



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

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВЕННОГО
РЕЖИМА КРУПНЫХ ОЗЕР СЕВЕРНОЙ
АМЕРИКИ И ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ**

Исполнитель Ларина Екатерина Михайловна

Руководитель кандидат географических наук, доцент

Сикан Александр Владимирович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат технических наук, доцент

Хаустов Виталий Александрович

«10» июля 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. КРУПНЕЙШИЕ ОЗЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	6
1.1. Географическое положение и общие сведения	6
1.1.1. Ладожское озеро	7
1.1.2. Онежское озеро	9
1.1.3. Псковско-Чудское озеро	11
1.1.4. Озеро Ильмень	14
1.2. Климат в районе крупнейших озер ЕТР	16
1.2.1. Общая характеристика климата	16
1.2.2. Сведения о метеорологических станциях	17
1.2.3. Температура воздуха	19
1.2.4. Осадки	22
2. ВЕЛИКИЕ АМЕРИКАНСКИЕ ОЗЕРА	26
2.1. Географическое положение и общие сведения	26
2.2. Климат в районе Великих американских озер.....	28
2.2.1. Общая характеристика климата	28
2.2.2. Сведения о метеорологических станциях	29
2.2.3. Температура воздуха	31
2.2.4. Осадки	34
3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ВЕЛИКИХ АМЕРИКАНСКИХ ОЗЕР И КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР ЕТР	39
3.1. Уровненный режим Великих американских озер	39
3.1.1. Система высот International Great Lakes Datum.....	39

3.1.2	Гидрологический режим Великих американских озер.....	43
3.1.3	Анализ уровенного режима Великих американских озер.....	44
3.2.	Уровенный режим крупнейших озер ЕТР.....	50
3.2.1.	Балтийская система высот	50
3.2.2.	Анализ уровенного режима озер ЕТР.....	51
3.3	Сравнительный анализ уровенных режимов Великих американских озер и крупных озер европейской территории России	60
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	66
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	70
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	71
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	75
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д	76
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	80
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	81
	ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	85
	ПРИЛОЖЕНИЕ И	86
	ПРИЛОЖЕНИЕ К	88
	ПРИЛОЖЕНИЕ Л	91
	ПРИЛОЖЕНИЕ М	92

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию уровня режима Великих американских озер и крупнейших озер европейской территории России.

Цель работы – выявить закономерности колебаний уровней крупнейших озер двух континентов, оценить зависимость этих колебаний от климатических и антропогенных факторов. В связи с этим решались следующие задачи.

- Дать физико-географическую характеристику района расположения Великих американских озер и крупнейших озер ЕТР.
- Выполнить анализ многолетних колебаний годовых сумм осадков и среднегодовых температур воздуха в районах исследований.
- Проанализировать вероятностную структуру рядов среднегодовых уровней крупнейших озер ЕТР и Северной Америки, оценить их связь с климатическими факторами.

Для решения поставленных задач использовались методы генетического и статистического анализа.

Работа состоит из трех глав, введения и заключения.

В первой главе представлена физико-географическая и климатическая характеристики района расположения крупнейших озер ЕТР. Дано описание озер: Ладожского, Онежского, Ильмень и Псковско-Чудского. Выполнен анализ колебаний климата по пяти метеорологическим станциям.

Во второй главе дано описание Великих американских озер: физико-географическая и климатическая характеристики района их расположения. Выполнен анализ колебаний климата по пяти метеорологическим станциям.

В третьей главе даны описания гидрологических режимов Великих американских озер и крупнейших озер ЕТР. Проведен анализ уровня режимов озер на европейском и американском континентах отдельно, выполнен анализ взаимосвязи изменений уровня режима и климатических характеристик. Проведен сравнительный анализ уровня режимов Великих американских озер и крупнейших озер ЕТР.

В заключении в обобщенном виде представлены результаты проведенного исследования.

Работа содержит 48 рисунков, 19 таблиц, 12 приложений и список литературы из 16 наименований. Общий объем работы 91 страница.

1. КРУПНЕЙШИЕ ОЗЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

1.1. Географическое положение и общие сведения

К числу наиболее крупных озер европейской территории России относятся Ладожское озеро, Онежское озеро, Псковско-Чудское озеро и озеро Ильмень (рисунок 1.1).

Основные морфометрические характеристики этих озер представлены в таблице 1.1



Рисунок 1.1 – Схема расположения крупнейших озер ЕТР.

Таблица 1.1 – Основные морфометрические характеристики крупнейших озер ЕТР

Озеро	Регион	Площадь зеркала, км ²	Объем, км ³	Максимальная глубина, м	Площадь водосбора, км ²
Ладожское	Республика Карелия, Ленинградская область	18 300	838	230	282 700
Онежское	Республика Карелия, Вологодская область, Ленинградская область	9 720	295	120	62 800
Псковско-Чудское	Псковская область	2 613	21,8	13	47 800
Ильмень	Новгородская область	1 100	2,85	10	67 200

1.1.1. Ладожское озеро

Озеро в Европейской части России, в Республике Карелия и Ленинградской области. Площадь Ладожского озера с островами 18,3 тыс. км², водной поверхности 17,9 тыс. км², объем 838 км³, длина 219 км, максимальная ширина 125 км, длина береговой линии 1570 км, максимальная глубина 230 м в северной части котловины между Валаамским и Западным архипелагами островов, высота водной поверхности над уровнем моря 5,1 м. Образовалось Ладожское озеро около 10 тыс. лет назад, после заполнения вытянутой с северо-запада на юго-восток котловины водой тающего края ледникового щита. Ее северные берега сложены кристаллическими породами, высокие и сильно расчлененные; полуострова продолжаются цепочками островов, образуя шхерный тип берега. К югу побережье становится низменным и ровным, окаймленным узкими пляжами с валунами, в небольших заливах заросшим околководной растительностью. Южная часть берега состоит из трех крупных мелководных заливов: Свирская губа и Волховская губа, в которые впадают самые крупные притоки, и бухта Петрокрепость с истоком Невы. В Ладожском озере более 660 островов.

Ежегодно в Ладожское озеро поступает в среднем 83 км³ воды, 70% которой – озерные водные массы, притекающие по р. Свири из Онежского оз., по р. Вуоксе из оз. Сайма и по р. Волхов из оз. Ильмень. Сток каждой из них

регулируется гидроузлами ГЭС и составляет около 20 км³/год. Еще 16% составляют приток 16 небольших рек и 14% – выпадающие на водоем атмосферные осадки. Испаряется 9% воды расходной части водного баланса, остальной объем воды – сток р. Невы. Время водообмена около 10 лет. Средний диапазон внутригодового изменения уровня воды в Ладожском озере равен 69 см (от 21 в маловодном 1940 г. до 126 см в многоводном 1962 г.).

Минерализация основной водной массы малая (64 мг/л), свирской – еще меньше, вуоксинской – вдвое меньше, а волховской – в 1,5 раз больше. За последние 30 лет XX в. минерализация вод озера увеличилась на 16% вследствие природных причин и загрязнения сточными водами. Состав воды – гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый, вода прозрачная, благодаря чему развитие планктона возможно до глубины 8–12 м. Содержание кислорода в ладожской воде высокое, а в поверхностном ее слое наблюдалось даже перенасыщение кислородом, выделяющимся при размножении микроводорослей. Самоочищению водных масс способствуют прибрежные заросли высшей водной растительности (более 100 видов), преимущественно тростника, занимающие около 5% площади мелководий [11].



Рисунок 1.2 – Ладожское озеро.

1.1.2. Онежское озеро

Озеро в Европейской части России, в Республике Карелии, в Вологодской и Ленинградской областях. Площадь его водной поверхности 9720 км², суммарная площадь 1500 островов 250 км². Протяженность озера с севера на юг 248 км, с запада на восток 96 км. Длина береговой линии 1810 км. Максимальная глубина 120 м, объем 295 км³. Поверхность воды – на высоте 35 м над уровнем моря. Северные скалистые берега изрезаны крупными заливами и узкими губами – Петрозаводская губа, Кондопожский залив, Лижемская и Уницкая губы плеса Большое Онего; в северной части озера наибольший Повенецкий залив с Большой губой и др. Между плесами Большое Онего (наиболее глубокий) и Малое Онего вытянут на юг самый большой полуостров Заонежье с губой Великой, рядом наибольший остров – Большой Климецкий и островок Кижы. Между губами – вытянутые на юго-восток мысы (наволоки) часто продолжаются каменистыми мелями – лудами. От устья р. Водлы на середине восточного берега до истока р. Свири в юго-западном заливе вся северо-восточная часть береговой линии – низменная и выровненная, берега заболоченные, поросшие тростником.

Водосбор Онежского озера площадью 53,1 тыс. км² имеет очень густую гидрографическую сеть, состоящую из множества малых рек (2765 общей длиной 22,7 тыс. км) и озер (9516 общей площадью 15,4 тыс. км²). В Онежское озеро впадает более тысячи водотоков. Крупнейшие – реки Водла, сток которой равен в среднем 4,4 км³/год, Шуя (3,0–4,4 км³/год) и Суна (2,6–4,4 км³/год), впадающие в Петрозаводскую и Кондопожскую губы. Суммарный речной приток – 17 км³/год, атмосферные осадки дают еще 5,4, испаряется с акватории 3,7 и стекает по Свири 18,8 км³/год. После сооружения в 1953 г. Верхнесви́рского гидроузла уровень в Онежском озере поднялся на 32 см, площадь водосбора образовавшегося озерно-речного водохранилища многолетнего регулирования стока увеличилась до 57,3 тыс. км², площадь водной поверхности – до 9840 км², образовав полезный объем воды более 3 км³.

Продолжительность водообмена водоема около 15 лет. Размах ежегодных колебаний уровня – 0,7–0,8 м, многолетних колебаний до регулирования уровня 1,3 м, ныне – 0,8–0,9 м. Сгонно-нагонные колебания водной поверхности наиболее часты с сентября по декабрь и продолжаются в среднем около суток, но при продолжительных ветрах – до 3 суток. В период весенне-летнего нагревания в озере возникает вдольбереговая циркуляция вод, охватывающая два наиболее обширных плеса – Центральное и Южное Онего. Это течение наиболее устойчиво в безветренную погоду; его скорость у водной поверхности – до 12–15 см/с; на глубине 40–50 м она равномерно уменьшается до 2–3 см/с. При устойчивых по направлению ветрах на поверхности этих же двух плесов развиваются наибольшие волны (в среднем около 1,5 м), а при ветре более 12 м/с их высота достигает 2,5–3,0 м.

Химический состав воды Онежского озера формируется в основном маломинерализованными речными водными массами, приносящими более 90% минеральных веществ, и лишь 10% их общей массы поступает из атмосферы и со сточными водами. Поэтому водоем – один из наименее минерализованных среди крупнейших озер мира, его средняя минерализация – 36,6 мг/л [11].

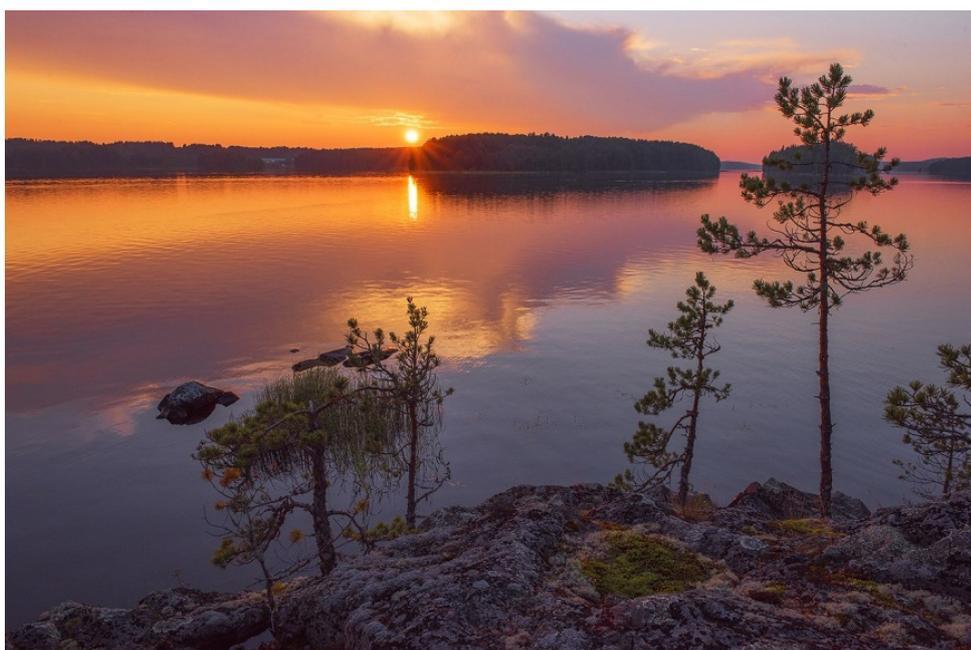


Рисунок 1.3 – Онежское озеро.

1.1.3. Псковско-Чудское озеро

Чудское – озеро в Европейской части России, на границе Псковской области и Эстонии, северная часть Чудско-Псковской озерной системы. Граница России проходит по продольной оси акватории и делит ее площадь, равную 2613 км², на две примерно равные части. Чудское озеро на юге соединяется проливом с Теплым озером (236 км²), расположенным между островами Пийриссаар и Салло и связанным другим проливом с Псковским озером. Чудское озеро имеет трапециевидную форму, вытянутую и расширяющуюся на север от пролива до северо-восточного залива – истока р. Нарвы. Длина Чудского озера – 90 км, наибольшая ширина – 47 км, объем – 21,8 км³, максимальная глубина – 12,9 м при среднем за многолетний период уровне воды 30 м абс. Чудское – крупнейшее озеро Псковской области и 8-е озеро России по площади водного зеркала. В озере восемь островов, наибольший из них – Пийриссаар площадью 7,4 км², остальные – в устьях притоков с западного берега – рек Суур-Эмайыги (или Эмайыги) и др.

Длина береговой линии Чудского озера – 260 км, она плавная, всего с одной Раскопельской бухтой длиной в 20 км на юго-восточном конце акватории.

Псковское озеро – южная часть Чудско-Псковской озерной системы. Озеро соединяется проливом с небольшим Теплым озером, которое другим проливом связано с Чудским озером. Площадь Псковского озера 708 км², объем 2,68 км³, средняя глубина 3,8 м, максимальная глубина 5,9 м близ острова Колпино к востоку от границы с Эстонией. Средний многолетний уровень воды 30,1 м абс. Псковское – 2-е озеро Псковской области (после Чудского озера) и 20-е озеро России по площади водного зеркала^[*].

Озеро имеет овальную форму, вытянутую с юго-востока на северо-запад – от устья главного притока – р. Великой до пролива. Берега низкие, болотистые, заливаемые в половодье. Вдоль всего побережья длиной 177 км разбросано 15 островов общей площадью 17,5 км². Рельеф дна плоский или слегка волнистый с преобладающими глубинами 3,5–4,5 м. Мелководья

(вокруг Талабских островов) сложены мелкозернистыми песками. В береговой зоне много подводных банок, высотой до 2–3 м, глубина над которыми не более 0,5–1,5 м. Толщина донных песчанисто-илистых отложений в Псковском озере небольшая – 1–2 м, у берега местами выходят ледниковые моренные и песчаные отложения или торф. Наибольшая толщина отложений в пределах затопленной долины р. Великой – до 10 м.

Площадь водосбора Псковско-Чудской озерной системы 47,8 тыс. км², из которых 26,2 тыс. км² (55%) – водосбор р. Великой, питающей Псковское озеро. В верховьях река собирает сток 20 малых моренных озер; вблизи устья к ним добавляются сточные воды Пскова. Ее минимальный расход в зимнюю межень около 20 м³/с, а максимальный в весеннее половодье – в 100 раз больше. Следовательно, Псковское озеро – водоем сильно проточный, в котором вода сменяется в среднем примерно дважды в год. Наиболее значительны скорости стокового течения, направленного в пролив к Теплому озеру; их изменчивость зависит от водности весеннего половодья. Минимальны их скорости в последние месяцы зимнего ледостава. Годовой приток поверхностных вод в озерную систему около 11 км³, атмосферных осадков – около 2 км³, а испаряется воды около 1 км³, сток в р. Нарве – 12 км³/год. В уровенном режиме озера четко выражен весенний подъем в течение 1,5 месяцев в среднем на 1 м и длительный (4–5 месяцев) спад, сменяющийся низкими отметками уровня с нередкими его повышениями в осенние паводки. Но наибольший размах колебания уровня, при котором и происходит затопление прибрежных низин – свыше 3 м. Современный рельеф озерной котловины образовался в последнее Валдайское оледенение около 12 тыс. лет назад.

Температурный режим, как во всех крупных мелководных озерах, отличается быстрым весенним прогревом водной толщи, достигающим в июле 19–21°C, чередованием ее охлаждения при похолоданиях погоды, сопровождающихся обычно усилением ветра и перемешиванием воды по акватории и глубине ветровыми течениями и сгонно-нагонными и сейшевыми

колебаниями уровня. При последующем наступлении жаркой и штилевой погоды происходит повышение температуры на несколько градусов. Осеннее охлаждение водной толщи – растянутое из-за теплоотдачи донных илов, прогретых за лето теплой озерной водой. Псковское озеро замерзает раньше Теплового и Чудского озер – в середине ноября, и ледостав длится около 120 суток. Зимой образуются трещины и торосы. Подо льдом в течение зимы формируется обратная температурная стратификация, при которой придонный слой постепенно нагревается до 2–2,5°C вследствие продолжающейся теплоотдачи донных илов, а у берегов – из-за подводных ключей более теплых и более минерализованных грунтовых вод.

Минерализация воды 160 мг/л; вода имеет гидрокарбонатно-кальциево-магниевый состав и небольшую и изменчивую прозрачность (1,5–2,5 м) из-за притока речных взвесей, взмучивания илов в шторма и развития фитопланктона (доминируют диатомовые и сине-зеленые водоросли) [11].



Рисунок 1.4 – Псковско-Чудское озеро.

1.1.4. Озеро Ильмень

Озеро в Европейской части России, на западе Новгородской области. Относится к бассейну Балтийского моря, входит в число Великих европейских озер (Сайма – Финляндия; Ладожское, Онежское, Псковско-Чудское озера – Россия), является частью Вышневолоцкой водной системы. Озеро относится к группе озер эпохи покровных оледенений и сформировалось в послеледниковый период на месте древнего Приильменского водоема глубиной до 30 м, границы которого доходили до современного водораздела рек Волховского и Невского бассейнов.

Мелководное озеро с плоским дном, сложенным 9–10-метровой толщей ила. Размеры и форма озера сильно меняются из-за значительных внутригодовых и межгодовых колебаний уровня воды в условиях плоской низменности. Площадь озера изменяется от 770 км² при отметке уровня 16,5 м абс. и максимальной глубине 3 м до 2100 км² при отметке 23,4 м абс. и глубине до 10 м. Длина его около 45 км, ширина до 35 км; глубина до 10 м. Объем 1,5–3,5 км³, площадь водосбора озера 67,2 тыс. км². Берега преимущественно низменные, заболоченные. В местах впадения рек, образующих дельты, множество плоских пойменных островов и протоков; вдоль северо-западного берега вытянуты гряды. На водосборе земли используются под пашни, сенокосы и пастбища. Ильмень – крупнейшее озеро Новгородской области и 12-е озеро России по площади водного зеркала.

Ледостав на озере наблюдается с конца ноября до середины апреля. Из-за мелководности озеро быстро прогревается, прямая стратификация наблюдается только в штиль, обычно характерно равномерное распределение температуры воды по глубине, изменение температуры воды за период открытой воды тесно связано с ходом температуры воздуха. Осеннее охлаждение озера происходит быстро. Зимой при обратной температурной стратификации разность температуры поверхностных и придонных слоев достигает 3,0–3,2° благодаря поступлению тепла от нагретой толщи ила. В течение зимы температура придонных слоев повышается, достигая максимума

в марте.

Из-за низких берегов акватория озера подвержена ветровому воздействию; регулярно происходит взмучивание ила со дна. Повышению мутности в летний период способствует размножение фитопланктона (цветение воды), что приводит к снижению прозрачности до 0,4–0,6 м. Особенностью озера является недонасыщение его воды кислородом: летом концентрация кислорода составляет около 8 мг/л (95% насыщения). Минимальное содержание кислорода наблюдается в конце ледостава во всей толще воды – у поверхности 7 мг/л (48% насыщения), в придонном слое до 4,3 мг/л.

Воды озера Ильмень загрязнены органическими веществами: превышены рыбохозяйственные ПДК, БПК и ХПК; также превышено содержание железа, меди и марганца. Однако с 2010 г. наблюдается снижение уровня загрязненности вод озера нефтепродуктами [11].



Рисунок 1.5 – Озеро Ильмень.

1.2. Климат в районе крупнейших озер ЕТР

1.2.1. Общая характеристика климата

Рассматриваемая территория расположена на северо-западе Российской Федерации между 62,9° и 57,9° с.ш. (протяжение около 555 км) и 26,9° и 36,4° в.д. (протяжение около 1055 км). Климат по монографии «Ресурсы поверхностных вод» переходный от морского к умеренно-континентальному.

Средняя годовая температура воздуха на территории северо-запада колеблется от 2 °С в северо-восточной части до 4 °С в южной. Самым холодным месяцем в году является январь, среднемесячная температура января -7 °С на западе территории и ниже -11 °С на северо-востоке. Самым теплым месяцем на всей рассматриваемой территории является июль, среднемесячная температура июля 16-17 °С. За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через нуль, на северо-западе европейской части России эта дата приходится на первую декаду апреля. Весна характеризуется частыми возвратами холодов, иногда – кратковременными установлениями снежного покрова. К концу апреля вся территория освобождается от снежного покрова. Лето, за начало которого принимается переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С, наступает в первой декаде мая в южной части Псковской и Новгородской областей, в середине мая – на остальной части рассматриваемой территории. В первой декаде мая заканчиваются заморозки на побережьях озер Ильмень, Псковское и Чудское. Зима на Северо-Западе начинается в конце октября в восточной части Ленинградской области и во второй декаде ноября – в юго-западной части Псковской, южной части Новгородской и в западной части Ленинградской областей. Предзимье характеризуется преобладанием ненастной погоды, выпадением дождя и мокрого снега, неоднократными кратковременными образованиями снежного покрова. С половины декабря средняя суточная температура переходит через -5 °С, на большей части

территории этот период длится в среднем три месяца – до середины марта.

Сравнительно небольшой приход тепла и хорошо развитая циклоническая активность являются причиной избыточного увлажнения рассматриваемой территории. На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность. Вблизи озер Ладожское, Онежское, Ильмень, Псковское и Чудское заметно снижены осадки. Внутри года осадки распределены неравномерно, характер их распределения по территории в теплый и холодный периоды имеет много общего с годовым; в теплый период влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно, чем в холодный. Так, в теплый период (апрель-октябрь) увеличение осадков наблюдается возвышенностях, расположенных в западной и восточной частях рассматриваемой территории, а понижение – в центральной части и на низменностях, прилегающих к Финскому заливу и Ладожскому озеру. Осадки холодного периода (ноябрь-март) составляют примерно 40-45% годовых. Максимум количества осадков приходится на июль-август – до 80-90 мм на рассматриваемой территории [5].

1.2.2. Сведения о метеорологических станциях

Для более детального анализа климата рассматриваемой территории были использованы данные по пяти метеорологическим станциям (МС). Координаты и названия МС даны в таблице 1.2. Схема расположения МС представлена на рис. 1.6.

Таблица 1.2 – Координаты метеорологических станций

№	Локальный идентификатор	Метеостанция	Широта°	Долгота°	Высота, м
	22802	Сортавала	61,7	30,7	19
2	22820	Петрозаводск	61,8	34,3	110
3	26157	Гдов	58,7	27,8	40
4	26258	Псков	57,8	28,5	44
5	27008	Бабаево	59,4	35,6	138

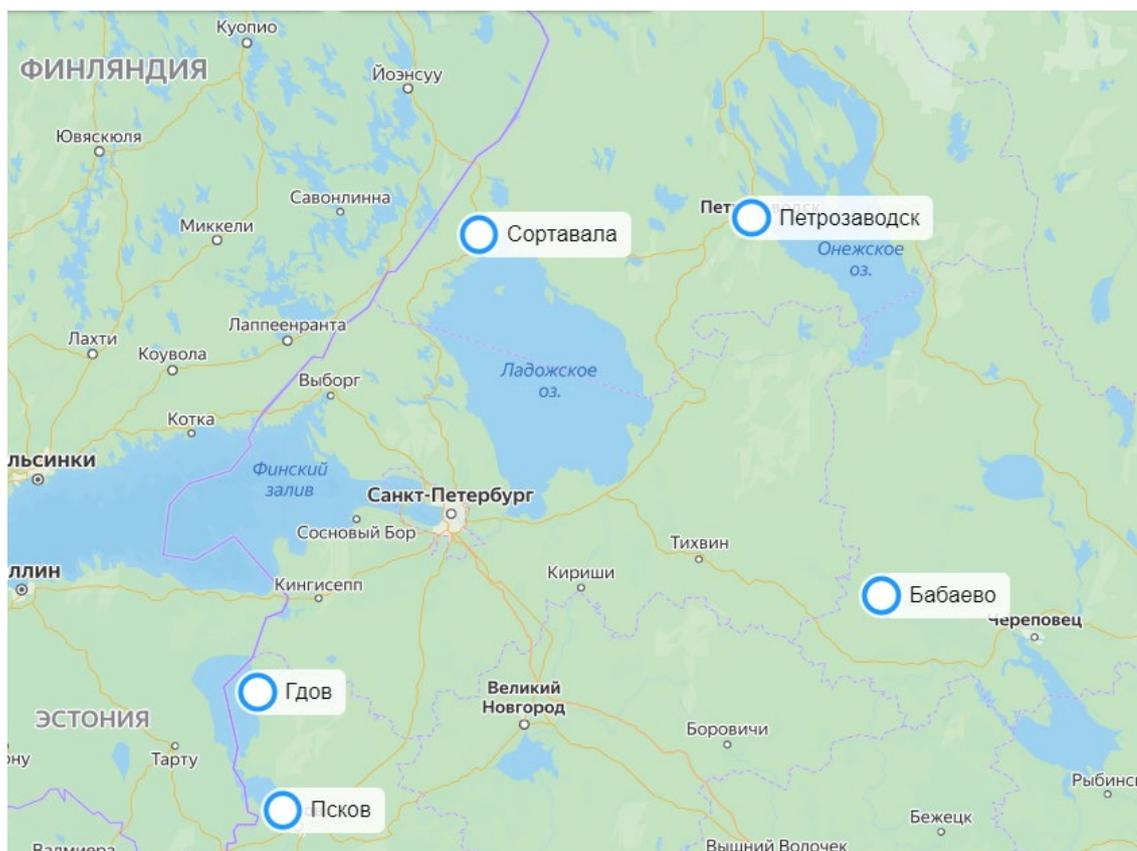


Рисунок 1.6 – Схема расположения метеостанций.

В качестве примера обработки и анализа климатических характеристик выбран ряд данных по метеостанции Сортавала, данные по остальным метеостанциям проанализированы аналогично (см. Приложение А, Б). Оценка значимости трендов проведена при помощи *t*-критерия Стьюдента: соотношение R/σ_R должно быть меньше или равно табличной *t*-статистике.

$$\frac{R}{\sigma_R} < t_{2\alpha}, \text{ где}$$

n – число наблюдений в ряду;

R – коэффициент корреляции.

1.2.3. Температура воздуха

В качестве исходных данных были взяты средние температуры воздуха на пяти вышеуказанных метеостанциях за следующие непрерывные периоды: Сортавала (1945-2017), 72 года наблюдения; Петрозаводск (1945-2017), 68 лет наблюдений; Гдов (1945-2017), 73 года наблюдений; Псков (1948-2017), 73 года наблюдений; Бабаево (1947-2019), 73 года наблюдений.

Среднегодовые температуры на всех пяти МС не ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, наиболее низкая температура в Петрозаводске ($+2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), наиболее высокая в Бабаево и Пскове, в этих пунктах среднегодовая температура за период составила $+5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, незначительно холоднее в Гдове $+5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В среднем температура рассматриваемой территории порядка $+4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Обработка и анализ температурных условий, МС Сортавала

На рис.1.7, 1.8 приведены графики среднегодовых температур на МС Сортавала – общий хронологический с линией тренда, проведенной для всего периода наблюдений и хронологический, поделенный на две части в точке перелома разностно-интегральной кривой – 1987 год (рис. 1.9).

Для каждой из частей разделенного графика были построены тренды и рассчитаны значимости тренда. Общий тренд всего ряда наблюдений на повышение, статистически значимый. Тренды каждой из частей статистически не значимы. Расчет значимости трендов сведен в таблицу 1.3.

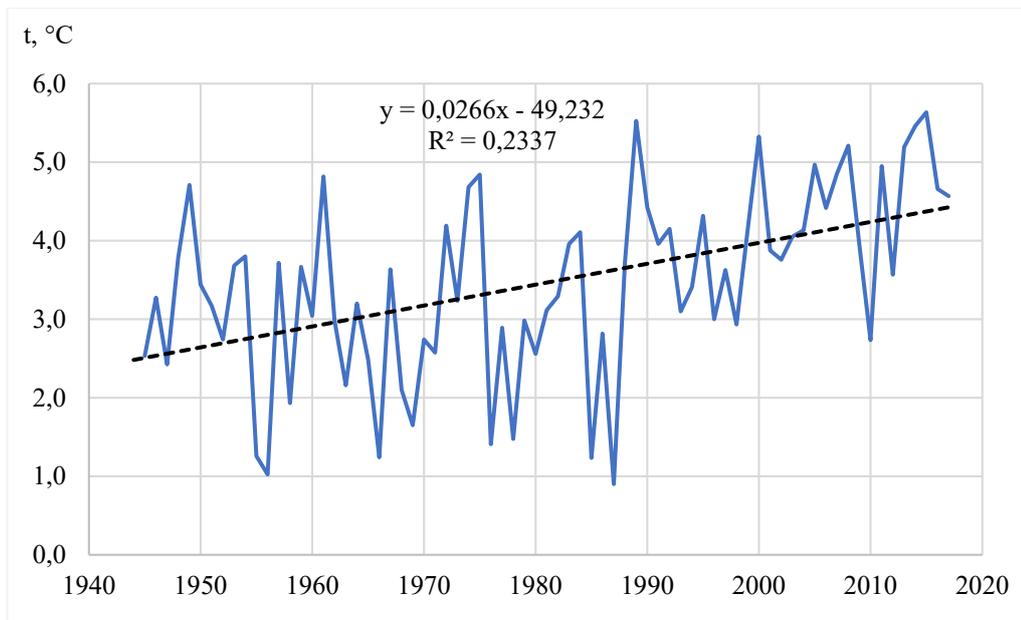


Рисунок 1.7 – Хронологический график среднегодовых температур на МС Сортавала, 1945-2017.

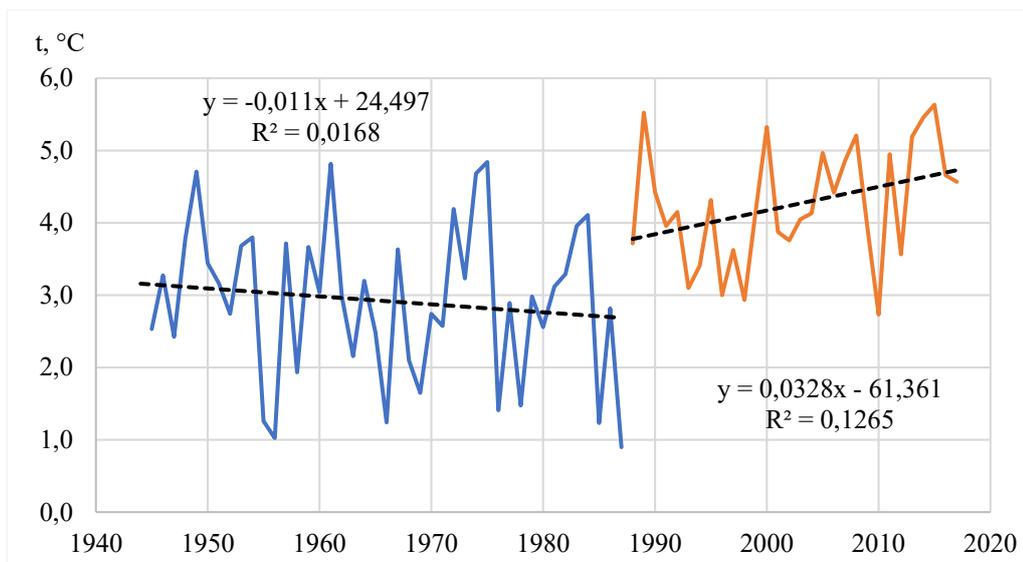


Рисунок 1.8 – Разделенный хронологический график среднегодовых температур на МС Сортавала, 1945-2017.

Таблица 1.3 – Расчет значимости трендов в рядах среднегодовых температур на МС Сортавала

Параметр	Значение параметра		
	1945-2017	1945-1987	1988-2017
n	73	43	30
R^2	0,2337	0,0168	0,1265
R	0,483	0,130	0,356
σ_R	0,104	0,155	0,177
R/σ_R	4,65	0,84	2,01
t	1,99	2,02	2,05

На разностно-интегральной кривой среднегодовых температур (рис. 1.9) выделяется два периода: температура ниже нормы наблюдалась с 1945 по 1987 год и выше нормы – с 1988 года по настоящее время.

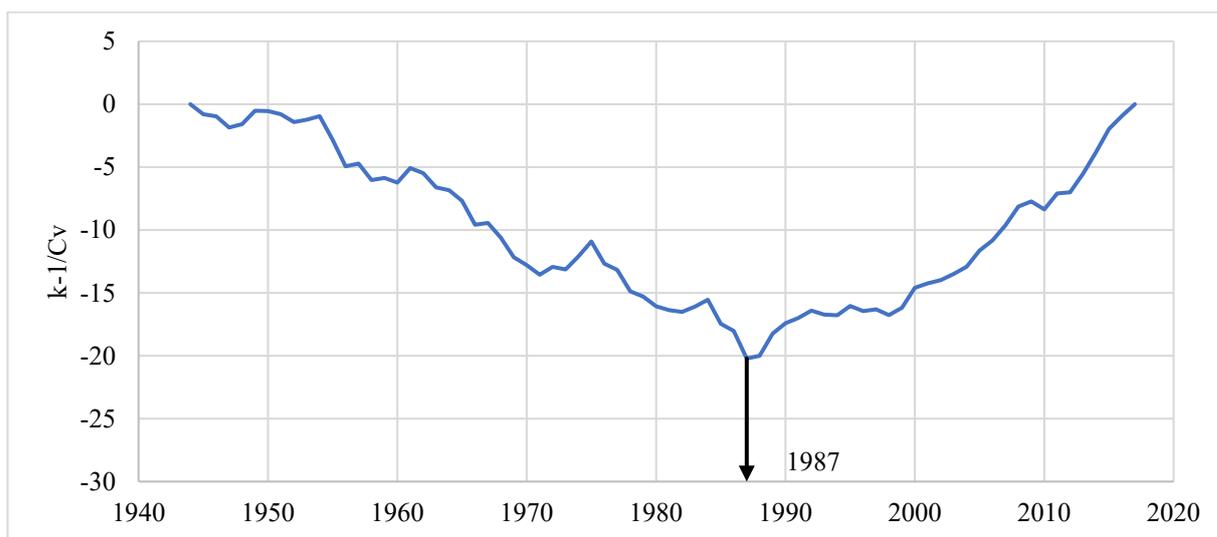


Рисунок 1.9 – Разностно-интегральная кривая среднегодовых температур, МС Сортавала, 1945-2017.

В нормированном спектре среднегодовых температур на МС Сортавала (рис. 1.10) выделяется два пика: на периоде 72 года и периоде 14 лет. Пик на периоде, близком к длине ряда (72 года) не является достоверным. С учетом этого для среднегодовых температур на МС Сортавала выделен цикл, равный 14 годам.

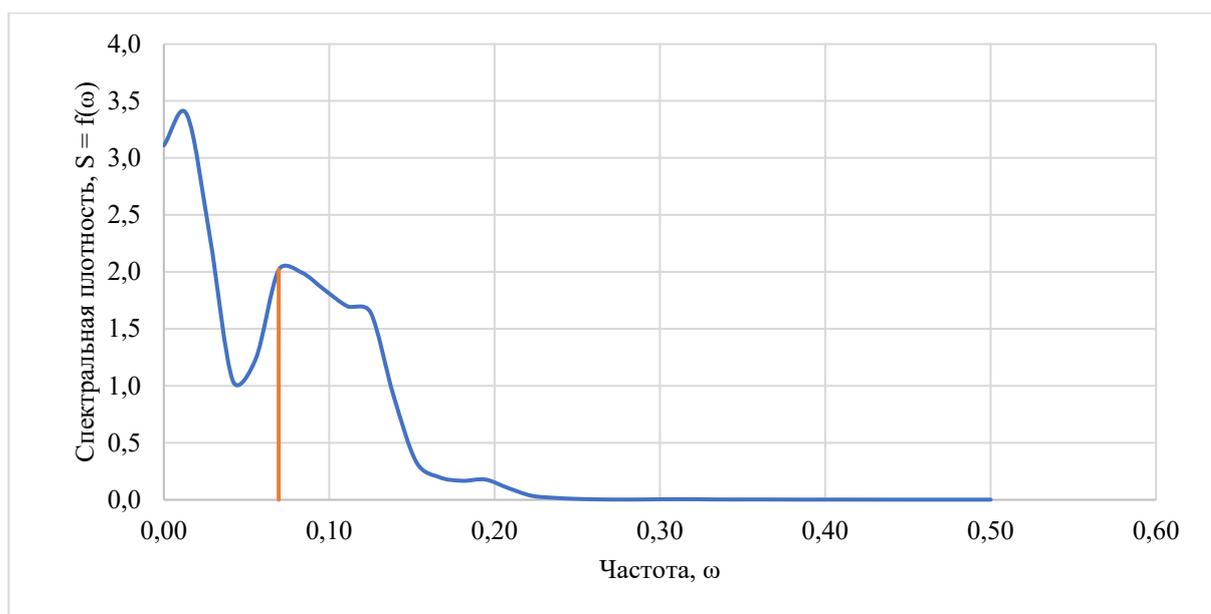


Рисунок 1.10 – Нормированный спектр среднегодовых температур МС
Сортавала.

Аналогичным образом были проанализированы данные о температуре воздуха на МС Петрозаводск, Гдов, Псков и Бабаево, результаты анализа представлены в таблице 1.4, графические и табличные материалы – в Приложениях А, Б.

Таблица 1.4 – Итоги анализа температурного режима в районе крупнейших озер ЕТР

Метеостанция		Сортавала	Петрозаводск	Гдов	Псков	Бабаево
Дата изменения		1987	1987	1987	1987	1987
Среднее значение ряда, °С	Общий	3,47	2,85	5,20	5,39	5,47
	1	2,92	2,45	4,68	4,83	4,90
	2	4,25	3,31	5,92	6,19	6,17
	Разница	+1,34	+0,86	+1,24	+1,36	+1,28
Интенсивность, °С/10 лет		0,266	0,298	0,264	0,290	0,299
Значимость тренда		Значимый	Значимый	Значимый	Значимый	Значимый
Цикл, лет		14	9	14 и 9	14 и 9	9

1.2.4 Осадки

В качестве исходных данных были взяты суммарные значения осадков (жидких и твердых) по данным пяти вышеуказанных метеостанций за

следующие непрерывные периоды: Сортавала (1966-2017), 52 года наблюдений; Петрозаводск (1966-2017), 52 года наблюдений; Гдов (1966-2017), 52 года наблюдений; Псков (1945-2017), 73 года наблюдений; Бабаево (1947-2019), 73 года наблюдений.

В среднем на рассматриваемой территории суммарно выпадает порядка 626 мм осадков в год. Из рассмотренных метеостанций в наиболее сухом климате находится Петрозаводск (592 мм/год), на остальной территории количество осадков от станции к станции сохраняется в пределах 630 мм/год и увеличивается только в районе Сортавала до 642 мм/год.

Обработка и анализ данных об осадках, МС Сортавала

На рис. 1.11, 1.12 приведены два графика сумм среднегодовых осадков на МС Сортавала – хронологический с линией тренда, проведенной для всего периода наблюдений и хронологический, поделенный на две части в точке перелома разностно-интегральной кривой – 2006 год (рис. 1.13). Для каждой из частей разделенного ряда были построены тренды и рассчитаны значимости. Общий тренд всего ряда наблюдений на повышение, статистически значимый. Тренды каждой из частей разделенного ряда статистически не значимы. Расчет значимости трендов сведен в таблицу 1.5.

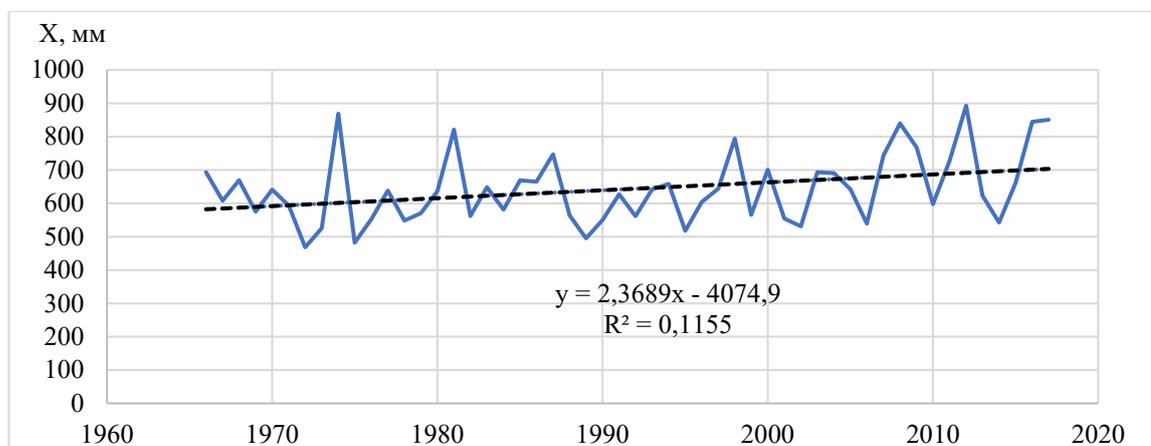


Рисунок 1.11 – Хронологический график сумм среднегодовых осадков на МС Сортавала, 1945-2017.

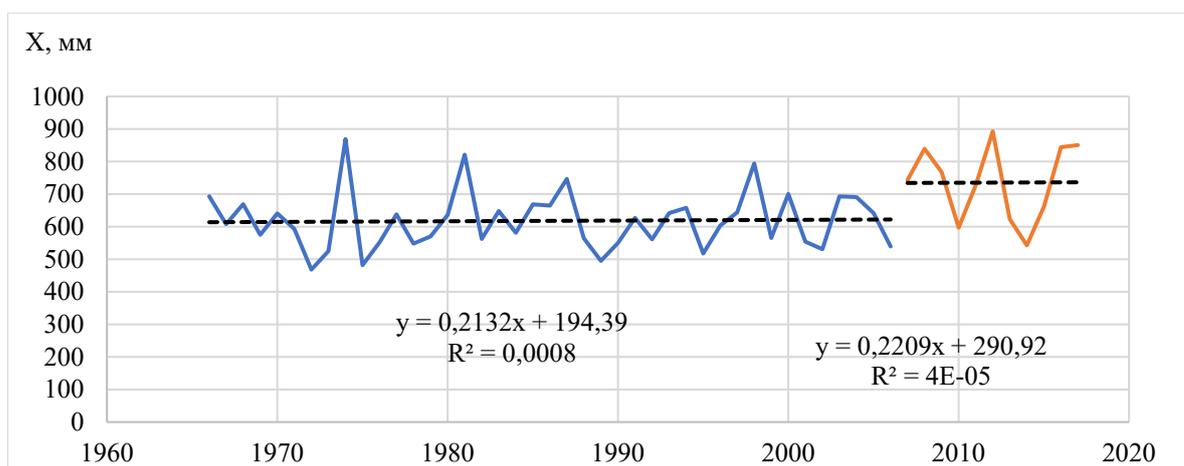


Рисунок 1.12 – Разделенный хронологический график суммарных среднегодовых осадков на МС Сортавала, 1945-2017.

Таблица 1.5 – Расчет значимости трендов в рядах сумм среднегодовых осадков на МС Сортавала

Параметр	Значение параметра		
	1945-2017	1945-1987	1988-2017
n	52	41	11
R ²	0,1155	0,0008	0,00004
R	0,340	0,028	0,006
σ _R	0,133	0,160	0,333
R/σ _R	2,56	0,18	0,02
t	2,01	2,02	2,26

На разностно-интегральной кривой сумм среднегодовых осадков (рис. 1.13) выделяется два периода: наблюдаемые суммы осадков были ниже нормы с 1966 по 2006 год и выше нормы – с 2007 года по настоящее время.

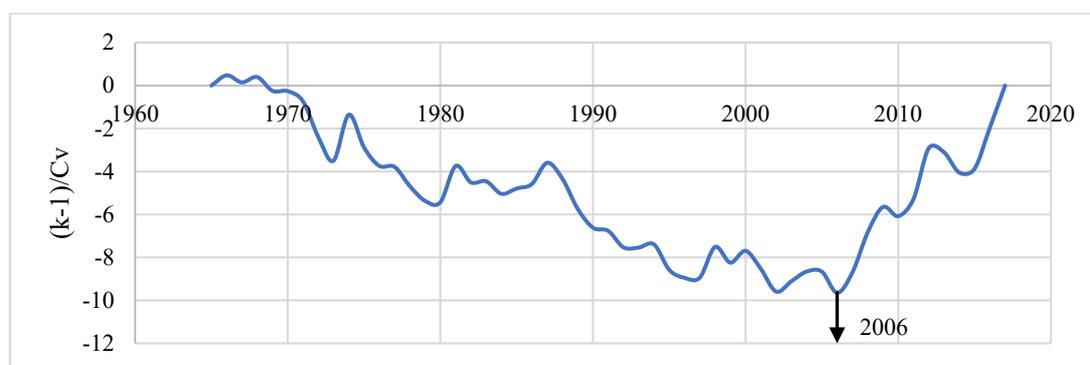


Рисунок 1.13 – Разностно-интегральная кривая сумм среднегодовых осадков, МС Сортавала, 1966-2017.

В нормированном спектре сумм среднегодовых осадков на МС Сортавала (рис. 1.14) выделяется два пика: на периоде 52 лет и периоде 13 лет. Пик на периоде, близком к длине ряда (52 года) не является достоверным. С учетом этого для сумм среднегодовых осадков на МС Сортавала прослеживается цикл, равный 13 годам.

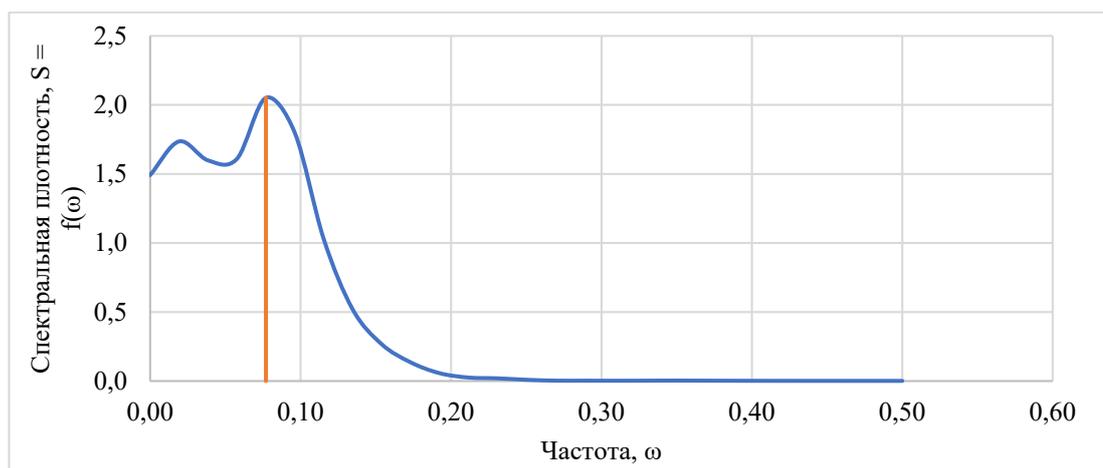


Рисунок 1.14 – Нормированный спектр сумм среднегодовых осадков МС Сортавала

Аналогичным образом были проанализированы данные об осадках на МС Петрозаводск, Гдов, Псков и Бабаево, результаты анализа представлены в таблице 1.6, графические и табличные материалы – в Приложениях В, Г.

Таблица 1.6 – Итоги анализа режима осадков в районе крупнейших озер ЕТР

		Сортавала	Петрозаводск	Гдов	Псков	Бабаево
Дата изменения		2006	–	1984	1984	1976
Среднее значение ряда, мм	Общий	642	598	634	634	628
	1	618	–	591	591	578
	2	735	–	659	659	642
	Разница	+118	–	+68	+68	+64
Интенсивность, мм/10 лет		23,67	2,79	17,98	17,98	13,82
Значимость тренда		Значим	Не значим	Значим	Значим	Не значим
Цикл, лет		13	8	10	10	13

2. ВЕЛИКИЕ АМЕРИКАНСКИЕ ОЗЕРА

2.1. Географическое положение и общие сведения

Великие американские озера – крупнейшая в мире озерная система в восточной части Северной Америки в бассейне реки Святого Лаврентия. Состоит из пресноводных озер Верхнее, Мичиган, Гурон, Эри и Онтарио. Основные морфометрические и гидрологические характеристики представлены в таблице 2.1. Рассматриваемая территория лежит между $41,36^\circ$ и $49,02^\circ$ с. ш. (протяжение около 850 км), и $76,07^\circ$ и $92,09^\circ$ з. д. (протяжение около 1778 км). Озеро Мичиган полностью расположено на территории США, по остальным озерам и соединяющим их рекам проходит граница между США и Канадой. Канаде принадлежит порядка 1/3 акватории Великих Озер (рисунок 2.1.) [14]



Рисунок 2.1 – Схема расположения Великих американских озер.

Общая площадь Великих озер 245,2 тыс. км², суммарный объем вод 22,7 тыс. км³ (21% мирового запаса поверхностных пресных вод). Длина береговой линии свыше 15 тыс. км. Озера соединены между собой короткими, порожистыми и многоводными реками: Верхнее и Гурон – рекой Сент-Мэрис (длина 112 км); Гурон и Эри – рекой Сент-Клэр (43 км) через озеро Сент-Клэр (площадь 1275 км²) и рекой Детройт (51 км); Эри и Онтарио – рекой Ниагара (54 км), образующей Ниагарский водопад. Из Мичигана в Гурон вода поступает через пролив Макино шириной около 3 км. В Великие озера впадает несколько сотен небольших рек с общей площадью водосбора 525 тыс. км², наиболее крупные – Эсканоба, Каламазу, Гранд-Ривер, Маскигон, Манисти, О-Сейбл, Сагино и Моми. Сток озерных водных масс (210 км³/год) в Атлантический океан происходит по реке Святого Лаврентия, вытекающей из Онтарио, и регулируется гидроузлом Ирокуа, расположенным между ее истоком и устьем крупнейшего притока – реки Оттава.

Котловины Великих озер возникли в результате тектонических движений, доледниковой речной и ледниковой эрозии. Чаши озера Верхнее и северной части озера Гурон выработаны в кристаллических породах южного края Канадского щита Северо-Американской платформы, остальных озер – в толще палеозойских известняков, доломитов и песчаников платформенного чехла. После сокращения ледникового покрова крутые берега преобразованы волновой абразией. Вдоль мелководных и защищенных от волнения участков побережья сформировались пляжи, валунные и гравелисто-песчаные косы. В северной части Великих озер береговая линия расчленена, берега высотой до 400 м, скалистые, обрывистые, очень живописные, особенно озер Верхнее и Гурон. Южные берега преимущественно низкие, глинистые и песчаные. Самый крупный остров на всей акватории Великих озер – остров Манитулин площадью св. 1000 км² (озеро Гурон).

Таблица 2.1 – – Основные морфометрические характеристики крупнейших озер ЕТР

Озеро	Регион	Площадь зеркала, км ²	Объем, км ³	Максимальная глубина, м	Площадь водосбора, км ²
Верхнее	Канада (Онтарио), США (Миннесота, Висконсин, Мичиган)	821000	12200	406	128000
Мичиган	США (Мичиган, Индиана, Иллинойс, Висконсин)	58030	4900	281	118000
Гурон	Канада (Онтарио), США (Мичиган)	59600	3538	229	134100
Эри	Канада (Онтарио), США (Мичиган, Огайо, Пенсильвания, Нью-Йорк)	25700	500	64	78000
Онтарио	Канада (Онтарио), США (Нью-Йорк)	19000	1640	244	64000

2.2. Климат в районе Великих американских озер

2.2.1. Общая характеристика климата

Бассейн Великих озер – область влажного климата умеренного типа с обильными осадками зимой и летом.

Величина годовой суммарной солнечной радиации на рассматриваемой территории варьируется в пределах 420-580 кДж/см² в год. В озерный регион Американского материка поступают воздушные массы из Арктики, с запада континента, Мексиканского залива и Атлантического океана. Резкие перепады погодных условий связаны с территориально близким расположением двух районов с резко различными термическими режимами. С севера рассматриваемая территория находится под климатическим влиянием Гудзонова залива, среднегодовая температура составляет -12,6 °С, типичная температура января -29 °С, июля 8 °С. С юга на климат Великих озер влияет Мексиканский залив – одно из наиболее теплых морей на Земле, средние температуры в северной части варьируются от 20 °С в феврале до 28 °С в

августе. Таким образом, вследствие близкого расположения вышеописанных областей с контрастным климатом на рассматриваемой территории формируется исключительно высокий зимний градиент температур – порядка $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на градус широты. Основным источником осадков, выпадающих в бассейне Великих озер, является Мексиканский залив. Среднегодовое количество осадков на территории также непостоянно и возрастает от западной части водосборного бассейна оз. Верхнее (500-700 мм/год) к восточной части оз. Онтарио и реке Св. Лаврентия, где достигает 1000 мм/год [14].

В зимний период циклоническая активность провоцирует интенсивное перемещение воздушных масс с севера и юга. С Мексиканского залива на территорию поступают теплые и влажные воздушные массы, а затем приходят арктические «волны холода», понижая температуру до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ на юге и $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ на севере региона. Весна, как правило, затяжная, особенно на верхних озерах, поскольку ее развитие сдерживается очень низкой (ниже $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурой основной водной массы озер. Над холодными озерами формируется термический антициклон, оттесняющий траектории движения циклонов к южным побережьям озер. В центральных районах озер держится штилевая и безоблачная погода. Средняя температура весны от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в северной части бассейна до $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ на юге. Летом на стыке арктических и атлантических воздушных масс возникают фронтальные зоны, которые являются причиной частых и обильных ливневых осадков. Летняя погода на рассматриваемой территории резко переменчивая от штилевой до штормовой обстановки. Средняя температура июля не превышает на озерах $16-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, на озере Эри несколько выше $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Осеннюю обстановку формируют антициклоны, приходящие с Тихого океана – устанавливается сухая, тихая, несколько прохладная и ясная погода.

2.2.2. Сведения о метеорологических станциях

Для более детального анализа климата рассматриваемой территории были использованы данные по пяти метеорологическим станциям (МС). Координаты и названия МС даны в таблице 2.2. Схема расположения МС представлена на рисунке 2.2.

Таблица 2.2 – Координаты метеорологических станций

№	Локальный идентификатор	Метеостанция	Широта [°]	Долгота [°]	Высота, м
1	71291	Камерон-Фолс	49.15	-88.33	232,6
2	72745	Дулут	46.80	-92.20	435.0
3	72645	Грин-Бей	44.50	-88.10	205.0
4	72524	Кливленд	41.40	-81.90	236.0
5	71732	Темискамен	46.70	-79.10	181.4

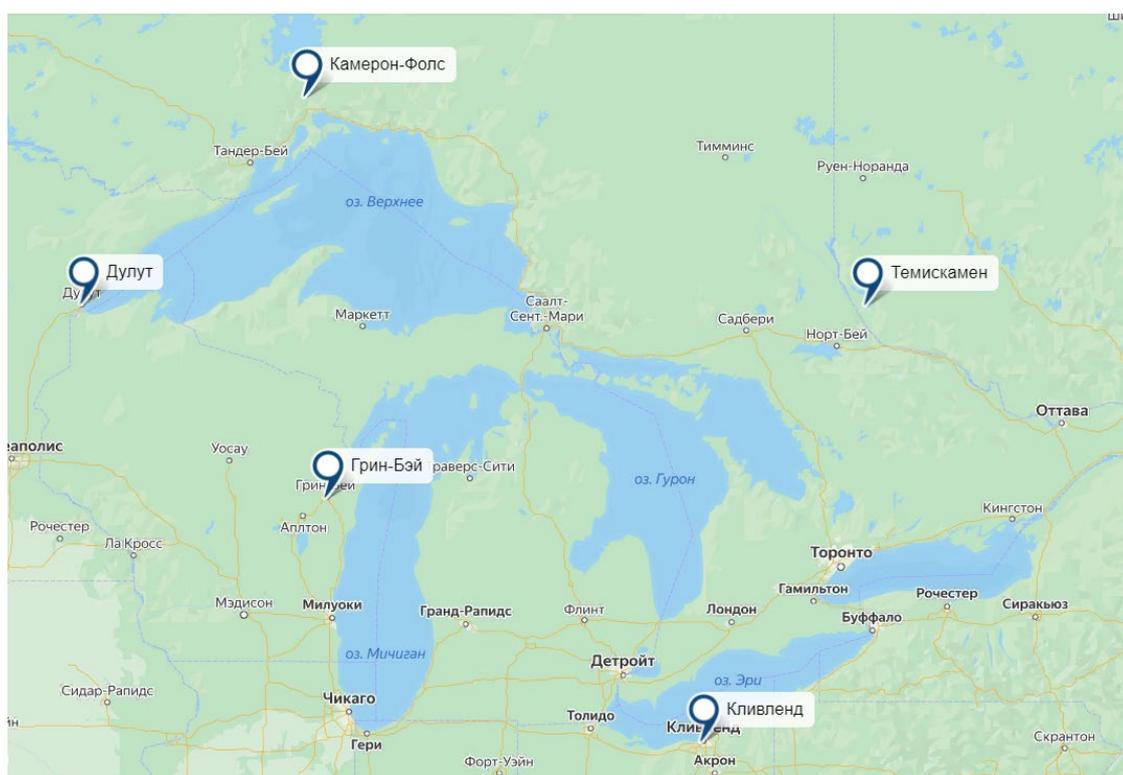


Рисунок 2.2– Схема расположения метеостанций.

Аналогично анализу климатических условий на территории крупнейших европейских озер, в качестве примера обработки и анализа климатических условий выбран ряд данных с метеостанции Дулут, данные по остальным

метеостанциям проанализированы аналогично. Оценка значимости трендов проведена при помощи t-критерия Стьюдента

2.2.3. Температура воздуха

В качестве исходных данных были взяты средние температуры воздуха на пяти вышеуказанных метеостанциях за следующие периоды: Дулут (1900-2017), 118 лет наблюдений; Темискамен (1910-1995), 86 лет наблюдений; Кливленд (1900-2017), 118 лет наблюдений; Грин-Бей (1900-2017), 118 лет наблюдений; Камерон-Фолс (1926-2006), 81 год наблюдений.

Среднегодовые температуры на четырех МС не опускаются ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в наиболее холодном климате находится Камерон-Фолс со среднегодовой температурой $+1,59\text{ }^{\circ}\text{C}$, самом теплом – Кливленд (среднегодовая температура за 118 лет ровно $+10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). В среднем температура рассматриваемой территории порядка $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Обработка и анализ данных о температурах, МС Дулут.

На разностно-интегральной кривой среднегодовых температур (рис. 2.3) выделяются четыре чередующихся периода: два с температурой ниже нормы (1900-1929 и 1950-1985 годы) и два с температурой выше нормы (1930-1949 и с 1986 по настоящее время).

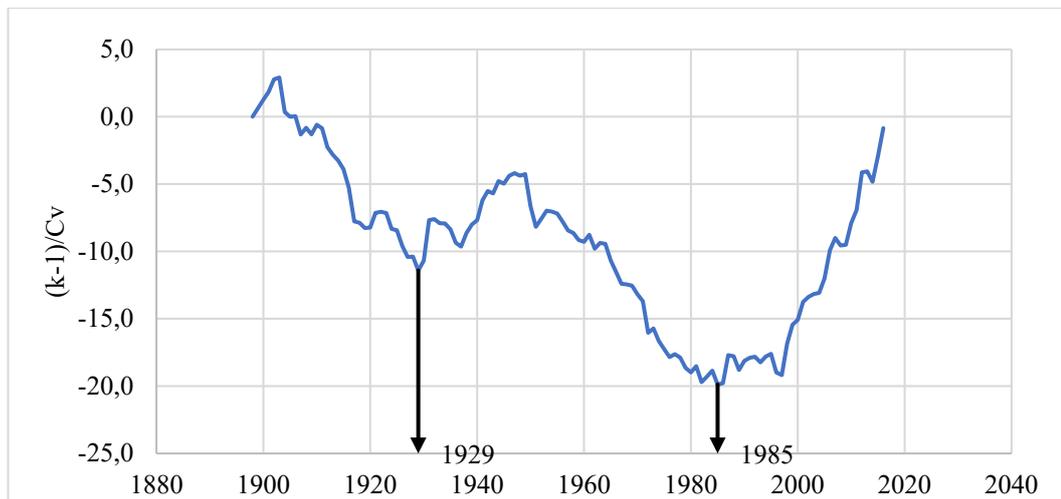


Рисунок 2.3 – Разностно-интегральная кривая среднегодовых температур, МС Дулут, 1900-2017.

На рисунках 2.4, 2.5 приведены два графика сумм среднегодовых осадков на МС Дулут – общий с трендом, проведенным для всего периода наблюдений и поделенный на три части в точках перелома разностно-интегральной кривой (1929, 1985 год). Для каждой из частей разделенного ряда были построены тренды и рассчитаны значимости. Общий тренд всего ряда наблюдений на повышение, статистически значимый. Тренды первых двух частей разделенного ряда на понижение, третий тренд на повышение. Второй тренд статистически значим, первый и третий – не значимы. Расчет значимости трендов сведен в таблицу 2.3.

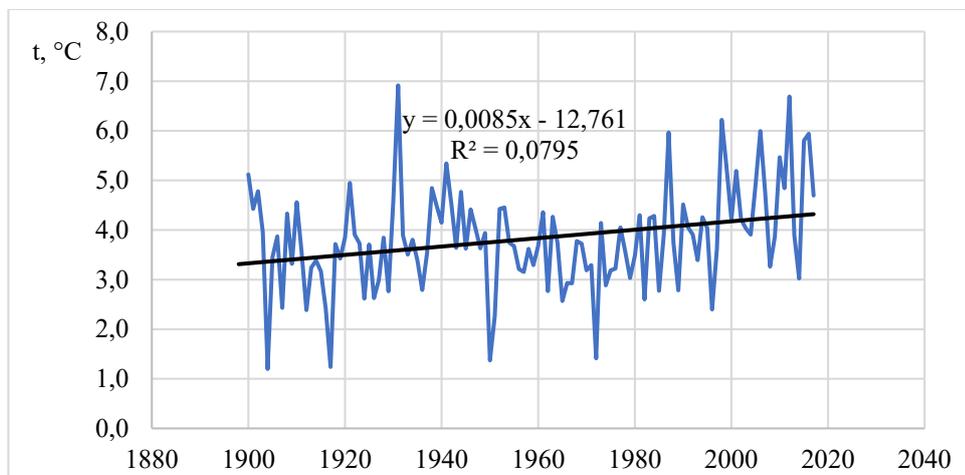


Рисунок 2.4 – Ряд среднегодовых температур, МС Дулут, 1900-2017.

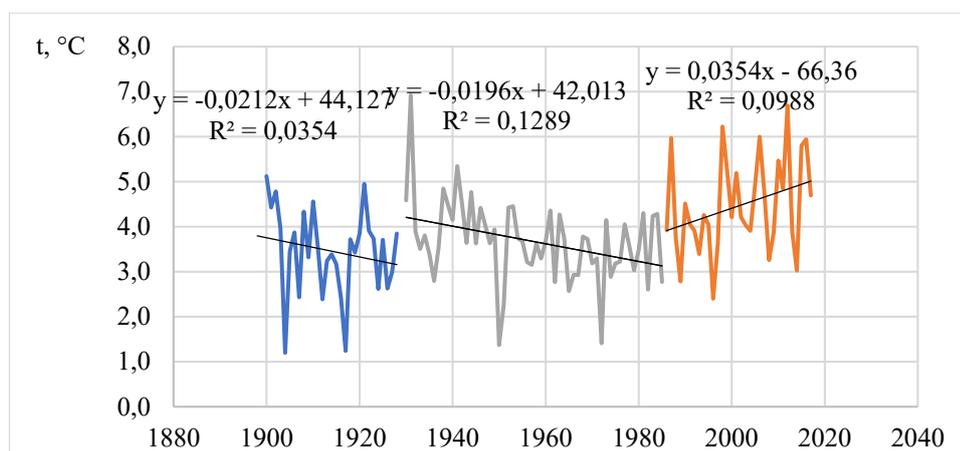


Рисунок 2.5 – Разделенный ряд среднегодовых температур, МС Дулут, 1900-2017.

Таблица 2.3 – Расчет значимости трендов в рядах среднегодовых температур на МС Дулут

	Общий	1	2	3
n	118	30	57	32
R^2	0,0795	0,0354	0,1289	0,0988
R	0,282	0,188	0,359	0,314
σ_R	0,089	0,186	0,126	0,173
R/σ_R	3,17	1,01	2,85	1,81
t	1,98	2,05	2,00	2,04

В нормированном спектре среднегодовых температур на МС Дулут (рис. 2.5) выделяется два пика: на периоде 118 лет и периоде 9 лет. Пик на периоде, близком к длине ряда не является достоверным. С учетом этого для сумм среднегодовых осадков на МС Дулут можно выделить цикл, равный 9 годам.

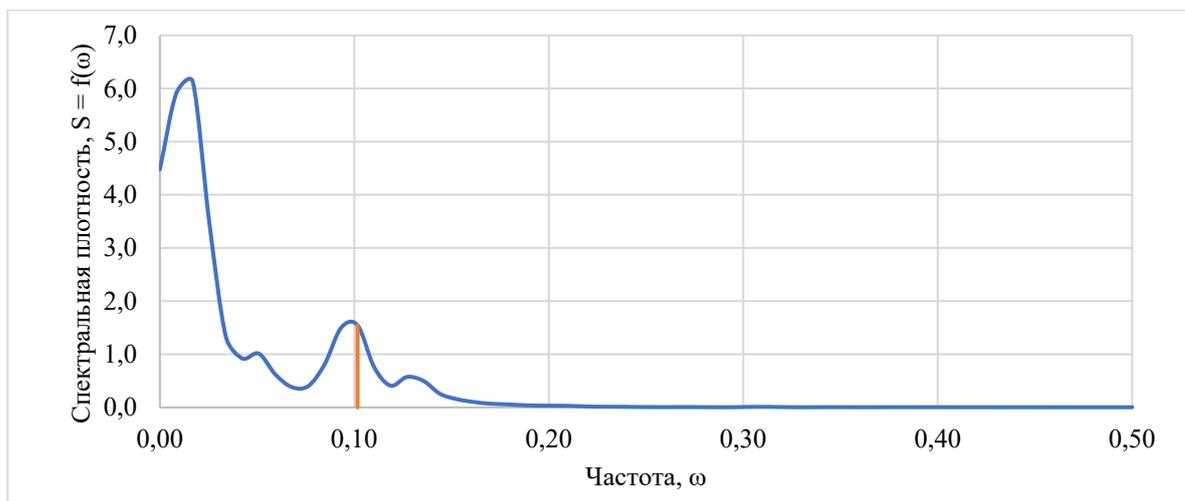


Рисунок 2.6 – Нормированный спектр среднегодовых температур, МС Дулут.

Аналогичным образом были проанализированы данные о температуре воздуха на МС Темискамен, Кливленд, Грин-Бей, Камерон-Фолс, результаты анализа представлены в таблице 2.4, графические и табличные материалы – в Приложениях Д, Е

Таблица 2.4 – Итоги анализа температурного режима в регионе Великих американских озер

		Дулут	Темискамен	Кливленд	Грин-Бей	Камерон-Фолс
Дата изменения		1929, 1985	1922, 1980	1955, 1997	1925, 1985	1952
Среднее значение ряда, °C	Общий	3,82	4,47	10,0	6,9	1,6
	1	3,43	5,30	10,3	6,8	0,7
	2	3,67	4,20	9,7	6,8	2,0
	3	4,46	4,78	10,5	7,4	–
	Разница	+0,24, +0,79	-1,10, +0,59	-0,89, +1,10	0, +0,7	+1,3
Интенсивность, °C/10 лет		0,085	-0,02	-0,019	0,048	0,027
Значимость тренда		Значим	Не значим	Не значим	Не значим	Значим
Цикл, лет		9	10	10	10	13

2.2.4. Осадки

В качестве исходных данных были взяты суммарные значения осадков (жидких и твердых) по данным пяти вышеуказанных метеостанций за

следующие периоды: Дулут (1900-2017), 118 лет наблюдений; Темискамен (1910-1995), 86 лет наблюдений; Кливленд (1900-2017), 118 лет наблюдений; Грин-Бей (1900-2017), 118 лет наблюдений; Камерон-Фолс (1926-2006), 81 год наблюдений.

Суммарное среднегодовое количество осадков на рассматриваемой территории в среднем составляет 800 мм/год, на засушливых территориях располагаются Камерон-Фолс (723 мм/год) и Грин-Бей (728 мм/год), на влажных – Темискамен (879 мм/год) и Кливленд (934 мм/год).

Обработка и анализ данных об осадках, МС Дулут.

На разностно-интегральной кривой сумм среднегодовых осадков (рис. 2.6) выделяются период с наблюдаемыми температурами ниже нормы (1900-1948) и выше нормы (с 1949 по настоящее время).

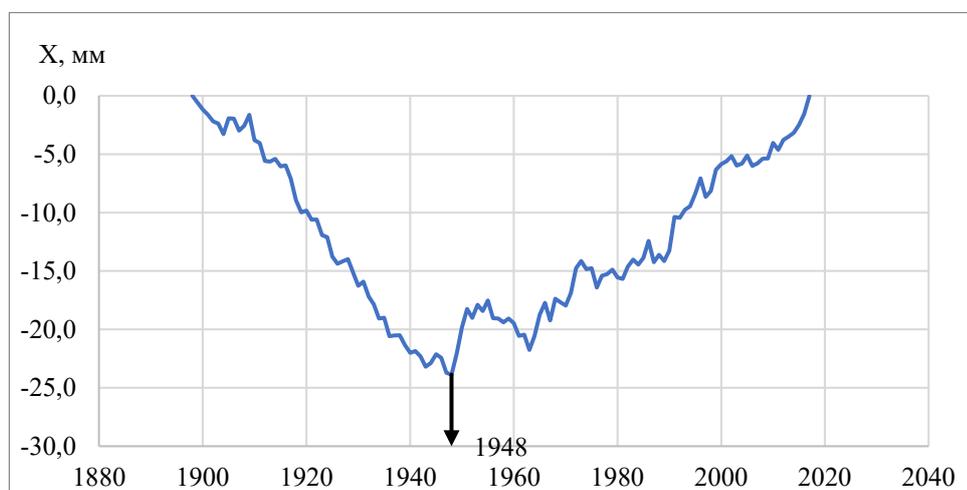


Рисунок 2.7 – Разностно-интегральная кривая сумм среднегодовых осадков, МС Дулут, 1900-2017.

На рисунках 2.8, 2.9 приведены два графика сумм среднегодовых осадков на МС Дулут – общий с трендом, проведенным для всего периода наблюдений и поделенный на две части в точке перелома разностно-интегральной кривой (1948 год). Для каждой из частей разделенного ряда

были построены тренды и рассчитаны значимости. Общий тренд всего ряда наблюдений на повышение, статистически значимый. Тренды разделенных частей ряда не значимы. Расчет значимости трендов сведен в таблицу 2.5.

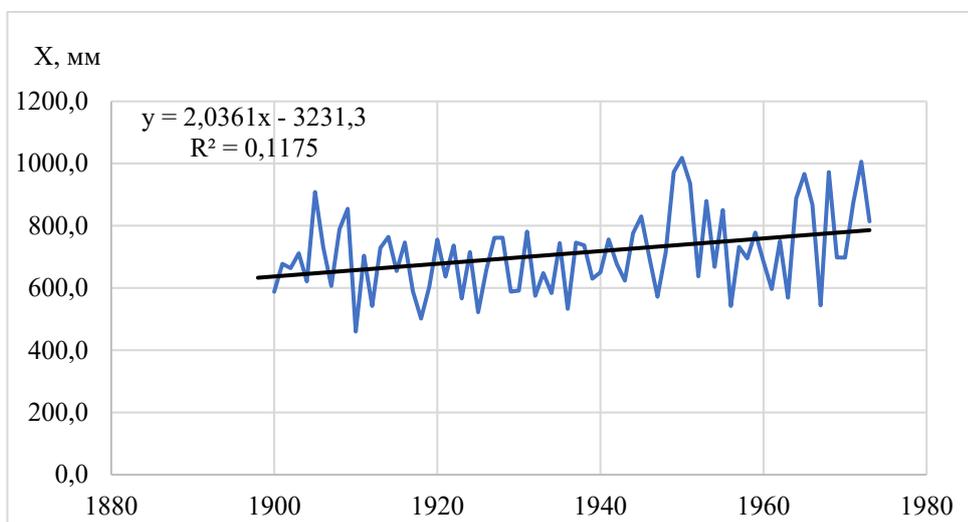


Рисунок 2.8 – Среднегодовые температуры, МС Дулут, 1900-2017.

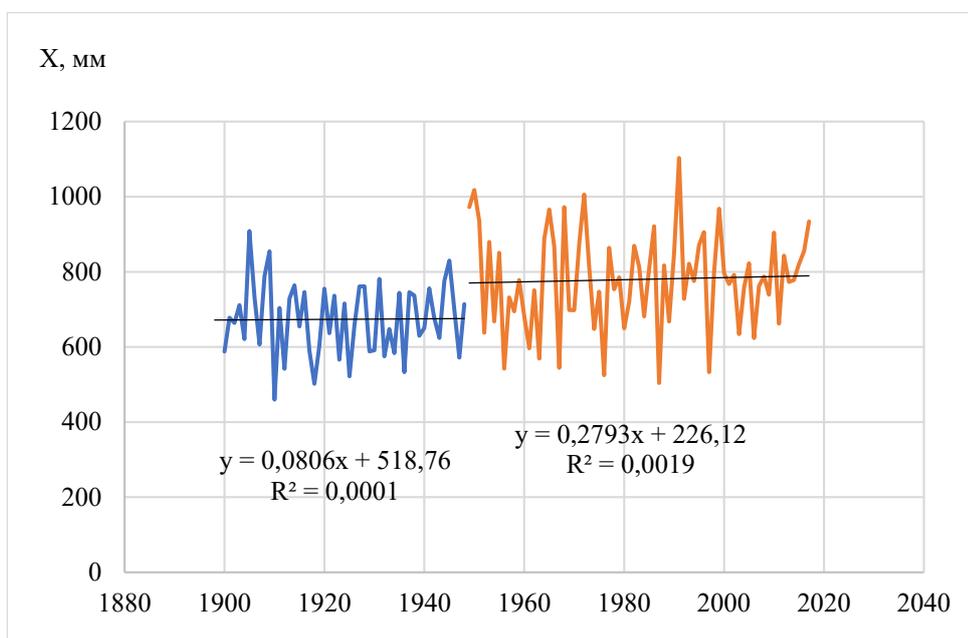


Рисунок 2.9 – Разделенный ряд среднегодовых температур, МС Дулут, 1900-2017.

Таблица 2.5 – Расчет значимости трендов в рядах сумм среднегодовых осадков на МС Дулут

	Общий	1	2
n	118	49	69
R^2	0,1175	0,0001	0,0019
R	0,343	0,010	0,044
σ_R	0,087	0,146	0,122
R/σ_R	3,93	0,07	0,36
t	1,98	2,01	2,00

В нормированном спектре сумм среднегодовых осадков на МС Дулут (рис. 2.10) выделяется два пика: на периоде 23 года и 7 лет.

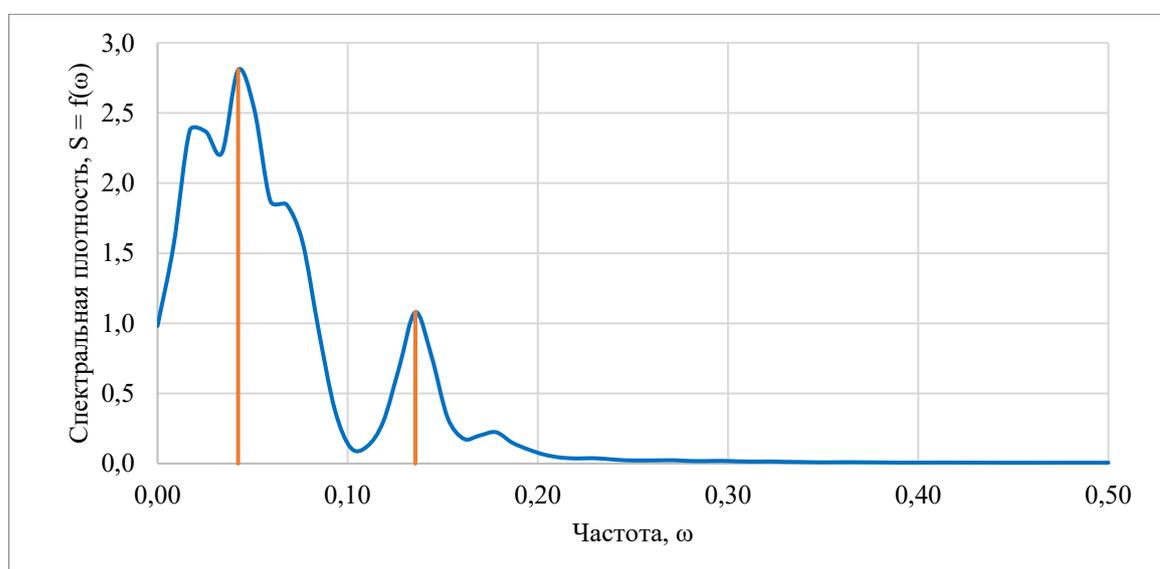


Рисунок 2.10 – Нормированный спектр сумм среднегодовых осадков МС Дулут.

Аналогичным образом были проанализированы данные об осадках на МС Темискамен, Кливленд, Грин-Бей, Камерон-Фолс, результаты анализа представлены в таблице 2.6, графические и табличные материалы – в Приложениях Ж, З.

Таблица 2.6 – Итоги анализа режима осадков в регионе Великих американских озер

		Дулут	Темискамен	Кливленд	Грин-Бей	Камерон-Фолс
Дата изменения		1948	1968	1944, 1991	1916, 1966	1962
Среднее значение ряда, мм	Общий	736	879	933	727	723
	1	673	841	890	771	651
	2	780	961	919	678	784
	3	–	–	1034	762	–
	Разница	+106,2	+119	+29,4, +114,7	-93,1, +84,1	+132,8
Интенсивность, мм/10 лет		1,175	0,343	0,556	0,340	0,789
Значимость тренда		Значим	Значим	Значим	Значим	Не значим
Цикл, лет		23 и 7	10	11	9	–

3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ВЕЛИКИХ АМЕРИКАНСКИХ ОЗЕР И КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР ЕТР

3.1. Уровненный режим Великих американских озер

3.1.1. Система высот International Great Lakes Datum

International Great Lakes Datum (IGLD) – «датум» или система отсчета высот, используемая для определения уровней воды в районе системы Великих Озер и р. Святого Лаврентия.

Система Великих озер и р. Святого Лаврентия – один из крупнейших ресурсов пресной воды в мире. Находится в совместном владении США и Канады. Система IGLD 1955 является первой общей системой отсчета высот для Соединенных Штатов Америки и Канады. Датум был установлен путем геодезического нивелирования, выполненного от Атлантического океана до внутренней части реки Св. Лаврентия, а затем до каждого озера, соединенного протоками (реки Ниагара, Детройт, Сент-Клер и Сент-Мэрис). В процессе геодезического нивелирования были установлены многочисленные реперы с точными высотными отметками. Затем эти отметки были перенесены с помощью нивелиров на датчики уровня воды, расположенные вдоль береговой линии и водных путей. Вследствие изостатического отскока «датум» подлежит корректировке каждые 25-35 лет. Изостатическим отскоком называют подъем массивов земной коры после стаивания ледника последнего ледникового периода, который вызвал изостатическую депрессию – понижение больших площадей земной коры в астеносферу, вызванное давлением большой массы на поверхность Земли.

На рисунке 3.1 показана расчетная скорость вертикального движения для системы Великих озер и р. Св. Лаврентия. Из этого рисунка видно, что скорость отскока в бассейне неодинакова. Это движение вызывает смещение реперов не только относительно исходной точки отсчета в Атлантическом

океане, но и относительно друг друга. Некоторые реперы также могли сместиться из-за местных эффектов, таких как просадка грунта из-за добычи полезных ископаемых или веса связанных конструкций, или из-за случайного повреждения. Также с течением времени совершенствуются технологии съемки и методы корректирования, что также является аргументом в пользу периодического пересмотра системы координат.

Использовавшаяся ранее система называлась International Great Lakes Datum, 1955 (IGLD 1955) и была пересмотрена в 1982-1988 годах с образованием новой скорректированной системы International Great Lakes Datum, 1985 (IGLD 1985). Внедрение и публикация IGLD 1985 произошла в январе 1992 года.

Эти пересмотренные данные должны быть приемлемы для общего использования в районе системы Великих Озер и р. Св. Лаврентия еще не менее 20 лет.

Нуль отсчета системы IGLD 1985 находится в г. Римуски – р. Святого Лаврентия, в Канаде – $48,45^{\circ}$ с.ш., $68,53^{\circ}$ з.д. Концепция опорной нулевой точки проиллюстрирована на рисунке 3.1. Переход к IGLD 1985 также увеличивает количество и точность реперов, расположенных по всему району Великих озер.

В рамках исследований, проводимых в период с 1982 по 1988 гг были получены новые данные, в соответствии с которыми установлен набор высот, согласующихся друг с другом. Ключевое слово «согласующихся», определяемое как «находящихся в пределах допусков геодезического нивелирования с заданной степенью точности», свидетельствует о том, что имеется возможность санкционировать дальнейшее использование общих опорных точек соответствующими организациями Канады и США.

Установление и пересмотр этих общих для Соединенных Штатов и Канады систем отсчета проводились под эгидой Координационного комитета по основным гидравлическим и гидрологическим данным Великих озер. Этот комитет был сформирован в 1953 году, чтобы заложить основу для разработки

и принятия данных, касающихся многих аспектов управления системой Великих Озер и р. Св. Лаврентия. Представители из различных агентств федерального правительства США и Канады составляют Координационный комитет и его подкомитеты, а их агентства предоставляют ресурсы для выполнения необходимой работы. Порядка полутора миллионов долларов ресурсов было потрачено Национальным управлением океанических и атмосферных исследований, Инженерным корпусом армии США, Канадской гидрографической службой и Геодезической службой Канады на разработку IGLD 1985.

Рассмотрим далее влияние введения системы International Great Lakes Datum, 1985 (IGLD 1985).

Наиболее существенное изменение между IGLD 1955 и IGLD 1985 было в высотах, отнесенных к уровням воды. Это результат нового местоположения опорной нулевой точки, изменений высот реперных отметок после поправок на движение земной коры, более точного измерения перепадов высот и расширенной геодезической сети.

IGLD 1985 не изменил уровни воды, установленные для канадских ограничений по зонированию и уровни воды, установленные для целей федерального страхования от наводнений в Соединенных Штатах. Эти уровни привязаны к канадской геодезической базе данных и национальной геодезической вертикальной системе отсчета 1929 года (NGVD 1929) соответственно.

Внедрение IGLD 1985 не повлияло на методы регулирования оттока озера Верхнее и Озера Онтарио. Диапазон уровней, в пределах которых регулируются озера, был назначен по новым высотам, но абсолютные разницы останутся прежними касательно их положения относительно береговой линии и нанесения на карту глубин.

Отметки низких вод (картированные опорные точки) на навигационных картах системы Великих озер и р. Св. Лаврентия были изменены с IGLD 1955 на IGLD 1985. Зондирование (глубины воды), показанное на навигационных

картах Великих озер Соединенных Штатов и Канады, осталось без изменений (рис. 3.2). Навигаторам было предписано отметить новые данные о низкой воде на своих существующих картах.

С законодательной точки зрения США пределы юрисдикции в соответствии с разделом 10 Закона о реках и гаванях для проектов в Соединенных Штатах физически не изменились по протяженности, но были перенесены превышения, указанные в IGLD 1985. Пределы юрисдикции Раздела 10 в отношении Великих озер определены как Ordinary High Water Mark (OHWM). Новые заявки на получение разрешений, поданные в Инженерный корпус армии США в соответствии с разделом 10, должны ссылаться на уровни воды на любых чертежах в IGLD 1985 [10].

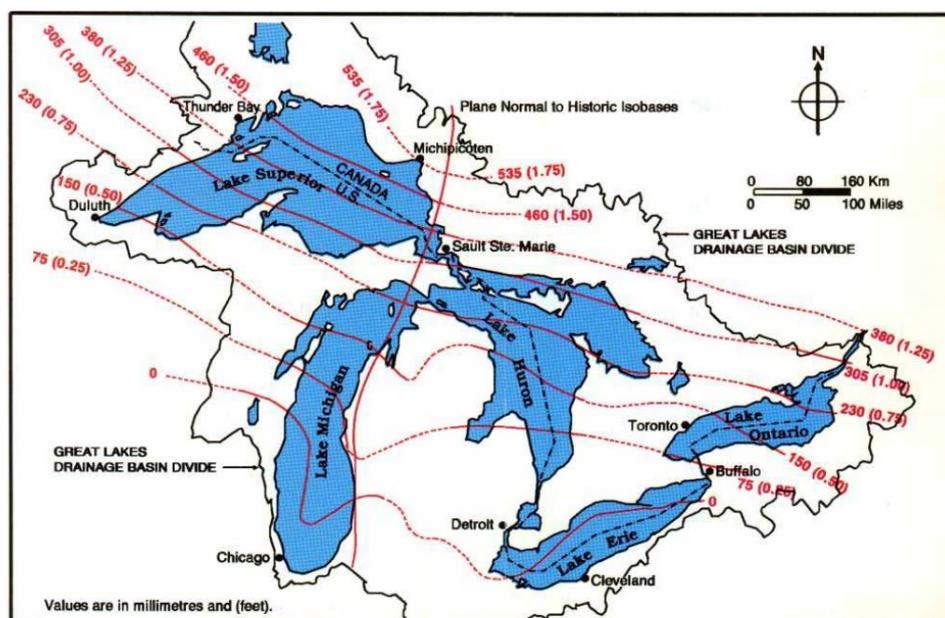


Рисунок 3.1 – Скорость вертикального движения за столетие для бассейна системы Великих Озер и реки Св. Лаврентия.

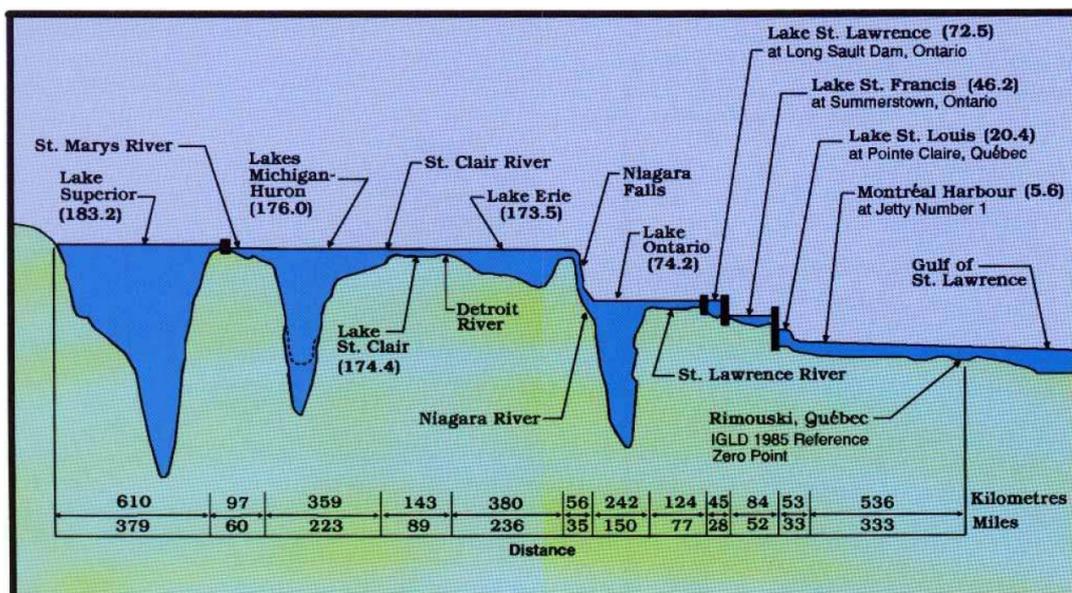


Рисунок 3.2. Горизонтальная и вертикальная связь системы Великих Озер и реки Св. Лаврентия с базовой точкой отсчета для IGLD в Римуски, Квебек.

Отметки низких вод для озер даны в метрах.

3.1.2 Гидрологический режим Великих американских озер

В питании озера Верхнее объем атмосферных осадков превышает приток речных вод, в водном балансе остальных озер значительнее роль речного стока и притока вод из расположенных выше озер. Испарение с поверхности озер около $165 \text{ км}^3/\text{год}$ (на 20% меньше, чем сток в реку Святого Лаврентия). Последние 150 лет размах колебаний уровня воды в Великих озерах составляет $\pm 2 \text{ м}$, внутригодовые его колебания – не более $0,3 \text{ м}$ вследствие регулирования стока гидроузлами. Сгонно-нагонные перекосы водной поверхности достигают 3–4 м (Верхнее, Мичиган). Скорость течений в поверхностном слое Великих озер до 3–6 км/час. Озера замерзают главным образом у берегов (с декабря–января по март–апрель). В центральной части из-за зимних штормов ледяной покров отсутствует, лишь на Онтарио изредка наблюдается сплошной ледостав. Продолжительность навигации 8–9 месяцев в году. Подледная стратификация водной толщи выражена слабо. Весной и осенью происходит конвективное перемешивание озерных вод до дна.

3.1.3 Анализ уровня режима Великих американских озер

Исходные данные

В качестве исходных данных были использованы данные о среднемесячных уровнях воды на озерах Верхнее, Мичиган-Гурон, Эри, Сент-Клер и Онтарио с 1918 по 2019 год. Длина ряда составила 101 значение.

Оценка значимостей тренда в рядах уровней воды

На рисунках 3.3-3.7 приведены многолетние гидрографы Великих американских озер. Для каждого ряда уровней построены тренды и рассчитаны значимости трендов. Результаты анализа интенсивности трендов приведены в таблице 3.1.

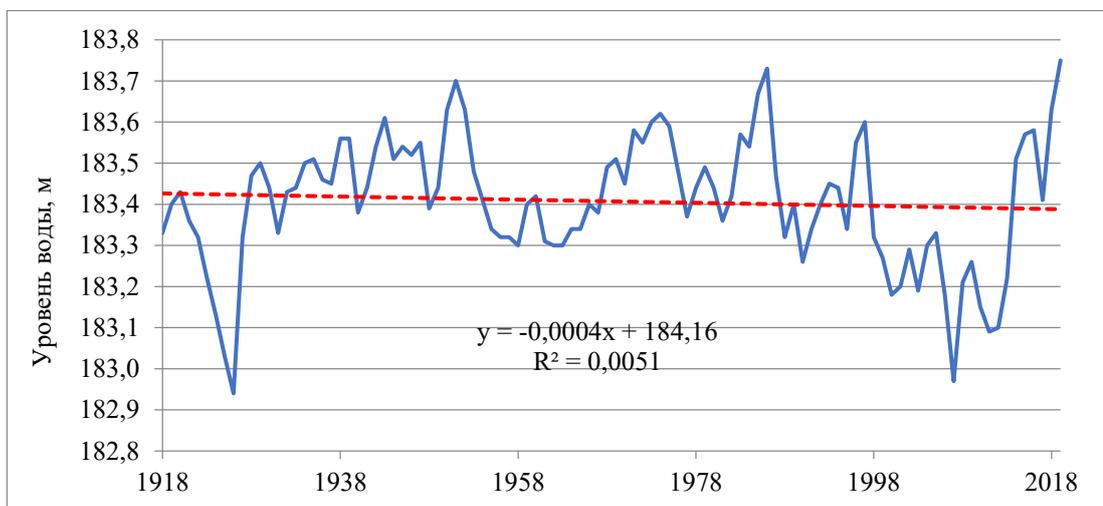


Рисунок 3.3 – Многолетний гидрограф оз. Верхнее.

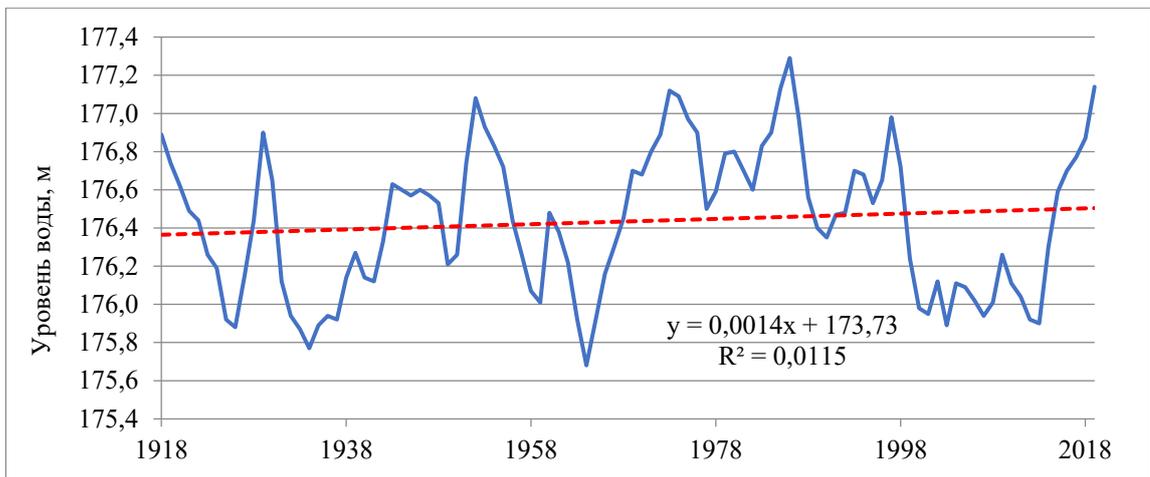


Рисунок 3.4 – Многолетний гидрограф оз. Мичиган-Гурон.

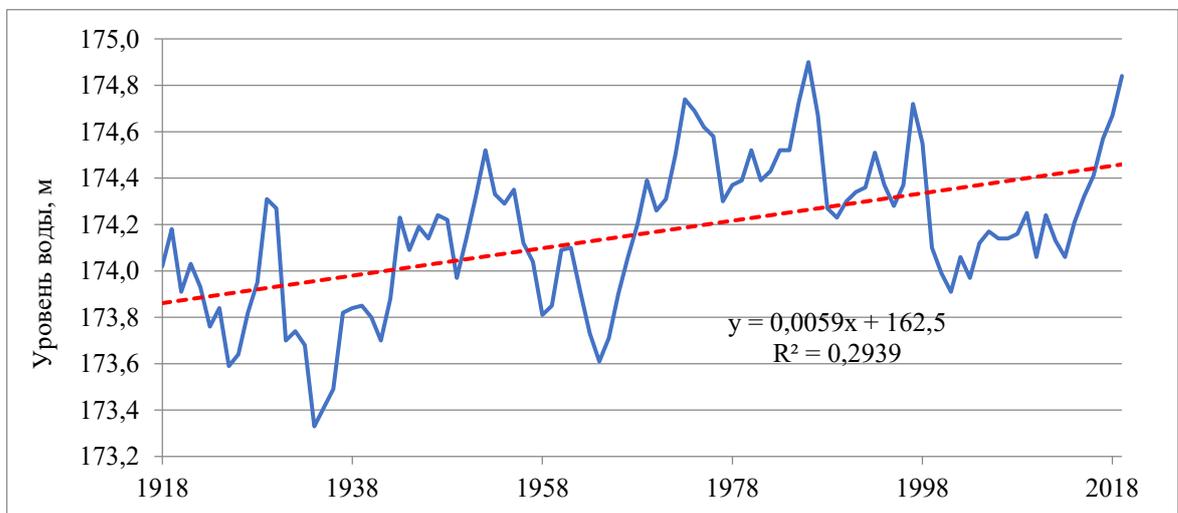


Рисунок 3.5 – Многолетний гидрограф оз. Эри.

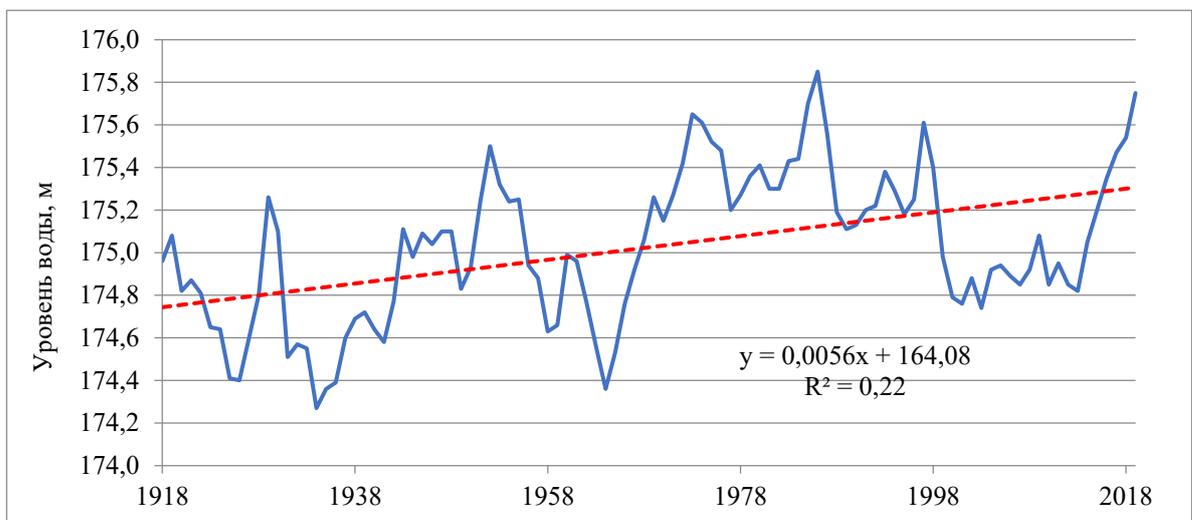


Рисунок 3.6 – Многолетний гидрограф оз. Сент-Клер.

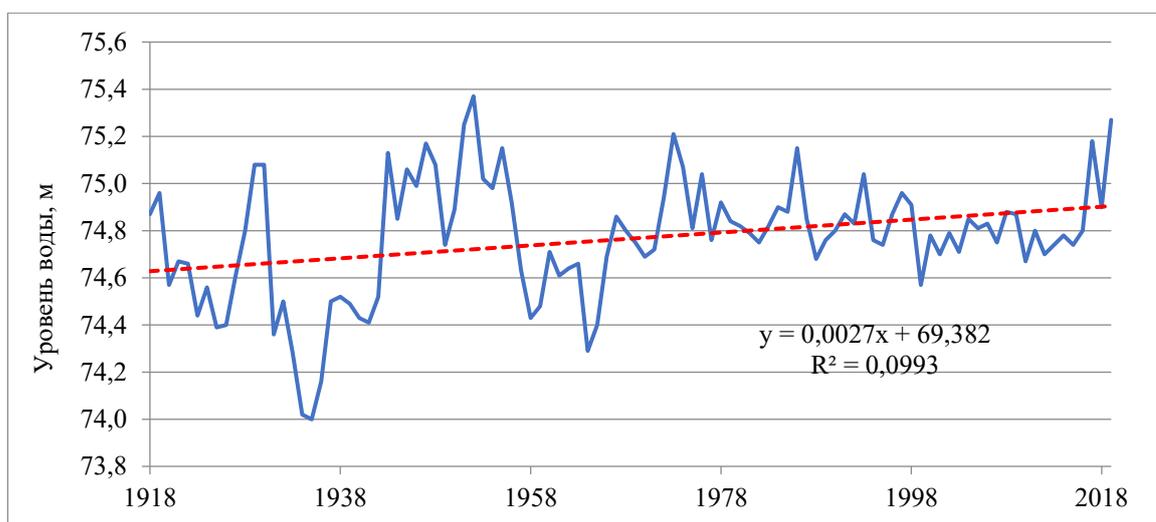


Рисунок 3.7 – Многолетний гидрограф оз. Онтарио.

Уровни озер Эри, Сент-Клер и Онтарио значительно растут в среднем на 4,7 см/10 лет, в то время как уровень оз. Мичиган-Гурон также повышается, но незначительно, на 1,4 см/10 лет. Уровень зарегулированного оз. Верхнее незначительно понижается в среднем на 0,4 см/год.

Таблица 3.1 – Интенсивность трендов уровней озер ЕТР

	Верхнее	Мичиган-Гурон	Эри	Сент-Клер	Онтарио
Интенсивность тренда, см/10 лет	-0,4	+1,4	+5,9	+5,6	+2,7
Значимость тренда	Не значим	Не значим	Значим	Значим	Значим

Анализ разностно-интегральных и суммарных кривых

На разностно-интегральных и суммарных кривых рядов уровней Великих американских озер наблюдается единовременное наступление изменений условий формирования уровня режима в 1967 году за исключением графика уровней зарегулированного озера Верхнее. На суммарной кривой уровней воды оз. Верхнего отчетливо выделены три периода – до 1927 года, с 1927 по 1997 год и с 1997 по настоящее время, отличающиеся по характеру колебаний. Эти же периоды видны на разностно-интегральной кривой (рис. 3.8, 3.9). В таблицу 3.2 вынесены выделенные на

разностно-интегральных и суммарных кривых точки перелома (см. Приложение К).

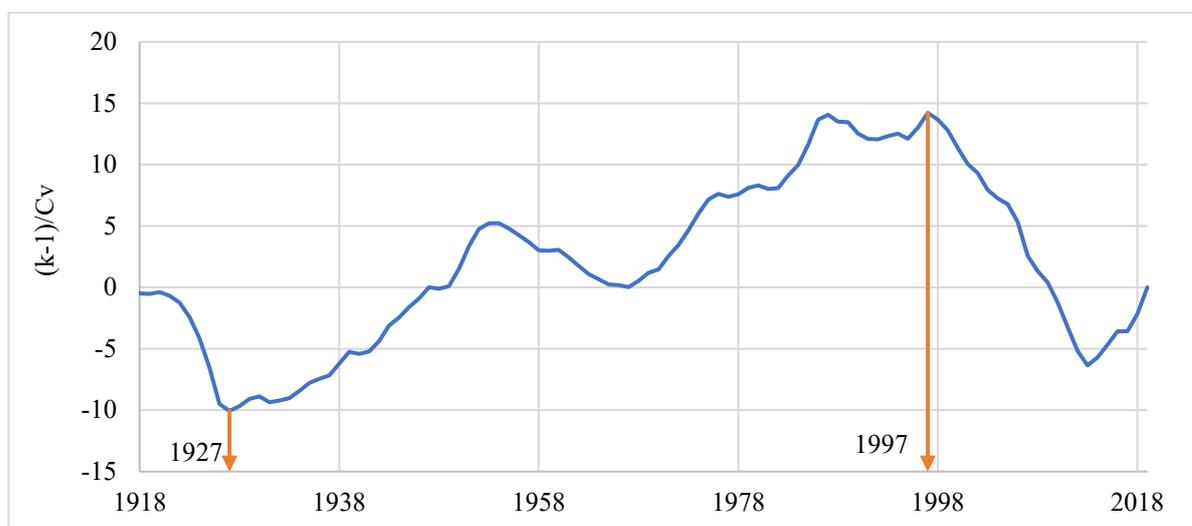


Рисунок 3.8 – Разностно-интегральная кривая уровней воды оз. Верхнее

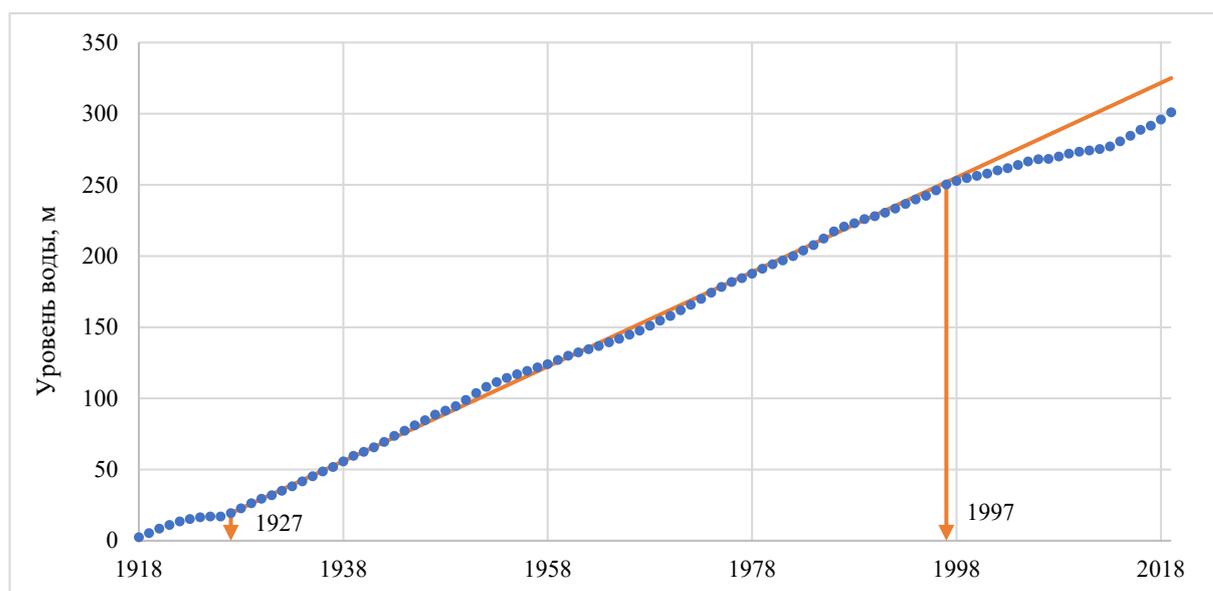


Рисунок 3.9 – Суммарная кривая уровней воды оз. Верхнее

Таблица 3.2 – Даты изменений условий формирования уровней Великих американских озер

	Верхнее	Мичиган-Гурон	Эри	Сент-Клер	Онтарио
Разностно-интегральная кривая	1927, 1997	1967	1967	1967	1942
Суммарная кривая	1927, 1997	1967	1970	1968	1945

Спектральный анализ

В программе Statistica был проведен спектральный анализ рядов уровней Великих американских озер (см. Приложение М), в таблице 3.3 приведены периоды, выделенные в результате анализа, в течение которых озера на американском континенте проходят циклы водности.

Таблица 3.3 – Периоды колебаний уровня Великих американских озер

	Верхнее	Мичиган-Гурон	Эри	Сент-Клер	Онтарио
Цикл, лет	13	26	25	25	22

Для выявления наличия или отсутствия связи между колебаниями уровней и изменениями климата на рисунках 3.10-3.12 приведены спектральные кривые рядов среднегодовых температур, сумм среднегодовых осадков и среднегодовых уровней.

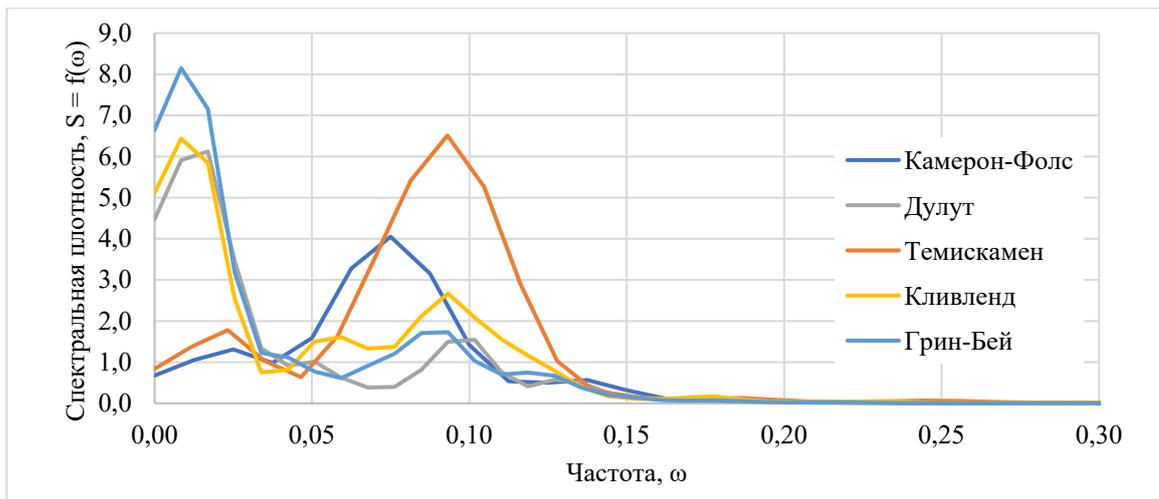


Рисунок 3.10 – Нормированный спектр среднегодовых температур

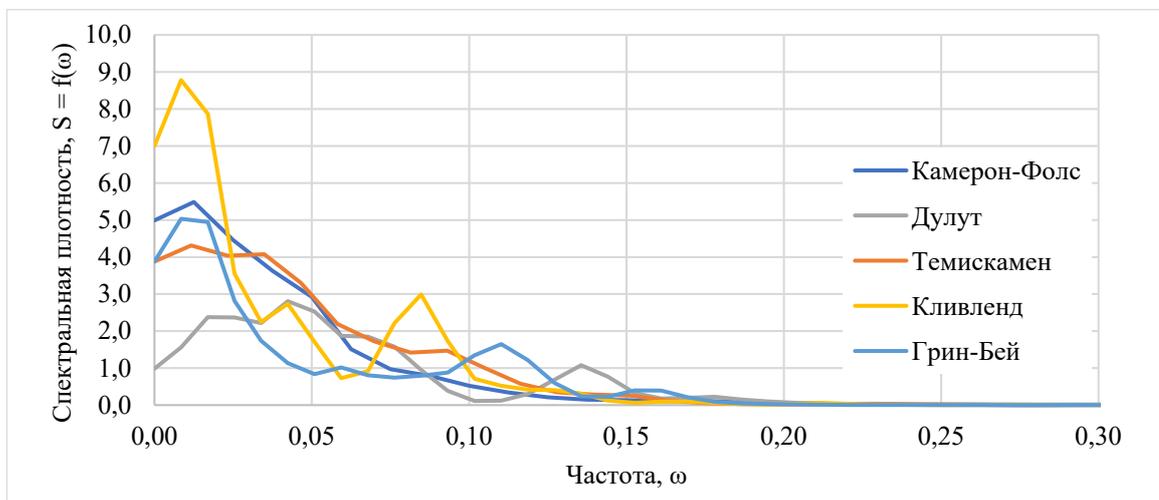


Рисунок 3.11 – Нормированный спектр сумм среднегодовых осадков

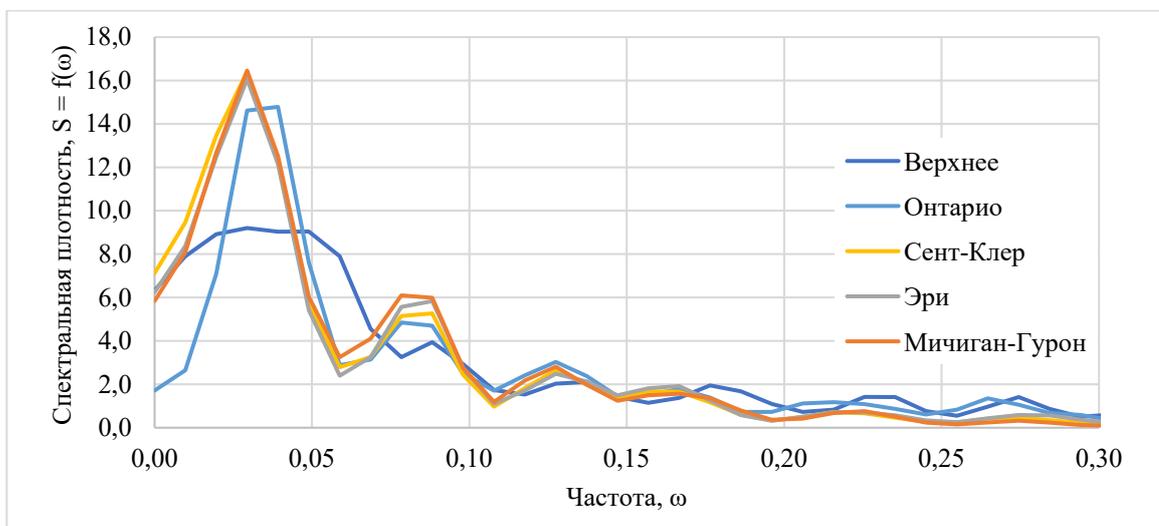


Рисунок 3.12 – Нормированный спектр рядов уровней

На спектральных кривых климатических параметров отчетливо выделяется пик плотности на частоте, близкой к 0,8-1,0, соответствующем периоду 7-10 лет, такой же пик наблюдается на спектральных кривых среднегодовых уровней озер за исключением зарегулированного озера Верхнее.

При проведении спектрального анализа климатических параметров ряды температур и осадков были предварительно сглажены фильтром 4253Н в программе STATISTICA, чтобы убрать влияние высокочастотных колебаний. Для ряда уровней сглаживание проводить не требовалось, т.к. озера являются большими инерционными системами и ряды их уровней не содержат высокочастотных колебаний.

Таким образом, изменения уровней Великих американских озер отражают закономерности колебаний климатических элементов, прежде всего осадков.

3.2. Уровненный режим крупнейших озер ЕТР

Уровни по исследуемым озерам европейской территории России представлены в балтийской системе высот.

3.2.1. Балтийская система высот

Установленная в соответствии со статьей 7 Федерального закона "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" Правительством Российской Федерации в качестве государственной системы высот система, отсчет нормальных высот которой ведется от нуля Кронштадтского футштока, являющегося горизонтальной чертой на медной пластине, укрепленной в устье моста через обводной канал в г. Кронштадте [1]. Кронштадтский футшток установлен в 1840 году. Нулем кронштадтского футштока является

средний уровень Балтийского моря за период 1825–1839 г., горизонтальная метка установлена русским гидрографом вице-адмиралом М. Ф. Рейнеке. Рядом укреплен футшток, нуль которого совмещен с меткой. Для контроля неизменности положения нуля футштока он был связан нивелировкой с верхней рискской буквы «П» в слове «Польза» на памятнике русскому мореплавателю и гидрографу П. К. Пахтусову [2]. Согласно материалам книги «Кронштадтский футшток и его Шепелевский дублер» за авторством Богданова В. И., возведение комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга повлияло на точность снимаемых показаний и с целью сохранения должной точности наблюдений на побережье Финского залива на западе от дамбы были созданы посты-дублеры кронштадтского футштока в Ломоносове, Кронштадте и пос. Шепелево. Также в Шепелево был сооружен вековой уровневый пост и Богдановым В. И. дальнейшем предполагается, что к нему перейдут функции кронштадтского футштока [3].

3.2.2. Анализ уровня режима озер ЕТР

Исходные данные

В качестве исходных данных были использованы данные о среднемесячных уровнях воды на оз. Онежское – г. Петрозаводск (открыт в 1883 г.), оз. Ладожское – о. Валаам (открыт в 1859 г.), оз. Ильмень – д. Войцы (открыт в 1931 г.), оз. Чудско-Псковское – д. Раскопель (открыт в 1906 г.) за период с года открытия до 2019 года включительно. Длина ряда значений составила 135, 159, 87 и 112 лет на Онежском, Ладожском, Ильмень и Чудско-Псковском озерах соответственно.

Восстановление рядов данных среднегодовых уровней воды крупнейших озер ЕТР

Пропуски в исходных рядах данных о среднегодовых уровнях озера Ладожское были восстановлены по уравнению линейной регрессии, а затем уточнены по построенной сглаженной кривой с учетом восстановленных значений при помощи программы STATISTICA. Ряды данных среднегодовых уровней озер Псковско-Чудское и Ильмень были восстановлены по уравнениям линейной регрессии. На рисунках 3.13 – 3.14 изображены графики связей рядов среднегодовых уровней и параметры уравнений, по которым восстанавливались ряды. В таблице 3.4 приведены значения коэффициентов пространственной корреляции среднегодовых уровней соответствующих озер ЕТР.

Пропуски в ряде данных среднегодовых уровней озера Псковско-Чудское были восстановлены от уровней оз. Ладожское; пропуски в исходном ряду данных о среднегодовых уровнях оз. Ильмень восстановлены, в свою очередь, от ряда значений уровней воды оз. Псковско-Чудское.

Таблица 3.4 – Корреляционная матрица среднегодовых уровней озер ЕТР

Озеро	Ладожское	Онежское	Псковско-Чудское	Ильмень
Ладожское	1			
Онежское	0,62	1		
Псковско-Чудское	0,71	0,51	1	
Ильмень	0,61	0,50	0,77	1

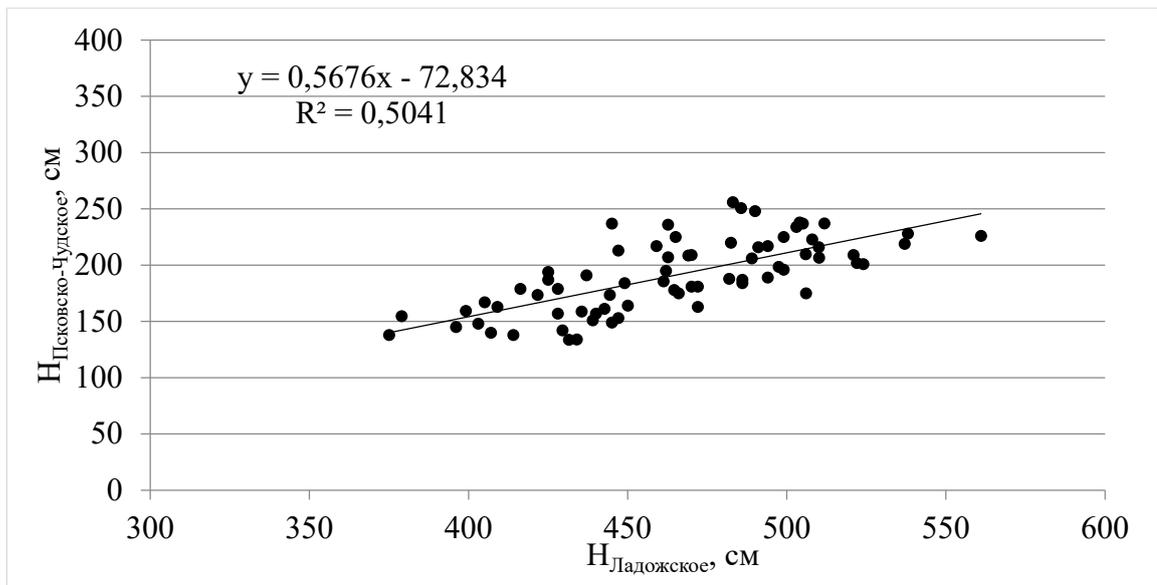


Рисунок 3.13 – График связи уровней оз. Псковско-Чудское и оз. Ладожское

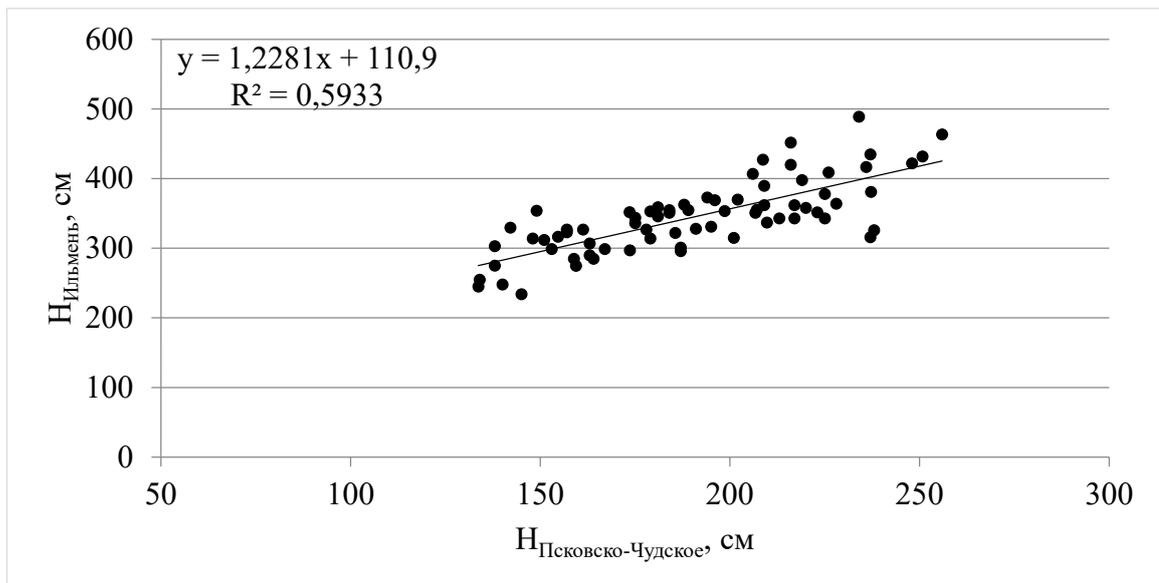


Рисунок 3.14 – График связи уровней оз. Ильмень и оз. Псковско-Чудское

На рисунке 3.15 приведены ряды среднегодовых уровней воды крупнейших озер ЕТР с учетом восстановленных пропусков данных за период 1859-2019 гг.

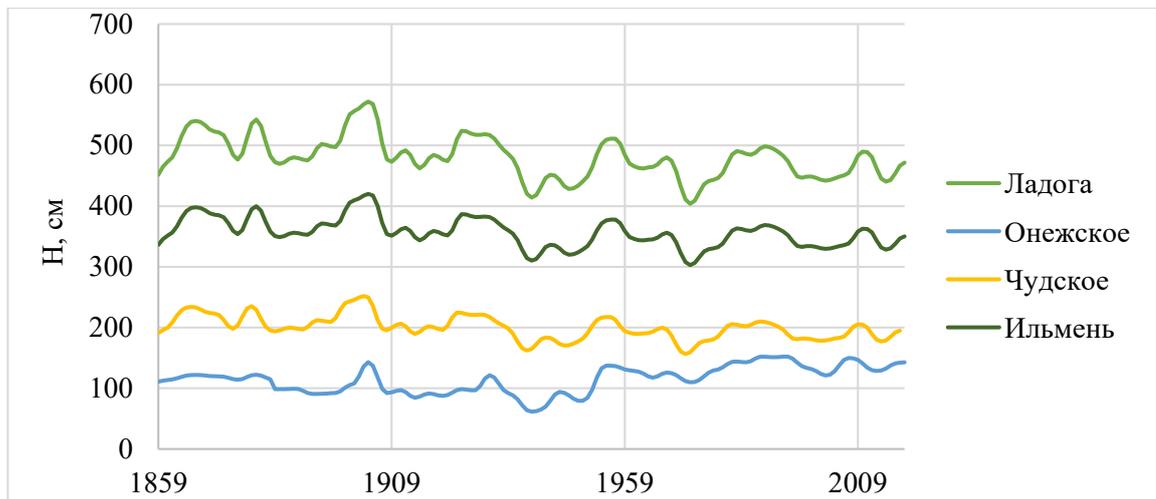


Рисунок 3.15 – Хронологические графики уровней воды крупнейших озер ЕТР, 1859-2019 гг.

Оценка значимостей тренда в рядах уровней воды

На рисунках 3.16-3.19 приведены многолетние гидрографы крупнейших озер ЕТР. Для каждого ряда уровней построены линии тренда и рассчитаны значимости трендов. Результаты анализа интенсивности трендов приведены в таблице 3.5.

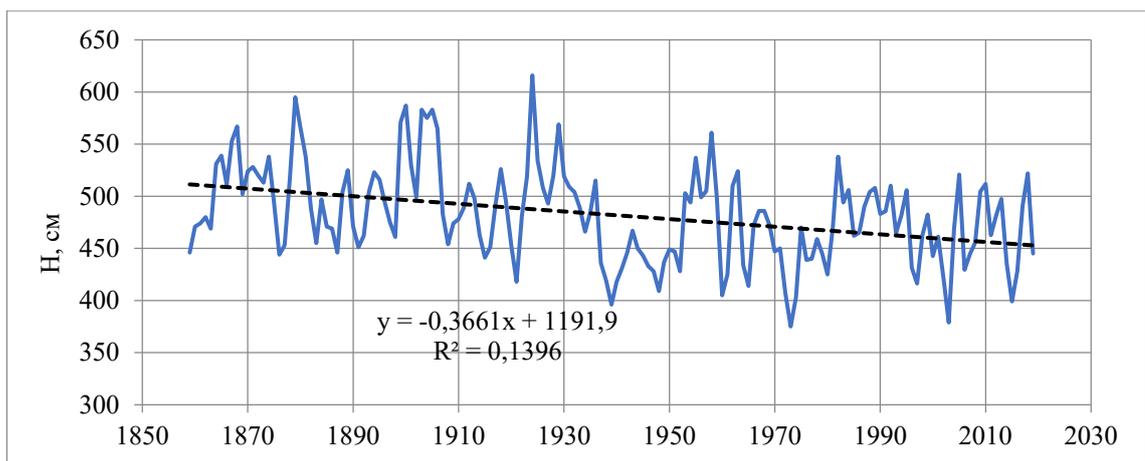


Рисунок 3.16 – Многолетний гидрограф оз. Ладожское

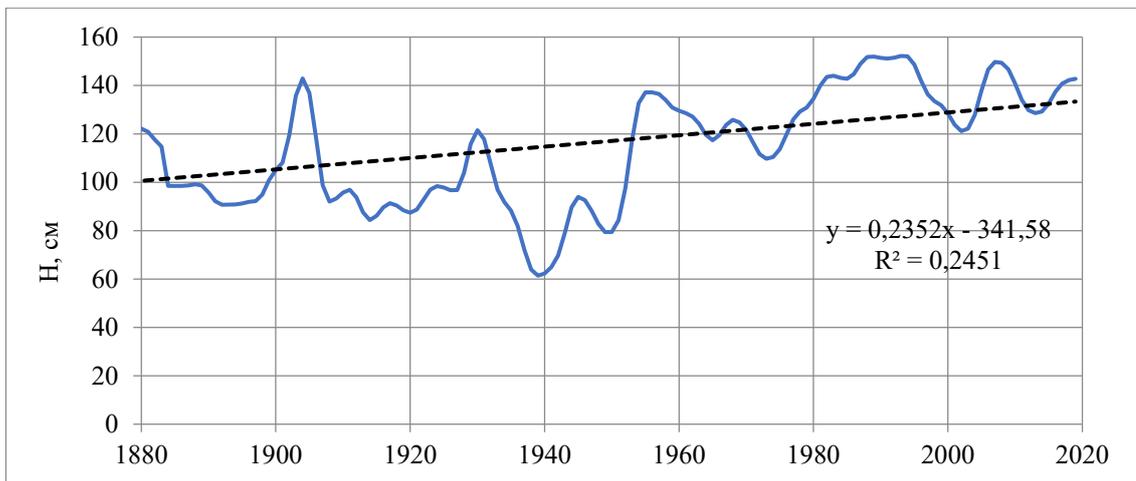


Рисунок 3.17 – Многолетний гидрограф оз. Онежское

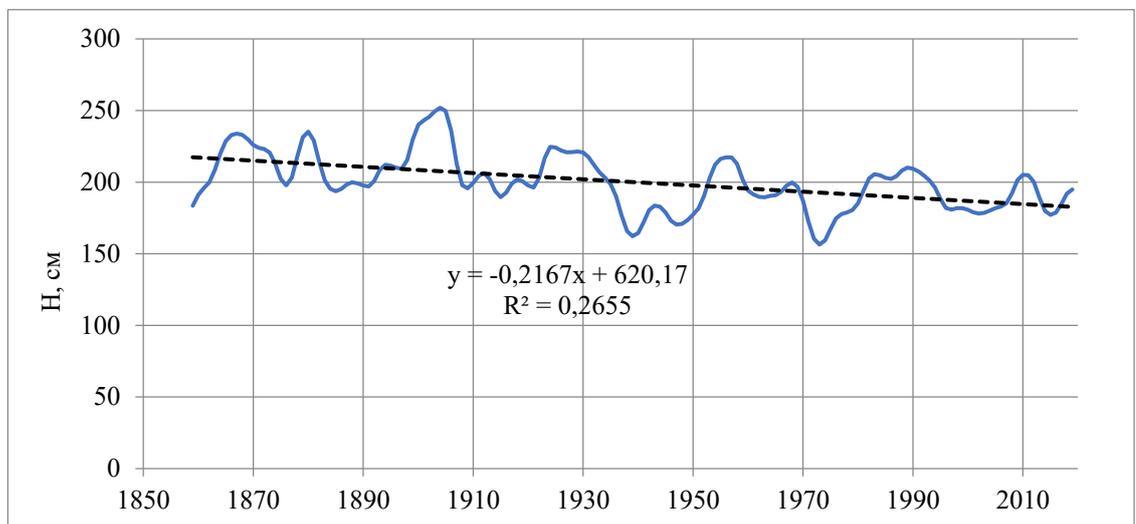


Рисунок 3.18 – Многолетний гидрограф оз. Чудское

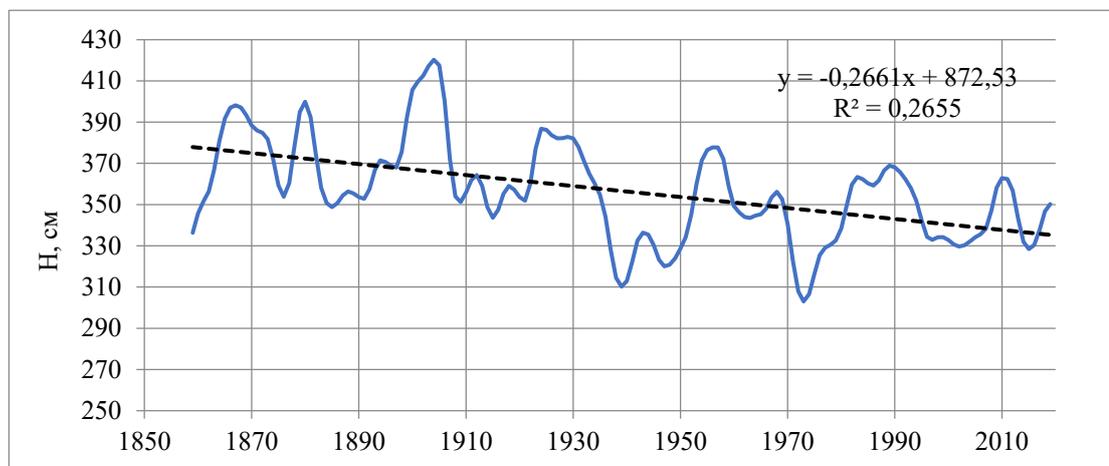


Рисунок 3.19 – Многолетний гидрограф оз. Ильмень.

Таблица 3.5 – Интенсивность трендов уровней озер ЕТР

	Ладожское	Онежское	Чудское	Ильмень
Интенсивность тренда, см/10 лет	-3,661	2,352	-2,167	-2,661
Значимость тренда	Да	Да	Да	Да

Из анализа многолетних гидрографов и интенсивностей трендов следует, что тренды крупнейших озер ЕТР значимые. Уровни озер Ладожское, Чудское и Ильмень падают в среднем почти на 3 см/год, в то время, как уровень оз. Ладожское растет за год на 2 см.

Анализ разностно-интегральных и суммарных кривых

Для каждого из восстановленных рядов уровней крупнейших озер ЕТР построены разностно-интегральные и суммарные кривые (см. Приложение И) и найдены даты изменений характера уровня режима, следовательно, и изменений условий формирования уровня режима. Результаты анализа сведены в таблицу 3.6.

При анализе суммарных кривых уровней крупнейших озер ЕТР наблюдается единовременное изменение условий формирования уровня режима – 1936 год. На разностно-интегральных кривых это также отражается в изменении направления кривой в сторону понижения или повышения (рис. 3.20, 3.21). Исключением является оз. Онежское, на разностно-интегральной и суммарной кривых его уровней отражен период изменений условий формирования уровня режима – они начинаются единовременно с вышеперечисленными озерами в 1936 и продолжаются по 1952 год.

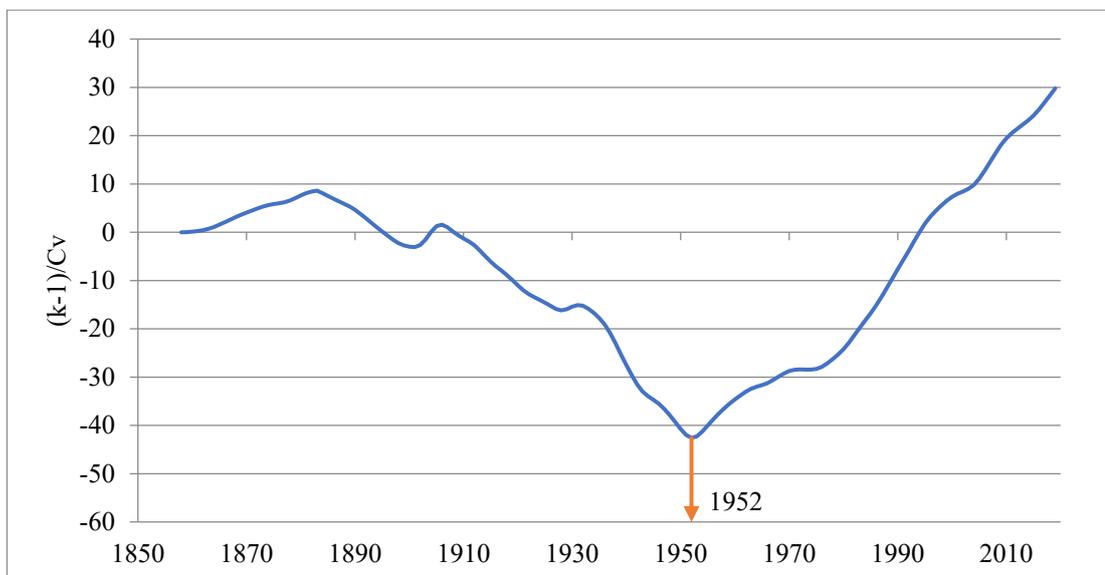


Рисунок 3.20 – Разностно-интегральная кривая уровней оз. Онежское

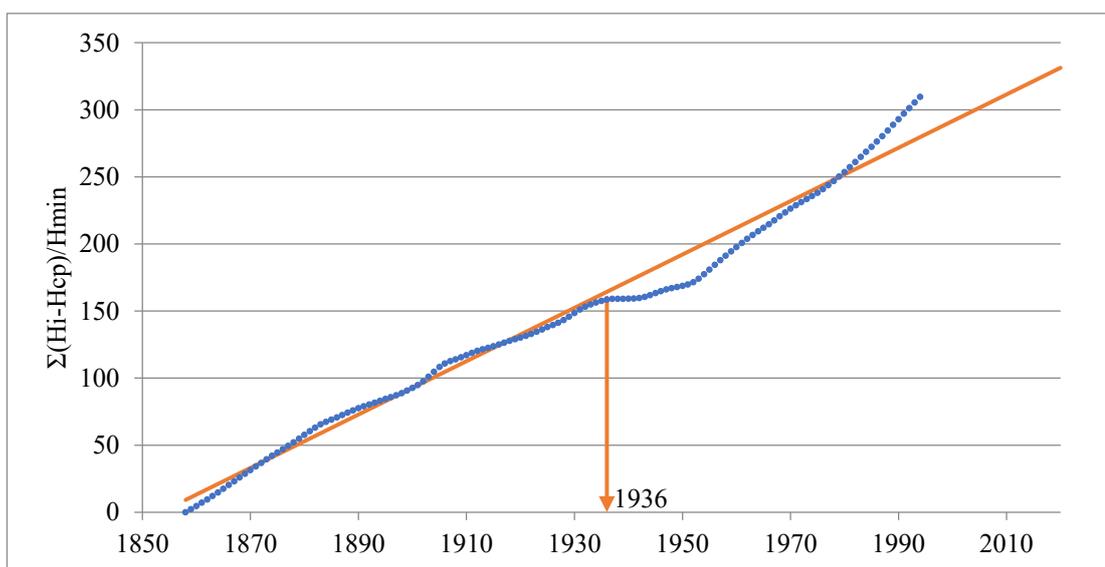


Рисунок 3.21 – Суммарная кривая уровней оз. Онежское

Таблица 3.6 – Даты изменений условий формирования уровней крупнейших озер ЕТР

	Ладожское	Онежское	Чудско-Псковское	Ильмень
Разностно-интегральная кривая	1936	1952	1936	1934
Суммарная кривая	1936	1936	1936	1936

Спектральный анализ

В программе Statistica был проведен спектральный анализ рядов уровней крупнейших озер ЕТР (см. Приложение Л), в таблице 3.7 приведены периоды, выделенные в результате анализа, в течение которых озера на европейском континенте проходят циклы водности.

Таблица 3.7 – Периоды колебаний уровня крупнейших озер ЕТР

	Ладожское	Онежское	Чудское	Ильмень
Цикл, лет	27	27	27	27

Для выявления наличия или отсутствия связи между колебаниями уровней и изменениями климата на европейском континенте на рисунках 3.22-3.24 приведены спектральные кривые рядов среднегодовых температур, сумм среднегодовых осадков и среднегодовых уровней.

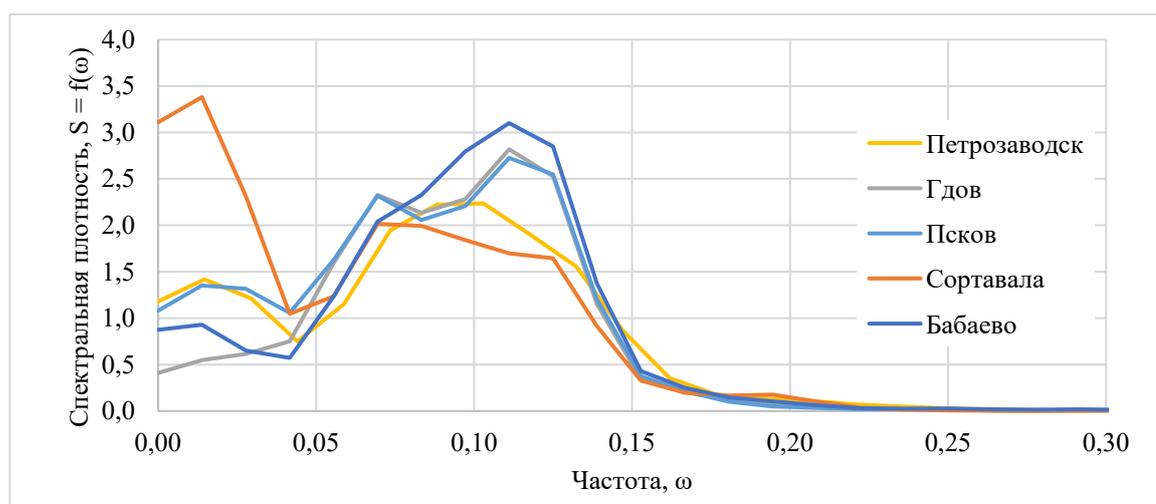


Рисунок 3.22 – Нормированный спектр среднегодовых температур

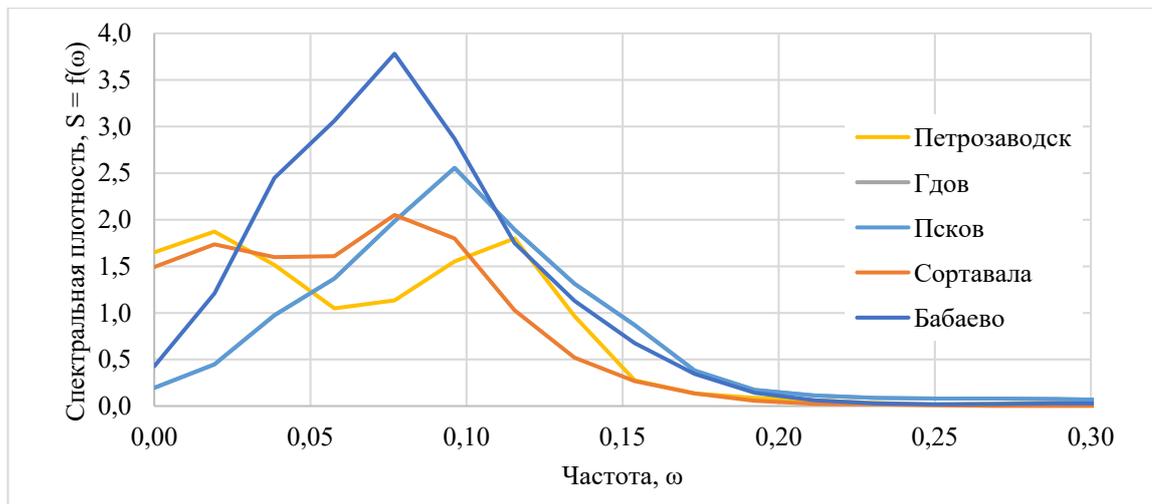


Рисунок 3.23 – Нормированный спектр сумм среднегодовых осадков

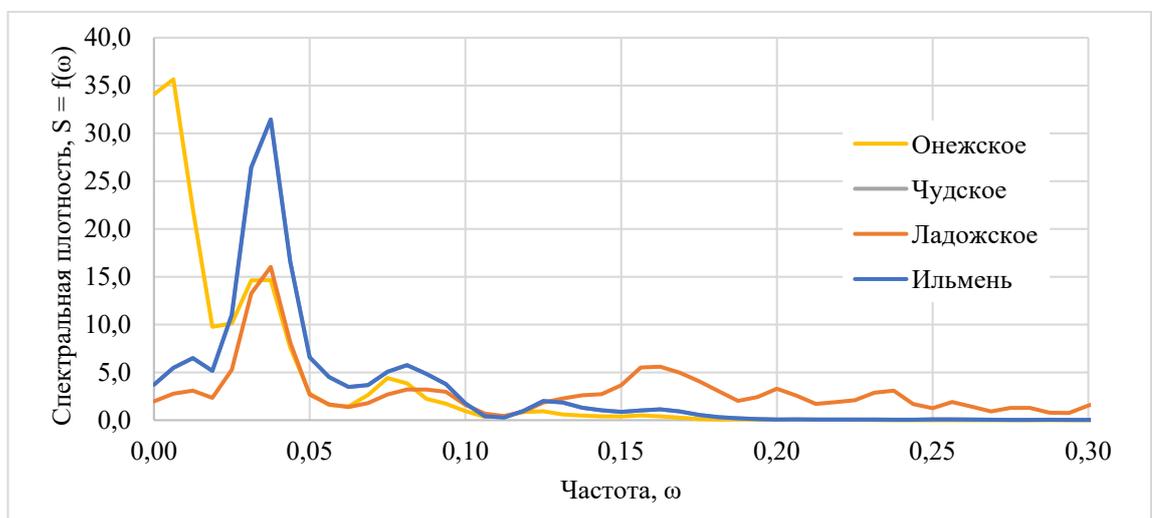


Рисунок 3.24 – Нормированный спектр среднегодовых уровней

На спектральных кривых климатических параметров отчетливо выделяется пик плотности на частоте, близкой к 0,8-1,0, соответствующем периоду 7-10 лет, такой же пик наблюдается на частоте около 0,04 (соответствующий период 27 лет) на спектральных кривых среднегодовых уровней озер за исключением спектра зарегулированного озера Онежское.

При проведении спектрального анализа климатических параметров ряды температур и осадков были предварительно сглажены специальным фильтром, чтобы убрать влияние высокочастотных колебаний на картину распределения. Для ряда уровней сглаживание проводить не требовалось, т.к.

озера являются большими инерционными системами и ряды их уровней не содержат высокочастотных колебаний.

Режим осадков на европейской территории России за рассматриваемый период времени изменился незначительно, тогда как среднегодовые температуры выросли почти на 1 °C за последние 30 лет, это привело к увеличению испарения и снижению стока в озера, вследствие чего наблюдаются понижения их уровней, за исключением зарегулированного оз. Онежского. Таким образом, можно сделать вывод, что изменения уровней крупнейших озер европейской территории России отражают закономерности колебаний климатических элементов, прежде всего – температур.

3.3 Сравнительный анализ уровенных режимов Великих американских озер и крупных озер европейской территории России

На рисунках 3.12 и 3.24 приведены нормированные спектры среднегодовых уровней обеих озерных систем.

Общим элементом уровенных режимов крупнейших озер европейской территории России и Великих американских озер является то, что все они представляют собой большие инерционные системы, колебания уровня в которых существенным образом зависят от климатических факторов. Вследствие этого реакция уровней воды в озерах похожая, но характер климатических колебаний на американском и европейском континентах различный, поэтому и сами циклы колебаний различаются по частоте и длительности.

Потепление климата вызвало тренды в уровенном режиме озер на обоих континентах.

В обеих озерных системах в уровенном режиме выделяются длинные низкочастотные колебания, которые связаны с естественно-природными колебаниями климата и короткие колебания, связанные с колебаниями погоды в естественных синоптических периодах.

Системы работают однотипно, но параметры систем разные по абсолютной величине из-за различия климатических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных исследований были получены следующие результаты.

На крупнейших озерах ЕТР в рядах среднегодовых уровней воды наблюдается значимый тренд на понижение. Интенсивность тренда 3 см/10 лет. Причина – рост температуры и как следствие увеличение испарения. Осадки в этом районе либо не изменились, либо незначительно выросли, но этот рост компенсируется заметным увеличением температуры.

Исключением является Онежское озеро, где в рядах уровней выявлен значимый тренд на повышение. По всей видимости, это связано с тем, что в северной Карелии наблюдается существенное увеличение осадков. По станциям Калевала, Паданы и Сортавала сумма годовых осадков за последние 20 лет выросла в среднем на 8%. Кроме того, Онежское озеро является озером-водохранилищем и на колебания его уровней влияет режим регулирования.

На Великих американских озерах Эри, Сент-Клер и Онтарио в рядах среднегодовых уровней воды наблюдается значимый тренд на повышение. Причина – интенсивное увеличение осадков при менее интенсивном росте температуры воздуха. В районе озер Верхнее и Мичиган-Гурон увеличение осадков компенсируется ростом температуры, поэтому ряды уровней этих озер остаются стационарными.

На всех крупных озерах в рядах среднегодовых уровней воды наблюдаются низкочастотные колебания, совпадающие с низкочастотными колебаниями основных климатических показателей. На территории ЕТР выявлены циклы с периодом 27 лет для уровней и в среднем 14 лет для метеопараметров, на территории Северной Америки – с периодом 24-25 лет для уровней и 10-12 лет – метеопараметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
- 2 Гусаков Б. Л., Петрова Н. А. Перед лицом великих озер. – Л. Гидрометеиздат, 1987. – 126 с.
- 3 Давыдов Л. К. Общая гидрология. / Л. К. Давыдов, А. А. Дмитриева, Н. Г. Конкина. Под ред. д-ра геогр. наук, проф. А. Д. Добровольского и д-ра геогр. наук, проф. М. И. Львовича. - 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 462 с.
- 4 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
- 5 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Часть 1. Карелия и Северо-Запад – Гидрометеиздат. Л.: – 1972 год. – 651 с.
- 6 Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
- 7 Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.
- 8 СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 35 с.
- 9 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
- 10 Coordinating Committee on Great Lakes Basic Hydraulic and Hydrologic Data. IGLD 1985. -- 1992

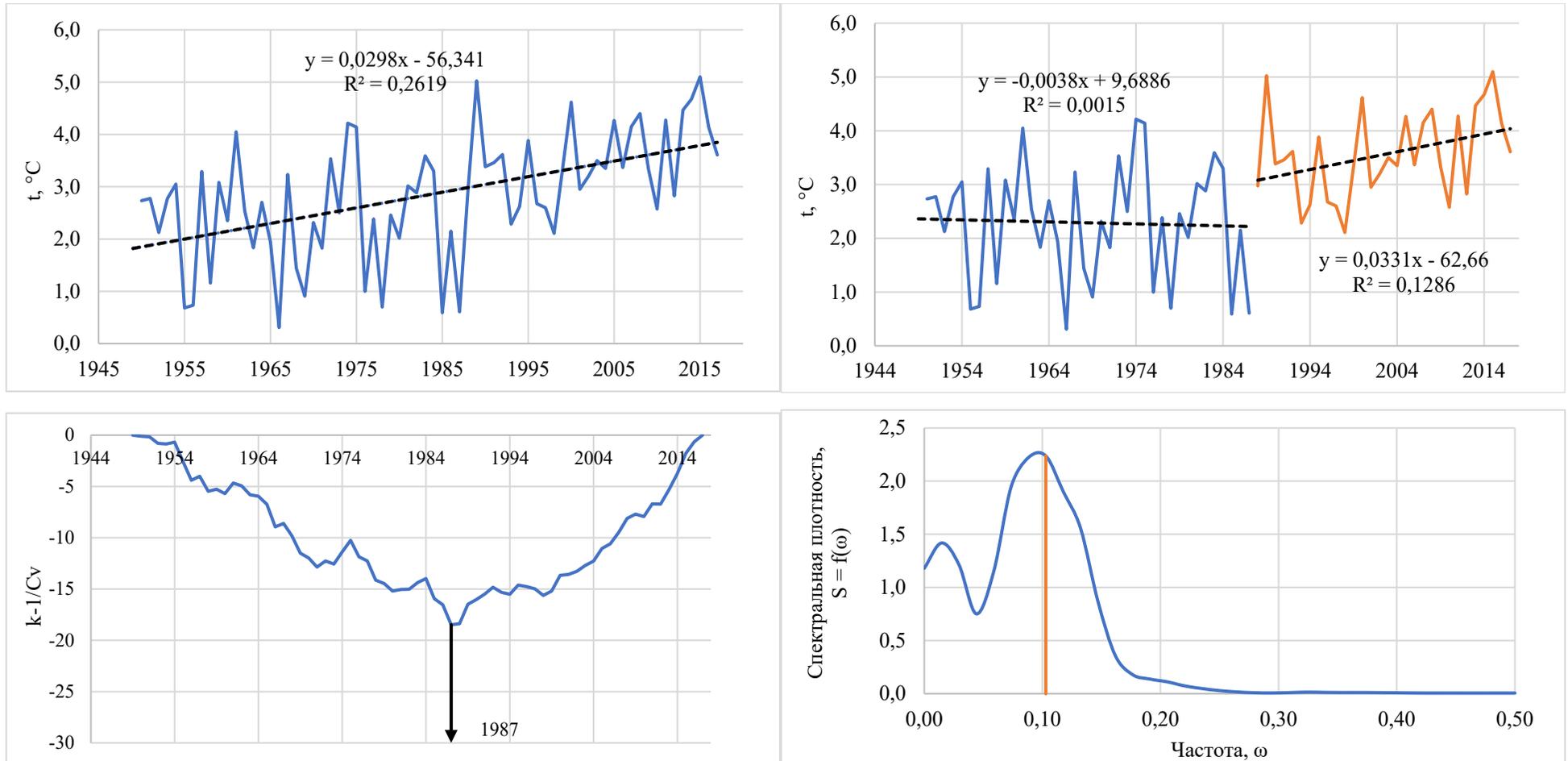
ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ

- 11 Вода России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://water-rf.ru> (дата обращения 13.04.2022)
- 12 Всероссийский научно-исследовательский институт

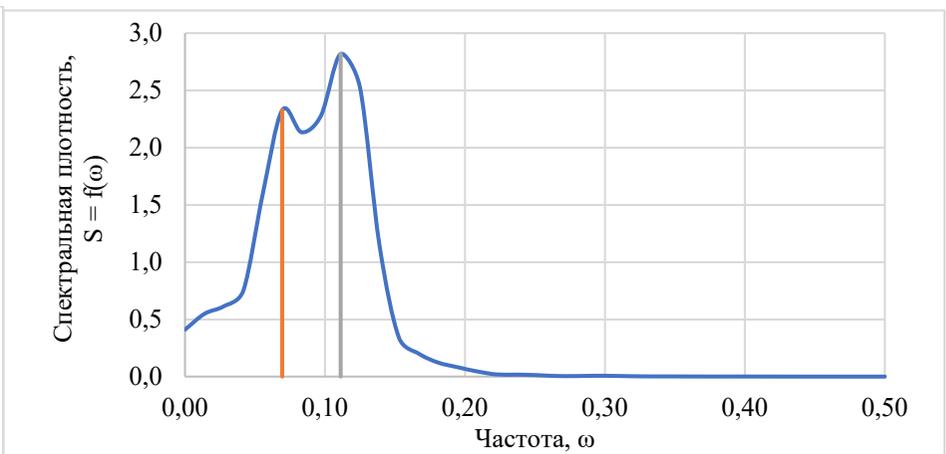
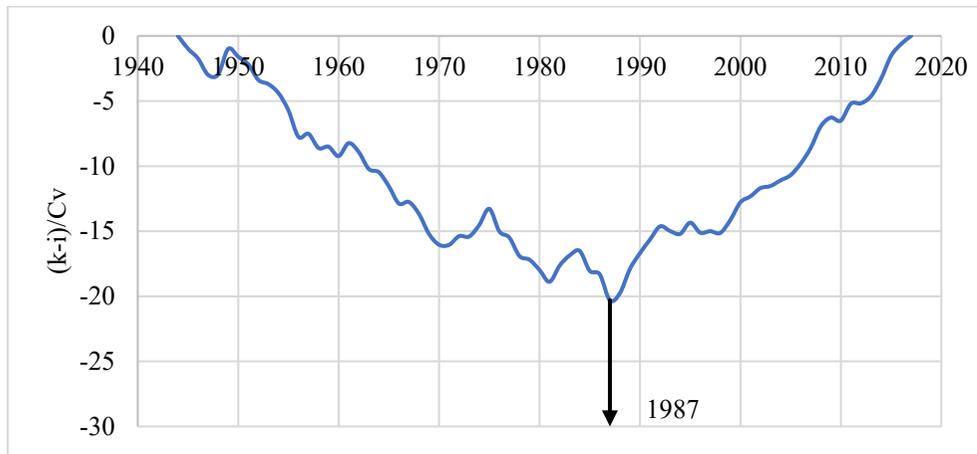
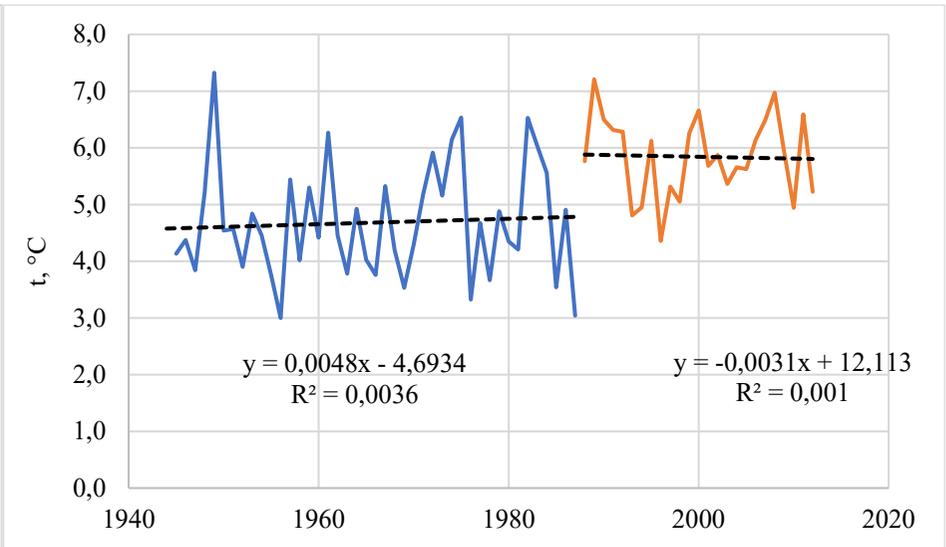
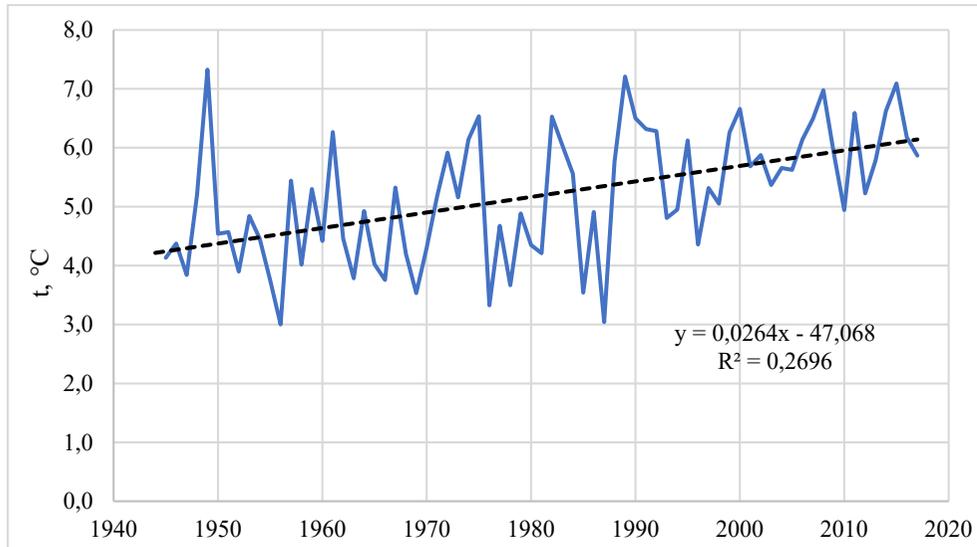
- гидрометеорологической информации – мировой центр данных
[Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/> (дата обращения
13.04.2022)
- 13 ЕАИС ГМВО. [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 13.04.2022)
- 14 Эдельштейн К. К. Великие озера // Большая российская энциклопедия..
[Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://bigenc.ru/geography/text/4343974> (дата обращения: 13.04.2022)
- 15 Government of Canada [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://www.canada.ca/en.html> (дата обращения 13.04.2022)
- 16 National Weather Service [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://www.weather.gov/> (дата обращения 13.04.2022)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

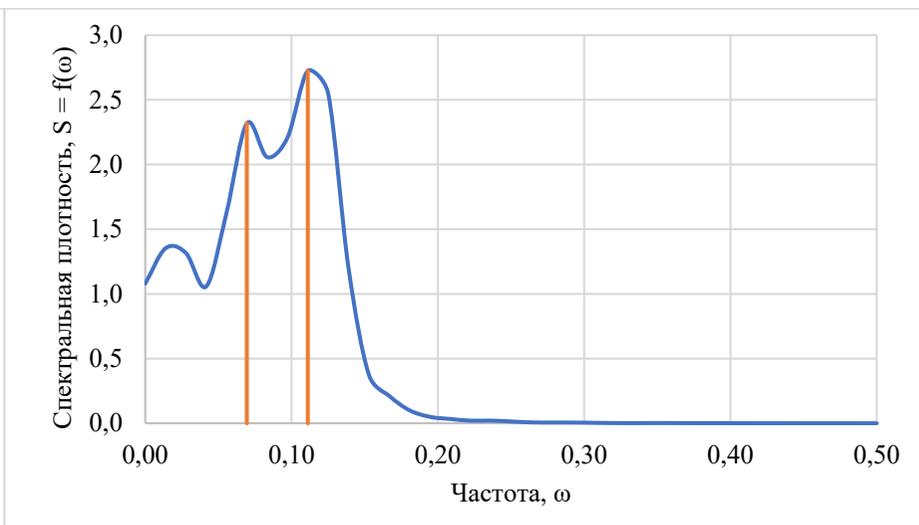
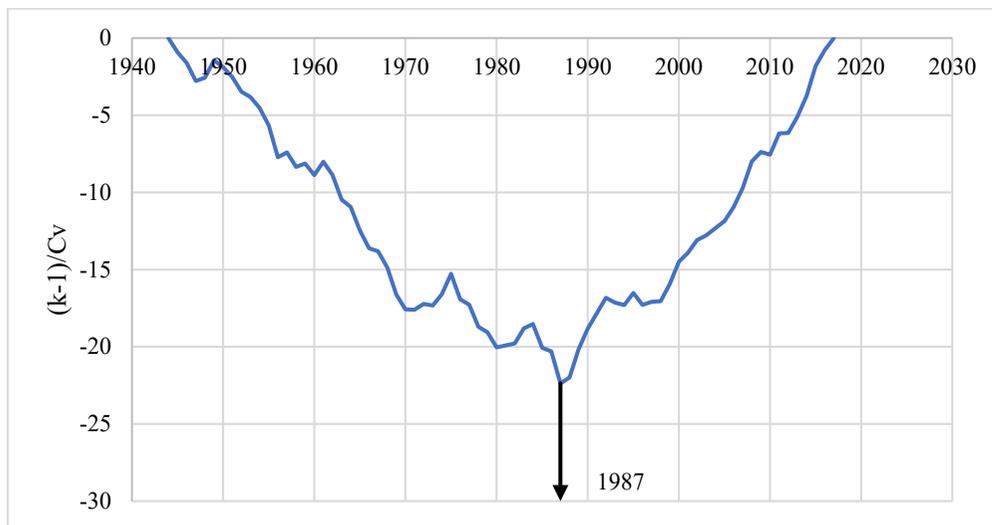
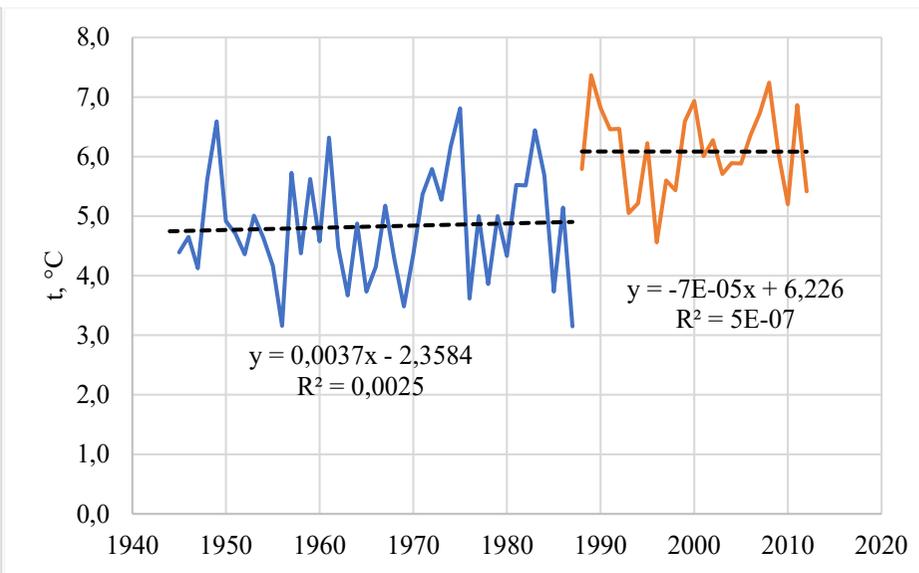
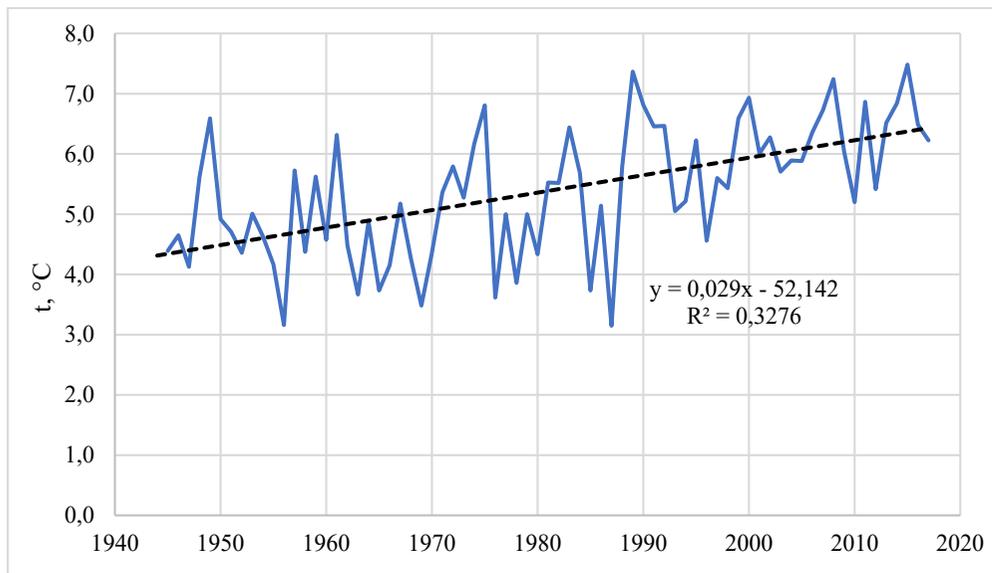
Анализ температурного режима в регионе крупнейших озер ЕТР – (слева направо) хронологический график, разделенный хронологический ряд, разностно-интегральная кривая, нормированный спектр среднегодовых температур воздуха



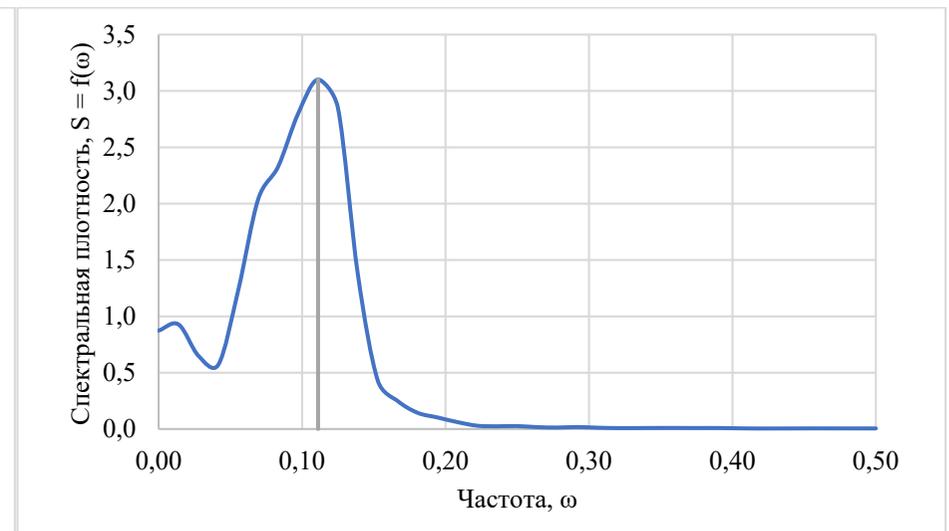
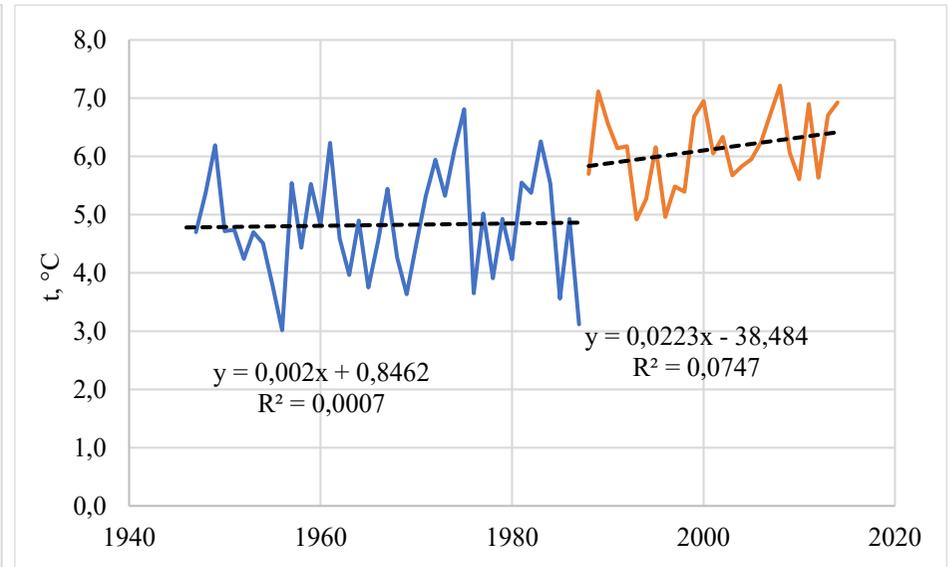
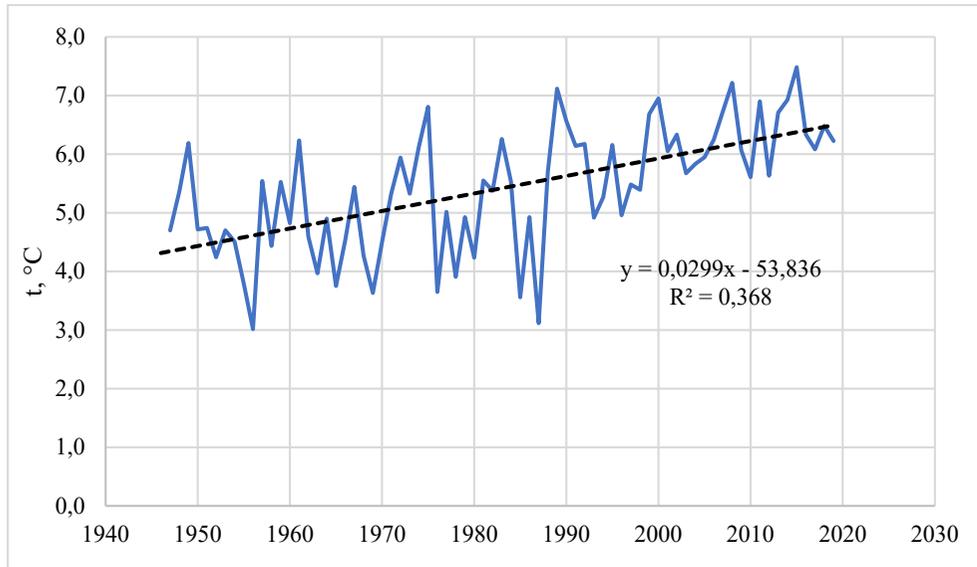
МС Петрозаводск, 1945-2017



МС ГДОВ, 1945-2017



МС Псков, 1945-2017



МС Бабаево, 1947-2019

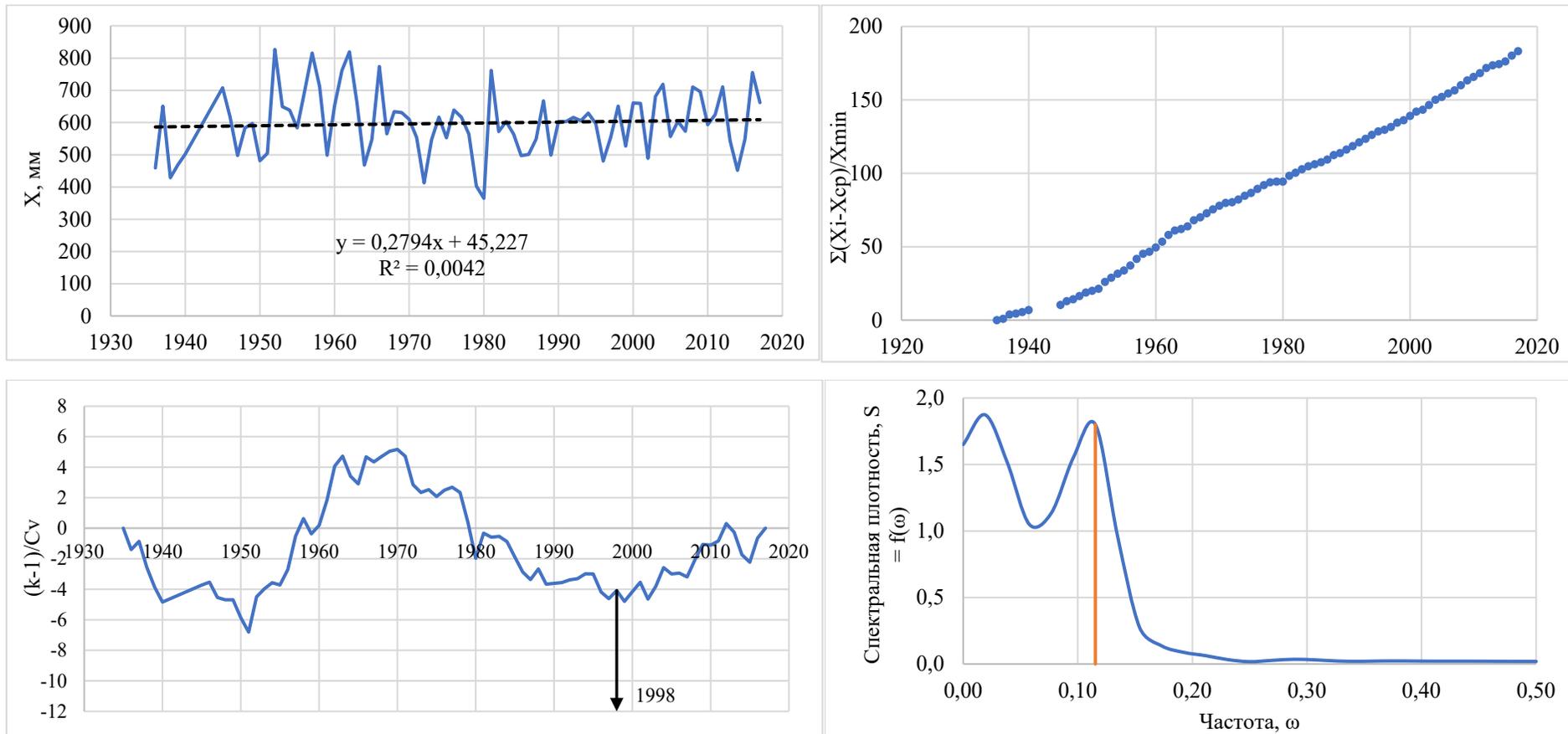
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Оценка значимости трендов рядов среднегодовых температур на территории крупнейших озер ЕТР

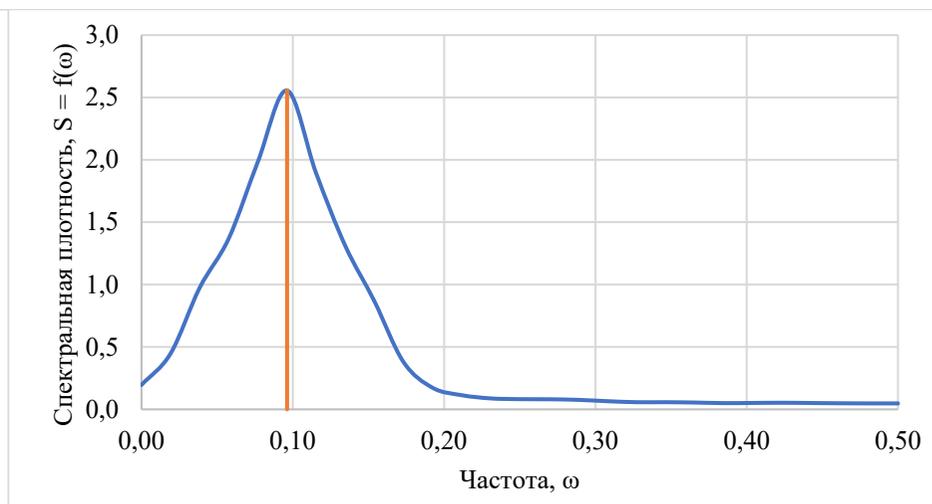
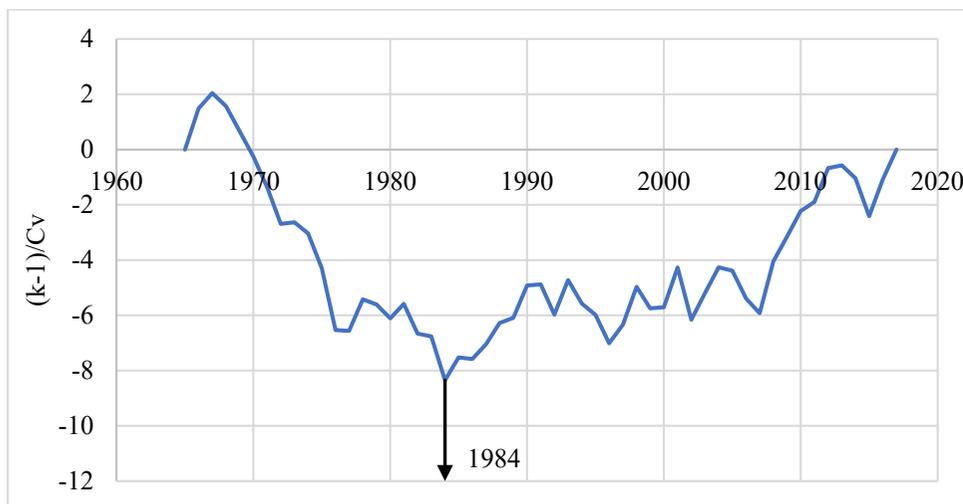
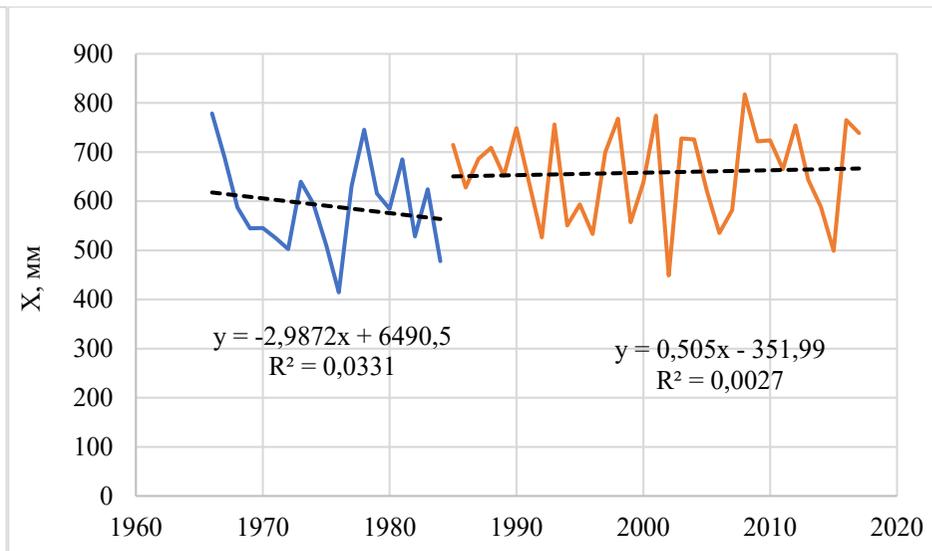
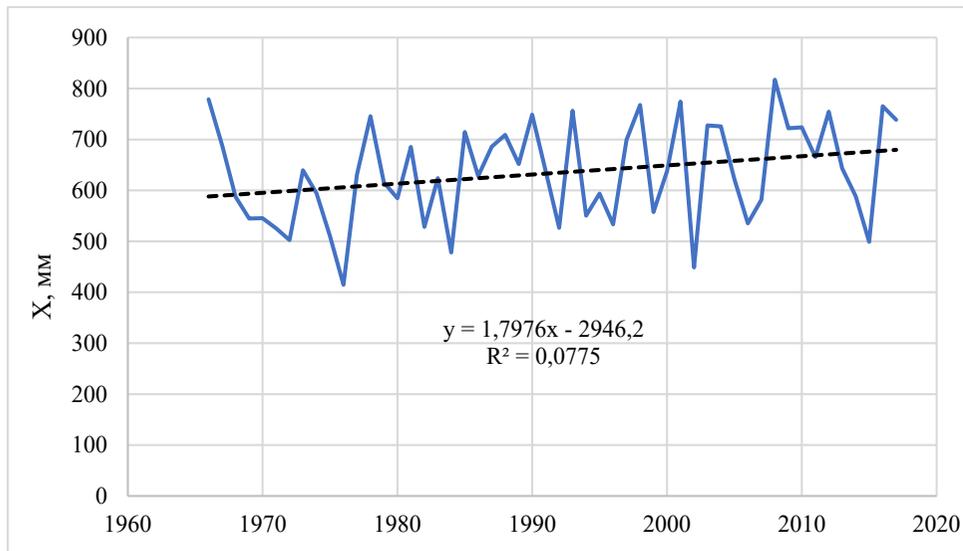
Параметр	Петрозаводск			Гдов			Псков			Бабаево		
	1950-2017	1950-1987	1988-2017	1945-2017	1945-1987	1988-2017	1945-2017	1945-1987	1988-2017	1947-2017	1947-1987	1988-2017
n	68	38	30	73	43	30	73	43	30	73	42	32
R ²	0,262	0,002	0,129	0,270	0,004	0,001	0,328	0,003	0,000	0,368	0,001	0,075
R	0,512	0,039	0,359	0,519	0,060	0,032	0,572	0,050	0,000	0,607	0,026	0,273
σR	0,106	0,167	0,176	0,101	0,156	0,189	0,097	0,156	0,189	0,094	0,158	0,176
R/σR	4,839	0,233	2,033	5,119	0,385	0,167	5,881	0,321	0,000	6,430	0,167	1,556
t	1,997	2,028	2,048	1,994	2,020	2,048	1,994	2,020	2,048	1,994	2,021	2,042
Значимость тренда	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
Интенсивность тренда, °C/10 лет	0,298	0	0	0,264	0	0	0,290	0	0	0,299	0	0

ПРИЛОЖЕНИЕ В

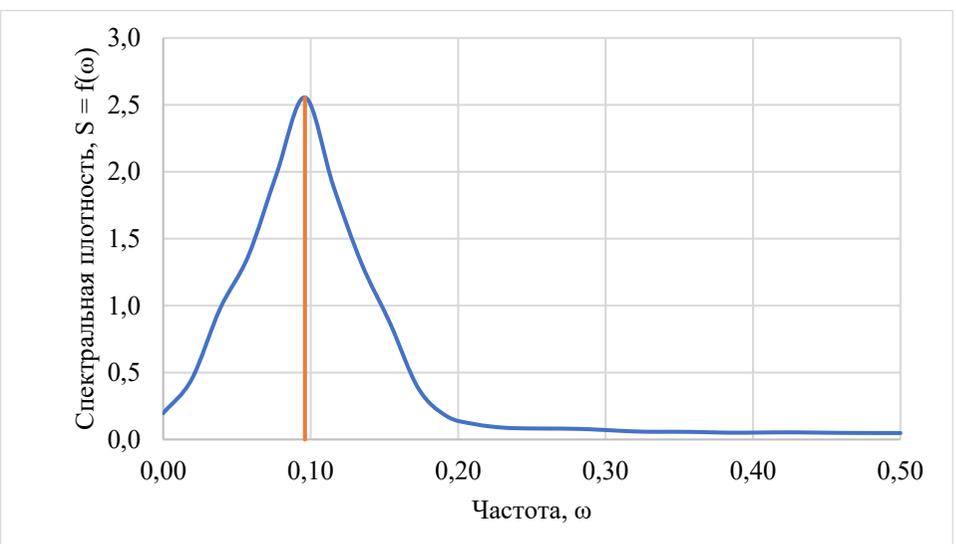
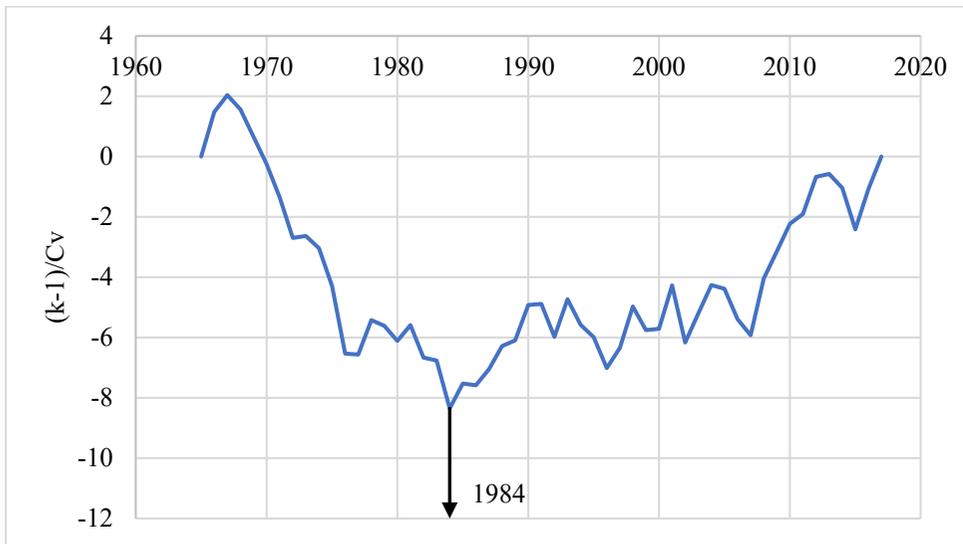
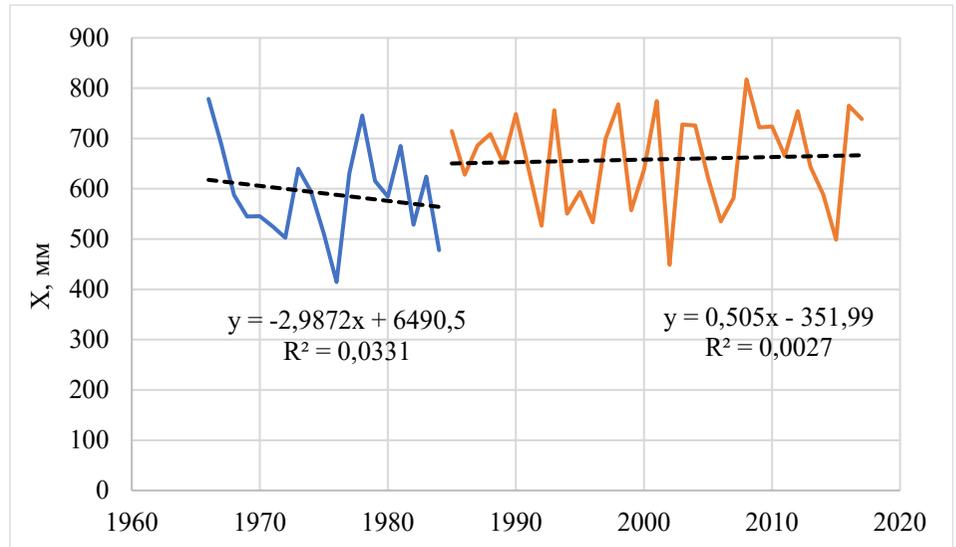
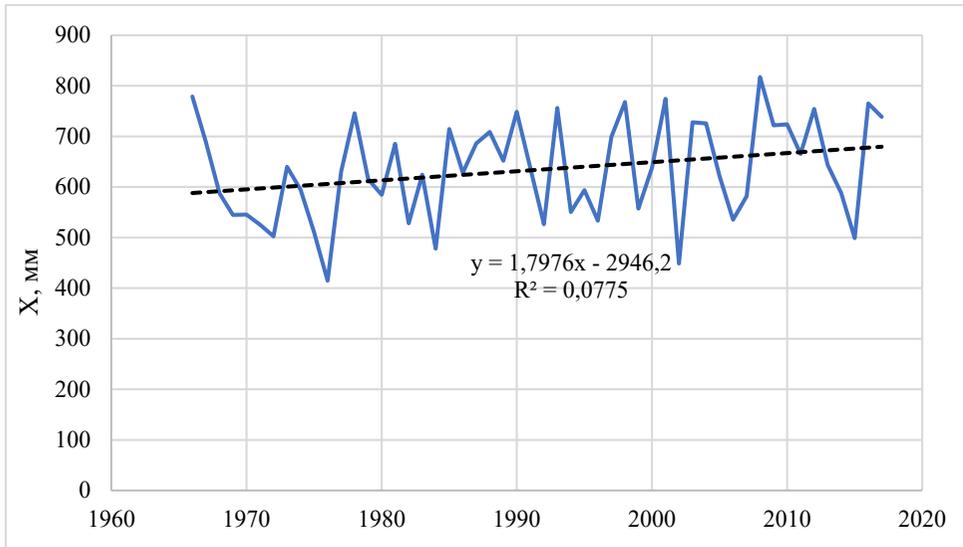
Анализ режима осадков на территории крупнейших озер ЕТР – (слева направо) хронологический график сумм среднегодовых осадков, разделенный хронологический график сумм среднегодовых осадков (суммарная кривая на МС Петрозаводск и МС Бабаево), интегральная кривая и нормированный спектр



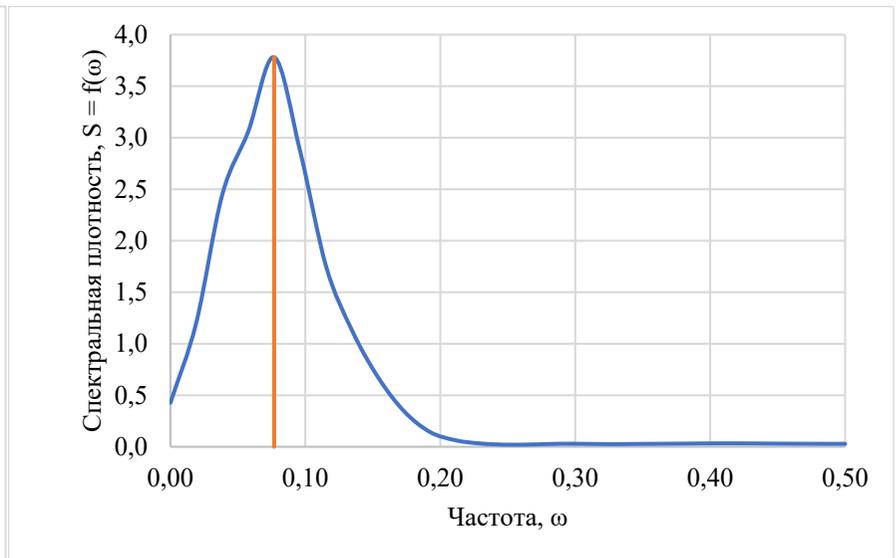
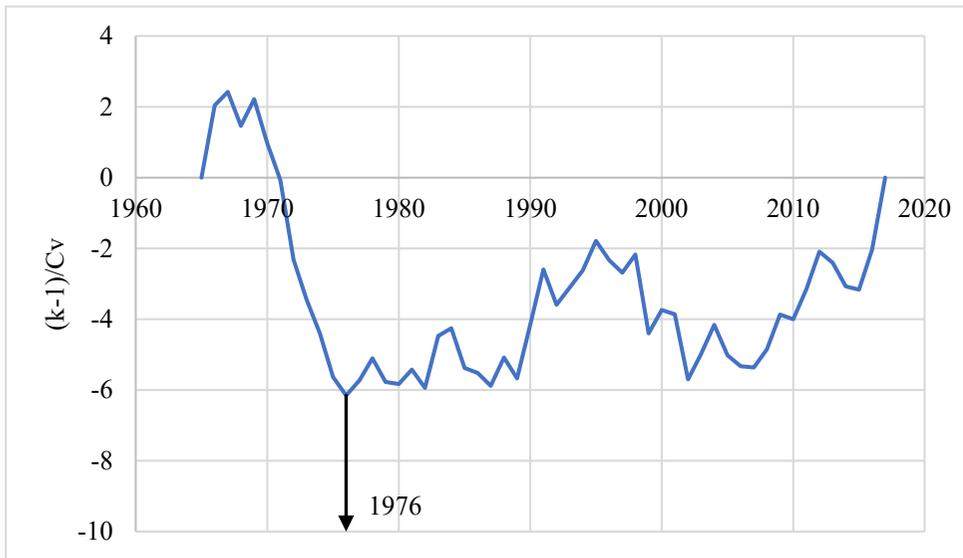
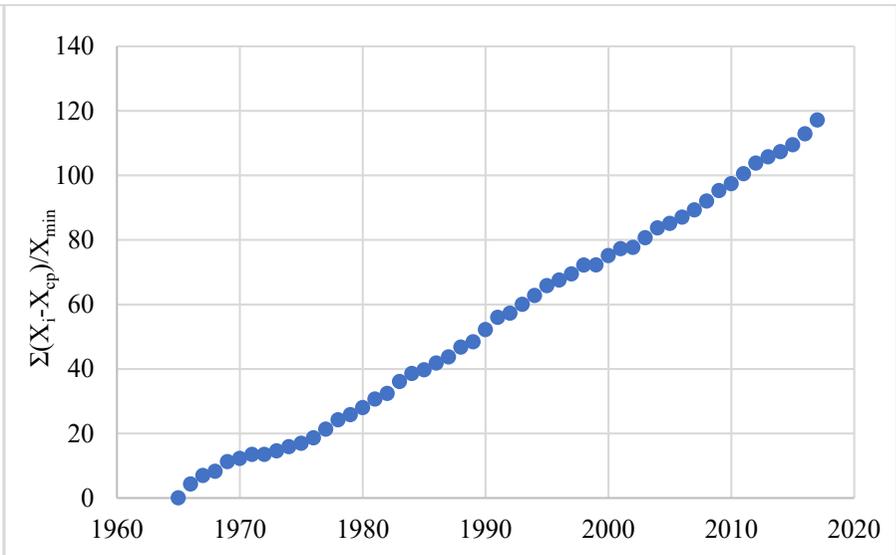
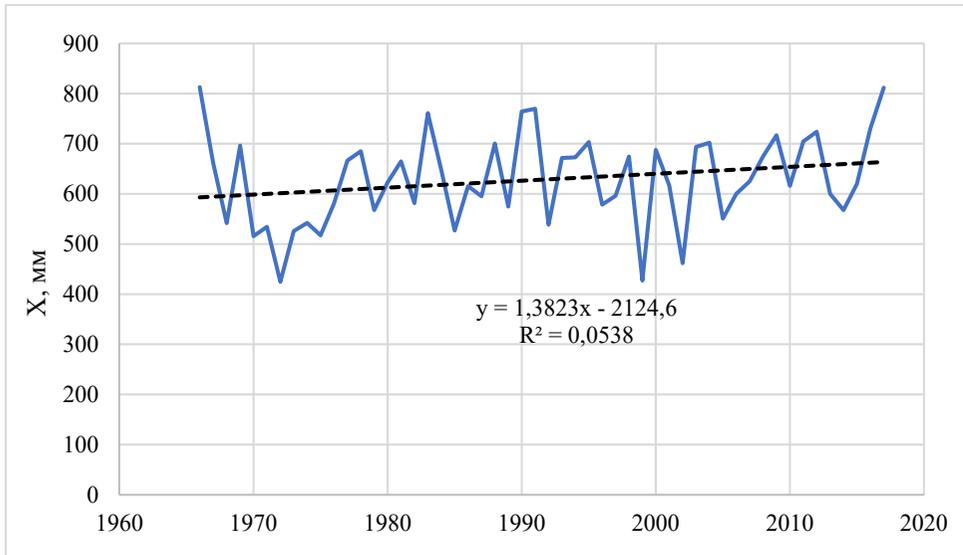
МС Петрозаводск, 1936-2017



МС Гдов, 1966-2017



МС Псков, 1966-2017



МС Бабаево, 1966-2017

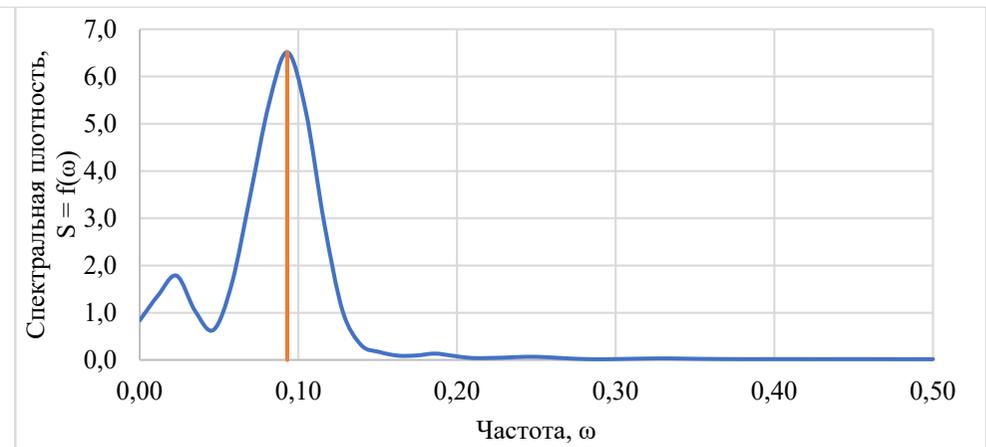
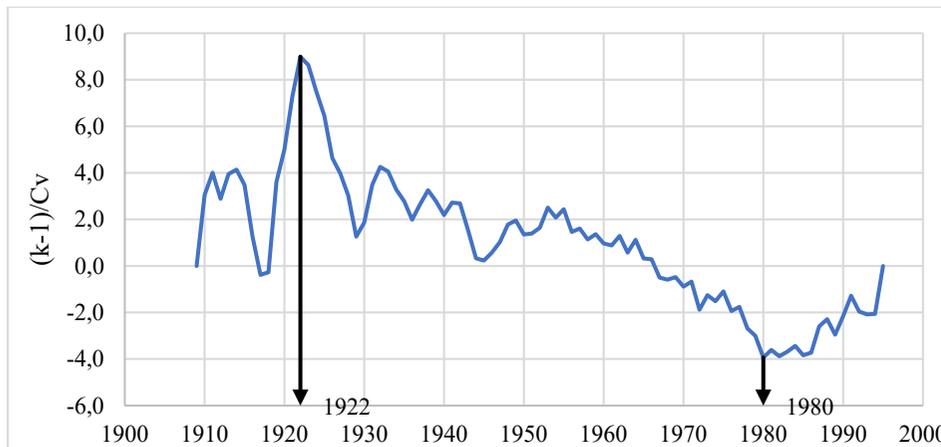
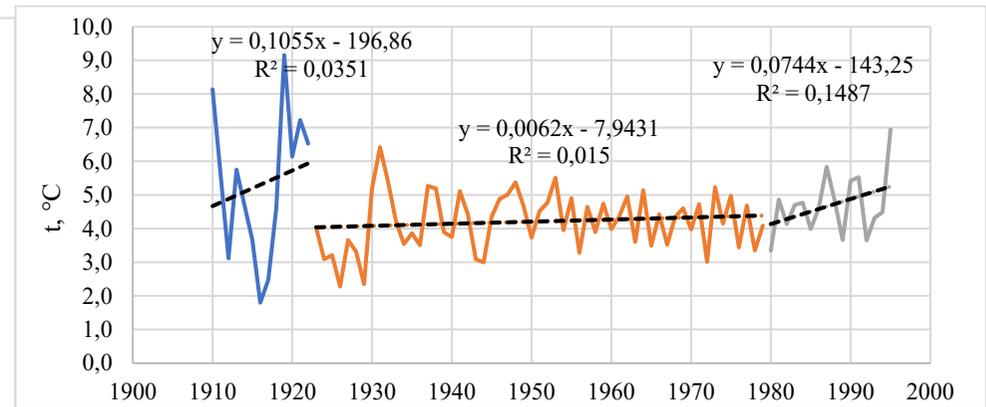
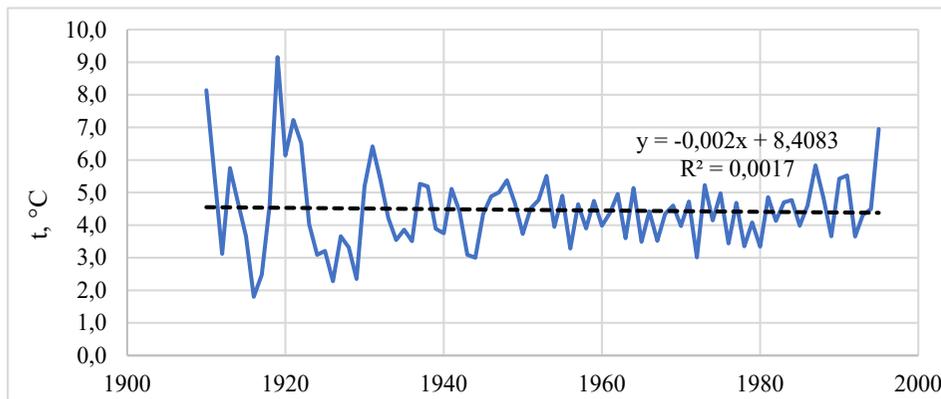
ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Оценка значимости трендов хронологических графиков сумм среднегодовых осадков на территории крупнейших озер ЕТР

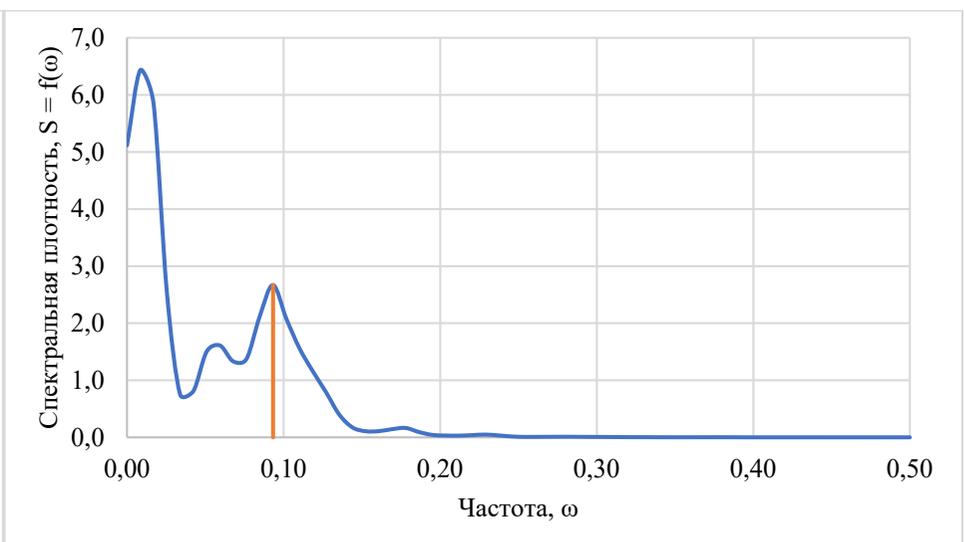
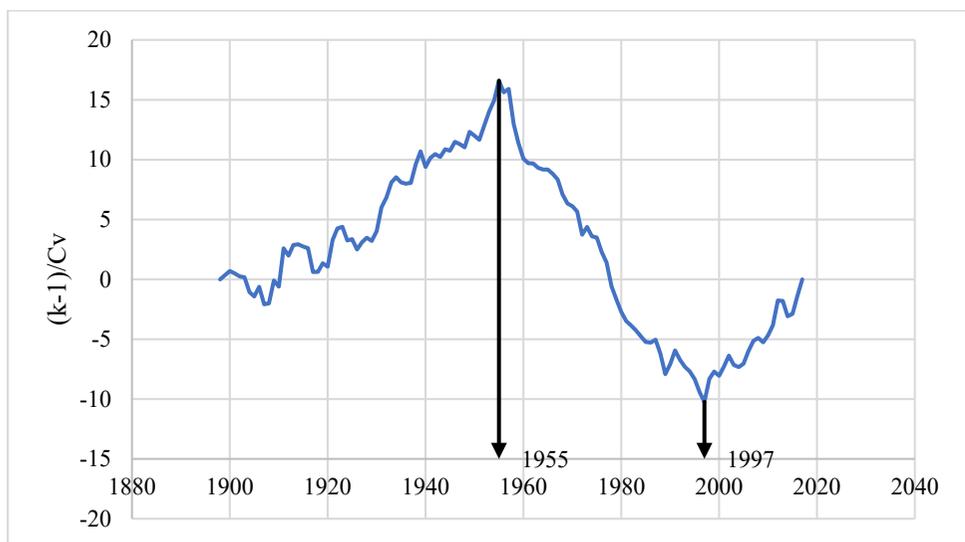
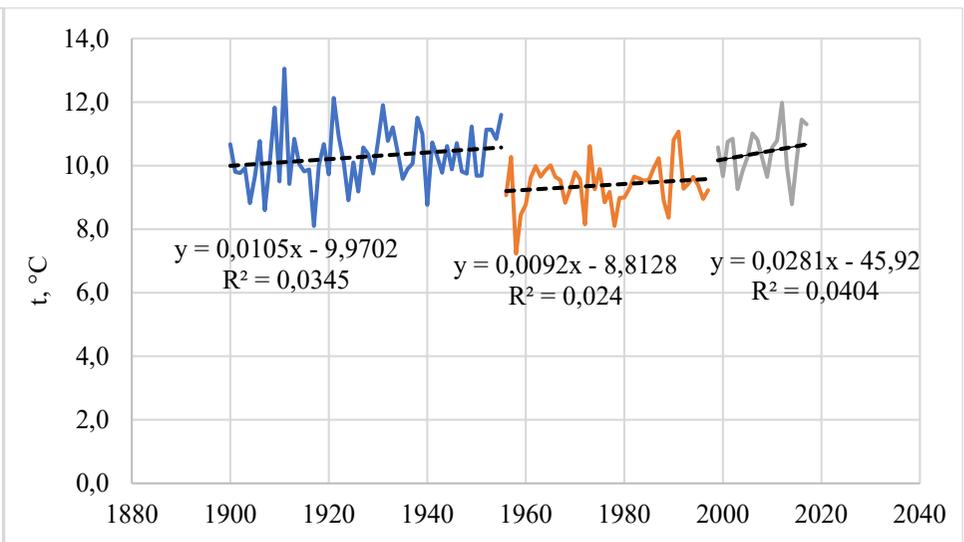
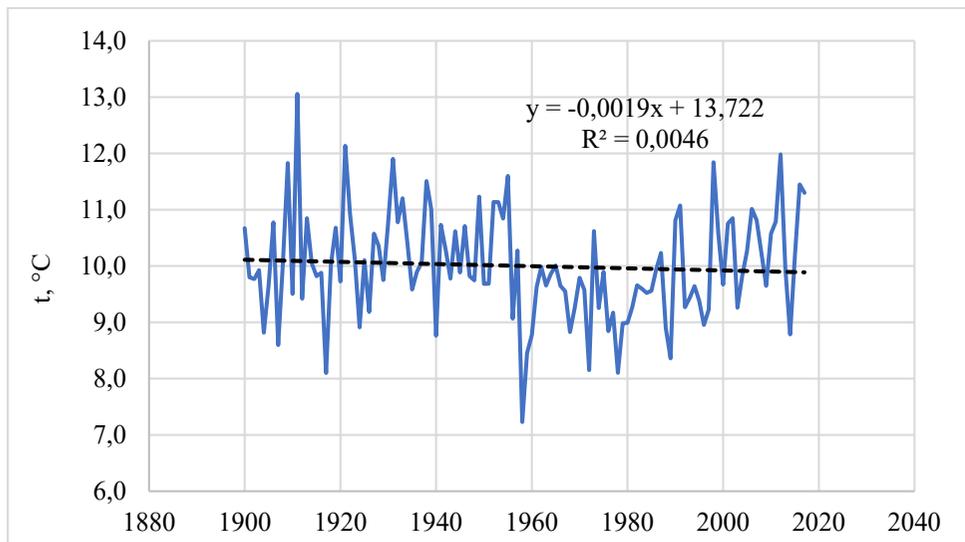
Параметр	Петрозаводск			Гдов			Псков			Бабаево		
	1936-2017	1936-1988	1989-2017	1966-2017	1966-1984	1985-2017	1966-2017	1966-1984	1985-2017	1966-2017	1966-1987	1988-2017
n	78	59	19	52	19	33	52	20	33	52	22	30
R ²	0,031	0,0022	0,004	0,075	0,033	0,003	0,078	0,033	0,003	0,054	0,001	0,008
R	0,177	0,047	0,064	0,274	0,182	0,052	0,278	0,182	0,052	0,232	0,033	0,088
σR	0,113	0,132	0,242	0,136	0,246	0,179	0,136	0,232	0,179	0,138	0,223	0,188
R/σR	1,570	0,35	0,265	2,013	0,740	0,290	2,050	0,785	0,290	1,686	0,148	0,466
t	1,992	2,00	2,110	2,009	2,120	2,040	2,009	2,101	2,040	2,009	2,086	2,048
Значимость тренда	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Интенсивность тренда, мм/10 лет	0,00	0,00	0,00	17,98	0,00	0,00	13,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

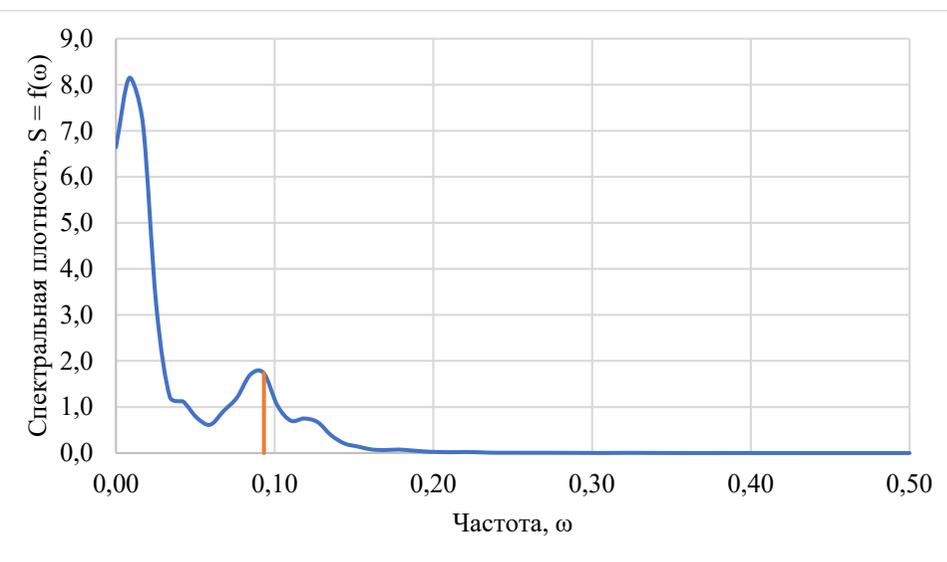
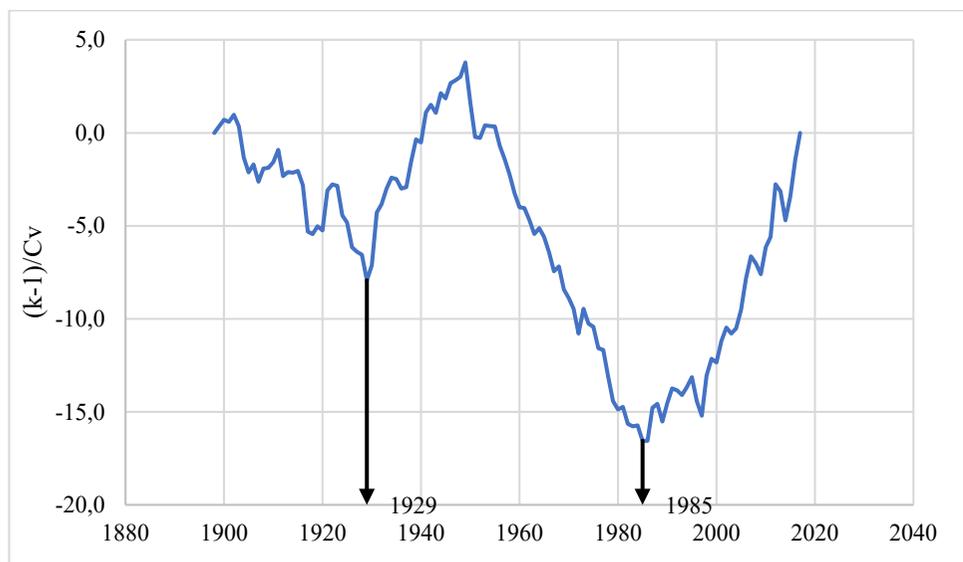
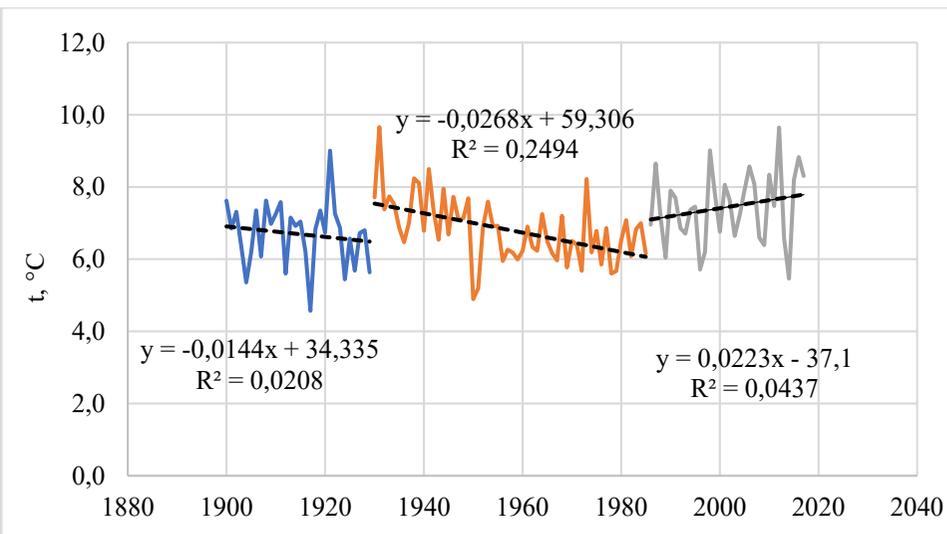
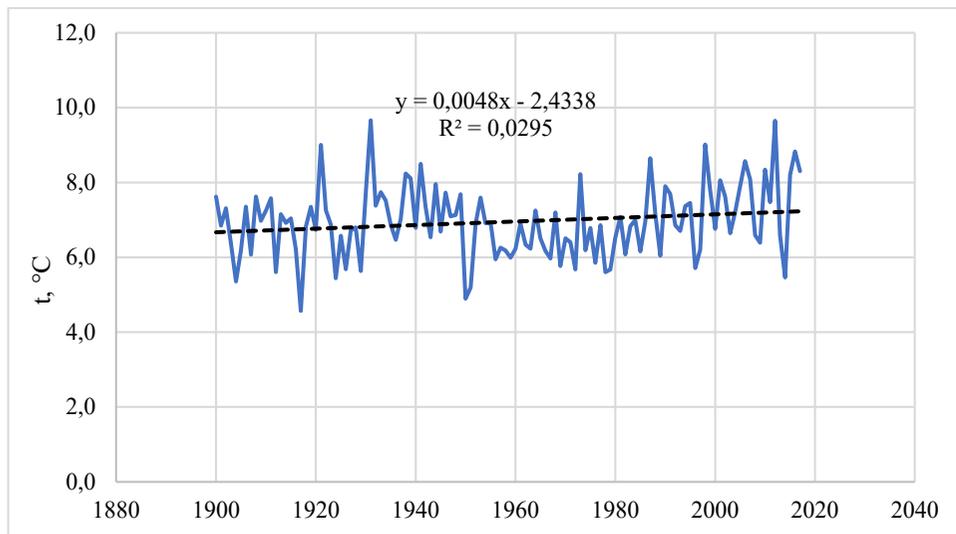
Анализ температурного режима в регионе Великих американских озер – (слева направо) хронологический график среднегодовых температур, разделенные хронологический ряд среднегодовых температур, интегральные кривые и нормированные спектры



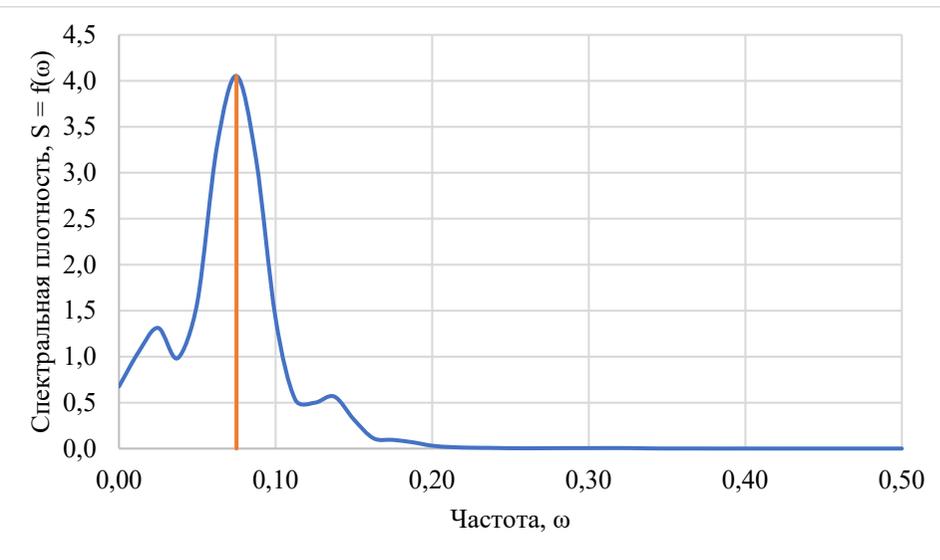
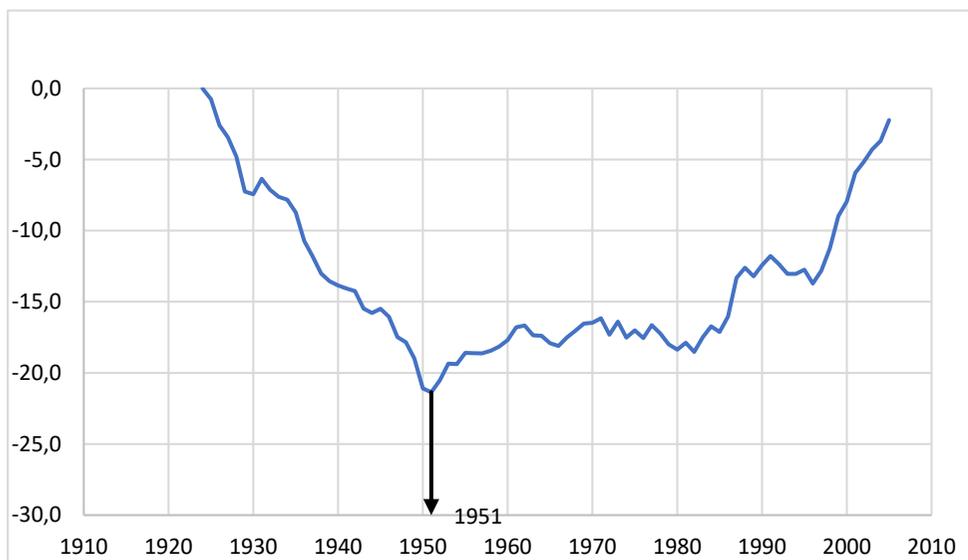
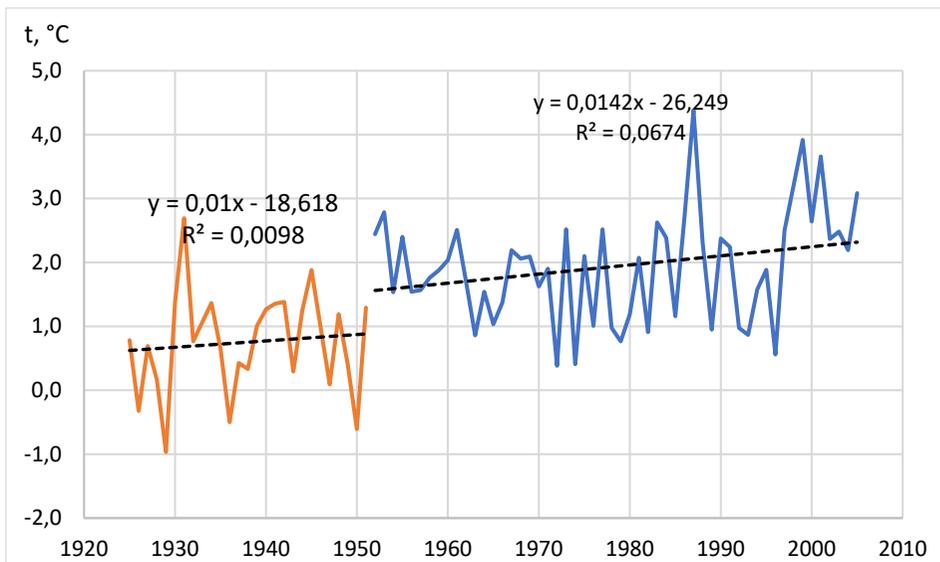
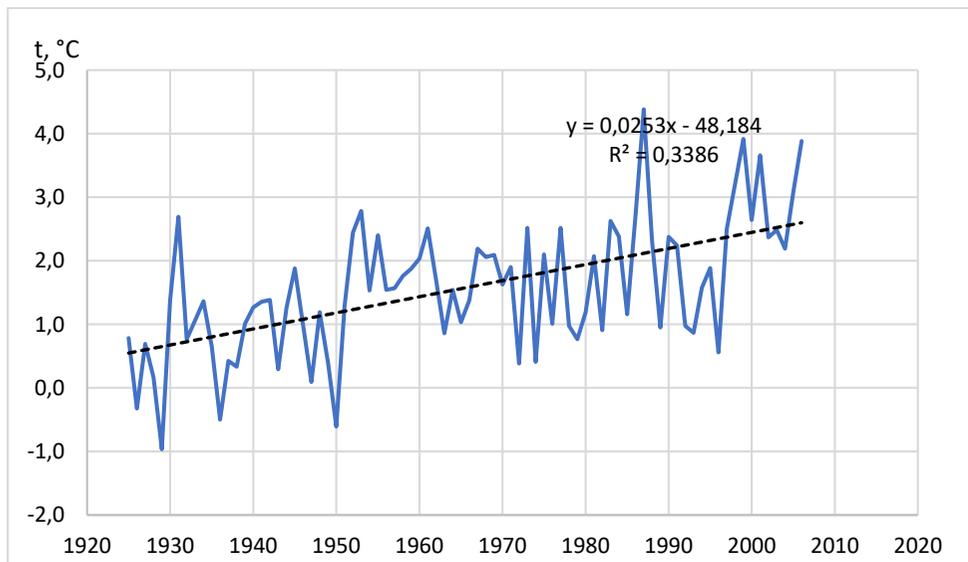
Темискамен, 1910-2017



Кливленд, 1900-2017



Грин-Бей, 1900-2017



Камерон-Фолс, 1926-2006

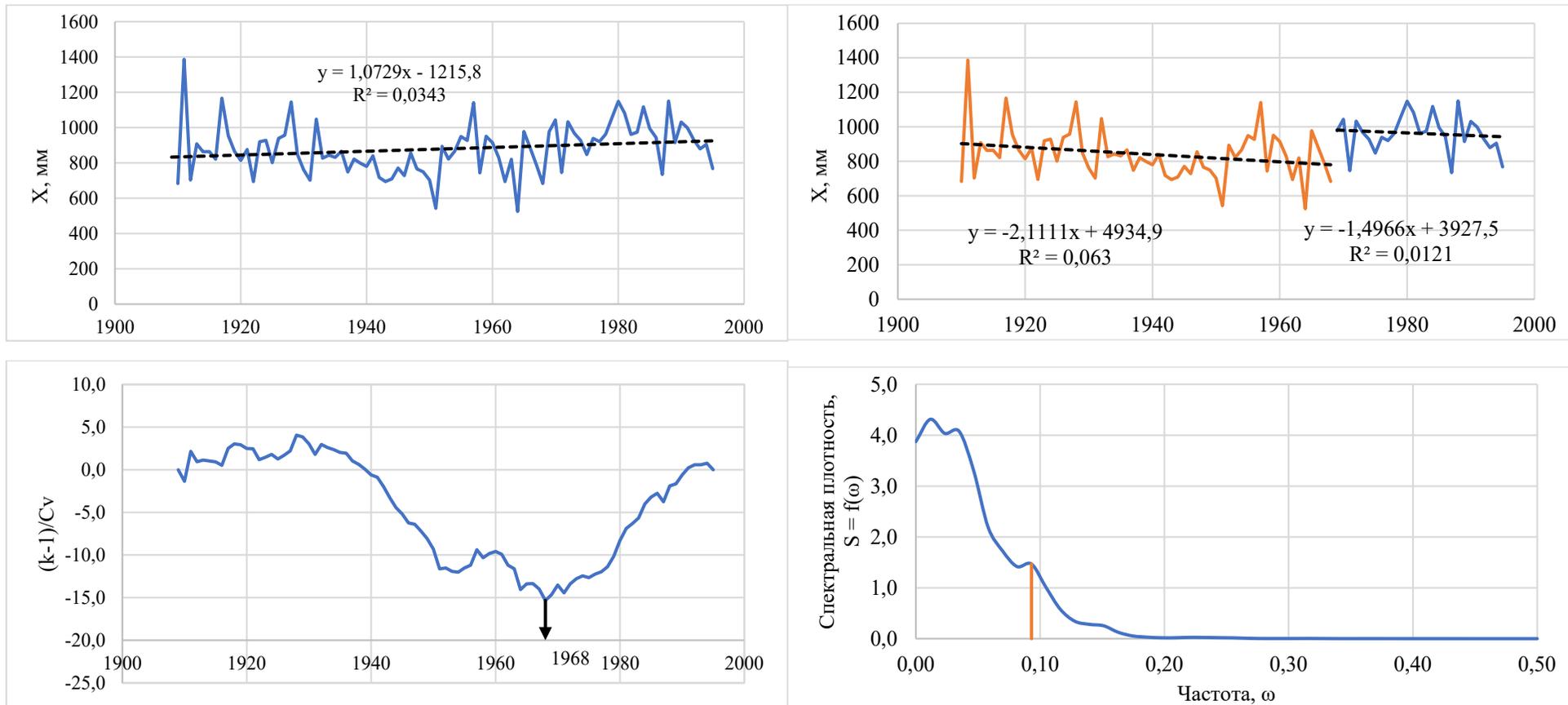
ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Оценка значимости трендов хронологических графиков среднегодовых температур в регионе Великих американских озер

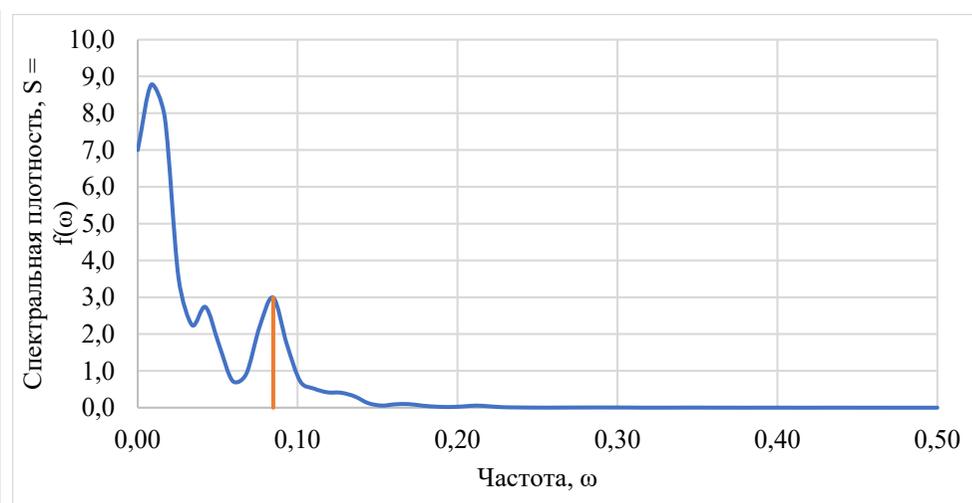
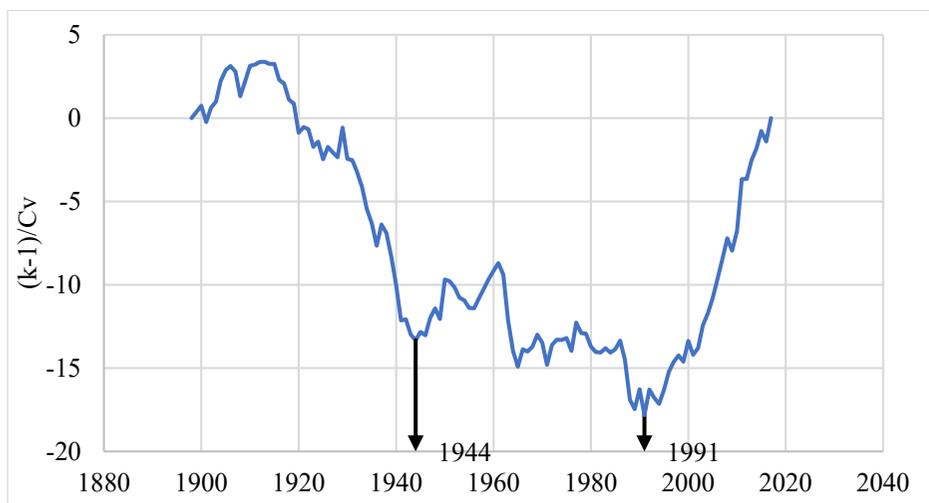
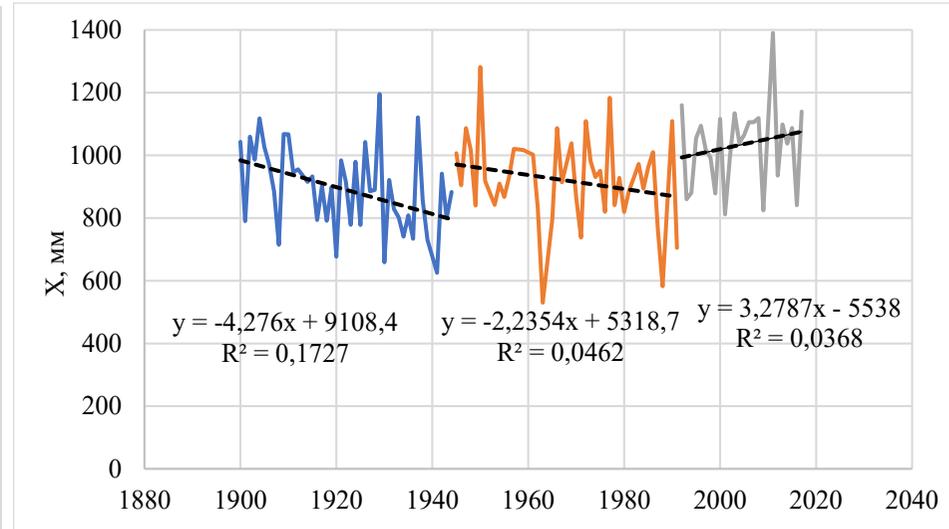
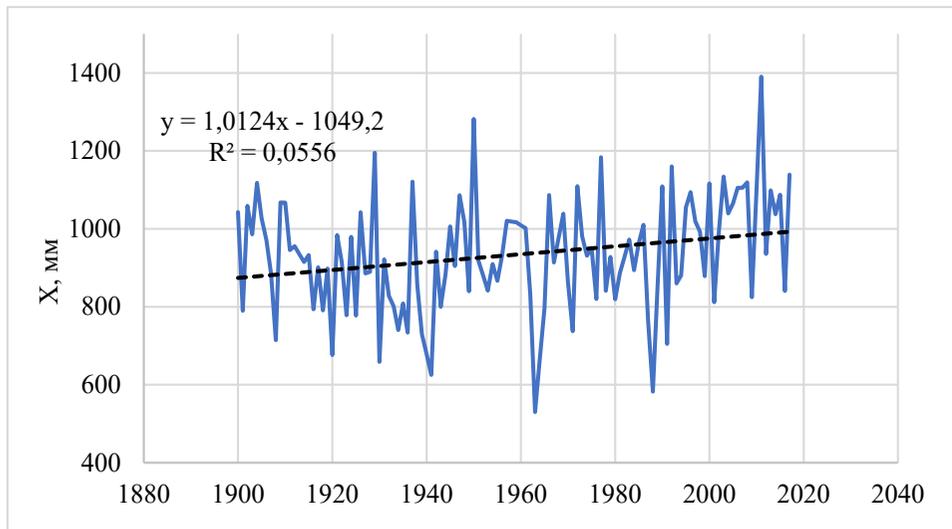
Параметр	Темискамен				Кливленд	Грин-Бей	Камерон-Фолс		
	1910-1995	1910-1922	1923-1979	1980-1995	1900-2017	1900-2017	1926-2006	1926-1952	1953-2006
n	86	13	57	16	118	118	82	27	54
R ²	0,002	0,035	0,015	0,149	0,005	0,030	0,301	0,010	0,082
R	0,041	0,187	0,122	0,386	0,068	0,172	0,548	0,099	0,287
σR	0,109	0,296	0,134	0,247	0,093	0,091	0,093	0,199	0,133
R/ σR	0,378	0,633	0,915	1,564	0,732	1,878	5,867	0,497	2,158
t	1,989	2,201	2,004	2,145	1,981	1,981	1,990	2,060	2,007
Значимость тренда	-	-	-	-	-	-	+	-	+
Интенсивность тренда, мм/10 лет	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,253	0,00	0,822

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

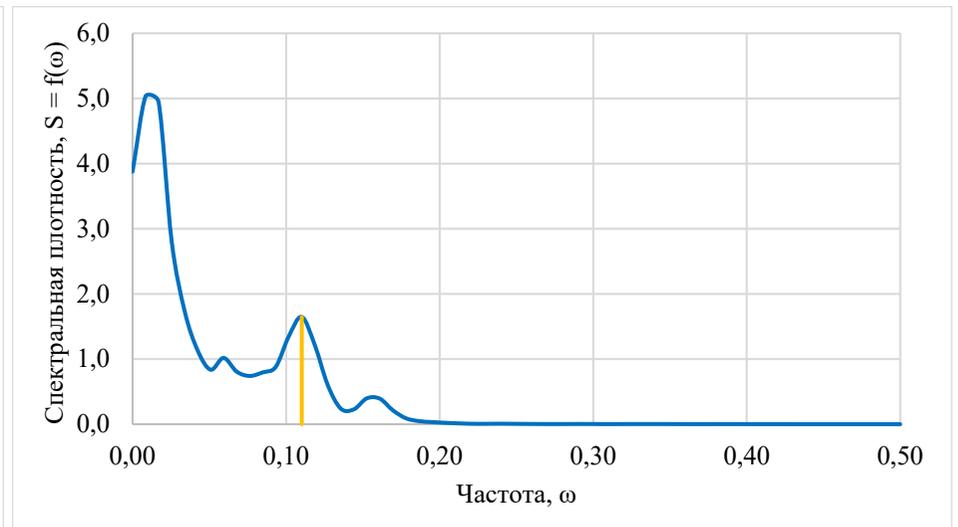
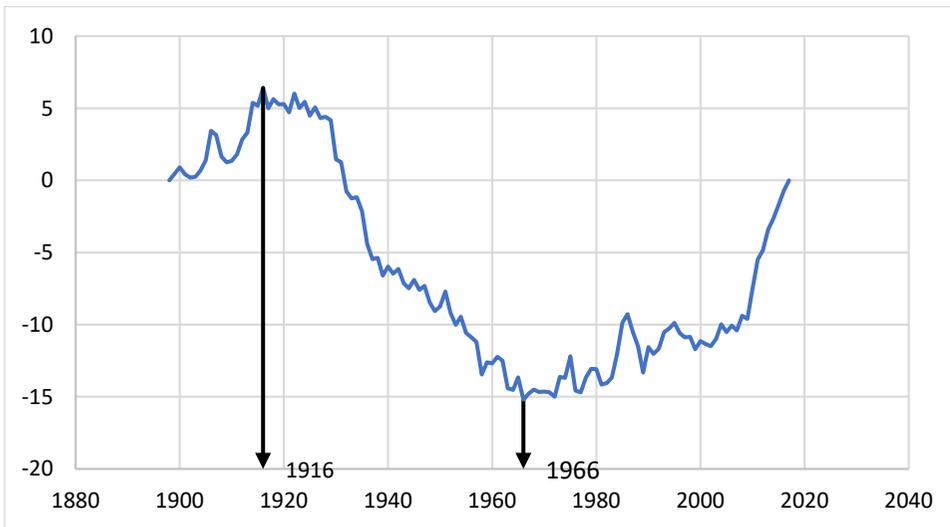
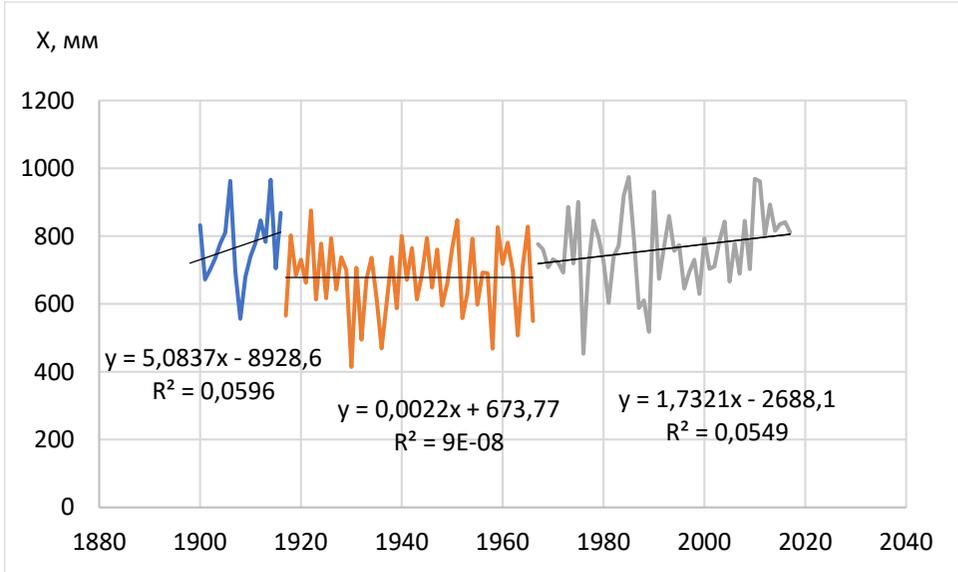
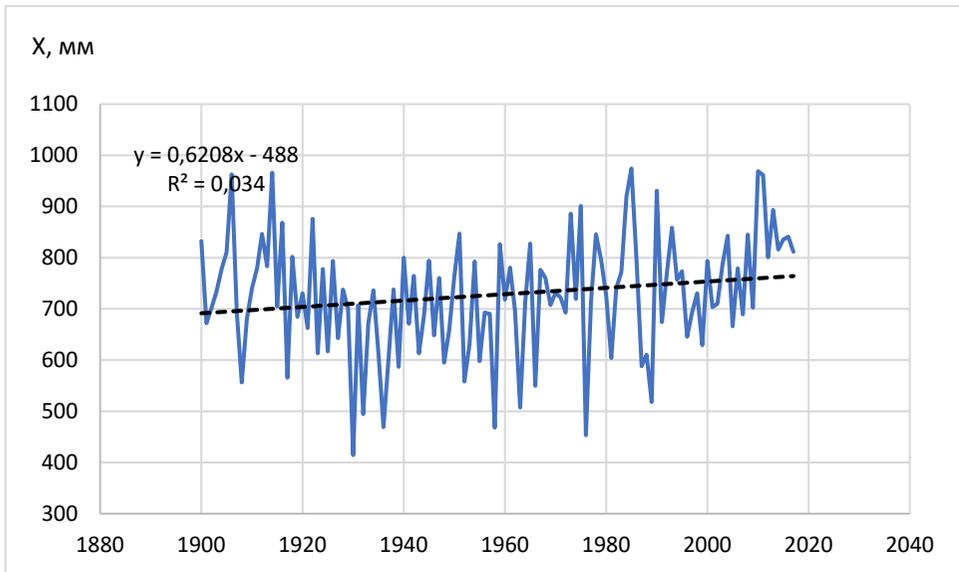
Анализа режима осадков в регионе Великих американских озер – (слева направо) хронологические графики сумм среднегодовых осадков, разделенные хронологические графики сумм среднегодовых осадков, интегральные кривые и нормированные спектры



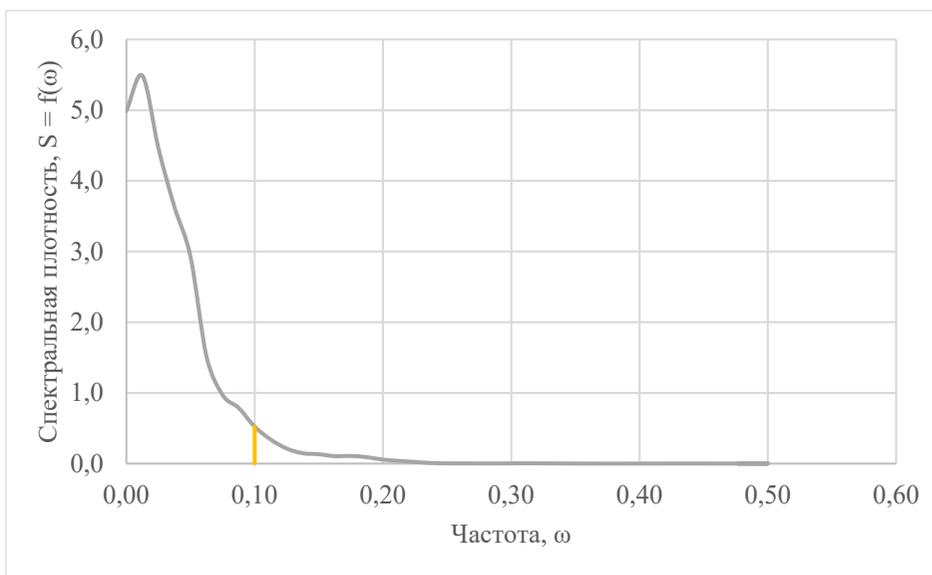
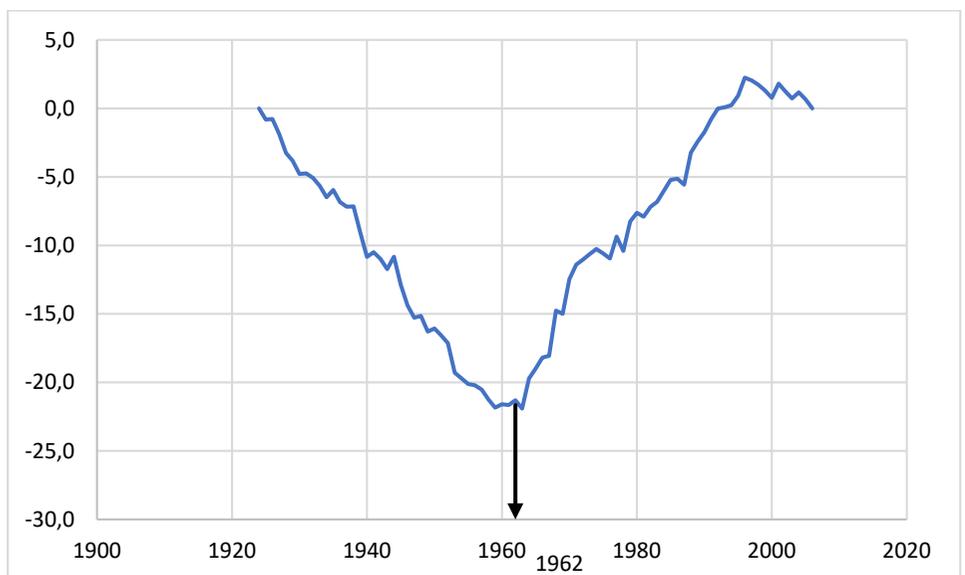
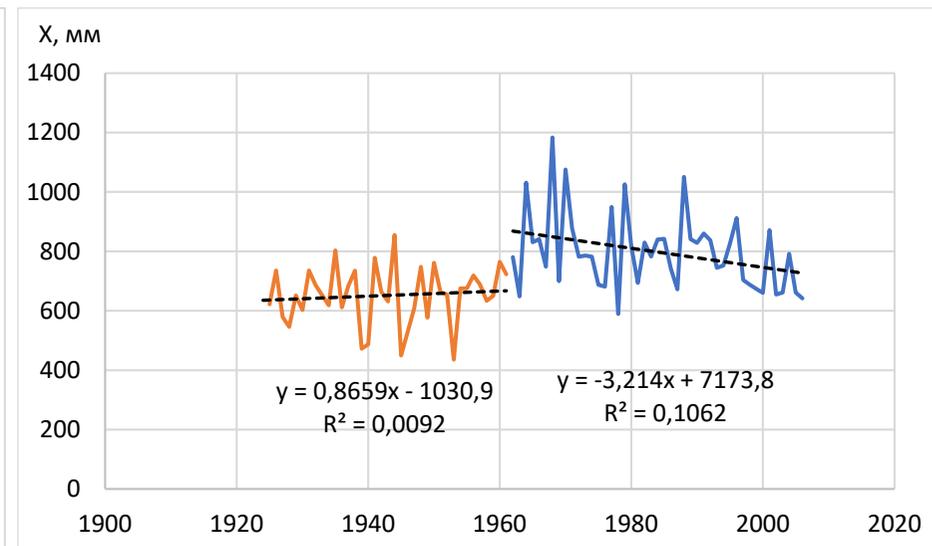
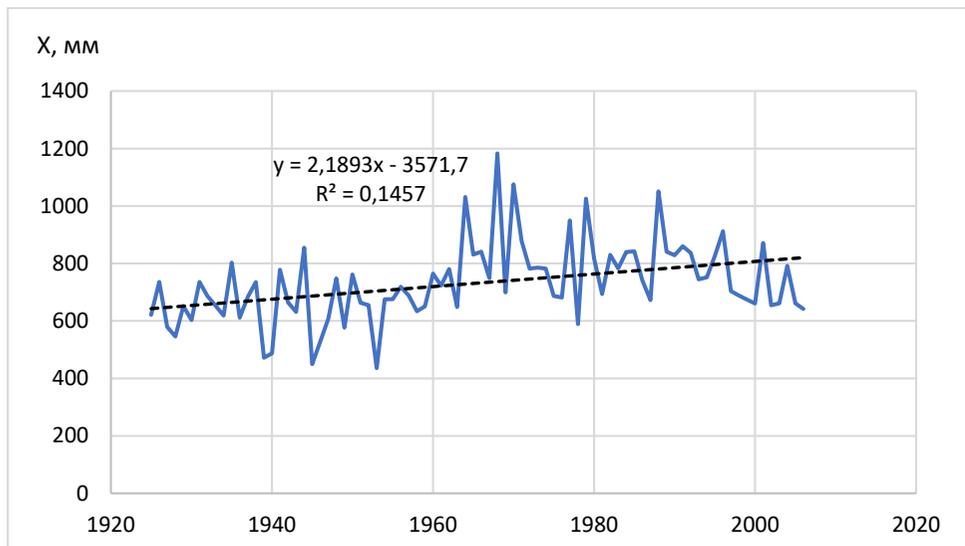
Темискамен, 1910-2017



Кливленд, 1900-2017



Грин-Бей, 1900-2017



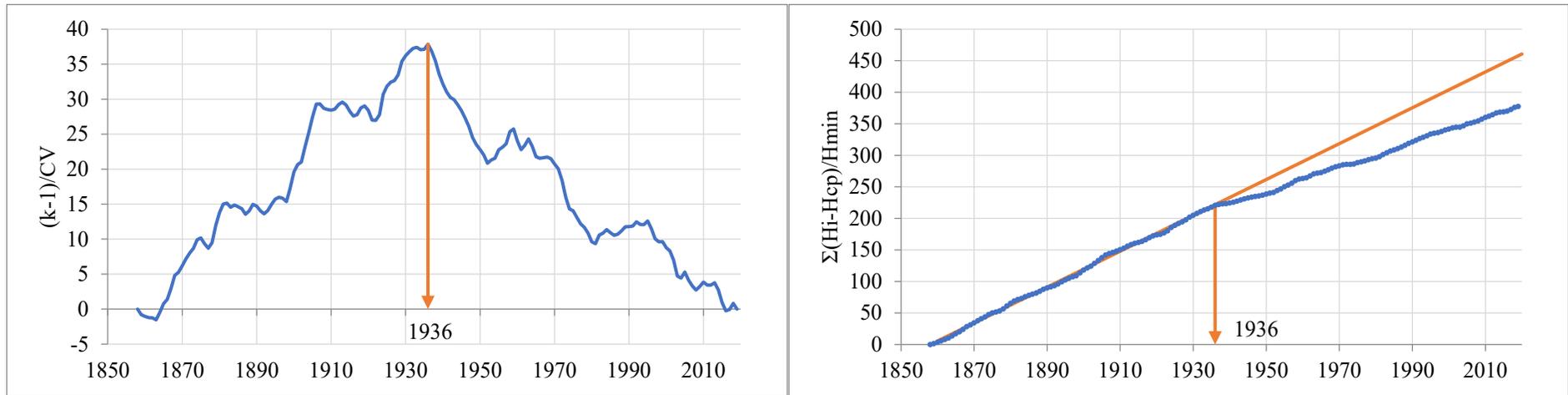
Камерон-Фолс, 1926-2006

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

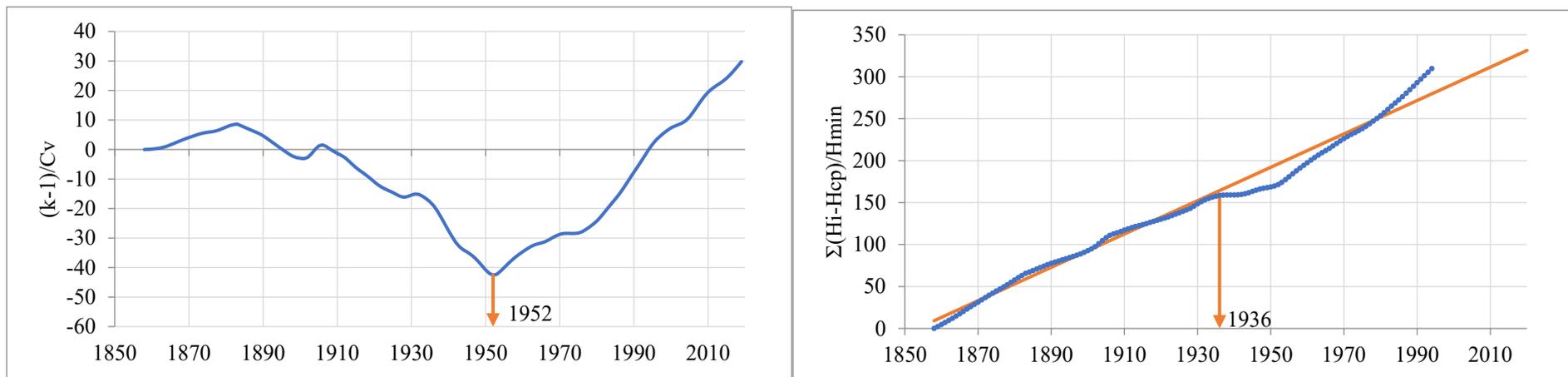
Оценка значимости трендов хронологических графиков сумм среднегодовых осадков в регионе Великих американских озер

Параметр	Темискамен			Кливленд				Грин-Бей				Камерон-Фолс		
	1910-1995	1910-1968	1969-1995	1900-2017	1900-1944	1945-1991	1992-2017	1900-2017	1900-1961	1962-1966	1963-2017	1925-2006	1925-1982	1983-2006
n	86	59	27	117	45	46	27	118	17	50	51	82	58	23
R ²	0,046	0,016	0,011	0,056	0,173	0,046	0,037	0,034	0,060	0,000	0,055	0,079	0,009	0,125
R	0,214	0,128	0,103	0,236	0,416	0,215	0,192	0,184	0,244	0,000	0,234	0,281	0,096	0,354
σR	0,107	0,131	0,199	0,091	0,139	0,147	0,196	0,091	0,250	0,144	0,139	0,107	0,133	0,204
R/σR	2,008	0,975	0,520	2,602	2,996	1,460	0,977	2,021	0,975	0,000	1,687	2,618	0,721	1,732
t	1,989	2,002	2,060	1,981	2,017	2,015	2,060	1,981	2,131	2,011	2,010	1,990	2,003	2,080
Значимость тренда	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Интенсивность тренда, мм/10 лет	10,73	0,00	0,00	10,12	-42,76	0,00	0,00	0,048	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00

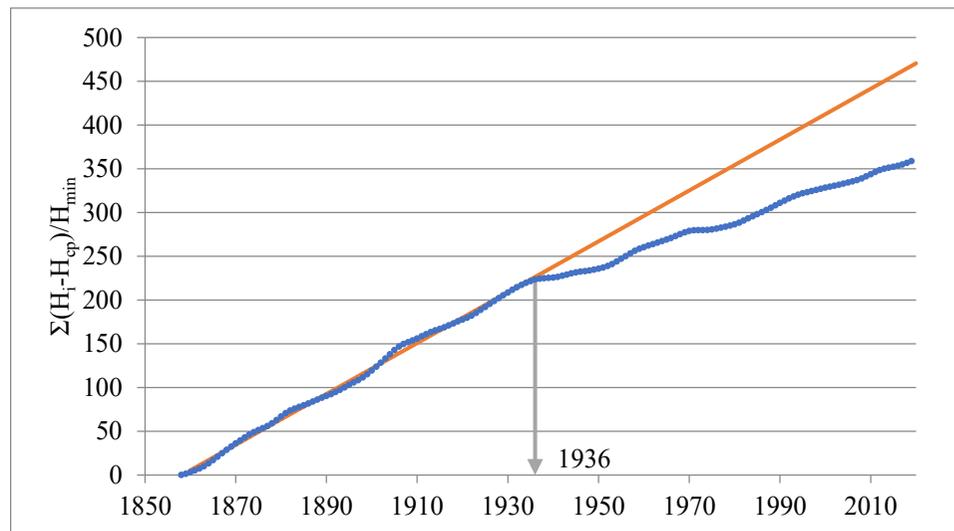
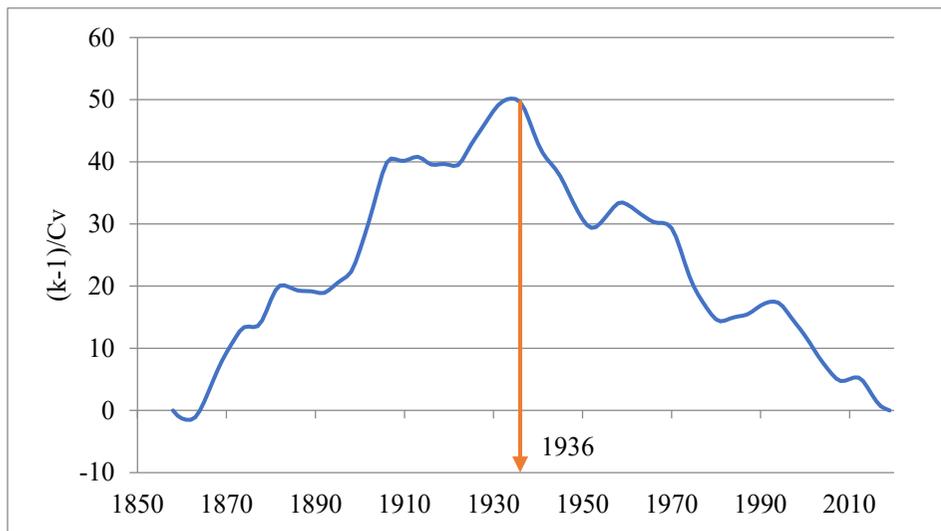
Разностно-интегральные и суммарные кривые (слева направо) уровней воды крупнейших озер ЕТР



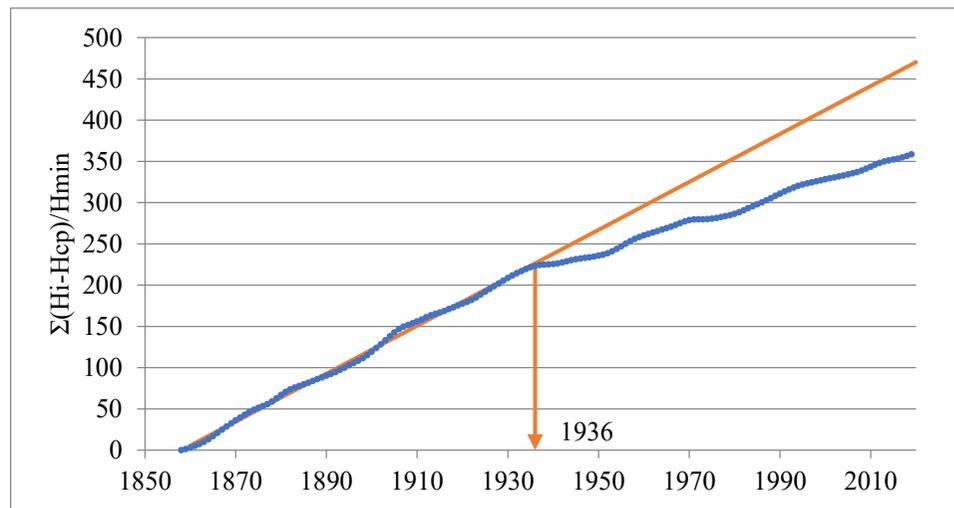
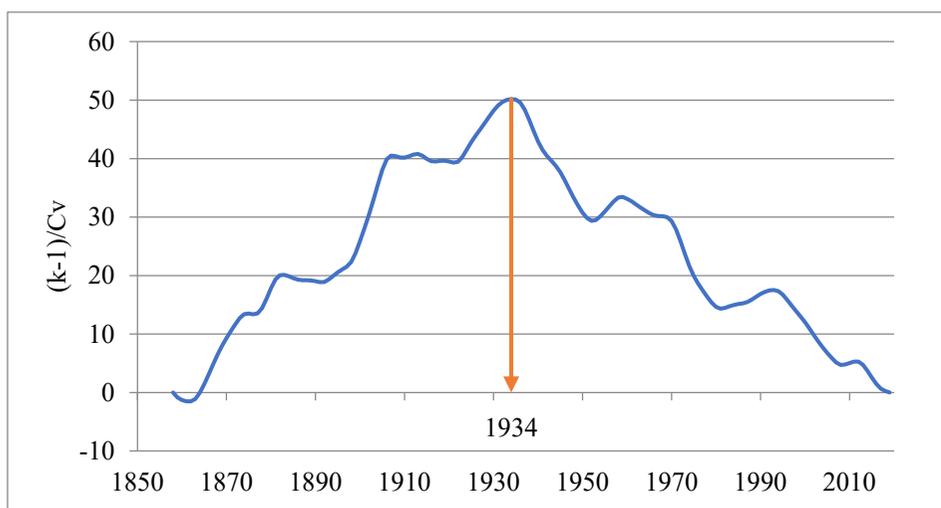
Ладожское озеро



Онежское озеро

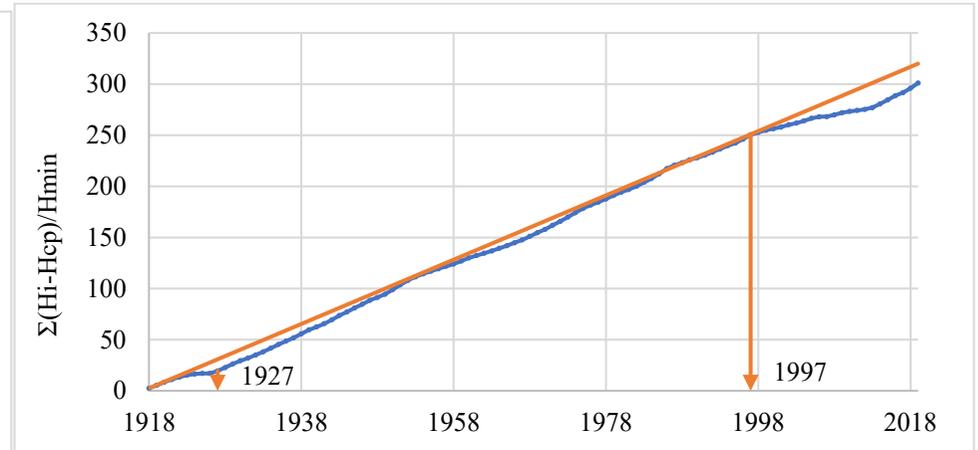
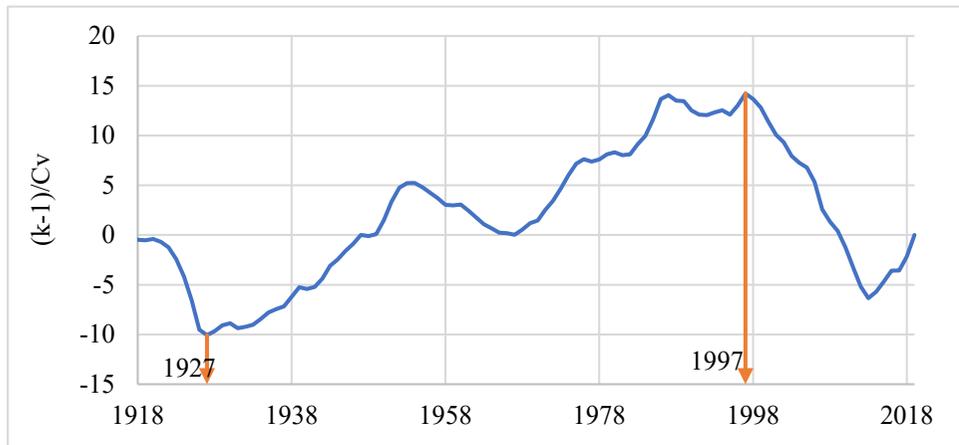


Чудско-Псковское озеро

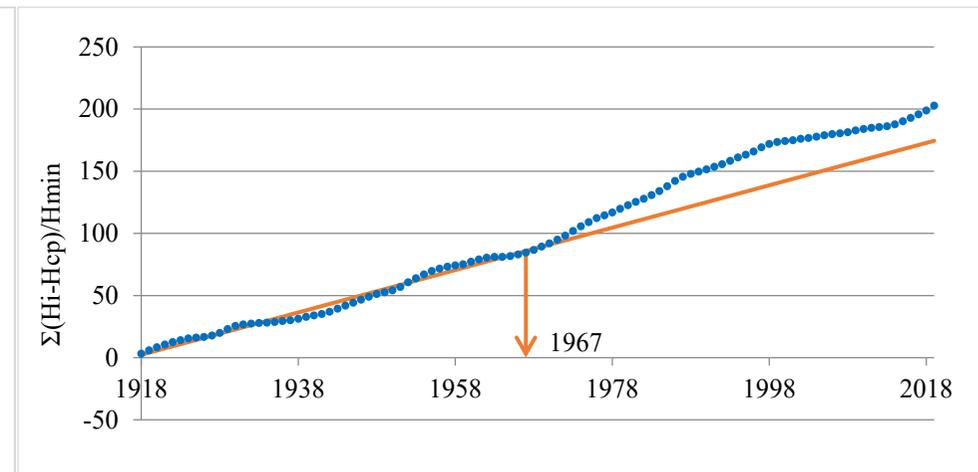
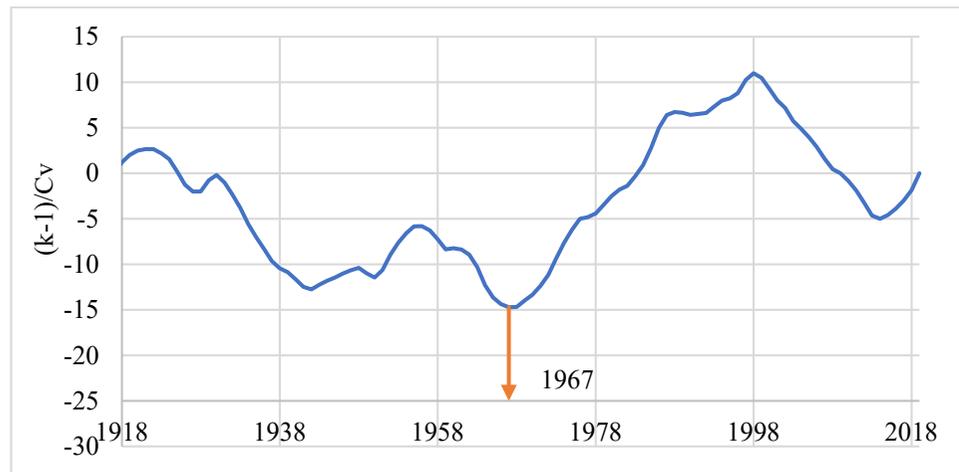


Озеро Ильмень

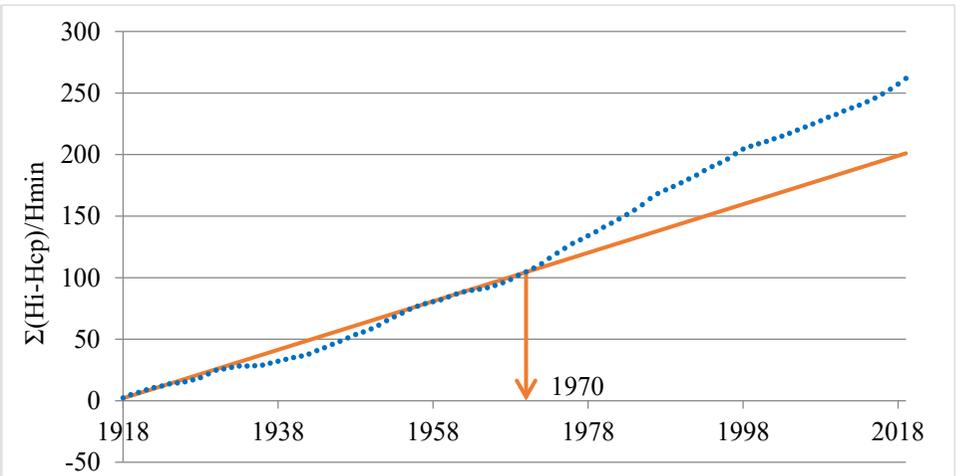
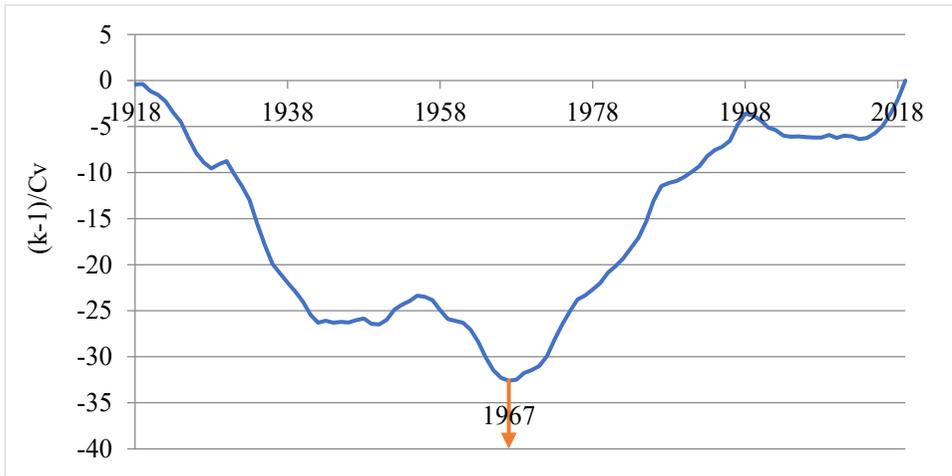
Разностно-интегральные и суммарные кривые (слева направо) уровней воды Великих американских озер



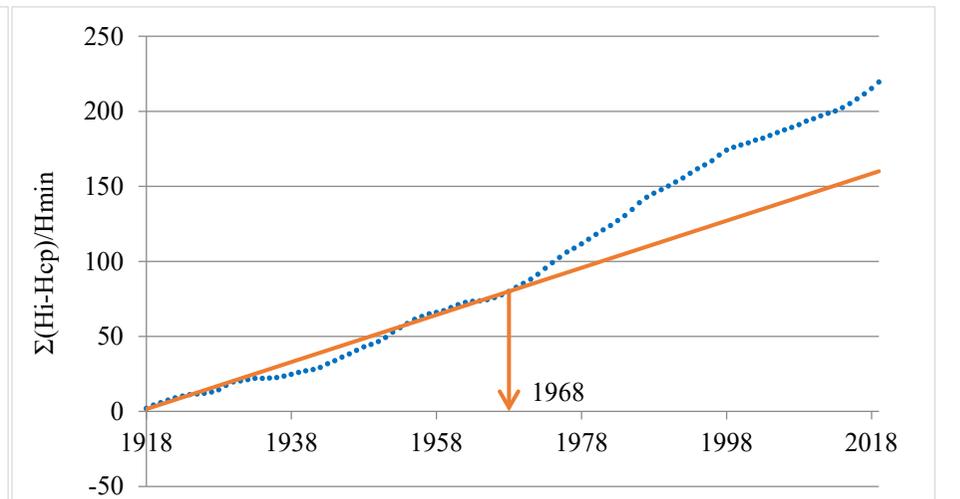
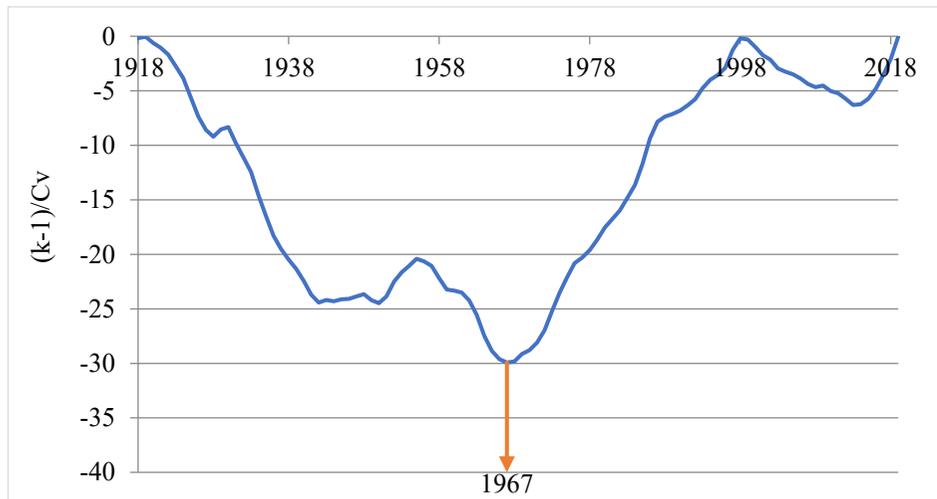
Озеро Верхнее



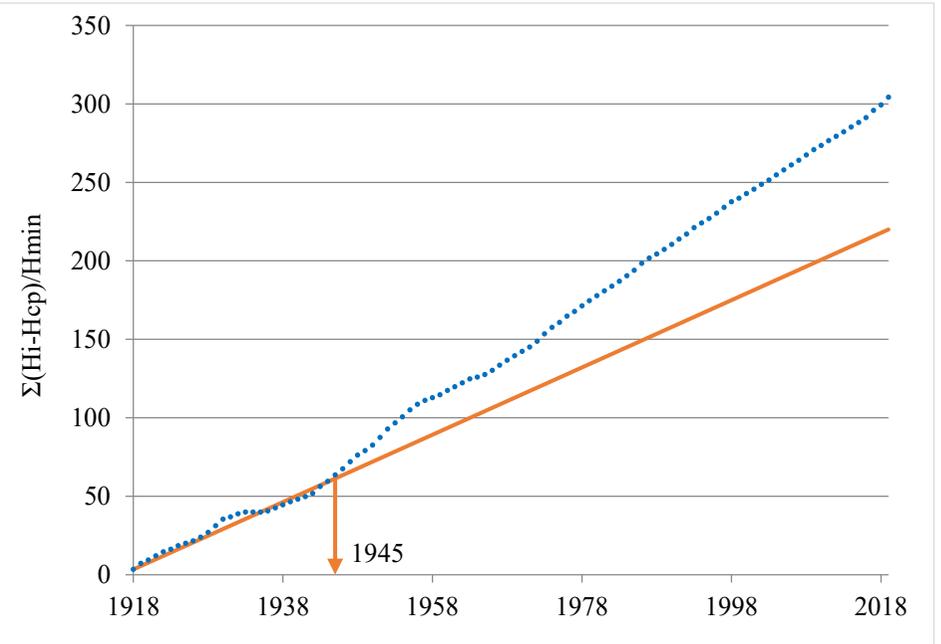
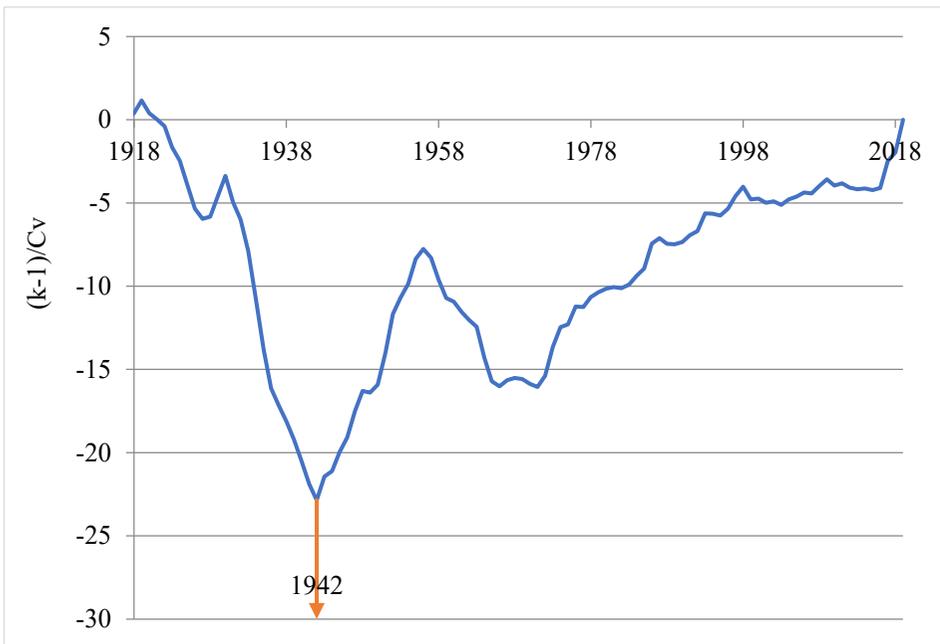
Озеро Мичиган-Гурон



Озеро Эри

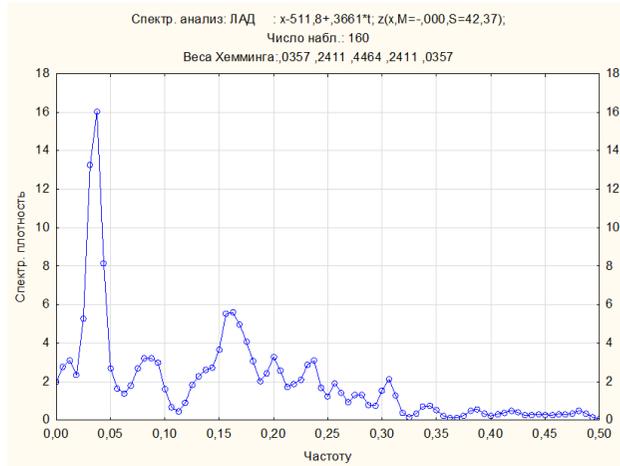


Озеро Сент-Клер

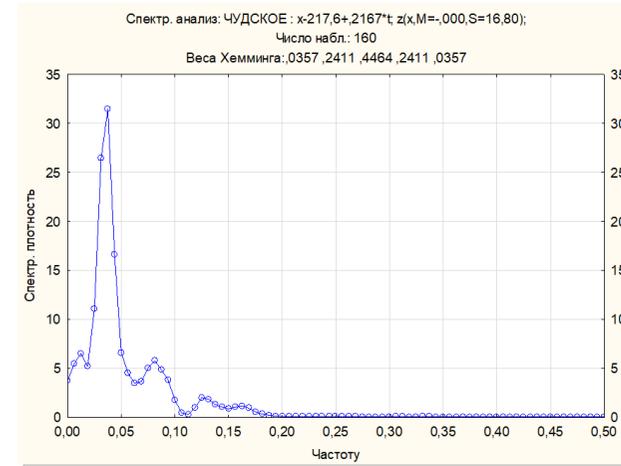


Озеро Онтарио

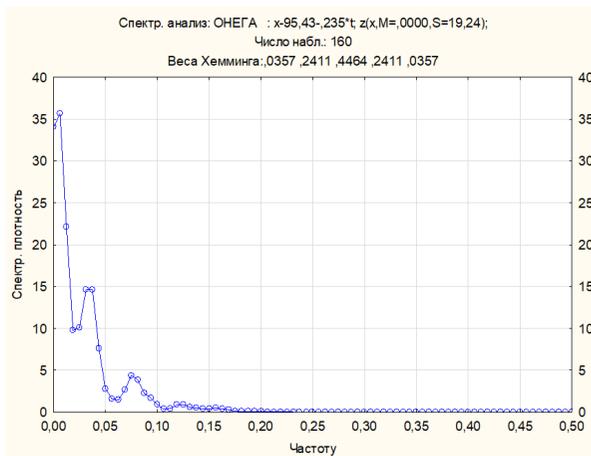
Нормированные спектры среднегодовых уровней воды крупнейших озер ЕТР



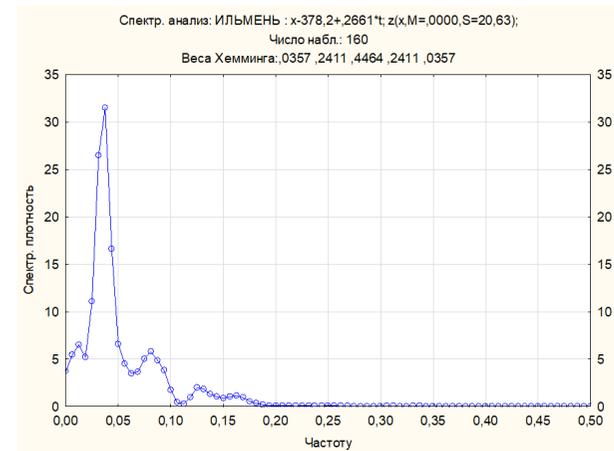
Озеро Ладожское



Озеро Чудское

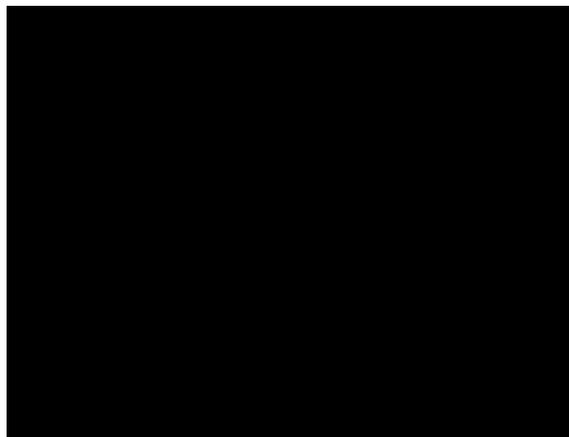


Озеро Онежское

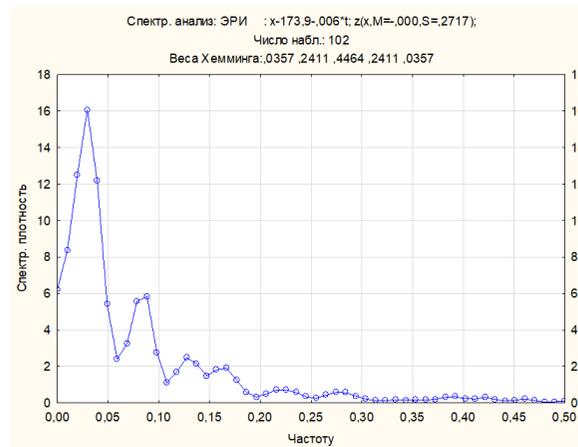


Озеро Ильмень

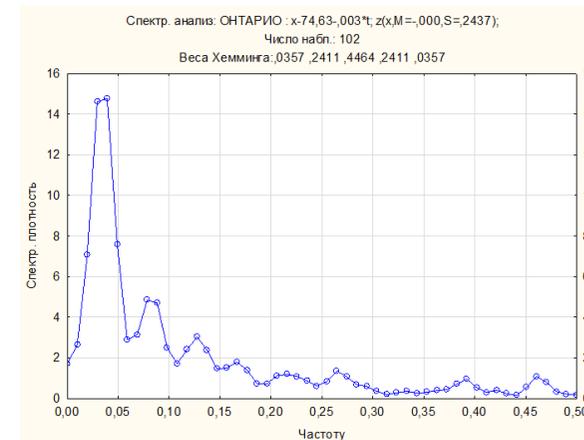
Нормированные спектры среднегодовых уровней воды Великих американских озер



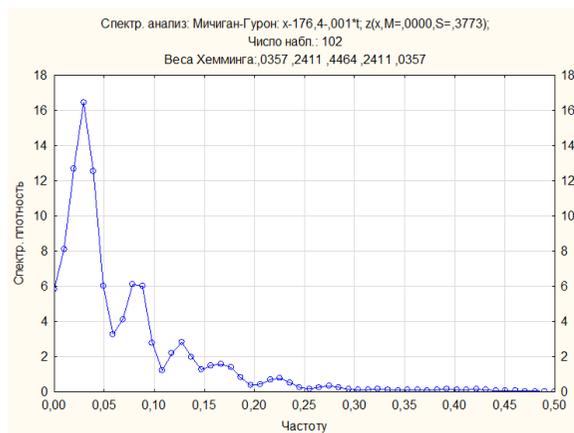
Верхнее



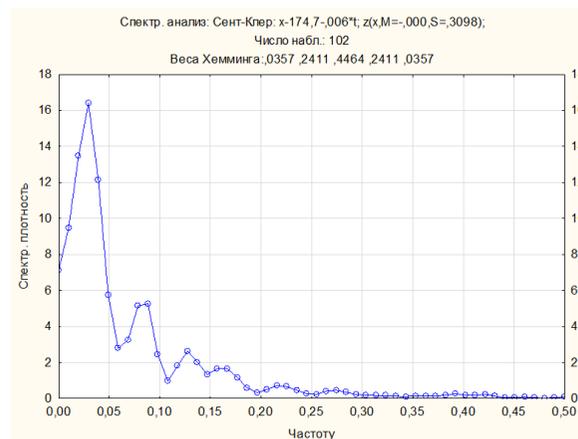
Эри



Онтарио



Мичиган-Гурон



Сент-Клер

