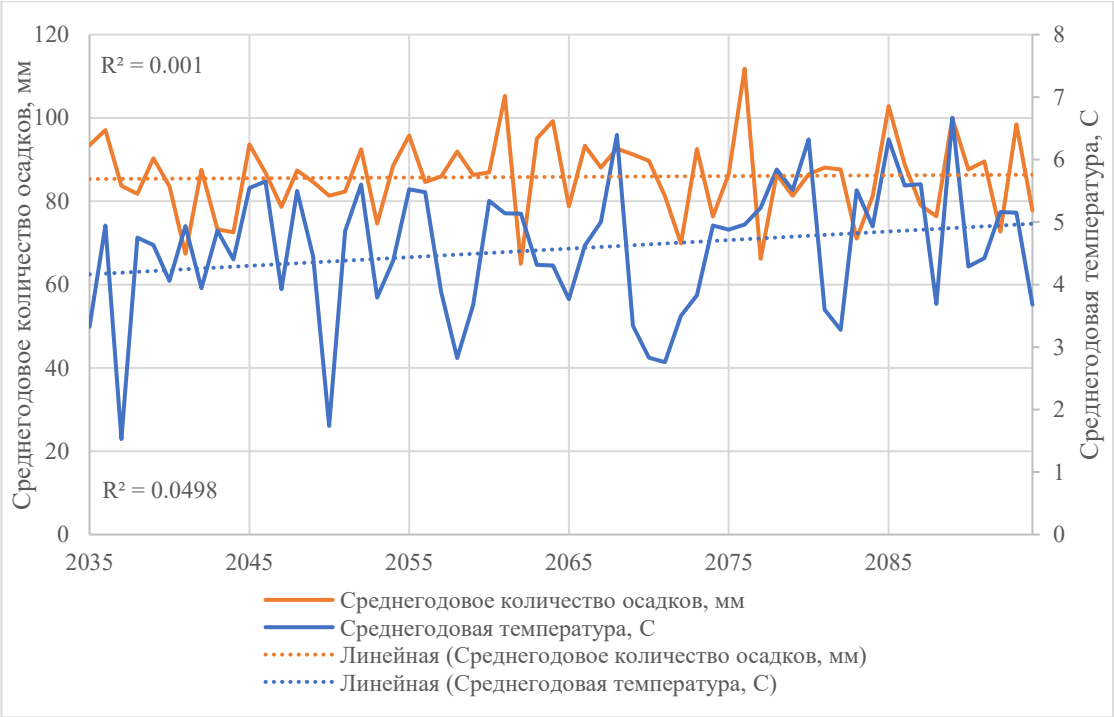


Рисунок Б.57 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 126*, 2035–2094 гг.

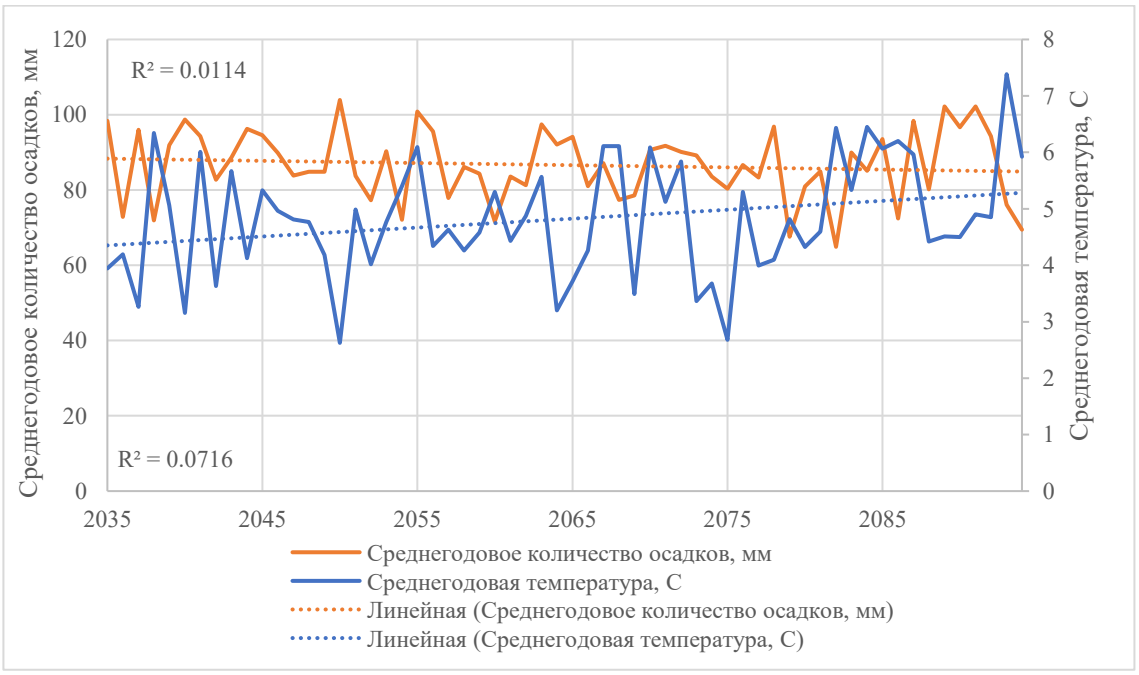


Рисунок Б.58 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 245*, 2035–2094 гг.

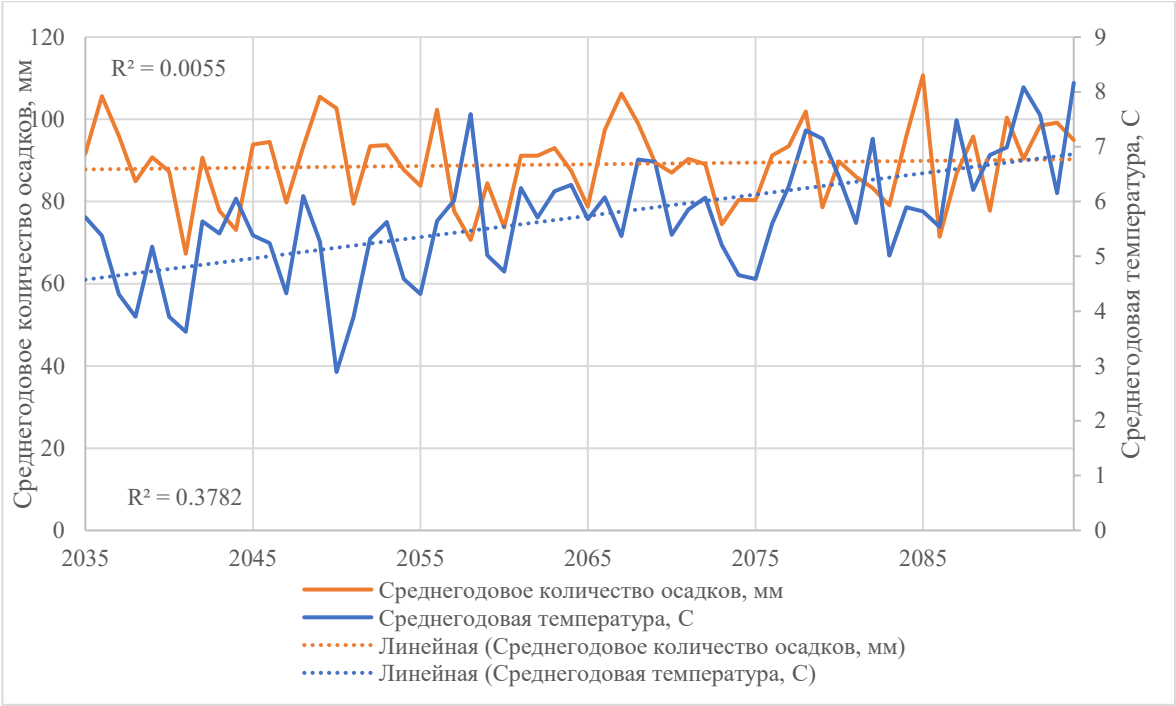


Рисунок Б.59 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 370*, 2035–2094 гг.

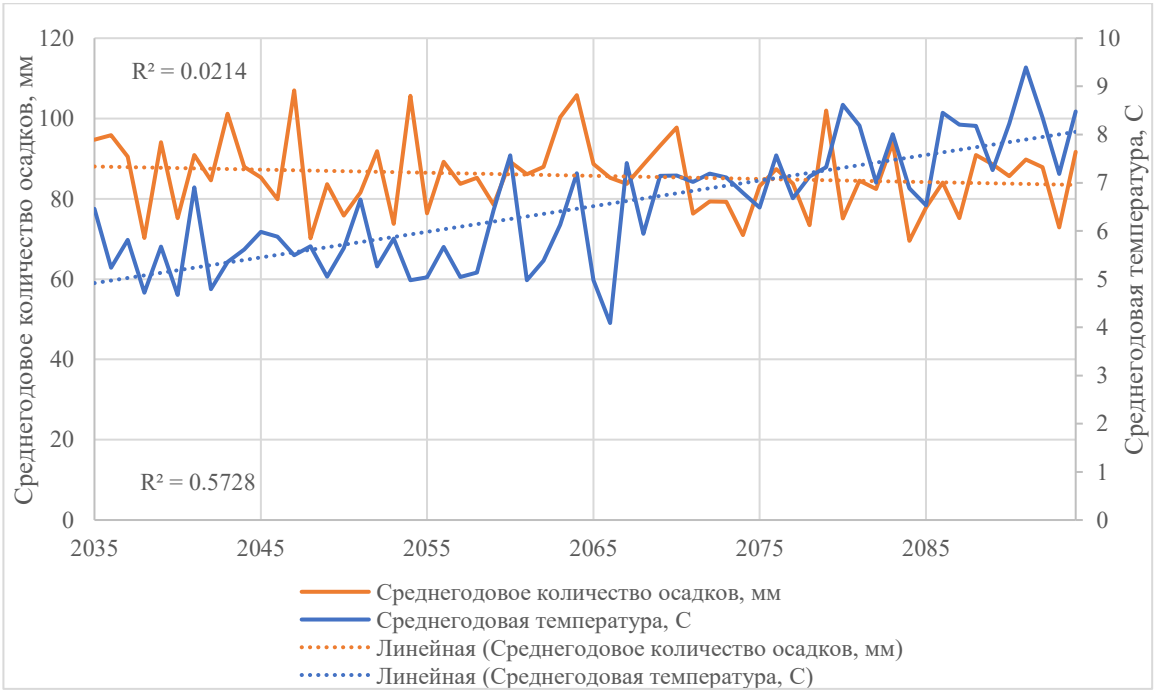


Рисунок Б.60 – Хронологический график среднегодовых температур и осадков для точки 4 по сценарию *SSP 585*, 2035–2094 гг.