

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное учреждение
высшего образования

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи

Головань Екатерина Владимировна

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР
СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ
МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Специальность: 1.6.21 – Геоэкология

Диссертация

на соискание степени кандидата географических наук

Научный руководитель

д.г.н., профессор Мякишева Наталия Вячеславовна

Санкт-Петербург, 2023 г.

Содержание

	Введение	4
1	Аналитический обзор исследований по теме диссертации	11
1.1	Отечественные и зарубежные исследования	11
1.2	Постановка цели и задач исследования	15
2	Информационная и методологическая базы для исследования	17
2.1	Районирование территории	17
2.2	Физико-географическое описание района	22
2.3	Объекты и методы исследования	41
3	Особенности уровня режима в условиях меняющегося климата	50
3.1	Средние годовые уровни воды	52
3.2	Минимальные уровни воды	73
3.3	Максимальные уровни воды	86
4	Расчет максимальных уровней воды при наличии данных наблюдений	94
5	Расчет уровней воды при отсутствии данных наблюдений	108
5.1	Максимальные уровни воды	108
5.2	Средние многолетние уровни воды	119
	Заключение	121
	Список использованной литературы	123
	Приложение А – Хронологические графики средних годовых температур приповерхностного слоя атмосферы и сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год	137
	Приложение Б – Разностно-интегральные кривые средних годовых температур приповерхностного слоя атмосферы и сумм осадков за год	153
	Приложение В – Хронологические графики средних годовых уровней озер	169

Приложение Г – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды исследуемых озер	191
Приложение Д – Графики распределения спектральной плотности уровенных колебаний	210
Приложение Е – Хронологические графики минимальных уровней озер	229
Приложение Ж – Хронологические графики максимальных уровней озер	251
Приложение И – Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей Крицкого–Менкеля для уровней исследуемых озер	273
Приложение К – Таблицы максимальных уровней воды различной обеспеченности	293

ВВЕДЕНИЕ

Озера представляют собой ресурсы водоснабжения населения и промышленности, транспортные пути, являются регуляторами стока вытекающих рек, используются для гидротехнического строительства, нужд энергетики и сельского хозяйства. Эффективность использования водоемов во многом зависит от знаний о состоянии водных объектов и их уровненом режиме. Так, уровень фиксирует водные ресурсы озер, определяя количество воды в водоеме, и в то же время служит интегральным показателем динамики их биоценозов. Он является одним из основных гидроэкологических показателей, который влияет на гидрологический и гидрохимический режимы озер, формируя, в первую очередь, режим солености (минерализации) и качество вод. Уровень воды в озере определяет зоны затопления и подтопления, а также границы водоохранных зон и прибрежных защитных полос.

Разработка методов рационального использования водных ресурсов невозможна без расчета максимальных и средних многолетних уровней воды в условиях меняющегося климата. Эти данные необходимы при решении ряда геоэкологических и водохозяйственных задач, таких как проектирование водозаборов и водосбросов, рекреационная и рыбохозяйственная деятельность, прогноз неблагоприятных геоэкологических явлений, вызванных затоплением и подтоплением территории. При этом при решении практических задач по управлению количеством и качеством воды и разработке действенных способов борьбы с последствиями техногенных воздействий на водные объекты чаще всего приходится иметь дело с неизученными и слабо изученными водными объектами. Основным нормативом, регламентирующим особенности гидрологических расчетов при отсутствии данных наблюдений, является СП 529.1325800.2023. Однако, на данный момент, в этом документе отсутствуют региональные карты и зависимости.

При этом характер колебаний уровненого режима озер Северо-Запада Российской Федерации претерпевает определенные изменения, связанные в первую очередь с неустойчивостью климата. Повышение температуры воздуха с начала

1970-х гг. [13, 30] вызывает трансформацию межгодовых и сезонных колебаний суммарного притока речных вод в озера, определяя новые условия формирования уровня режима исследуемых озер [15]. Изучение характеристик уровней воды для расчета максимальных значений неизученных озер района исследований на основе современных наблюдений на озерах-аналогах в условиях изменяющегося климата, представляет интерес с точки зрения уточнения статистических параметров кривых распределения уровней воды, региональных зависимостей и обновления гидрологических карт для обеспечения новых проектируемых сооружений.

Учет закономерностей межгодовых колебаний уровней воды озер, позволит на научной основе подойти к проектированию различных сооружений, проведению водоохранных мероприятий, установлению зон затопления и разработке научных основ рационального использования водных ресурсов.

На территории России – свыше двух миллионов озёр суммарной площадью более 350 тыс. км², преимущественно это – малые и очень малые озера площадью менее 1 км². На рассматриваемой территории насчитывается более 200 000 озер с общей площадью 58257 км². При этом 98 % от общего числа этих озер имеют площадь зеркала менее 1 км². На рисунке 1 представлено распределение озер Северо-Запада Российской Федерации по площади их поверхности, согласно классификации Иванова П.В. [42].

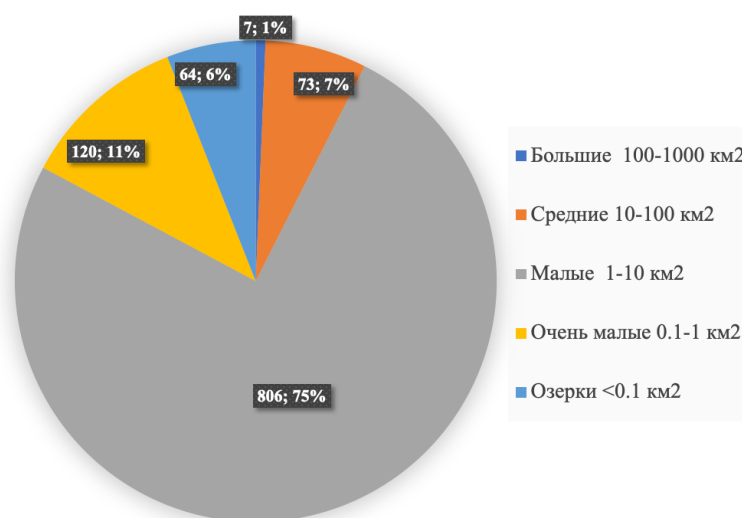


Рисунок 1 – Распределение озер Северо-Запада Российской Федерации по площади их водной поверхности (классификация Иванова П.В.)

Гидрометрическими наблюдениями охвачено менее 1% водоемов. Как правило, при проведении гидрометеорологических изысканий, работы проводятся, как правило, на малых и очень малых озерах, ввиду их многочисленности. Поэтому актуальной остается задача расчета уровней таких озер при отсутствии данных наблюдений.

Цель исследования – выявление и обобщение временных и пространственных закономерностей колебаний уровня воды разнотипных озер Северо-Запада Российской Федерации в условиях меняющегося климата, и разработка методик расчета уровней озер различной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений.

В соответствии с целью сформулированы следующие **задачи**:

1. определить однородные периоды формирования уровенного режима;
2. выявить особенности естественного уровенного режима озер в условиях меняющегося климата на примере рядов минимальных, максимальных и средних годовых уровней воды;
3. выполнить районирование территории;
4. рассчитать для исследуемых озер максимальные уровни воды различной обеспеченности при наличии данных наблюдений;
5. разработать методику расчета максимальных уровней воды различной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений на основе озер-аналогов;
6. разработать методику расчета средних многолетних уровней воды для периода, когда водный объект не покрыт льдом.

Научная новизна диссертационного исследования.

1. Произведена оценка состояния водного режима озер Северо-Запада Российской Федерации и выявлены основные закономерности межгодовой изменчивости минимальных, максимальных и средних годовых уровней воды, связанные с изменением климата.

2. Установлена зависимость среднего многолетнего уровня воды от удельного водосбора и рассчитаны переходные коэффициенты к среднемноголетнему уровню в период, когда водный объект не покрыт льдом.

3. Впервые рекомендовано в качестве нуля графика неизученного озера использовать отметку среднего многолетнего минимального уровня межи – $\overline{H}_{min}$, а не отметку порога стока озера.

4. Разработаны рекомендации по определению параметров распределения максимальных уровней воды неизученных озер для выделенных однородных районов по озерам-аналогам.

5. Впервые предлагается в качестве характеристики изменчивости максимального уровня озера рассматривать коэффициент вариации, приведенный к значению среднего многолетнего минимального уровня за меженный период.

6. Рассчитаны максимальные уровни воды различной обеспеченности исследуемых озер, с учетом рекомендаций, предложенных в данной работе. Полученные результаты могут использоваться в качестве аналогов при выполнении инженерных изысканий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Пространственно-временные закономерности изменчивости уровней воды озер Северо-Запада Российской Федерации в пределах однородных районов.

2. Рекомендации для расчета уровней воды различной обеспеченности исследуемых озер при проведении комплексных инженерных изысканий.

3. Методика расчета максимальных уровней воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, основанная на полученных региональных зависимостях.

4. Методика расчета среднего многолетнего уровня воды неизученных озер Северо-Запада Российской Федерации с учетом озер-аналогов для рационального использования и охраны водных ресурсов.

Объектами исследования являются 44 озера, расположенные на территориях Карелии, Ленинградской, Новгородской, Архангельской, Псковской областей, Кольского полуострова.

Предмет исследования – морфометрические и гидрологические характеристики естественных озер Северо-Запада Российской Федерации.

Исходные материалы. Для решения поставленных задач использовались

следующие данные:

- морфометрические данные по 44 озерам Северо-Запада Российской Федерации, собранные в глобальной базе данных *WORLDLAKE* (Кочков Н.В., Рянжин С.В. «Озера мира *WORLDLAKE*». Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2015621549 от 13 сентября 2015 г.);
- ряды средних месячных и годовых значений температуры воздуха (t , °C) и осадков (P , мм) по результатам наблюдений на 16 метеорологических станциях за весь период наблюдений;
- ряды средних годовых, минимальных и максимальных уровней воды (H , см) по результатам наблюдений на 44 гидрологических постах за весь период наблюдений, собранных в базе данных «Основные гидрологические характеристики озер ЕТР» (ГГИ).

Методы исследования. Анализ данных осуществлялся с соблюдением требований СП 529.1325800.2023 [97] и других нормативных документов [61, 62, 74]. Оценка однородности рядов гидрологических наблюдений осуществлялась на основе генетического и статистического анализа исходных данных. Временные ряды рассматривались, как случайный процесс. При этом использовались современные методы вероятностного анализа (кластерный, спектральный, регрессионный анализы).

Практическая значимость результатов работы:

Выявленные закономерности в уровненом режиме озер Северо-Запада Российской Федерации рекомендуется учитывать при разработке методов рационального использования водных ресурсов. Рекомендации по определению параметров распределения максимальных уровней воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений для Северо-Запада Российской Федерации и Кольского полуострова, полученные в ходе исследования, были представлены и внедрены в работу ООО «Фирма Уником». Также была выведена зависимость для определения средних многолетних уровней воды, определяющих границы водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Тема

диссертационного исследования и его содержание соответствуют требованиям паспорта специальности ВАК 1.6.21 – Геоэкология по следующим пунктам: п. 6. – «Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли», п. 8. – «Разработка теории, методологии и методов комплексных инженерных изысканий для геоэкологической характеристики природно-техногенной среды», п. 12. – «Оценка состояния водного режима территорий и геоэкологические последствия его изменения в связи с изменениями климатических параметров. Геоэкологический анализ влияния регулирования речного стока на водные, прибрежно-водные и наземные экосистемы и обоснование путей сохранения и восстановления водных и наземных экосистем».

Апробация работы. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № FSZU-2020-0009 «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий». Основные результаты докладывались на международной научной конференции «Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии» (2018 г.), на всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации» (2019 г.), на международной научно-практической конференции «География: развитие науки и образования» (2020 г.), на международной научной конференции «Четвертые виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению» (2020 г.), на международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ» (2020 г.), на III всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России» (2020 г.), на VI международной конференции молодых ученых (школа-практика) «Водные ресурсы: изучение и управление» (2020 г.), на VIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов» (2021 г.), на международной научно-практической конференции с участием представителей

стран СНГ «Оценка состояния ресурсов, экосистем озер и морей в условиях современных изменений климата и социо-экономического развития» (2022 г.).

По теме диссертационного исследования опубликовано 18 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и 9 приложений. Общий объем работы составляет 298 страниц, включая 22 таблицы, 366 рисунков.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1.1 Отечественные и зарубежные исследования

Изучение уровня режима озер имеет исключительно важное теоретическое и практическое значение. Существует два основных подхода к пониманию причин формирования многолетних колебаний уровня. Первый (детерминистический) подход постулирует, что основные источники колебаний известны. В этом случае исследуемый процесс описывается некоторым уравнением, в которое уже заложен механизм формирования его изменчивости [112]. Вторым (вероятностный) подход предполагает, что изменения уровня происходят около некоторого среднего значения. Здесь же возникает необходимость изучения механизма формирования многолетней изменчивости уровня колебаний с использованием, например, вероятностных моделей передаточных функций, позволяющих моделировать динамические системы со случайным входом и выходом. При этом подходе М.И. Будыко и М.И. Юдин [10] в качестве входных функций принимают случайные составляющие водного баланса, а А.С. Григорьев – случайные колебания таких климатических факторов как температура воздуха и атмосферные осадки [132]. В обоих случаях формируются серии повышенного и пониженного стояния уровня около среднего значения. Преобразование входных функций в уровень и в этом случае связано с применением кривых распределения, параметры которых также во многом определяются строением озерных систем.

Как правило, при изучении уровня режима применяется теоретико-вероятностный подход, примененный С.Н. Крицким [53, 54] и М.Ф. Менкелем [54]. При этом основное внимание уделено бессточным водоемам. Что касается изучения уровня режима проточных озер, то применение такого подхода также дает возможность для описания многолетнего режима стока рек озерного питания.

Недостаточность натурных данных, необходимых для выполнения водохозяйственных расчетов, требует построения и использования математических

моделей исследуемых процессов, правильно отображающих основные закономерности их многолетнего режима. Требования к анализу многолетних колебаний уровней естественных водоемов на основе математических моделей, сформулированные С.Н. Крицким и М.Ф. Менкелем остаются актуальными до сих пор [112]:

- 1) понимание причин колебаний уровня водоема и воздействующих на это явление факторов;
- 2) возможность установления условного и безусловного распределения вероятностей уровня водоема, т.е. прогноза уровней;
- 3) возможность оценки различных мероприятий (изъятий части стока, отделения части испаряющей поверхности и т.п.).

Вопросами многолетней изменчивости уровня режима занимались Е.Ш. Азаркович [1–3], Л.П. Алексеев, Н.А. [4], А.Н. Афанасьев [5], Н.А. Багров [6], Б.Б. Богословский [8,9], М.И. Будыко [10], А.М. Догановский [31, 32, 34, 35–38, 70], К.Д. Литинская [57], Н.В. Мякишева [65–70], В.С. Сумароков [98], Н.Н. Филатов [100, 101, 106]. Уровни воды озер служат индикаторами сложных связей водоемов с их бассейнами при исследовании изменчивости увлажненности больших территорий.

Н.А. Багров [6], О.А. Дроздов и Т.В. Покровская [10] являются сторонниками стохастического подхода к анализу, расчету и прогнозу уровня режима озер.

Связи отдельных характеристик многолетнего режима уровней проточных озер (амплитуды, среднего многолетнего уровня, статистических параметров рядов и др.) со структурой водного баланса, морфометрическими показателями озер и их бассейнов рассматривали В.С. Сумароков [98], А.А. Соколов [96], Р.А. Нежиховский [69], А.Г. Пронин [76], А.М. Догановский [37], Н.В. Мякишева [64], Б.Б. Богословский [8], Н.Н. Филатов [102–105], М.Я. Прыткова [77, 78] и другие.

В работах К.Д. Литинской [56], А.М. Догановского [35], Н.В. Мякишевой [67, 68] показано, что уровни являются важным экологическим фактором и значительные изменения среднего уровня озера, годового и многолетнего режима уровней вод служат началом «цепной реакции» изменения всего ландшафта. В данных работах уровень режим рассматривается как интегральный показатель

климатических экологических изменений, а также как индикатор процессов, протекающих на водосборе озера. А также указано, что уровень воды в озере фиксирует запасы воды, что во многом влияет на среду обитания биоценозов.

Уровенный режим озер формируется под воздействием активных (климатических) и адаптивных (подстилающей поверхности) факторов в условиях существующего климата и антропогенной нагрузки. Установлено, что формирование уровенного режима связано с изменчивостью составляющих водного баланса, как в годовом, так и в многолетнем разрезе. При исследовании влияния климата на уровенный режим, в первую очередь следует рассматривать атмосферные осадки – главную составляющую водного баланса или интегральные характеристики – индексы атмосферной циркуляции и коэффициенты увлажнения. В ряде случаев в качестве «вынуждающего фактора» можно рассматривать речной приток – «продукт климата».

Ряд исследований посвящен установлению зависимостей уровней от различных индексов атмосферной циркуляции [34, 38, 60, 69, 72] и солнечной активности [5, 56, 58, 59, 117, 130]. В подавляющем большинстве случаев эти зависимости установлены на качественном уровне. Например, для озер Чудско-Псковского и Ладожского внутривековые циклы четко коррелируют с изменениями индекса атлантической циркуляции по Вительсу, а кратковременные колебания – с преобладанием влияния разных компонентов солнечной активности на разных стадиях развития 11-летних циклов [130]. В работе Н.В. Мякишевой [64] указано, что в соответствии с факторами, обуславливающими колебания, и временными масштабами колебаний уровенной поверхности выделяют несколько диапазонов изменчивости уровня: сезонная (внутригодовая) изменчивость; синоптическая деятельность, обусловленная изменениями циклонической деятельности атмосферы; суточная и внутрисуточная изменчивость и мелкомасштабные флуктуации.

В своих исследованиях Малинин В.Н., Догановский А.М. показали, что в периоды повышенной и пониженной увлажненности территории уровни озер испытывают соответствующие колебания. [39, 60] А.В. Шнитников исследовал колебания уровней озер Скандинавии, Северо-Запада России, Прибалтики, Польши

путем анализа хронологических графиков уровней. При этом рассматривались только некоторые озера: Ладожское, Ильмень, Сайма и Мазурские озера в Польше. Периоды циклических колебаний этих озер оказались близкими между собой и составили 27–29 и 6–9 годам. На самом большом, Ладожском озере, эти циклы несколько продолжительнее 29–30 лет. По мнению Шнитникова А.В., это объясняется «замедлением общего процесса влаго- и водооборота в озере» по сравнению с другими озерами. Несколько иной характер цикличности отмечен на шведском озере Венерн, для которого длительность циклов по сравнению с озерами, перечисленными выше, в два с половиной раза меньше, хотя общая увлажненность бассейнов имеет «черты общности». Большая длительность ряда наблюдений (с 1807 года) на этом озере позволила проследить повышения уровня вплоть до 1840 года, после чего началось его понижение. На этих озерах также отмечена тенденция к понижению уровней за рассматриваемый почти столетний период. По мнению А.В. Шнитникова выявленная ритмичность в колебаниях уровней озер определяется соответствующей ритмичностью многолетнего режима осадков [117].

Для Ладожского озера имеется еще целый ряд исследований, в которых также приводятся иные сведения о продолжительности циклов А. Яни для озера выявлены циклы продолжительностью 5,5 и 19–34 года [130]. При этом вековое понижение уровней, согласно работе А. Яни, обусловлено уменьшением повторяемости западного типа циркуляции атмосферы при подъеме в вековом цикле солнечной активности.

Циклы в 5–7 лет и 27–31 год для озер Невского бассейна получены И.В. Филатовой [110]. При этом в работах В.Ф. Логинова и В.И. Сазонова [58] выявлен 22-летний цикл для озер Ладожского и Саймы и подчеркивается его отсутствие на других озерах Европы, но зато четко выражен 11-летний цикл. Продолжительность циклов для Чудско-Псковского озера определена в 5 лет и 19–34 года [56].

Циклические колебания уровней, связанные с климатическими изменениями, выявлены и на многих других сточных озерах различных районов земного шара. На малых и средних озерах северной Польши отмечены циклы продолжительностью от 17 до 87 лет. При этом 60 % из них короче 26 лет и составляют в среднем

23 года. На всех озерах обнаружены тренды на понижение [128]. На Великих Американских озерах отмечены 8, 11, 22 и 36-летние циклы [118–120].

Циклический характер колебаний, наличие трендов разных знаков, определяемый климатическими изменениями, признается многими исследователями. В отличие от засушливых зон сточные озера зоны избыточного увлажнения пересыхают гораздо реже. Тем не менее такие случаи и здесь фиксировались неоднократно. Например, в Прионежье известны озера, которые исчезают примерно 1 раз в 7 лет зимой и 1 раз в 25–30 лет летом [115]. Существенное понижение уровней озер стран Балтии вплоть до их полного исчезновения (зарастание) отмечено в работах Л.И. Глазачовой и Ю. Тамошайтиса [99].

В настоящее время исследования многолетних колебаний уровня естественных водоемов составляют самостоятельный раздел гидрологии.

При этом в указанных исследованиях рассматривались, в основном, только большие озера. А уровеньный режим малых озер Северо-Запада Российской Федерации остается все еще мало исследованным. Также во всех указанных работах, как правило, изучаются изменения средних годовых уровней воды, реже средних месячных данных, при этом максимальные и минимальные уровни практически не рассматриваются.

Поэтому, изучение характеристик уровней воды для расчета максимальных уровней неизученных озер района исследований, на основе современных результатов наблюдений на малых озерах-аналогах представляет интерес с точки зрения уточнения статистических параметров распределения уровней воды, региональных зависимостей и обновления гидрологических карт для обеспечения новых проектируемых сооружений, разработки методик рационального использования водных ресурсов и обеспечения водоохраных мероприятий.

1.2 Постановка цели и задач исследования

При использовании озер в народном хозяйстве часто приходится сталкиваться с необходимостью определения характерных значений уровней воды озера

различной обеспеченности. Расчет основывается на статистических характеристиках имеющихся совокупностей. К числу таких характеристик следует отнести основные параметры, определяющие кривую распределения и структуру ряда: дисперсию, асимметрию, среднее значение, внутрирядную связанность

Поэтому исследование этих характеристик, установление физических причин, обуславливающих закономерности их изменений, является актуальной задачей. В связи с этим основная цель данного исследования выполнить анализ данных гидрометрических наблюдений за максимальными, минимальными и средними годовыми уровнями воды, выявить и обобщить временные и пространственные закономерности колебаний уровня воды разнотипных озер в условиях меняющегося климата. А также разработать методику расчета характерных уровней озер различной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений.

Одновременно необходимо установить степень стационарности и случайности рассматриваемых совокупностей, выявить наличие циклических колебаний, оценить их периоды, амплитуды, определить тенденцию изменения максимальных, минимальных и средних годовых уровней.

2 ИНФОРМАЦИОННАЯ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Районирование территории

Вопросами гидрологического районирования в разное время занимались Догановский А.М. [33, 37], Дружинин В.С. [41], Квасов Д.Д. [50], Измайлова А.В. [43–49, 123, 125, 126]. Считается, что котловины одного и того же происхождения и одинакового возраста имеют приблизительно сходные относительные размеры. Результаты подобных исследований для других территорий приведены в работах Б.Б. Богословского [7], А.М. Догановского [33, 37], М.Я. Прытковой [77], С.В. Рянжина [89], В.М. Саковича [90], О.О. Смирновой [94], Н.В. Мякишевой [64] и др.

Так, в своей работе [31] А.М. Догановский, основываясь на предположении, что формирование амплитуд во многом зависит от индивидуальных особенностей водоемов, предпринял попытку выявить районы с однотипными по своему строению котловинами и руслами вытекающих рек. В результате автор выделил четыре района, для каждого из которых свойственны достаточно тесные зависимости соотношения объема воды в озере и площадью его поверхности $W_0=f(F_0)$, которые отражают особенности строения гидрографической сети в различных районах.

Район I полностью расположен на балтийском кристаллическом щите, в пределах Карелии и Кольского полуострова на его южной оконечности расположены крупнейшие озера Европы Онежское и Ладожское, а также в других частях района Выгозеро, Топозеро, Имандра и другие и огромное количество малых озер. Район II представляет собой главный моренный пояс, сформированный при движении Валдайского ледника. Район III расположен в пределах Русской равнины к северо-западу от района II. Озерность территории III района невысокая, а озера, как правило, мелкие. Район IV относится к территории краевых ледниковых образований южной и юго-восточной границы Валдайского ледника (Валдайская, Тихвинская Андомская. возвышенности) и северной оконечности более древнего Московского

оледенения. На этой территории расположено сравнительно небольшое количество озер.

Согласно работам Квасова Д.Д. [50], на развитие гидрографической сети исследуемого региона большое влияние оказал ледниковый рельеф. Д.Д. Квасов отмечал, что возникновение озерных котловин произошло в различное время, и предложил классификацию, основанную на их возрасте и происхождении [50]

Согласно работе Измайловой А.В. [49] образование озер связано с геологическими и геоморфологическими процессами. Доминирование определенного типа котловин для конкретного региона определяется его геологической историей. То есть происхождение озерных котловин и их пространственное распределение является функцией фактора азонального. С другой стороны, возникшие котловины, чтобы стать озерами, должны быть заполнены водой, что непосредственно связано с климатом – фактором зональным. Дальнейшее функционирование озерных экосистем уже определяется целым комплексом природных факторов, из которых зональные лидируют, в том числе принадлежностью к той или иной ландшафтной зоне, являющейся в свою очередь их интегральной характеристикой.

Внутри региона могут наблюдаться определенные различия по ряду компонентов природной среды, однако по основным компонентам, таким как геология и климат, должна наблюдаться общность.

С целью выделения регионов с преобладанием определенных морфометрических и гидрологических особенностей в программе *Statistica 10* был проведен кластерный анализ. В ходе выполнения анализа в качестве предикторов использовались следующие гидрологические и морфометрические характеристики озер, а так же статистические параметры рядов уровней воды: средняя многолетняя амплитуда уровней, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, площадь зеркала водоема, площадь водосбора, географические координаты местоположения озера (северная широта и восточная долгота) и значения удельных водосборов озер, которые являются количественным выражением связи водоёма с питающим его бассейном. При выполнении кластерного анализа наилучшие результаты были получены при данной совокупности предикторов: средняя многолетняя

амплитуда, площадь зеркала, площадь водосбора и географические координаты озёр.

Исходя из полученного в результате кластерного данного анализа графика в программе *Statistica*, было выделено три группы озёр со схожими по характеру параметрами, результат представлен на рисунке 1.2.

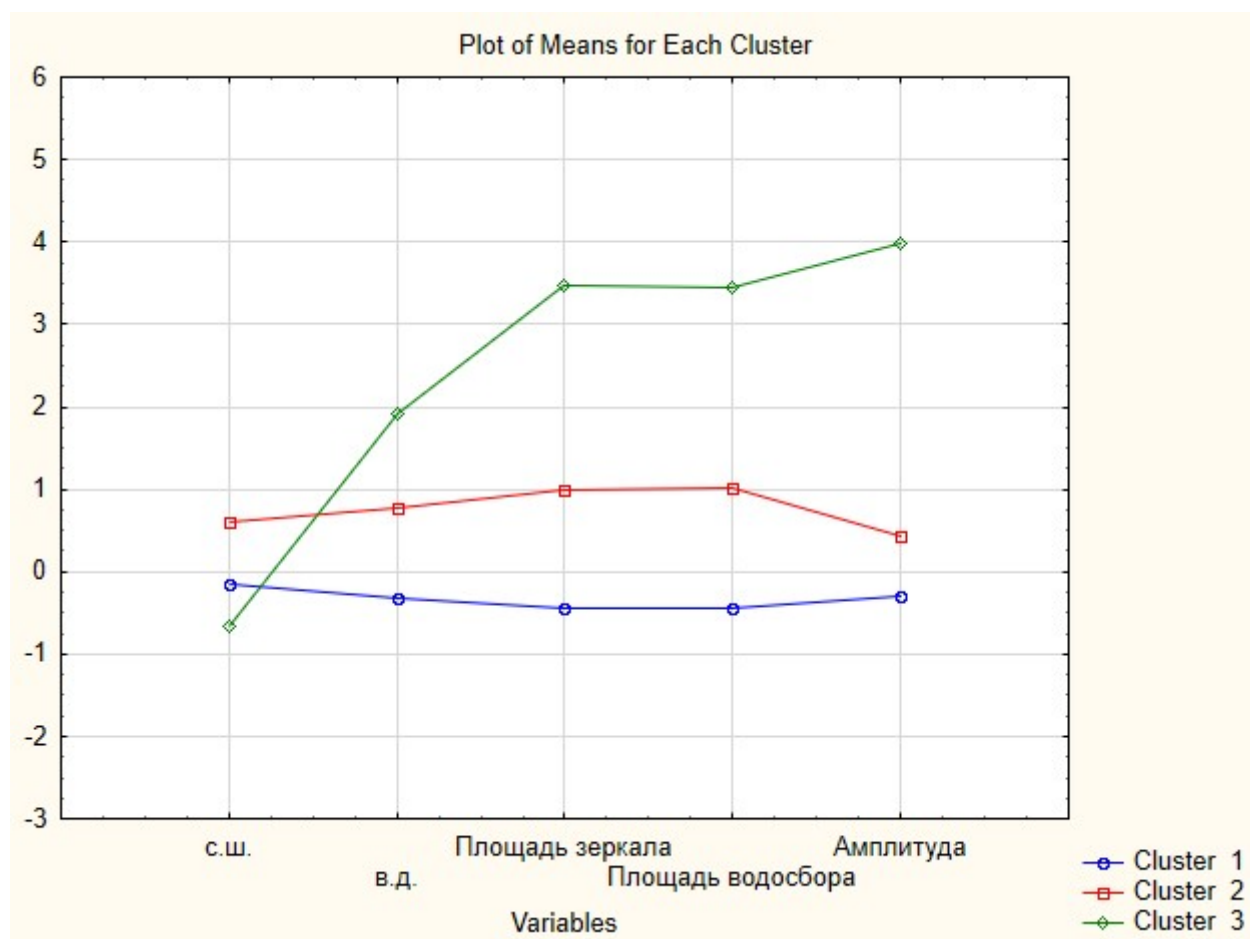


Рисунок 2.1 – График средних значений для каждого кластера.

В результате установлено, что к первой группе относятся водоёмы, расположенные на территории Карелии и части Архангельской области. Котловины этого района относятся преимущественно к тектоническому и ледниково-тектоническому типам происхождения. Ко второй группе относятся озёра, которые расположены в зоне распространения Московского оледенения. К третьей – водные объекты, находящиеся на юге Архангельской области, исключение составляет оз. Водлозеро (Карелия). При этом следует отметить, что имеется ряд отдельных объектов,

характеристики которых соответствуют характеристикам соседнего района, что в большинстве объясняется особенностями строения гидрографической сети.

Так, первые три региона включают территории, охваченные последним валдайским оледенением, завершившимся лишь около 10 000 лет назад. Это территории широкого распространения озер ледникового происхождения, соседствующих с водоемами речного, органогенного, тектонического и карстового происхождения.

В геологическом отношении в пределах Российской Федерации большая часть территории, оказавшаяся под последним четвертичным оледенением, относится к Балтийскому кристаллическому щиту, его Кольско-Карельскому геоблоку, метаморфические породы которого в южном и юго-восточном направлении погружаются под чехол осадочных пород, покрывающих Русскую плиту. Окраинные части ледника заходили на северо-западную часть Русской плиты. В строении Кольско-Карельского геоблока Балтийского щита выделяются несколько крупных блоков северо-западной ориентировки – Мурманский, Центрально-Кольский, Беломорский и Карельский, разделенный крупными разломами. Первые два блока практически полностью расположены на территории Мурманской области, Карельский – на территории Республики Карелия, и лишь Беломорский блок охватывает оба субъекта федерации. Определенные различия в строении этих блоков, а также климатические различия, сказывающиеся на формировании морфоскульптур, позволяют разделить Кольско-Карельский геоблок Балтийского кристаллического щита на два самостоятельных сегмента – Кольский и Карельский. Поскольку формирование и дальнейшее функционирование озерных экосистем в наибольшей степени зависит от геологии и климата, данное разделение при рассмотрении вопросов лимнологии представляется наиболее оправданным.

Первый район включает Кольский полуостров и часть материка, к которой он примыкает. В целом, его границы можно считать совпадающими с границами Мурманской области. Занимая северную часть Кольско-Карельского геоблока, Кольский сегмент характеризуется более суровыми климатическими условиями, отражающимися на процессах, происходящих в озерах. Почти вся его территория расположена выше Северного полярного круга. Геологическое строение, история,

рельеф, а также достаточно низкое испарение на территории Кольского сегмента кристаллического щита крайне благоприятны для образования здесь огромного количества водоемов. По их количеству занимающая данную территорию Мурманская область является одним из наиболее озерных субъектов Федерации в пределах ЕЧР (уступая лишь Ненецкому автономному округу), хотя площадь большей части водоемов очень небольшая. Поэтому по коэффициенту озерности она уступает расположенной южнее Карелии, характеризующейся наличием большого количества крупных озер.

Второй район включает Республику Карелия, кроме того, к нему отнесена северная часть Ленинградской области – так называемый Карельский перешеек. Благодаря геологическим особенностям, строению рельефа, благоприятному соотношению между осадками и испарением и особенностями геологической истории Карельский сегмент Балтийского щита чрезвычайно богат озерами, среди их числа и крупнейшие в Европе – Ладожское и Онежское (в пределах региона находятся их северные части). Для данного региона характерны самые высокие значения озерности на всей европейской части России. Средняя озерность Карельского сегмента кристаллического щита с учетом площади озер-водохранилищ составляет ~11%, с учетом частей Онежского и Ладожского озер – ~20%. Сразу за пределами Балтийского щита происходит резкое снижение коэффициента озерности, что в еще большей степени подтверждает необходимость выделения данной территории в самостоятельный регион.

Третьим районом является затронутая валдайским оледенением северо-западная часть Русской плиты. Регион включает большую часть Ленинградской области, Псковскую и Новгородскую области, северо-западные части Тверской и Смоленской областей, западные части Вологодской и Архангельской областей. Кроме того, сюда же необходимо отнести и Калининградскую область, расположенную отдельно, но также оказавшуюся под последним ледниковым покровом, хотя ледник начал отступать с её территории несколько раньше. В третьем регионе расположены части акватории крупнейших европейских озер – Ладожского (около половины акватории) и Онежского (южная часть), а также такие крупнейшие озера

как Чудского-Псковское, Ильмень и Белое. Кроме того, здесь находится огромное количество небольших ледниковых озер, заполняющих котловины между моренными холмами или имеющих подпрудное происхождение. Повсеместно встречаются озера-старицы, на болотных массивах раскидано огромное количество болотных водоемов, а там, где залегают карбонатные отложения, возникают карстовые озера [49].

2.2 Физико-географическое описание исследуемой территории

Геолого-геоморфологическое строение озерных систем.

Современные котловины водоемов являются результатом преобразования в процессе эволюции первоначальных депрессий, образовавшихся в земной коре или емкостей, образованных естественным или искусственным путем, которые могут удерживать воду. Эти депрессии и емкости образуются под действием большого количества разнообразных причин, включающих климатические, геологические, морфологические факторы. Действие этих факторов осуществляется одновременно или последовательно – один за другим, что и приводит к формированию котловин чрезвычайно разнообразных как по своей форме, размерам, так и местоположению. В природе наблюдается большое разнообразие форм котловин. Прежде всего, это различие определяется их происхождением и эволюцией. Считается, что котловины одного и того же происхождения и возраста должны иметь схожие относительные размеры. Так котловины тектонического происхождения более глубокие, чем, например, ледникового, а формы котловин, соответственно, ближе к конусу и параболоиду.

На развитие гидрографической сети исследуемого региона большое влияние оказал ледниковый рельеф.

Кольский полуостров. Современный рельеф территории Кольского полуострова представляет собой холмистую равнину с абсолютными отметками до 200–300 м. Гряды наиболее крупных возвышенностей, представляющих собой тектонические формы рельефа, наблюдаются в центре полуострова. Высота отдельных

горных сооружений достигает 1000–1200 м над уровнем моря.

Наиболее расчленен рельеф в районе северного побережья Кольского полуострова, представляющего собой равнину с высотами 200–300 м, которая повышается к югу и круто обрывается к морскому побережью. Береговая линия сильно изрезана глубокими фиордообразными заливами. В западной части равнина сильно расчленена глубокими каньонообразными долинами и впадинами. Высота отдельных возвышенностей здесь превышает 300–400 м. К востоку расчлененность рельефа уменьшается. Местность представляет собой волнистое плато, прорезанное глубокими ущельями. Водоразделы здесь достигают высоты 300–350 м и представляют собой заболоченные равнинные пространства.

Для этой части территории характерно наличие большого количества мелких впадин, в которых расположены озера. С юга её ограничивает гряда возвышенностей, высота которых на западе составляет 400–500 м. К востоку она переходит в широкое плато высотой 250–300 м (гряде Кейв), представляющее собой систему куполообразных холмов, разделенных глубокими ущельями долинами. К югу и востоку от гряды местность имеет волнисто-грядовой рельеф с высотами 120–150 м и более полого опускается к югу, переходя в заболоченную низменность с отдельно выступающими грядами. По краям её встречаются довольно мощные ледниковые образования в виде моренных гряд, озов, друмлинов. Абсолютные отметки местности снижаются до 150–50 м.

Вдоль побережья на юге полуострова местность имеет сильно расчлененный горный рельеф. Реки и озерные котловины расположены в глубоких ущельеобразных долинах, которые свидетельствуют об огромной роли дислокации в формировании основных черт рельефа в этой части полуострова.

Севернее находится Южно-Кольская депрессия, которая простирается на восток до оз. Вялозеро. В её пределах расположены большие болотные массивы и многочисленные крупные и мелкие озера, вытянутые в юго-восточном направлении. Для этой части территории характерно наличие большого количества ледниковых аккумулятивных образований [80, 81].

Карелия и Северо-Запад. Строение озерных котловин (их морфологические

особенности) играют важную роль при формировании водного режима озерных систем. Под морфологией озер следует понимать форму озерных котловин и строение их подводного рельефа.

Все водоемы представляют собой котловины, заполненные водой, и имеющие водосборные площади, с которых вода поступает в эти котловины.

Систему озеро-водосбор можно охарактеризовать через понятие «удельный водосбор» (K) равный:

$$K=A/\Omega, \quad (1.1)$$

где A – площадь водосбора, км²;

Ω – площадь зеркала озера, км².

Величина удельного водосбора важная характеристика, которая определяет многие черты гидрологического режима озер и водохранилищ. Водоемы являются частью гидрографической сети и участвуют в большом круговороте воды в природе, замедляя водообмен между речными системами и океаном.

Исследуя лимническую роль водообмена озер, нельзя не анализировать их морфометрию, обусловленную генетическим типом озерных котловин и стадией развития водоема. Современные котловины водоемов являются результатом преобразования в процессе эволюции первоначальных депрессий, образовавшихся в земной коре или емкостей, образованных естественным или искусственным путем, которые могут удерживать воду.

Происхождение озерных котловин тесно связано с основными рельефообразующими факторами рассматриваемой территории, а именно с тектоническими процессами, сформировавшими депрессии, в которых образовались многие озера, и с эрозионно-аккумулятивной деятельностью ледниковых потоков эпохи материкового оледенения. В соответствии с этим выделяются два основных типа происхождения их котловин: тектонические и моренные.

Озера Карелии преимущественно тектонического происхождения; котловины их развиты в трещинах и сбросах, обычно вытянуты с северо-запада на юго-восток, состоят из длинного плеса и большого числа узких вытянутых заливов или имеют ластовидную форму.

Большую роль в образовании в последующем переформировании озерных котловин сыграло четвертичное оледенение. Тектонические котловины озер носят ярко выраженные следы эрозионной деятельности ледника. Это особенно хорошо это видно на примере Онежского и Ладожского озер, северные берега которых изрезаны длинными и узкими заливами, ориентированными в направлении движения ледника – с северо-запада на юго-восток. По характеру дна и берегов эти озера резко делятся на две части: северную, отличающуюся большой глубиной, наличием многочисленных длинных и глубоких ям, и южную, имеющую ровный рельеф и сравнительно небольшие глубины.

Наряду с озерами тектонического происхождения на территории Карелии и Северо-Запада распространены озера моренного типа. Котловины этих озер приурочены, главным образом, к понижениям между моренными грядами и холмами или образованы в результате подпруживания речных долин ледниковыми отложениями. Они сравнительно небольших размеров, чаще всего имеют округлую форму, слабо развитую береговую линию, плоские берега. Глубины, как правило, не превышают 5–10 м, рельеф дна плоский. Среди моренных озер часто встречаются узкие длинные озера, через которые протекают реки.

Крупнейшим озером ледникового происхождения является озеро Ильмень. Оно на территории Северо-Запада занимает центральное положение и представляет собой мелководный водоем, глубина которого не превышает 3–4 м в прибрежной зоне и 10 м в центральной. Первоначально впадина озера была более глубокой (свыше 20 м), но с течением времени она заполнилась мощными отложениями ила. Берега озера преимущественно низкие, заболоченные. Отличительной особенностью озера является большое изменение площади зеркала с изменением высоты уровня воды.

Помимо озер тектонического и моренного типов на рассматриваемой территории встречаются озера, происхождение котловин которых связано с другими факторами. К ним относятся озера лагуно-лиманного типа, а также болотные и карстовые.

Довольно большое распространение на территории Карелии и Северо-Запада

имеют озера болотного типа. В Карелии они имеют преимущественно малые размеры и носят название «лампии» или «ламбины». Значительное количество озер болотного типа расположено в заторфованных равнинах Волховско-Ильменской низменности, в частности среди Полистовского болотного массива. Обычно эти озера имеют незначительные площади 0,5–1 км² и менее, глубина их небольшая, дно заиленное [82–84].

Гидрография

Кольский полуостров. Сложность геологических и орографических условий, наличие вблизи земной поверхности водоупорной кристаллической основы, большое количество выпадающих осадков и относительно малое испарение наложили свой отпечаток и на характер гидрографической сети Кольского полуострова. Здесь весьма развита речная сеть, а по количеству озер полуостров занимает одно из первых мест в Российской Федерации. Низменные и слаборасчлененные участки территории нередко представляют собой крупные заболоченные пространства.

По данным Института озероведения Российской Академии Наук в пределах Кольского полуострова расположено более 117 тысяч озёр и искусственных водоёмов общей площадью около 11,1 тыс. км² (озёрность 7,64 %), в том числе более 32 тысяч озёр площадью более 0,01 км² и ряд озёр меньшего размера [ссылка на сайт]. В среднем на 1 км² здесь приходится одно озеро, но в некоторых районах на 1 км² расположено до 20 и даже 30 небольших водоемов.

Наибольшее распространение озера имеют в центральной и северной частях полуострова. Здесь коэффициент озёрности водосборов некоторых рек достигает 10–20 %.

По происхождению озера делятся на две группы – ледниковые и тектонические. Большинство озер относится к ледниковым. Это небольшие водоемы, нередко расположенные среди болот. Чаще всего они имеют округлую форму и малые глубины. Встречаются также запрудные озера, которые образовались в результате преграждения мореной какого-либо поверхностного стока воды. Ложа этих озер обычно имеют вытянутую овальную форму и глубины до 4–6 м.

Озера тектонического происхождения лежат в глубоких котловинах, имеют вытянутую форму и сложную конфигурацию береговой линии. Рельеф дна таких озер неровный; встречаются впадины глубиной до 100 м. К озерам тектонического происхождения относятся почти все крупные водоемы рассматриваемой территории: Имандра, Ловозеро, Умб-озеро, Колвицкое и другие.

На Кольском полуострове в связи со строительством ряда ГЭС создано несколько водохранилищ, крупнейшими из которых являются: Верхне-Тулумское, Имандра, Пирегинское и Нижне-Тулумское [80–81].

Карелия и Северо-Запад. Данный регион входит в зону так называемого «Озерного края» и уже это говорит об обилии здесь озер. На рассматриваемой территории насчитывается больше 82 тысяч озер с общей площадью больше 50 тыс. км². При этом 97 % общего числа имеют площадь водного зеркала менее 1 км². Наряду с большим количеством мелких водоемов здесь расположены такие крупные озера, как Ладожское и Онежское, занимающие по площади первое и второе места в Европе, соответственно. Площадь водного зеркала этих озер составляет 55 % от общей площади водной поверхности этой территории.

Распределение озер по территории Карелии и Северо-Запада неравномерное и обусловлено, в основном, геолого-геоморфологическим строением поверхности.

Наибольшее количество озер находится на территории Карелии и Карельского перешейка. Второй многочисленный пояс озер расположен в юго-западной и юго-восточной частях территории, в районах моренных возвышенностей. Особенно много озер находится на возвышенностях: Валдайской, Струго-Красненской, Судомской и Новоржевской.

Почти все озера рассматриваемой территории преимущественно сточные или проточные; бессточных озер мало, площадь зеркала их обычно небольшая. На территории Карелии около половины малых и очень малых озер не имеют видимого поверхностного стока, но удельный вес площади зеркала этих озер невелик и составляет около 10 % суммарной площади всех озер Карелии [82–84].

Кольский полуостров. Климат Кольского полуострова находится под смягчающим влиянием окружающих его морей и особенно запасов тепла, приносимых северной ветвью теплого течения Гольфстрим. Благодаря этому Баренцево море у г. Мурманска не замерзает, а температура воздуха зимой (январь, февраль) на побережье близка к соответствующим значениям температуры воздуха в районах, расположенных на 10° южнее. Термический режим южного побережья полуострова несколько суровее, так как Белое море зимой покрывается льдом. При удалении в глубь полуострова влияние морей довольно быстро исчезает. Поскольку климатические условия в значительной степени связаны с рельефом и в особенности с высотой местности над уровнем моря, в горных частях района наблюдается их зональность: падение температуры воздуха, увеличение осадков, силы ветра и продолжительности залегания снежного покрова с возрастанием высоты местности. В восточной части полуострова вследствие более сглаженных форм рельефа климат отличается меньшей территориальной изменчивостью.

Преобладание поступления в рассматриваемый район воздушных масс атлантического и арктического происхождения и интенсивная циклоническая деятельность над Норвежским и Баренцевым морями, особенно сильная в холодное время года, вместе с другими климатообразующими факторами обуславливает на Кольском полуострове относительно теплую зиму и прохладное лето.

Характерной особенностью погоды является её неустойчивость и резкая изменчивость, вызываемая частой сменой воздушных масс, перемещением циклонов и фронтов.

На побережье холодный период продолжается в течение 6 месяцев (ноябрь – апрель), а в центральной части – до 7 месяцев (октябрь – апрель). Теплый сезон продолжается 4 месяца, май и октябрь – переходные месяцы [80–81].

Карелия и Северо-Запад. По характеру геологического и геоморфологического строения территория разделяется на две области: Карелию и Северо-Запад (Ленинградская, Новгородская, Псковская область и незначительные части Мурманской, Архангельской и Вологодской областей).

Территория Карелии и Северо-Запада относится к зоне избыточного

увлажнения. Это объясняется сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все сезоны года. На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность, ведущие к нарушению плавного характера изменения осадков. Даже небольшие возвышенности обуславливают перераспределение осадков: увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных склонах и в понижениях за возвышенностями. Заметно уменьшаются осадки вблизи крупных водоемов. Все это обуславливает неравномерность распределения осадков по территории.

Средняя годовая температура воздуха на территории Северо-Запада колеблется от 2 °С в северо-восточной части до 4,5 °С в южной. По территории Карелии она изменяется от нуля на севере до 3 °С на юге. Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Теплый период в Карелии протекает в период май – октябрь, на Северо-Западе – апрель – октябрь [82–84].

В связи с большой изменчивостью циркуляционных процессов погодные условия отдельных лет в значительной степени отличаются от общих условий.

С середины 20-го столетия в Европейской части России наблюдается потепление, охватившее главным образом её северные районы. Это дало повод климатологам говорить об изменении климата [13, 113, 114, 122].

Температура воздуха и осадки в зимний и весенний периоды имеют существенное значение во время формирования стока весеннего половодья и, как следствие, максимальных уровней воды, т.к. влияют на основные факторы, которые определяют этот процесс: величину снегозапасов, количество жидких осадков в период половодья и потери на испарение и фильтрацию [13, 15, 55].

Для анализа климатических изменений и их влияния на исследуемые водоемы в работе использовались данные многолетних инструментальных наблюдений за средней годовой температурой воздуха, суммой осадков за год, средней температурой воздуха за теплый и холодный периоды, суммой осадков за теплый и холодный периоды года. Сведения о метеостанциях приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные сведения о метеорологических станциях.

Индекс ВМО	Название метеостанции	Период наблюдений		Высота станции, м БС
		температура	осадки	
22249	Каневка	1949–2018	1966–2018	149
22204	Ковдор	1952–2018	1966–2018	246
22113	Мурманск	1918–2018	1966–2018	57
22101	Янискоски	1955–2018	1970–2018	98
27008	Бабаево	1927–2019	1959–2015	136
26479	Торопец	1923–2019	1960–2015	187
26477	Великие Луки	1880–2019	1936–2015	97
26359	Пушкинские горы	1932–2019	1960–2015	108
22837	Вытегра	1878–2019	1936–2015	55
22802	Сортавала	1881–2019	1945–2015	17
22619	Паданы	1890–2019	1936–2015	130
22602	Реболы	1914–2019	1936–2015	180
22550	Архангельск	1813–2019	1936–2015	8
22854	Няндом	1931–2019	1959–2015	232
26094	Тихвин	1938–2019	1939–2015	61
26157	Гдов	1917–2019	1960–2015	39

На рисунках 2.2–2.5, в качестве примера, представлены хронологические графики годовых температур воздуха и сумм осадков за весь период наблюдений на метеостанциях Гдов и Реболы (графики по всем остальным метеостанциям представлены в приложении А).

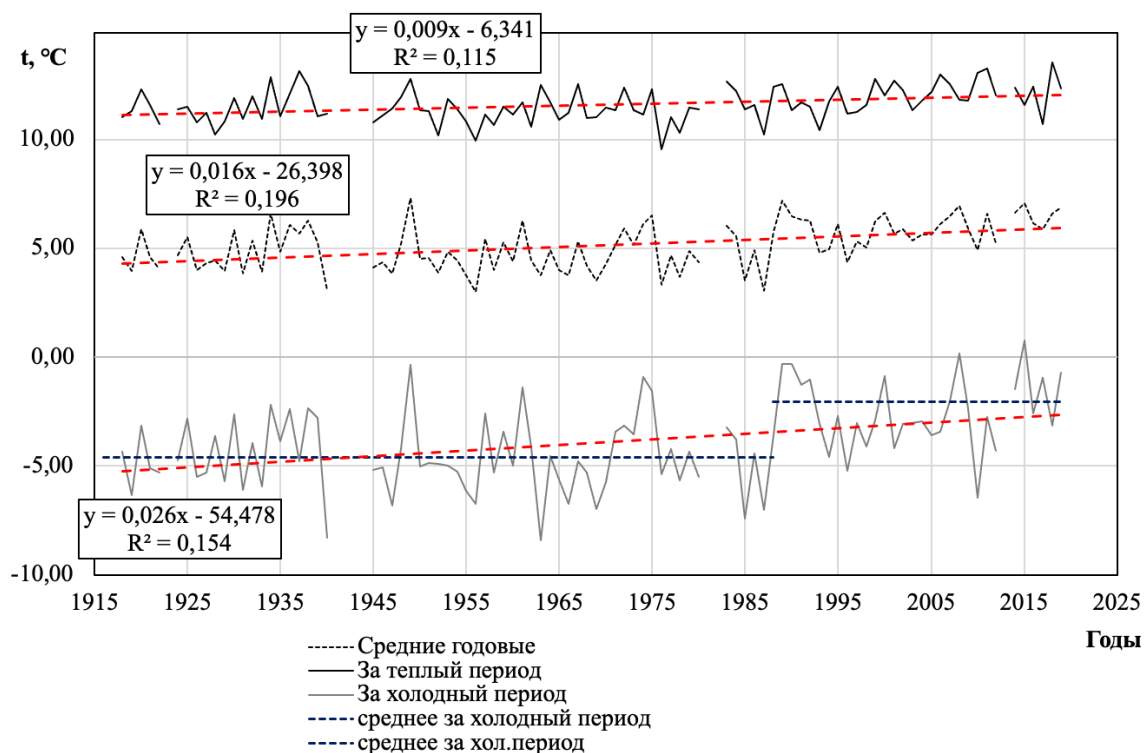


Рисунок 2.2 – Хронологические графики средних годовых температур приповерхностного слоя атмосферы за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Гдов.

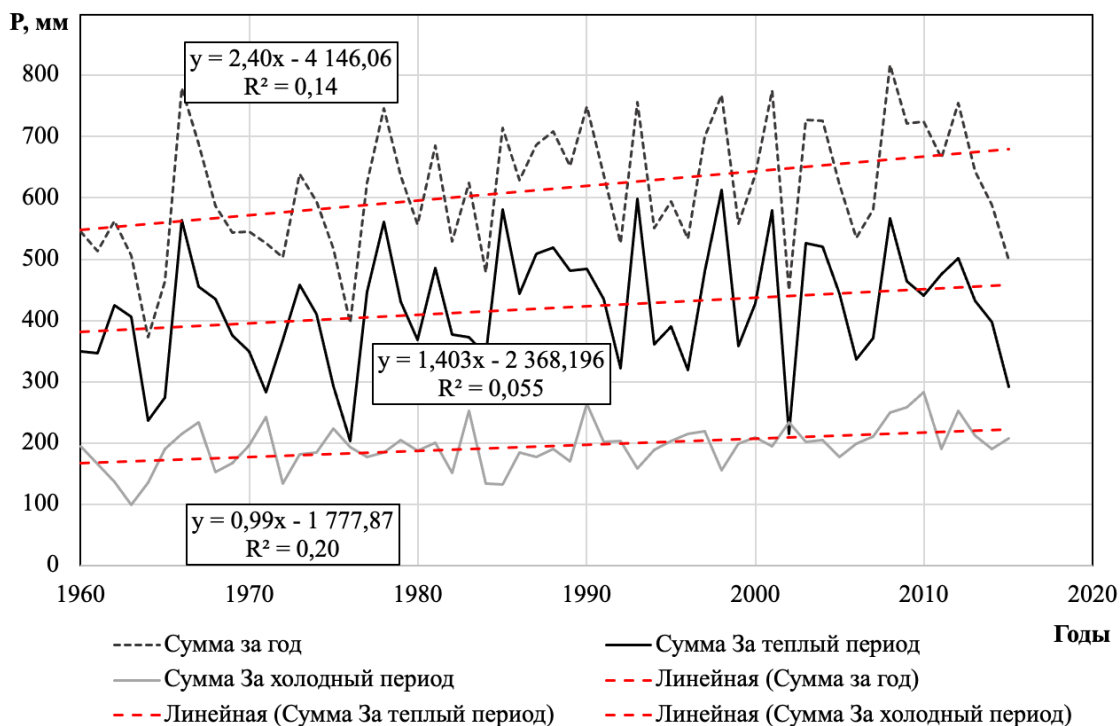


Рисунок 2.3 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Гдов.

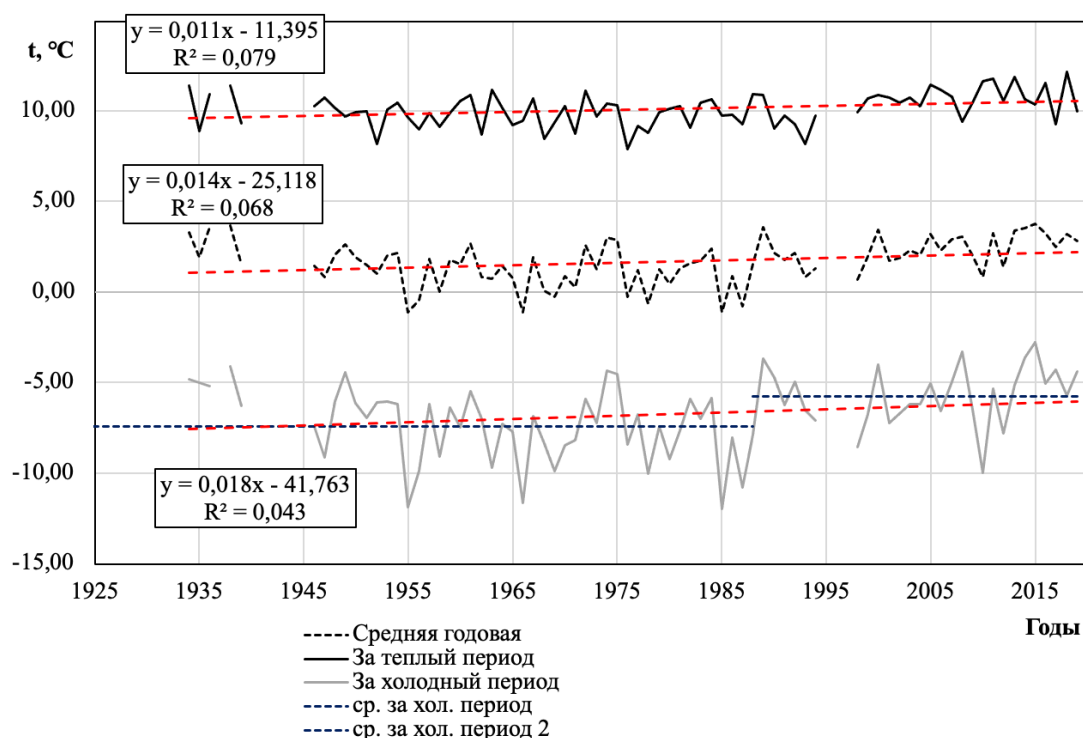


Рисунок 2.4 – Хронологические графики средних годовых температур приповерхностного слоя атмосферы за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Ребопы.

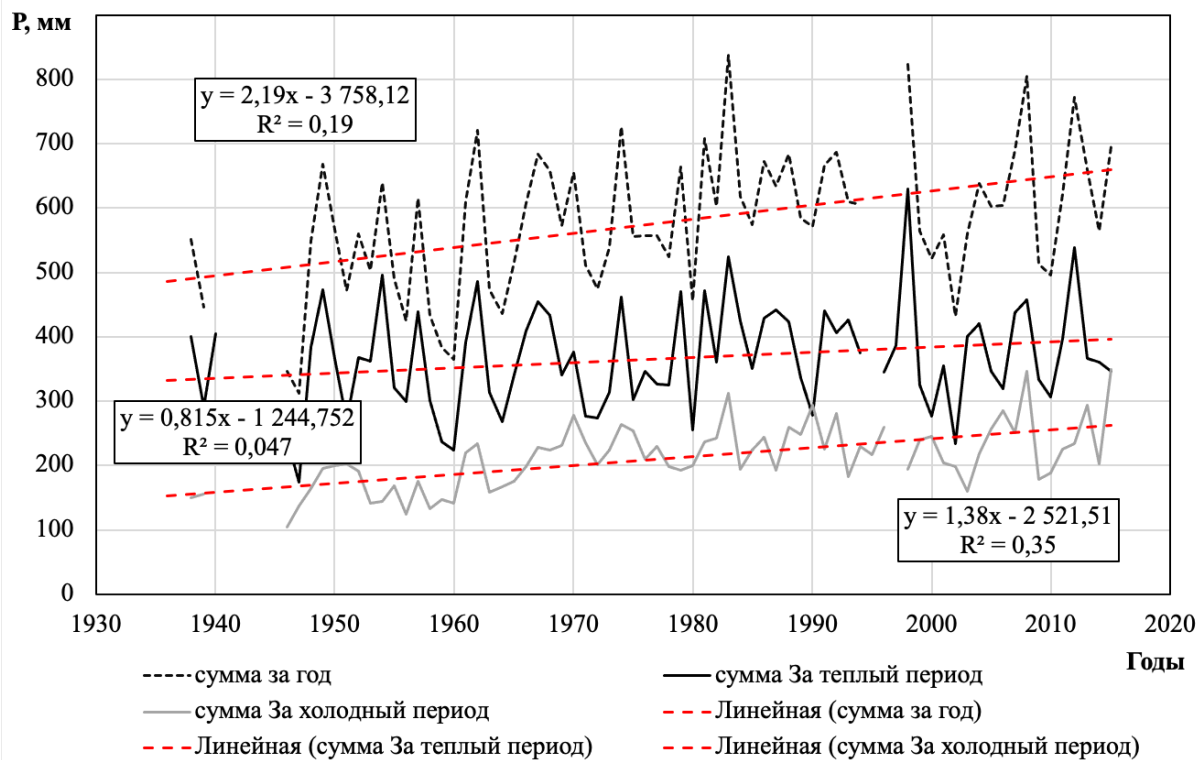


Рисунок 2.5 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Ребопы.

В результате вероятностного анализа многолетних климатических данных с 1813 по 2019 г. для водосборов исследуемых озер было выявлено наличие положительных статистически значимых линейных трендов средних годовых температур воздуха. Результаты оценки статистической значимости линейных трендов в рядах значений температур воздуха представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Оценка значимости трендов в рядах температур воздуха (при $2\alpha = 5\%$).

Индекс ВМО	Название метеостанции	Интервал	R	σ_R	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0: R=0$
22249	Каневка	Год	0,32	0,12	0,24	Опровергается
		Холодный период	0,22	0,12	0,24	Не опровергается
		Теплый период	0,33	0,12	0,24	Опровергается
22204	Ковдор	Год	0,62	0,10	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,57	0,10	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,47	0,11	0,22	Опровергается
22113	Мурманск	Год	0,20	0,10	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,10	0,10	0,20	Не опровергается
		Теплый период	0,20	0,10	0,20	Опровергается
22101	Янискоски	Год	0,39	0,12	0,24	Опровергается
		Холодный период	0,28	0,13	0,26	Опровергается
		Теплый период	0,39	0,12	0,24	Опровергается
27008	Бабаево	Год	0,41	0,10	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,36	0,10	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,32	0,10	0,20	Опровергается
26479	Торопец	Год	0,52	0,10	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,42	0,10	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,41	0,10	0,20	Опровергается
26477	Великие Луки	Год	0,42	0,08	0,16	Опровергается
		Холодный период	0,35	0,09	0,18	Опровергается
		Теплый период	0,35	0,09	0,18	Опровергается
26359	Пушкинские горы	Год	0,42	0,11	0,22	Опровергается
		Холодный период	0,35	0,11	0,22	Опровергается
		Теплый период	0,35	0,11	0,22	Опровергается
22837	Вытегра	Год	0,42	0,11	0,22	Опровергается
		Холодный период	0,35	0,11	0,22	Опровергается
		Теплый период	0,35	0,11	0,22	Опровергается
26094	Тихвин	Год	0,49	0,10	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,39	0,11	0,22	Опровергается

Ин-декс ВМО	Название метеостанции	Интервал	R	σ_R	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0: R=0$
		Теплый период	0,49	0,10	0,20	Опровергается
26157	Гдов	Год	0,45	0,09	0,18	Опровергается
		Холодный период	0,39	0,10	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,34	0,10	0,20	Опровергается
22550	Архангельск	Год	0,32	0,07	0,14	Опровергается
		Холодный период	0,30	0,07	0,14	Опровергается
		Теплый период	0,32	0,07	0,14	Опровергается
22854	Няндом	Год	0,36	0,10	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,32	0,10	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,28	0,10	0,20	Опровергается
22602	Реболы	Год	0,26	0,11	0,22	Опровергается
		Холодный период	0,20	0,11	0,22	Не опровергается
		Теплый период	0,28	0,11	0,22	Опровергается
22802	Сортавала	Год	0,37	0,08	0,16	Опровергается
		Холодный период	0,30	0,08	0,16	Опровергается
		Теплый период	0,33	0,08	0,16	Опровергается
22619	Паданы	Год	0,45	0,09	0,18	Опровергается
		Холодный период	0,28	0,09	0,18	Опровергается
		Теплый период	0,54	0,08	0,16	Опровергается

В некоторых рядах температур воздуха и годовых сумм осадков есть пропуски. Это связано с отсутствием наблюдений за некоторые месяцы, что не позволяет рассчитать средние годовые значения величин. Имеющиеся пропуски находятся в различных частях ряда, что в целом позволяет допустить, что их влияние на оценку значимости тренда не существенно.

Результаты анализа изменения средних годовых температур воздуха за весь период наблюдений показал, что изменения температуры по исследуемой территории неравнозначны. Наиболее значимые изменения температуры воздуха приземного слоя атмосферы и годовых сумм осадков произошли за холодный период.

Для выявления дат климатических изменений, по данным средних годовых температур воздуха были построены разностно-интегральные кривые (приложение Б). В результате чего установлено, что на всех метеорологических станциях изменение температуры воздуха произошло в 1988 году, в качестве примера приведена

разностно-интегральная кривая, построенная по данным средних годовых температур приземного слоя атмосферы на метеостанции Янискоски (рисунок 2.6). По осадкам такой закономерности нет.

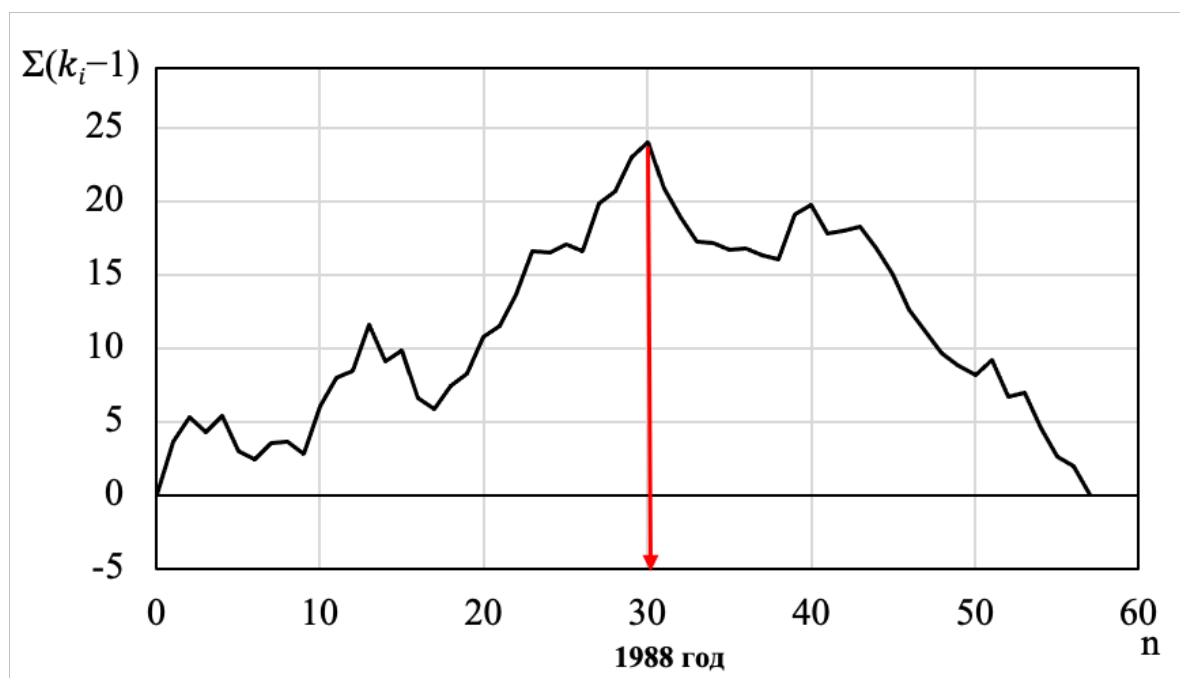


Рисунок 2.6 – Разностно-интегральная кривая по данным средних годовых температур приземного слоя атмосферы по данным метеостанции Янискоски.

В среднем на всех исследуемых метеорологических станциях средняя температура приземного слоя атмосферы за холодный период увеличилась на 2 °С после 1988 года (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Средние значения температуры воздуха и суммы осадков за холодный и теплый периоды и за год за периоды до 1988 года и после.

Индекс ВМО	Название метеостанции	Средняя многолетняя температура воздуха, t °С								
		за год			за холодный период			за теплый период		
		до 1988	после 1988	Δt , °С	до 1988	после 1988	Δt , °С	до 1988	после 1988	Δt , °С
22249	Каневка	-1,94	-0,88	1,06	-10,16	-8,88	1,27	6,24	7,12	0,88
22204	Ковдор	-1,26	0,44	1,70	-8,43	-6,30	2,12	8,78	9,68	0,90
22113	Мурманск	0,22	1,07	0,84	-6,95	-5,88	1,07	7,40	8,02	0,62
22101	Янискоски	-1,18	-0,12	1,06	-9,72	-8,20	1,51	7,35	7,97	0,62
27008	Бабаево	2,74	4,03	1,28	-7,63	-5,67	1,95	10,15	10,95	0,81
26479	Торонец	4,24	5,63	1,39	-5,57	-3,50	2,07	11,24	12,08	0,84

Индекс ВМО	Название метеостанции	Средняя многолетняя температура воздуха, t °C								
		за год			за холодный период			за теплый период		
		до 1988	после 1988	Δt , °C	до 1988	после 1988	Δt , °C	до 1988	после 1988	Δt , °C
26477	Великие Луки	4,72	6,18	1,45	-4,84	-2,72	2,12	11,54	12,53	1,00
26359	Пушкинские горы	4,89	6,23	1,35	-4,54	-2,49	2,05	11,62	12,47	0,85
22837	Вытегра	2,46	3,82	1,36	-6,10	-4,33	1,77	11,02	11,96	0,94
22802	Сортавала	3,03	4,30	1,26	-5,05	-3,30	1,75	11,11	11,89	0,77
22619	Паданы	1,44	2,76	1,32	-6,75	-5,23	1,52	9,54	10,75	1,21
22602	Реболы	1,22	2,36	1,14	-7,42	-5,76	1,66	9,84	10,49	0,65
22550	Архангельск	0,52	1,83	1,32	-8,38	-6,64	1,74	9,41	10,31	0,90
22854	Няндом	1,14	2,25	1,11	-7,64	-6,18	1,47	9,92	10,68	0,76
26094	Тихвин	3,33	4,66	1,33	-6,56	-4,65	1,91	10,38	11,31	0,92
26157	Гдов	4,74	5,98	1,24	-4,6	-2,55	2,05	11,41	12,07	0,66

Сравнительный анализ показывал, что на юге исследуемого района потепление более очевидно. Например, за период 1932–2019 гг. на метеостанции Пушкинские горы линейный тренд температуры воздуха за холодный период равен $+0,38$ °C/10 лет, в то время как на метеостанциях Мурманск и Архангельск за весь период наблюдений линейный тренд равен $+0,05$ °C/10 лет и $+0,1$ °C/10 лет, соответственно. При этом следует отметить, что на метеостанции Ковдор линейный тренд температуры воздуха за холодный период наибольший из всех метеостанций и равен $0,55$ °C/10 лет. Изменения температуры воздуха приземного слоя атмосферы за теплый период не столь значительно, как за холодный, и не превышает $+0,20$ °C/10 лет. Исключение составляет метеостанция Ковдор ($+0,27$ °C/10 лет), которая находится значительно выше остальных метеостанций на высоте 246 м БС над уровнем моря.

В результате анализа температуры воздуха за холодный период по 16 метеостанциям для выделенных районов выявлены положительные статистически значимые линейные тренды, которые составляют $+0,24$ °C/10 лет на Кольском полуострове (район 1), $+0,12$ °C/10 лет в Карелии (район 2) и $+0,18$ °C/10 лет на Северо-Западе (район 3). Среднее значение линейного тренда температуры воздуха за холодный период для всей исследуемой территории равно $+0,24$ °C/10 лет.

Установлено, что для рассматриваемого периода на всей территории преобладали положительные тенденции годовых осадков. Так, для Кольского полуострова (район 1) и северных территорий района 3 (Северо-Запад Русской равнины) линейный тренд годовых осадков за 1966—2018 годы в среднем составил 13 мм/10 лет, за холодный период 7 мм/10 лет, а за теплый период 4 мм/10 лет. Для района 2 (Карельский сегмент Балтийского кристаллического щита) линейный тренд годовых сумм осадков за этот же период наблюдений в среднем равен 22,7 мм/10 лет, за холодный период 13 мм/10 лет, а за теплый период 9 мм/10 лет. Для южных территорий района 3 линейный тренд годовых сумм осадков за этот же период наблюдений в среднем равен 21,6 мм/10 лет, за холодный период 12,5 мм/10 лет, а за теплый период 9 мм/10 лет.

Максимальный линейный тренд осадков за холодный период выявлен на метеостанции Тихвин, который равен +24,6 мм/10 лет (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Значения линейных трендов

Индекс ВМО	Название метеостанции	Температура воздуха			Осадки		
		за год, °C/10 лет	холодный период, °C/10 лет	теплый период, °C/10 лет	за год, мм/10 лет	холодный период, мм/10 лет	теплый период, мм/10 лет
22249	Каневка	0,20	0,22	0,19	7,30	3,4	4
22204	Ковдор	0,44	0,55	0,27	3,70	3,6	0,1
22113	Мурманск	0,06	0,05	0,07	15,70	8,5	7,2
22101	Янискоски	0,25	0,30	0,20	14,70	1,4	13,3
27008	Бабаево	0,18	0,29	0,11	11,00	11,4	-0,4
26479	Торопец	0,20	0,29	0,13	20,90	13,2	7,7
26477	Великие Луки	0,11	0,15	0,07	21,90	11,3	10,6
26359	Пушкинские горы	0,25	0,38	0,17	16,30	4,1	12,1
22837	Вытегра	0,11	0,13	0,08	19,50	12,9	6,3
22802	Сортавала	0,10	0,14	0,07	26,90	14,9	12
22619	Паданы	0,14	0,13	0,18	19,30	11,6	7,7
22602	Реболы	0,14	0,18	0,11	21,90	13,8	8,15
22550	Архангельск	0,07	0,10	0,04	18,80	8,5	0,04
22854	Няндом	0,17	0,22	0,12	19,90	16,8	3,09
26094	Тихвин	0,26	0,35	0,19	37,80	24,6	13,7
26157	Гдов	0,16	0,26	0,09	24,00	9,9	14

Индекс ВМО	Название метеостанции	Температура воздуха			Осадки		
		за год, °C/10 лет	холодный период, °C/10 лет	теплый период, °C/10 лет	за год, мм/10 лет	холодный период, мм/10 лет	теплый период, мм/10 лет
Максимум		0,44	0,55	0,27	37,8	24,6	14
Минимум		0,06	0,05	0,04	3,7	1,4	-0,4
Среднее		0,18	0,24	0,13	18,73	10,62	7,47

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что значение линейного тренда осадков за холодный период уменьшается с юга на север. Исключение составляет метеорологическая станция Ковдор, что объясняется её местоположением.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что за период инструментальных наблюдений на метеорологических станциях, расположенных на исследуемой территории, произошло изменение климата, характеризующееся повышением средней температуры за холодный период и, как следствие, средней годовой температуры воздуха. Величина потепления по территории неоднозначна и варьируется от 1,07 до 2,12 °C за холодный период; и от 0,84 до 1,70 °C за весь год. Наибольшие изменения температуры приповерхностного слоя атмосферы произошло в южных районах, к северу повышение температуры воздуха уменьшается, а в крайних северных регионах изменений температуры почти не произошло (за исключением м/с Ковдор). Наиболее интенсивное потепление отмечается в зимние месяцы, что сопровождается частым наступлением оттепелей при прохождении циклонов, сформировавшихся над Атлантикой. Усиление западного переноса и циклонической активности является причиной понижения атмосферного давления, особенно в холодный период года [103]. Значения линейных трендов в ходе температур за холодный период на всех метеостанциях превышают подобные значения за теплый период в среднем в 2 раза (исключение составляют м/с Каневка и м/с Паданы, на которых данные значения практически совпадают).

Анализ изменений количества атмосферных осадков в исследуемом районе показывает, что в целом наблюдается рост годовых сумм выпавших осадков. Изменение осадков за теплый период происходит неравномерно по территории.

Максимальное значение линейного тренда выявлено на метеостанции Гдов и равно 14 мм/10 лет. В результате анализа осадков за теплый период по 16 метеостанциям исследуемого района за период наблюдений выявлены положительные статистически значимые линейные тренды, составляющие от +0,1 мм/10 лет до +14 мм/10 лет. На метеостанции Бабаево выявлен единственный отрицательный линейный тренд, который равен минус 0,4 мм/10 лет.

Анализ месячных сумм осадков показал, что увеличение количества осадков наблюдается как в холодный период (ноябрь – апрель), так и в теплый период года (май – октябрь). Это, в свою очередь, приводит к увеличению снеготопливных запасов к моменту формирования основной волны половодья и к увеличению количества жидких осадков в период половодья. Таким образом, наличие трендов в рядах годовых сумм осадков связаны с естественно-природными колебаниями климата. Результаты оценки статистической значимости линейных трендов в рядах значений температур воздуха представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Оценка значимости трендов в рядах сумм осадков (при $2\alpha = 5\%$).

Индекс ВМО	Название метеостанции	Интервал	R	σ_R	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0: R=0$
22249	Каневка	Год	0,2	0,16	0,32	Неопровергается
		Холодный период	0,2	0,16	0,32	Неопровергается
		Теплый период	0,1	0,16	0,32	Неопровергается
22204	Ковдор	Год	0	0,14	0,28	Неопровергается
		Холодный период	0,17	0,14	0,28	Неопровергается
		Теплый период	0	0,14	0,28	Неопровергается
22113	Мурманск	Год	0,3	0,14	0,28	Опровергается
		Холодный период	0,35	0,14	0,28	Опровергается
		Теплый период	0,17	0,14	0,28	Неопровергается
22101	Янискоски	Год	0,3	0,14	0,28	Опровергается
		Холодный период	0	0,15	0,30	Неопровергается
		Теплый период	0,3	0,14	0,28	Опровергается
27008	Бабаево	Год	0,22	0,13	0,26	Неопровергается
		Холодный период	0,51	0,12	0,24	Опровергается
		Теплый период	0	0,13	0,26	Неопровергается
26479	Торопец	Год	0,32	0,13	0,26	Опровергается
		Холодный период	0,47	0,12	0,24	Опровергается

Ин-декс ВМО	Название метеостанции	Интервал	R	σ_R	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0: R=0$
		Теплый период	0,14	0,13	0,26	Неопровергается
26477	Великие Луки	Год	0,45	0,11	0,22	Опровергается
		Холодный период	0,56	0,1	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,26	0,11	0,22	Опровергается
26359	Пушкинские горы	Год	0,24	0,13	0,26	Неопровергается
		Холодный период	0,17	0,13	0,26	Неопровергается
		Теплый период	0,2	0,13	0,26	Неопровергается
22837	Вытегра	Год	0,41	0,1	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,54	0,1	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,17	0,11	0,22	Неопровергается
26094	Тихвин	Год	0,61	0,09	0,18	Опровергается
		Холодный период	0,73	0,08	0,16	Опровергается
		Теплый период	0,32	0,11	0,22	Опровергается
26157	Гдов	Год	0,37	0,13	0,26	Опровергается
		Холодный период	0,45	0,12	0,24	Опровергается
		Теплый период	0,23	0,13	0,26	Неопровергается
22550	Архангельск	Год	0,45	0,1	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,48	0,1	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,18	0,11	0,22	Неопровергается
22854	Няндомы	Год	0,35	0,13	0,26	Опровергается
		Холодный период	0,54	0,11	0,22	Опровергается
		Теплый период	0,07	0,13	0,26	Неопровергается
22602	Реболы	Год	0,44	0,11	0,22	Опровергается
		Холодный период	0,59	0,1	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,22	0,047	0,09	Неопровергается
22802	Сортавала	Год	0,51	0,1	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,56	0,1	0,20	Опровергается
		Теплый период	0,28	0,12	0,24	Опровергается
22619	Паданы	Год	0,46	0,1	0,20	Опровергается
		Холодный период	0,66	0,09	0,18	Опровергается
		Теплый период	0,22	0,11	0,22	Опровергается

Установлено, что для рассматриваемого периода на всей территории преобладали положительные тенденции годовых осадков. Так, для Кольского полуострова (район I) и северных территорий района III линейный тренд годовых осадков за 1966-2018 годы в среднем составил 13 мм/10 лет, за холодный период 7 мм/10 лет, а за теплый период 4 мм/10 лет. Для района II (Карельский сегмент

Балтийского кристаллического щита) линейный тренд годовых сумм осадков за этот же период наблюдений в среднем равен 22,7 мм/ 10 лет, за холодный период 13 мм/10 лет, а за теплый период 9 мм/10 лет. Для южных территорий района III линейный тренд годовых сумм осадков за этот же период наблюдений в среднем равен 21,6 мм/ 10 лет, за холодный период 12,5 мм/10 лет, а за теплый период 9 мм/10 лет.

Все эти изменения сказываются на состоянии окружающей среды. Общность в характере многолетнего хода годовых сумм осадков и температуры воздуха на всей исследуемой территории как основного климатического фактора водного режима озер служит основанием к тому, чтобы при сравнительном анализе режима уровней озер климатическое влияние принять однородным.

При этом следует отметить, что глобальные изменения климата проявлялись на водосборах исследуемых водоемов по-разному. Общее для всей рассматриваемой территории – наличие положительного тренда среднегодовой температуры воздуха в приземном слое атмосферы за весь рассматриваемый период, а также наличие положительного тренда сумм осадков за холодный период и, как следствие, за весь год. При этом изменчивость климатических характеристик на водосборах рассматриваемых озер значительно различается: эти изменения не являются когерентными, что обусловлено региональными особенностями.

Следует отметить, что для исследуемой территории отмечается период так называемого «замедления» потепления в последние декады, который характерен и в глобальном масштабе [101, 108, 109].

2.3 Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны 44 озера, расположенные на территориях Карелии, Ленинградской, Новгородской, Архангельской, Псковской областей, Кольского полуострова (рисунок 2.7). Выбор водоемов обусловлен наличием наиболее продолжительных рядов гидрометрических наблюдений.

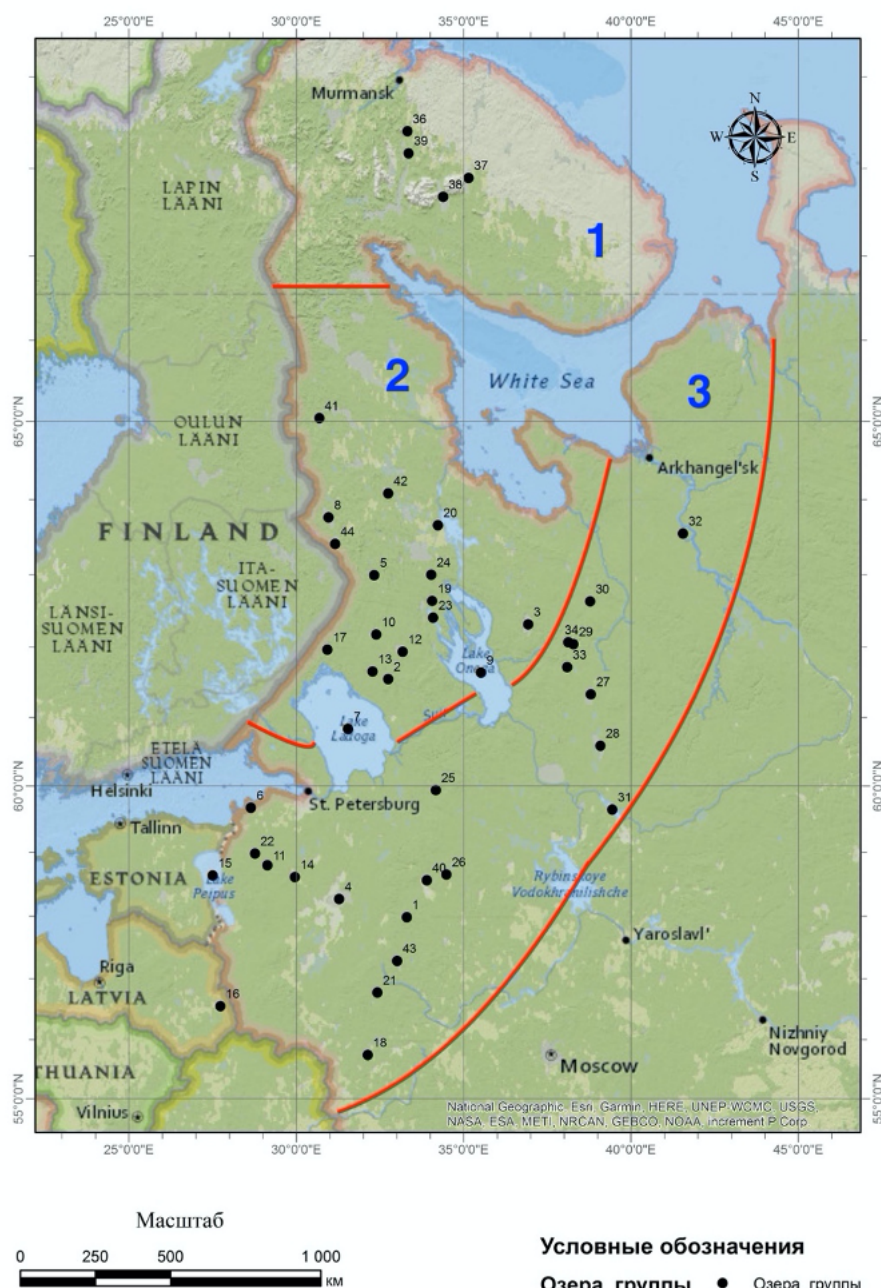


Рисунок 2.7 – Схема расположения исследуемых озер, согласно таблице 2.6

В таблице 6 приведен перечень исследуемых водных объектов, с указанием периода наблюдений за их уровнем режимом и основными сведениями об озерах.

Таблица 2.6 – Основные сведения об исследуемых озерах

№ карте	Код поста	Озеро – Пост	Период наблюдений	Площадь зеркала, км ²	Площадь водосбора, км ²	Удельный водосбор	Средняя многолетняя амплитуда, см
1	3901578	Валдайское – г. Валдай	1936–2014	19,7	97,2	4,93	34
2	3900692	Ведлозеро* – д. Ведлозеро	1936–2017	57,9	619	10,69	66
3	3901117	Водлозеро* – д. Кугонаволоок	1941–2021	367	5280	14,39	188
4	3900136	Ильмень – д. Войцы	1936–2017	1110	67200	60,54	355
5	48959	Гимольское – д. Гимолы	1950–1986	80,5	2665	33,11	111
6	72961	Глубокое – д. Корвятино	1948–1986	4,2	30,8	7,33	47
7	3900049	Ладожское – о. Ваалаам	1859–2021	17700	276000	15,59	79
8	3900554	Лексозеро – с. Реболы	1948–2021	166	3450	20,78	102
9	3900712	Онежское – г. Петрозаводск	1883–2021	9690	62800	6,48	66
10	3900948	Суоярви – г. Суоярви	1948–2021	77	2140	27,79	97
11	3901318	Сяберо – д. Сяберо	1936–2021	14,2	48	3,38	28
12	3900972	Сямозеро – д. Угмойла	1937–2021	266	1580	5,94	48
13	3902429	Тулмозеро – д. Палалахта	1948–2021	14,5	829	57,17	176
14	72963	Черемнецкое – д. Наволок	1938–2000	15	496	33,07	101
15	3901606	Чудское – с. Раскопель	1936–2021	3512	47800	13,61	100
16	72971	Лиелайс-Лудзас	19461980	8,464	609	71,95	77
17	72932	Янисъярви – ст. Янисъярви	1948–1986	174,9	3660	20,93	153
18	3901369	Щучье – с. Щучье	1981–2021	11,9	298	25,04	111
19	48972	Лижмозеро – д. Кяппсельга	1946–1994	84,8	620	7,31	61
20	48960	Линдозеро – д. Линдозеро	1936–1986	6,3	1120	177,78	114
21	3901393	Охват – д. Бдынь	1981–2021	13,6	586	43,09	166
22		Самро – д. Усадище	1936–1975	40,4	86,6	2,14	38
23	48970	Сандал* – д. Сопоха	1946–2021	185	6620	35,78	141
24	48973	Остречье – д. Остречье	1973–2013	2,7	8,9	3,30	33
25	3900101	Шугозеро – д. Ульяница	1969–2021	5,9	98	16,61	102

№ карте	Код поста	Озеро – Пост	Период наблюдений	Площадь зеркала, км ²	Площадь водосбора, км ²	Удельный водосбор	Средняя многолетняя амплитуда, см
26	3901263	Коробож – д. Устрека	1944–2021	6,46	1030	159,44	160
27	3800026	Лача – с. Нокола	1926–2021	351	12600	35,90	149
28	70903	Воже – устье р. Тордокс	1933–1993	422	6260	14,83	154
29	70906	Кен-озеро – д. Ряпусово	1932–1995	68,6	5450	79,45	214
30	70907	Унд-озеро – д. Гороховая	1938–1990	44,7	709	15,86	118
31	3800164	Кубенское – д. Коробово	1931–2016	166	14700	88,55	374
32	70924	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	1966–1996	2	211	105,50	109
33	3800113	Лекшм-озеро – д. Орлово	1965–2021	54,4	197	3,62	35
34	3800487	Долгое – с. Вершинино	1996–2021	13,2	4630	350,76	212
35	3100048	оз. Куэтс-Ярви – пгт Никель	1949–2021	17	672	39,53	95
36	3100222	оз. Пул-озеро – ст. Пулозеро	1931–2021	8,62	1130	131,09	110
37	3100336	оз. Ловозеро – с. Ловозеро	1934–2021	223	3770	16,91	88
38	3100431	оз. Умб-озеро – исток реки Умба	1931–2021	313	2380	7,60	72
39	3100754	оз. Пермус-озеро – г. Оленегорск	1934–2021	24,4	503	20,61	73
40	3901271	Пелено – д. Спасское	1962–2021	3,83	28,3	7,39	43
41	3900329	Верхнее Куйто – с. Вокनावолок	1952–2021	240	7390	30,79	126
42	3900538	Ругозеро – с. Ругозеро	1945–2021	10,7	69,7	6,51	41
43	3901464	Селигер – г. Осташков	1902–2017	182	2560	14,07	88
44	3900609	Лендерское – пос. Лендеры	1975–2021	9,9	4680	472,73	100

* – водохранилища

Сведения об уровнях воды в озерах были получены из баз данных «Основные гидрологические характеристики озер ЕТР» (Государственный гидрологический институт) и «Озера мира *WORLD LAKE*» [52, 89, 129]. Так же были собраны материалы из гидрологических ежегодников [16]. Следует отметить, что исходные

данные о состоянии озер отличаются неточным и неполным характером. В последнее время эта ситуация осложняется в связи с сокращением сети наблюдений.

В исследовании использовались данные наблюдений гидрологических постов за уровенным режимом (ряды средних годовых, максимальных, минимальных уровней воды). Также рассчитывались амплитуды колебаний уровня воды в озере за каждый год. Для того, чтобы понять причины наличия трендов в рядах средних годовых уровней воды изучались данные по максимальным и минимальным уровням [16].

Из числа известных морфометрических показателей озер для анализа режима уровней воды в них в настоящем исследовании были использованы следующие параметры:

- а) площадь зеркала (Ω), км²;
- б) площадь водосбора (A), км²;
- в) сведения о глубинах – максимальной (h_{max}), средней ($\bar{h}$).

Так же учитывалось местоположение озёр.

Первые два параметра характеризуют суммарную аккумулирующую способность озер прибрежной, затопляемой части котловины (в пределах абсолютной амплитуды колебаний уровня воды). Сведения о глубинах озер служат косвенным показателем их подземного питания, или глубинного регулирования поверхностного стока, происходящего за счет разгрузки напорных подземных вод в озерные котловины.

Для всех рядов наблюдений был проведен генетический анализ, который заключается в изучении структуры многолетних колебаний уровня воды и выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных гидрологических наблюдений. В качестве основных приемов, позволяющих выявить возможную неоднородность характеристик рядов уровней воды до применения статистических методов к ним являются:

- а) построение хронологических графиков основных характеристик стока;
- б) построение разностных и суммарных интегральных кривых;

Указанные приемы позволяют проанализировать структуру многолетних колебаний уровней воды и определить изменение средних значений и изменчивости ряда во времени для дальнейшего анализа с применением статистических методов.

Озёра – водоемы замедленного водообмена, которые также являются интегральным показателем изменения климата [39]. То есть они реагируют на любые изменения на водосборе. Что в свою очередь ведет к появлению трендов. Тренды могут носить климатический и антропогенный характер. Прежде чем приступить к основным расчетам было выявлено наличие значимых трендов в рядах уровней воды, а также определен их характер.

Гидрологический ряд считается однородным, если в течение всего рассматриваемого периода условия формирования уровня режима оставались неизменными. Антропогенное воздействие и природные катаклизмы могут привести к изменению условий формирования и нарушить однородность ряда.

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R). Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|R| < t_{2\alpha} \sigma_R, \quad (2.1)$$

где $t_{2\alpha}$ – теоретическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$;

σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \frac{(1 - R^2)}{\sqrt{n - 1}} \quad (2.2)$$

При этом следует учитывать тот факт, что озёра – это водные объекты с замедленным водообменом, которые обладают высокой инерционностью. Формирование серий высокого и низкого стояния уровня воды, их продолжительности

определяется способностью озер накапливать воду, что приводит к образованию внутрирядной связанности рядов уровня воды. Мерой такой связанности можно считать первый коэффициент автокорреляции ($r(1)$), который также отражает инерционность процесса колебаний. Чем выше $r(1)$, тем больше предшествующих значений стояния уровня ($H_{t-1}, H_{t-2}, \dots$) участвует в формировании H_t , тем продолжительнее серии, тем длиннее циклы [51, 85].

Чем длиннее серии, тем более сглаженным становится ряд уровней, тем четче проявляются низкочастотные колебания, тем вероятнее появление тренда - направления тенденции колебаний, представляющего собой ветви подъема или спада циклов более высоких порядков. Следовательно опровержение теории об однородности или стационарности ряда уровней воды, не всегда свидетельствует о фактическом нарушении уровня режима.

Для определения критического значения статистики Стьюдента с учетом автокорреляции использовалась формула:

$$t'_{2\alpha} = C_t t_{2\alpha}, \quad (2.3)$$

где $t'_{2\alpha}$ – критическое значение статистики Стьюдента с учетом автокорреляции;

$t_{2\alpha}$ – критическое значение статистики Стьюдента без учета автокорреляции;

C_t – переходный коэффициент, определяемый по таблице 7.1 [91].

Анализ стационарности выполнен с помощью критериев Стьюдента и Фишера, основанных на оценке однородности средних и дисперсий сравниваемых отрезков исследуемых рядов.

Критерий Фишера позволяет оценить однородность ряда по дисперсии. Исходный ряд делится на две части, затем оцениваются дисперсии для каждой из частей ряда и вычисляется эмпирическое значение статистики Фишера по формуле:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*}, \quad (2.4)$$

где D_1^* и D_2^* – дисперсии по первой и второй частям анализируемого ряда, при этом

в качестве первой дисперсии обычно рассматривают ту, которая больше ($D_1^* > D_2^*$).

Критическое значение статистики Фишера определялось по таблицам, опубликованным в [61], в зависимости от числа степеней свободы $\nu_1 = n_1 - 1$, $\nu_2 = n_2 - 1$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ (n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда). Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялось условие:

$$F^* < F_{2\alpha}, \quad (2.5)$$

Критерий Стьюдента позволяет оценить однородность ряда по среднему значению.

Исходный ряд делится на две части (две выборки). Если дата возможного нарушения стока не известна, то ряд делится пополам. При этом предполагается, что если условия формирования стока не изменились, то разница двух выборочных средних должна быть незначимой. Эмпирическое значение статистики Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (2.6)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние значения по первой и второй частям анализируемого ряда;

n_1 и n_2 – длины выборок из нормальных распределений;

S – среднеквадратическое отклонение разности ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2$), определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}, \quad (2.7)$$

где σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда.

Критическое значение статистики Стьюдента определялось по таблицам, опубликованным в [61], в зависимости от числа степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha}, \quad (2.8)$$

Для выявления дат нарушения уровня режима были построены разностно-интегральные кривые. Способ вычисления разностной интегральной кривой заключается в том, что сначала для выбранного ряда наблюдений выполняется вычисление модульных коэффициентов $K = \frac{M_i}{M_{cp}}$, затем определяются их отклонения от середины ($K-1$), после чего производится построение интегральной кривой путем последовательного суммирования этих отклонений по выражению $\sum_1^i (K-1) = f(t)$. Таким образом, разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднеемноголетнего значения ряда на конец каждого M_i года.

Положительные значения отклонений модульных коэффициентов при суммировании за интервал времени дают наклон разностной интегральной кривой вверх относительно горизонтальной линии, а отрицательные их значения – наклон кривой вниз. Первый участок кривой обычно относят к многоводной фазе цикла, а второй – к маловодной.

3 ОСОБЕННОСТИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Основное внимание в решении сформулированной проблемы связано с уровнем режимом озер, как интегральным показателем состояния изменчивости их водного баланса. Водообмен зависит от изменения объема озера, который в свою очередь зависит от амплитуды колебания уровня водоема. Изменчивость составляющих водного баланса, как в годовом, так и в многолетнем разрезе является главной причиной колебаний уровня воды водоемов. Однако часто в одних и тех же климатических условиях уровеньный режим разных озер неодинаков, а ряды уровней имеют различную структуру. Наряду с климатическими особенностями и формами котловин на величину амплитуды влияют размеры удельных водосборов, наличие в бассейнах других озер и некоторых видов хозяйственной деятельности.

Имеющиеся исследования [34, 38, 64, 69, 116] показывают, что ряды уровней озер по своей структуре часто существенно отличаются от рядов большинства других гидрометеорологических элементов, входящих в уравнение водного баланса озер, и прежде всего более высокой внутрирядной связанностью, отражающей инерционность колебаний уровней. В данной работе уровеньный режим рассматривается как вероятностный полициклический процесс.

В связи с тенденцией потепления климата, наблюдающейся в последние десятилетия XX века, разработан ряд рекомендаций для оценки рядов гидрологической информации с нарушенной стационарностью (однородностью) в результате влияния климатических факторов [61–63, 97], которые использовались в данной работе. Согласно п. 4.6 СП 529.1325800.2023 [97] определение расчетных характеристик следует производить по однородным рядам наблюдений. Оценка однородности рядов гидрологических наблюдений осуществлялась на основе генетического и статистического анализов исходных данных.

В результате генетического анализа условий формирования уровеньного режима, который заключается в выявлении физических причин, обуславливающих

неоднородность рядов, установлено, что на 6 рассматриваемых озерах (оз. Ведлозеро, оз. Водлозеро, оз. Тулмозеро, оз. Суоярви, оз. Сандал, оз. Кубенское) ряды данных наблюдений являются неоднородными в результате влияния хозяйственной деятельности человека. Для изучения структуры естественных колебаний уровней воды исследуемых водоемов был проведен предварительный анализ степени антропогенного воздействия на озера, в первую очередь строительство плотин, дамб и т.п., изменяющих уровенный режим озер. Согласно работе [133], в результате анализа многолетних рядов уровня озер выявлено, влияние гидротехнических сооружений на многолетний ход среднегодовых уровней таких крупных озер как Ловозеро, Ильмень, Кубенское не существенно. Тогда как уровень Онежского озера после постройки ГЭС заметно поднялся, и дальнейшие многолетние колебания среднегодовых значений уровня происходят на новом уровне [133].

Так на озерах Ведлозеро и Водлозеро произошло нарушение уровенного режима, которое носит антропогенный характер. Озеро Ведлозеро зарегулировано плотиной в истоке р. Видлица с 1937 года, но, следует отметить, что с 1971 г. плотина не функционирует. Озеро Тулмозеро с 1928 года до начала 1970-х годов являлось частью Тулмозерского водохранилища сезонного регулирования на р. Тулема для обеспечения лесосплава. В настоящее время находится в естественном режиме. Озеро Суоярви с 1951 по 1970 г. находилось в подпоре от плотины в истоке р. Шуя для обеспечения лесосплава. Кроме того, до 1981 г. на водный и уровенный режим озера оказывало влияние плотина на основном притоке в озеро – протоке из оз. Салонярви. В настоящее время обе плотины не функционируют. Озеро Сандал в настоящее время представляет собой энергетическое водохранилище Кондопожской ГЭС. В результате строительства двух дамб в 1928 году и 1936 году уровень воды Сандальского водохранилища был поднят на 1,5 – 2 м, а естественный водоток изменён. Озеро Кубенское является водохранилищем сезонного регулирования, т.к. в истоке р. Сухона в конце 19 века сооружена регулирующая плотина с судоходным шлюзом «Знаменитый». Плотина регулирует сток и поддерживает уровень озера до начала зимы. Сезонное регулирование уровня практически не влияет на среднегодовой уровень оз. Кубенское [73].

Поэтому, чтобы выполнить условия однородности для дальнейших расчетов, на данных озерах использовались ряды данных наблюдений за период после даты нарушения естественного уровня режима.

3.1 Средние годовые уровни воды

Для оценки многолетней изменчивости средних годовых уровней воды на исследуемых озерах анализировались данные о средних годовых значениях уровней воды $H_{\text{ср}}$. Результаты расчета линейных трендов в рядах средних годовых уровней воды в целом за весь период наблюдений показали, что на большинстве озер прослеживается тенденция к повышению уровней воды. На 12 озерах были выявлены статистически значимые при 5 % уровне значимости линейные тренды, при этом 4 из них имеют тенденцию на понижение. Результаты оценки значимости трендов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах средних годовых уровней воды в озерах

№	Озеро-пост	R	$t_{2\alpha}^* C_t$	$t_{2\alpha}^* C_t^* \sigma R$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
1	Валдайское – г. Валдай	0,12	2,20	0,33	Не опровергается	+
2	Ведлозеро – д. Ведлозеро	0,17	2,30	0,34	Не опровергается	-
3	Водлозеро – д. Кугонаволоок	0,25	2,08	0,31	Не опровергается	+
4	Ильмень – д. Войцы	0,00	1,99	0,24	Не опровергается	+
5	Гимольское – д. Гимолы	0,15	2,27	0,38	Не опровергается	-
6	Глубокое – д. Корвителино	0,46	3,30	0,48	Не опровергается	+
7	Ладожское – о. Валаам	0,39	2,94	0,22	Опровергается	-
8	Лексозеро – с. Реболы	0,28	2,58	0,31	Не опровергается	+
9	Онежское – г. Петрозаводск	0,27	2,54	0,31	Не опровергается	+
10	Суоярви – г. Суоярви	0,42	3,07	0,34	Опровергается	-
11	Сяберо – д. Сяберо	0,17	2,27	0,24	Не опровергается	+
12	Сямозеро – д. Угмойла	0,18	2,31	0,27	Не опровергается	+
13	Тулмозеро – д. Палалахта	0,46	3,25	0,35	Опровергается	-
14	Черемнецкое – д. Наволок	0,10	2,14	0,28	Не опровергается	-
15	Чудское	0,06	2,07	0,23	Не опровергается	-
16	Лиелайс-Лудза	0,71	2,11	0,36	Опровергается	+
17	Янисъярви	0,40	3,06	0,46	Не опровергается	+
18	Щучье – с. Щучье	0,67	4,62	0,39	Опровергается	+
19	Лижмозеро – д. Кяппсельга	0,40	3,04	0,41	Не опровергается	+
20	Линдозеро – д. Линдозеро	0,03	2,06	0,31	Не опровергается	+

№	Озеро-пост	R	$t_{2\alpha}^* C_t$	$t_{2\alpha}^* C_t^* \sigma R$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
21	Охват – д. Бдынъ	0,00	1,99	0,22	Не опровергается	+
22	Самро – д. Усадище	0,14	2,26	0,39	Не опровергается	-
23	Сандап – д. Сопоха	0,16	2,26	0,28	Не опровергается	+
24	Остречье – д. Остречье	0,82	2,03	0,19	Опровергается	+
25	Шугозеро – д. Ульяница	0,48	3,39	0,45	Опровергается	-
26	Коробожа – д. Устрека	0,74	2,00	0,17	Опровергается	+
27	Лача – с. Нокола	0,04	2,03	0,22	Не опровергается	+
28	Воже – устье р. Тордокс	0,12	2,18	0,28	Не опровергается	+
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	0,13	2,20	0,29	Не опровергается	+
30	Унд-озеро – д. Гороховая	0,29	2,63	0,36	Не опровергается	+
31	Кубенское -д. Коробово	0,06	2,07	0,22	Не опровергается	+
32	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	0,46	3,33	0,55	Не опровергается	+
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	0,11	2,17	0,32	Не опровергается	+
34	Долгое – с. Вершинино	0,02	2,04	0,33	Не опровергается	+
35	оз. Куэтс-Ярви - пгт Никель	0,54	3,67	0,38	Опровергается	+
36	оз. Пул-озеро - ст. Пулозеро	0,01	1,99	0,22	Не опровергается	+
37	оз. Ловозеро - с. Ловозеро	0,28	2,57	0,29	Не опровергается	+
38	оз. Умб-озеро – исток реки Умба	0,28	2,57	0,30	Не опровергается	+
39	оз. Пермус-озеро - г. Оленегорск	0,51	3,49	0,36	Опровергается	+
40	Пелено - д. Спасское	0,41	3,05	0,39	Опровергается	-
41	Верхнее Куйто – с. Вокнаволоок	0,25	2,49	0,31	Не опровергается	+
42	Ругозеро - с. Ругозеро	0,77	2,00	0,16	Опровергается	+
43	Селигер - г. Осташков	0,20	2,34	0,22	Не опровергается	+
44	Лендерское – пос. Лендеры	0,07	2,12	0,33	Не опровергается	+

Заметные изменения водности, обусловленные влиянием климатических факторов, в бассейнах большинства озер произошли, начиная с конца 1970-х годов. Наиболее значительные изменения отмечены в режиме уровня озер 2 района (Карельский сегмент Балтийского кристаллического щита).

Кольский полуостров (район I)

Совместный анализ данных инструментальных наблюдений за температурой воздуха приземного слоя, осадков и уровнями озер свидетельствует о доминирующем влиянии климатических факторов на изменения режима средних годовых уровней воды. Так, большая часть рядов средних годовых уровней воды в озерах являются неоднородными по среднему значению или по дисперсии. При этом реакция гидрологического режима уровней воды озер на изменения климата в районе

исследуемых водоемов различалась в зависимости от региональных особенностей, площади и характера водосбора, влияния антропогенных факторов.

В результате вероятностного анализа в рядах уровней воды по данным наблюдений на озерах Пермус-озеро, Куэтс-Ярви, Умб-озеро и Ловозеро были выявлены статистически значимые положительные тренды. На рисунке 3.1 приведен хронологический график хода уровней озера Пермус-озеро.

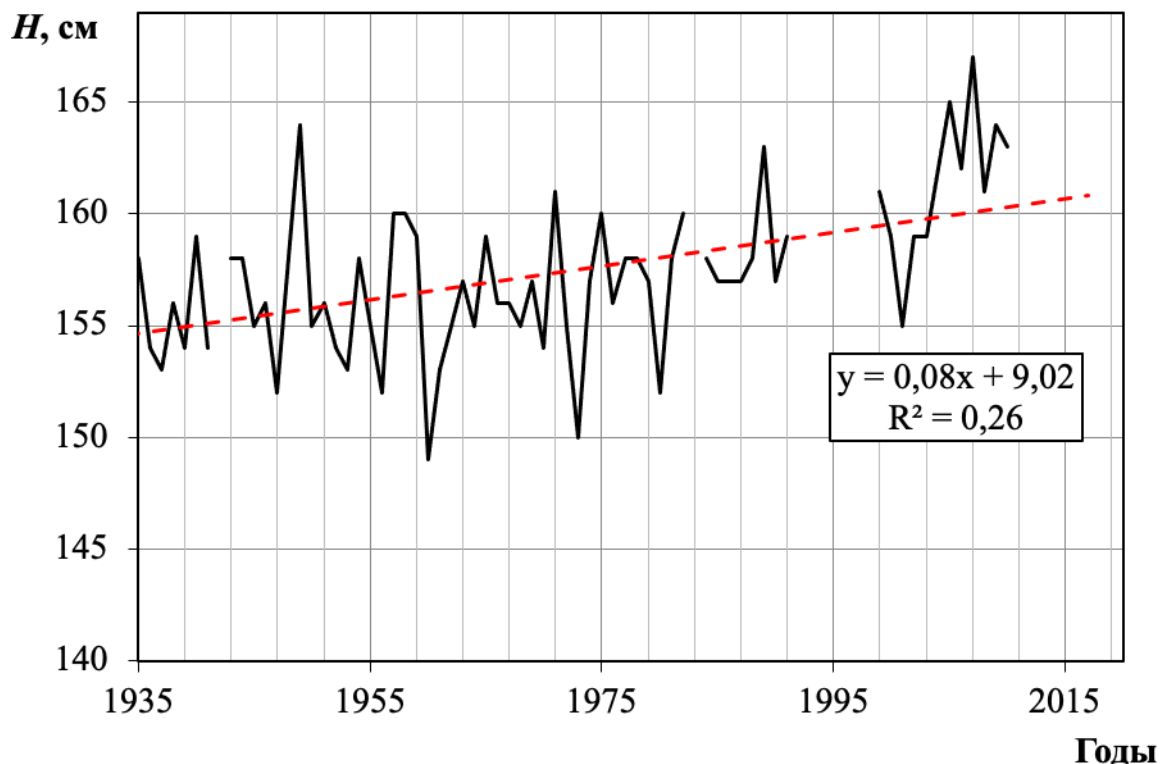


Рисунок 3.1 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Пермус-озеро.

Наибольшая скорость изменений выявлена на озере Куэтс-Ярви и составляет около 3 см за 10 лет. На остальных озерах средняя скорость увеличения средних годовых уровней воды составляет около 1 см за 10 лет. Это связано с повышением минимальных уровней воды (глава 3.2), которое, в свою очередь, зависит от климатических факторов – увеличением средней годовой температуры воздуха на ряде метеостанциях исследуемого района, а также с увеличением годовых сумм осадков.

Карелия (район II)

Многолетние колебания уровней озер Карелии достаточно синхронны.

На ряде озер, расположенных на территории Карелии и Ленинградской области установлены статистически значимые тренды на повышение средних годовых уровней воды (озера Ругозеро, Верхнее Куйто, Остречье, Лексозеро, Янисъярви, Лижмозеро). Выявленная тенденция к увеличению средних многолетних уровней происходит в среднем со скоростью около 6 см за 10 лет. Максимальные скорости изменений отмечены на озерах Янисъярви и Остречье и составляют 11 см за 10 лет.

Для озера Ругозеро, которое является озерной частью Иовского водохранилища, с 1961 года характерно увеличение значение средних годовых уровней озер в современный период.

На рисунке 3.2 в качестве примера приведен хронологический график средних годовых уровней озера Лижмозеро, на котором показаны изменения характеристик уровня режима.

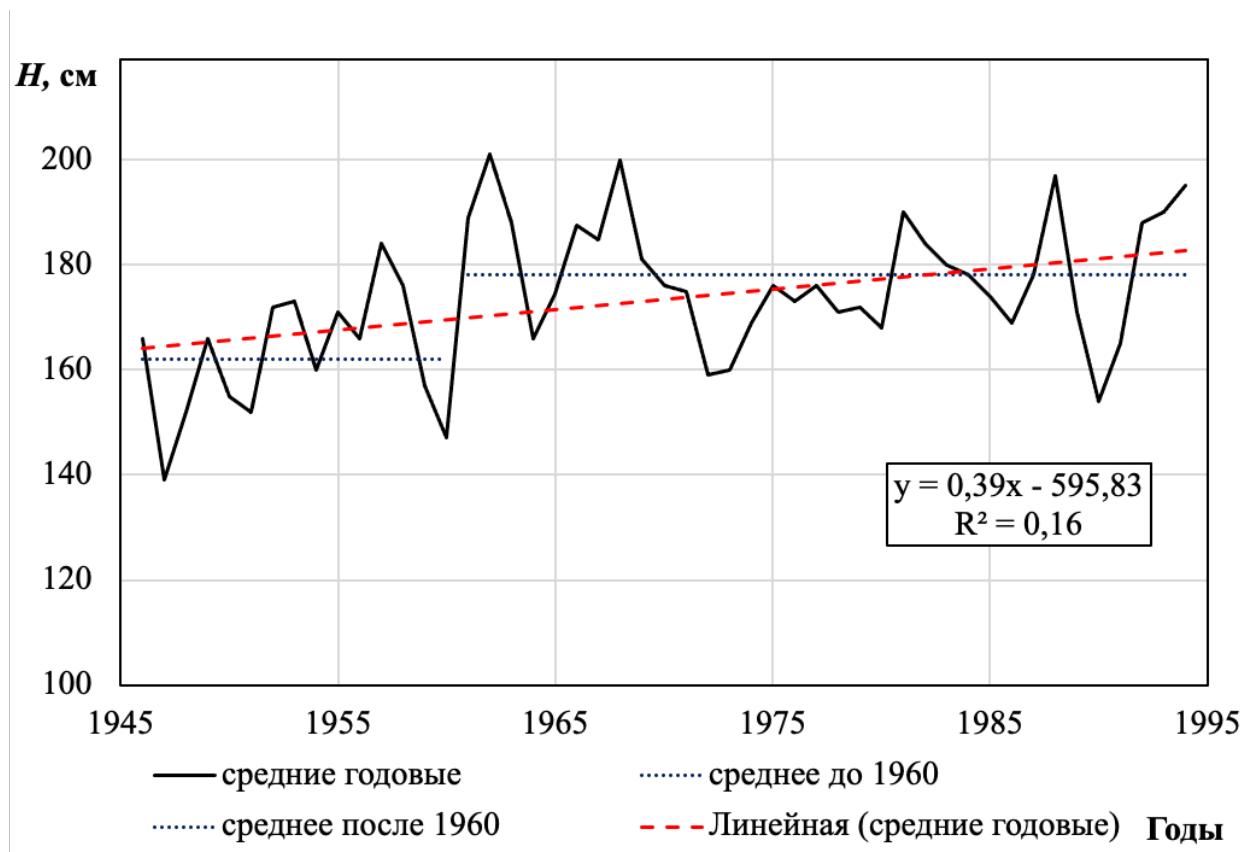


Рисунок 3.2 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Лижмозеро.

Сравнительный анализ характеристик уровня озера Лижмозеро за периоды с 1946 по 1960 и с 1961 по 1994 показал рост среднегодового уровня на 16 см.

На озерах Суоярви и Тулмозеро выявлены статистически значимые отрицательные тренды.

На озерах Ведлозеро и Водлозеро произошло нарушение уровня режима, которое носит антропогенных характер (рисунок 3.3).

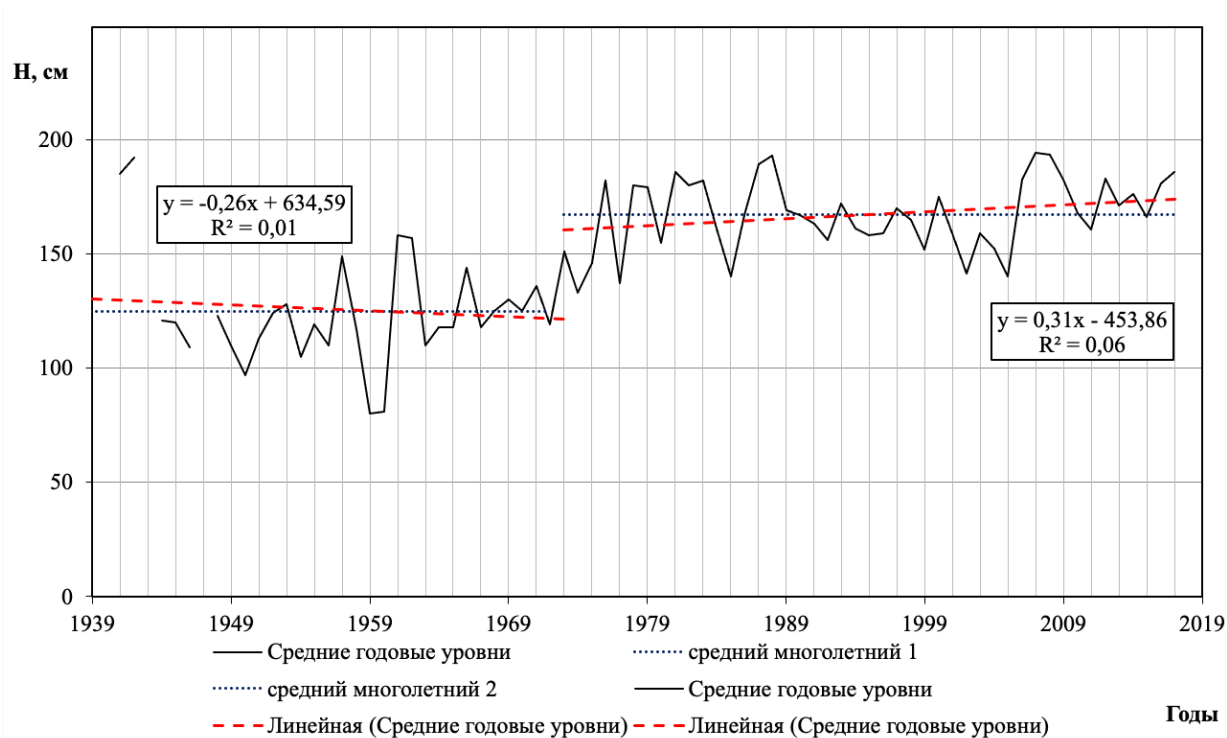


Рисунок 3.3 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Водлозеро.

На озере Водлозеро в 1973 году произошло резкое увеличение уровней воды. Среднее многолетнее значение за период с 1973 по 2017 г. составило 208 см, что превышает такую же характеристику за период с 1940 по 1972 г. на 83 см. На озере Ведлозеро изменения произошли также в 1972 году, в связи с чем значение среднего многолетнего уровня воды уменьшилось на 27 см.

На озерах Гимольское, Линдозеро, Сямозеро, Лендерское статистически значимые тренды отсутствуют (приложение В).

Северо-Запад (район III)

Анализ данных показал, что колебания средних годовых уровней воды на исследуемых озерах различны по интенсивности изменений и направленности линейных трендов. Для большинства озер отмечено незначительное увеличение годовых уровней воды, а для озер Пелено, Шугозеро, Черемнецкое и Самро их уменьшение.

На двух озерах выделенного района (Пелено и Шугозеро) выявлены статистически значимые линейные тренды на понижение уровней воды. На озерах Коробож, Щучье, Сяберо, Глубокое, Долгое, Большое Михайловское выражены статистически значимые линейные тренды на повышение. Скорость изменений составила в среднем 3 см за 10 лет. Наиболее значительные тренды на повышение уровня воды выявлены на озерах Коробож и Щучье.

На рисунке 3.4 в качестве примера приведен Хронологический график средних годовых уровней воды озера Щучье.

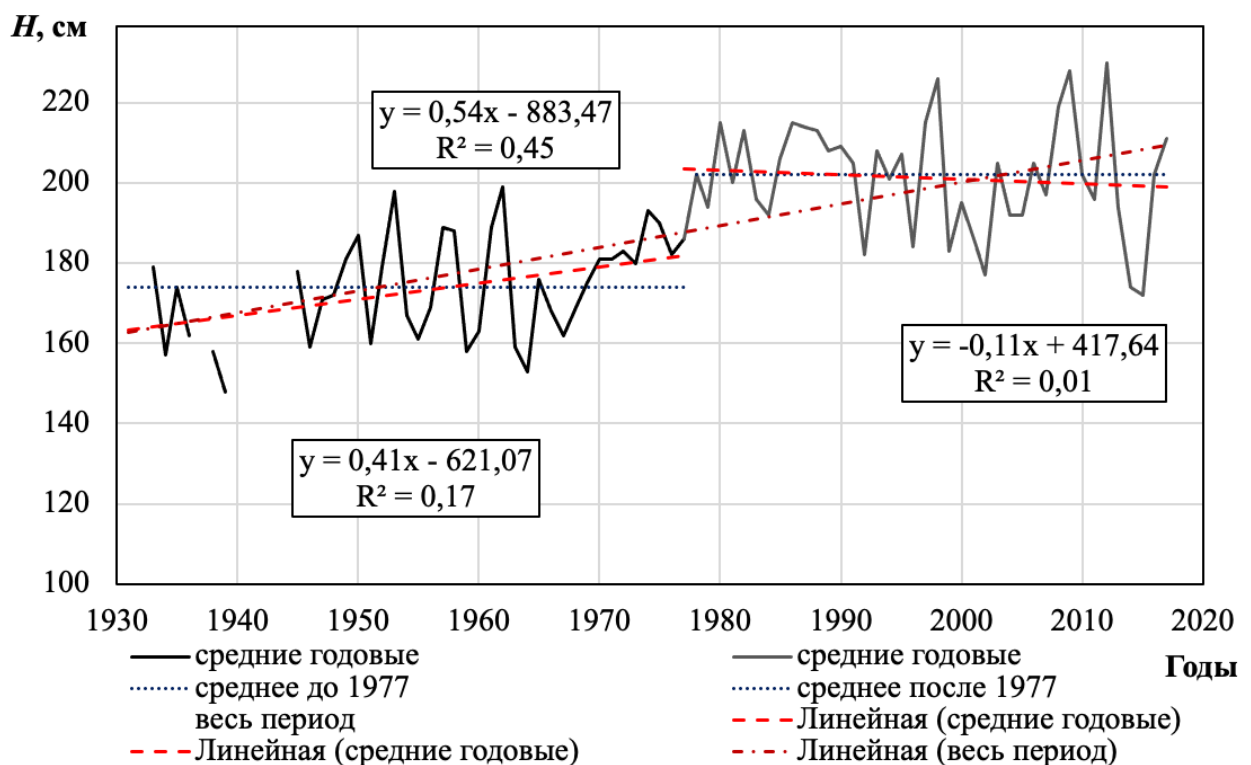


Рисунок 3.4 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Щучье.

На полученном графике видно изменение уровня режима озера в 1977 году. Средний многолетний уровень за период после изменений увеличился на 28 см по сравнению с предыдущим периодом. Такие же изменения были выявлены и на озере Коробожа (рисунок 26, приложение В), на котором значения среднего многолетнего уровня воды за период с 1942 по 1984 год составила 170 см, а за период с 1985 по 2017 год – уже 194 см, что на 24 см больше, чем за предыдущий период.

Ряд наблюдений на озере Лиелайс-Лудзас неоднороден из-за проведения дноуглубительных работ на реке Лжа в период 1952–1954, 1957–1958 гг., а также из-за различных режимов работы шлюзов, регулирующих сток из озера. Уровень воды в озере в разные периоды искусственно повышался для обеспечения работы мельниц, ГЭС и для затопления мелководных прибрежных зон. Период с 1963 года принят условно однородным (рисунок 3.5).

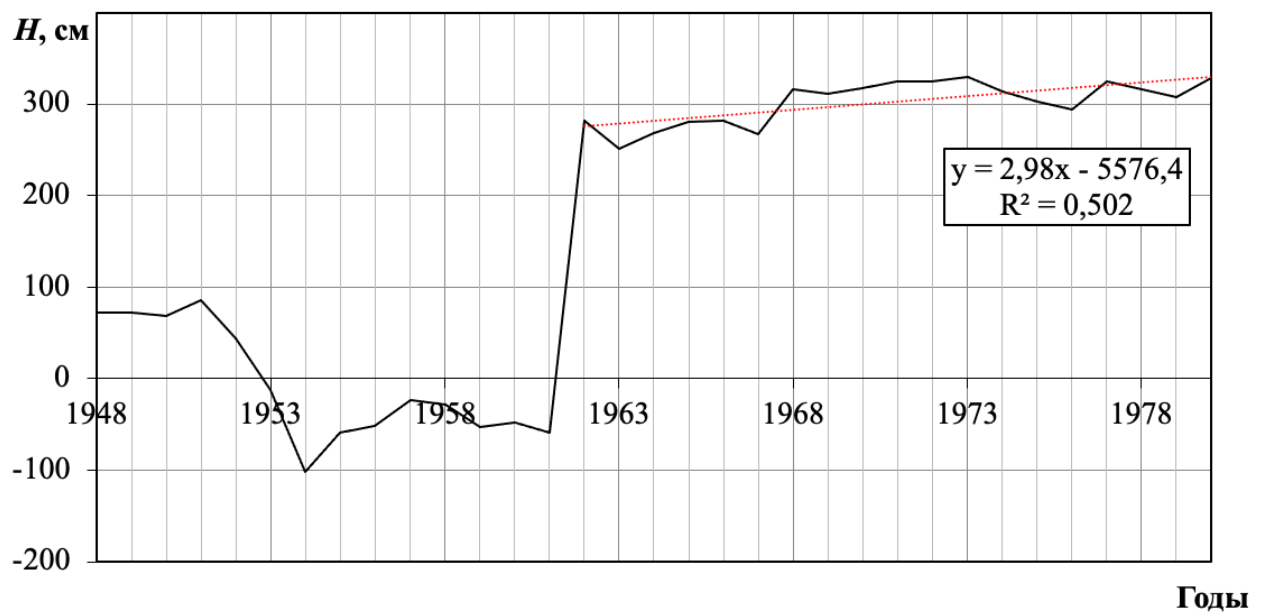


Рисунок 3.5 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Лиелайс-Лудза.

На остальных озерах района (Самро, Черемнецкое, Охват, Селигер, Лекш-мозеро, Кубенское, Воже, Лача, Кен-озеро, Унд-озеро) статистически значимые

тренды не выявлены. На рисунке 3.6 в качестве примера представлен хронологический график хода уровней воды озера Селигер.

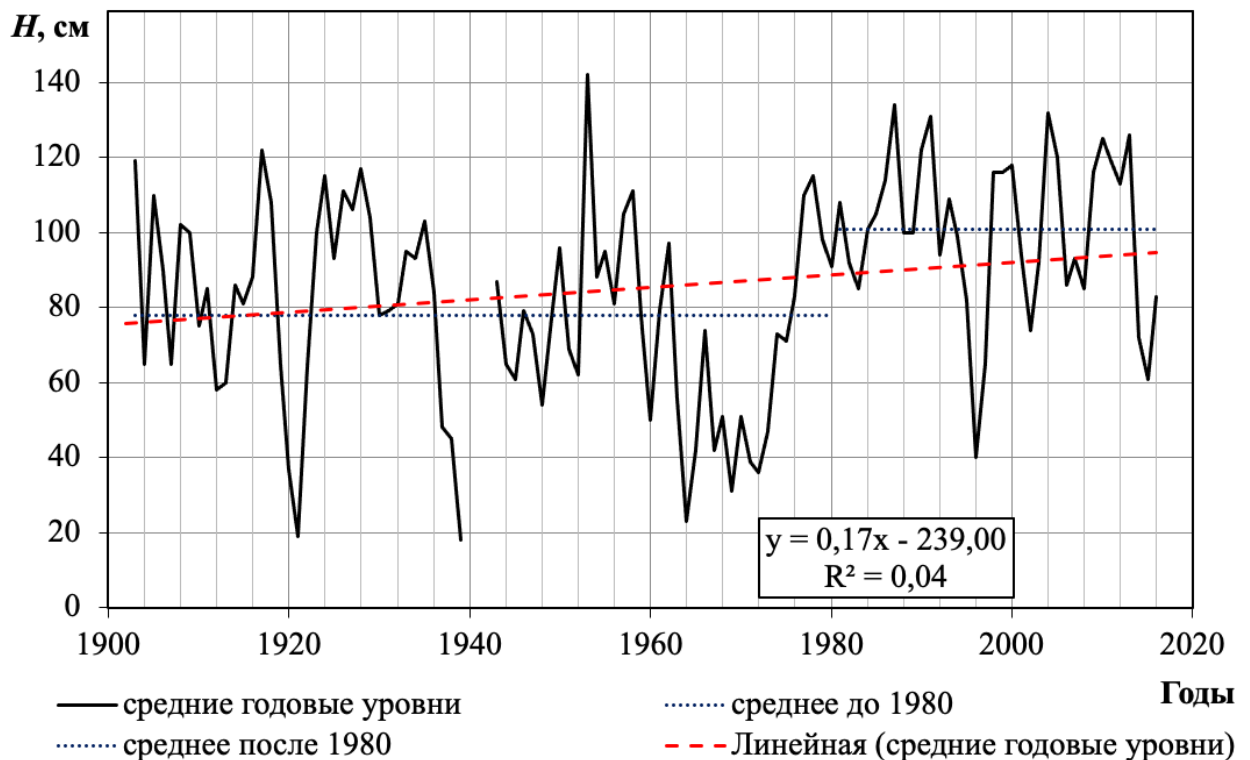


Рисунок 3.6 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Селигер.

На графике видно четко выраженное повышение средних годовых уровней воды в оз. Селигер. При этом тренд статистически не значим. Среднее многолетнее значение уровня воды за период с 1980 по 2017 год повысилось на 23 см в сравнение с предыдущим периодом 1903 по 1979 год.

В многолетнем разрезе климат не остается постоянным – меняются соотношения тепла и влаги, характеристики озерных систем и, следовательно, экосистем вплоть до их полной перестройки. Особенностью естественных изменений климата является повторяемость процессов; засушливые периоды сменяются увлажненными, вспышки массового увеличения биопродуктивности сменяются их сокращением [59]. Соответственно, в уровненом режиме озер также проявляется цикличность смены маловодных и многоводных периодов.

Для определения периода изменений средних годовых уровней воды в исследуемых озерах, были построены нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды по данным наблюдений на гидрологических постах. На рисунках 3.7 и 3.8 в качестве примера представлены разностно-интегральные и суммарные кривые для озер Воже и Валдайское, соответственно. Все кривые представлены в приложении Г.

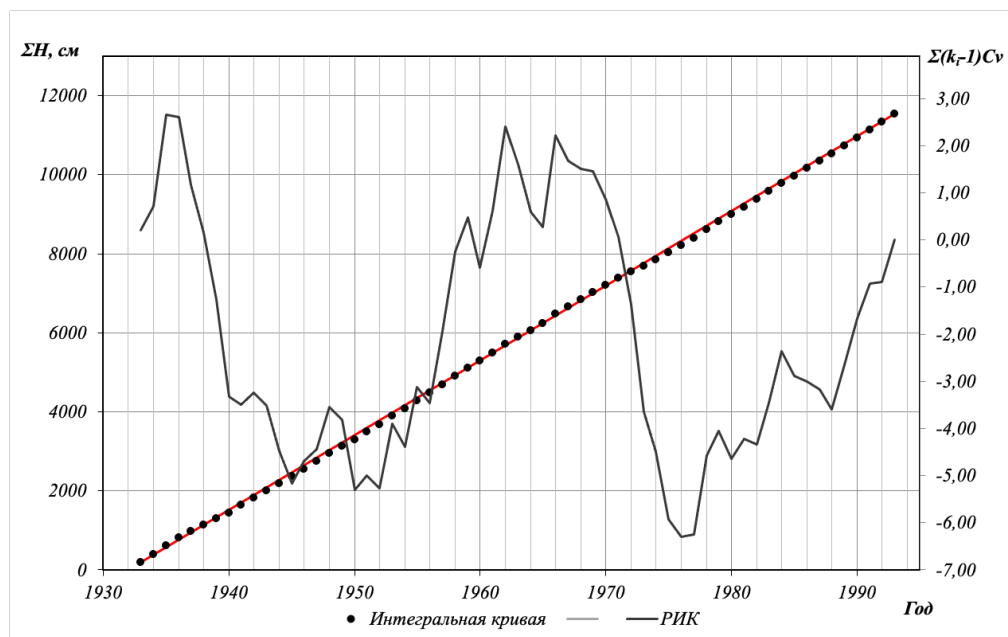


Рисунок 3.7 – Интегральная и нормированная разностно-интегральная кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Воже.

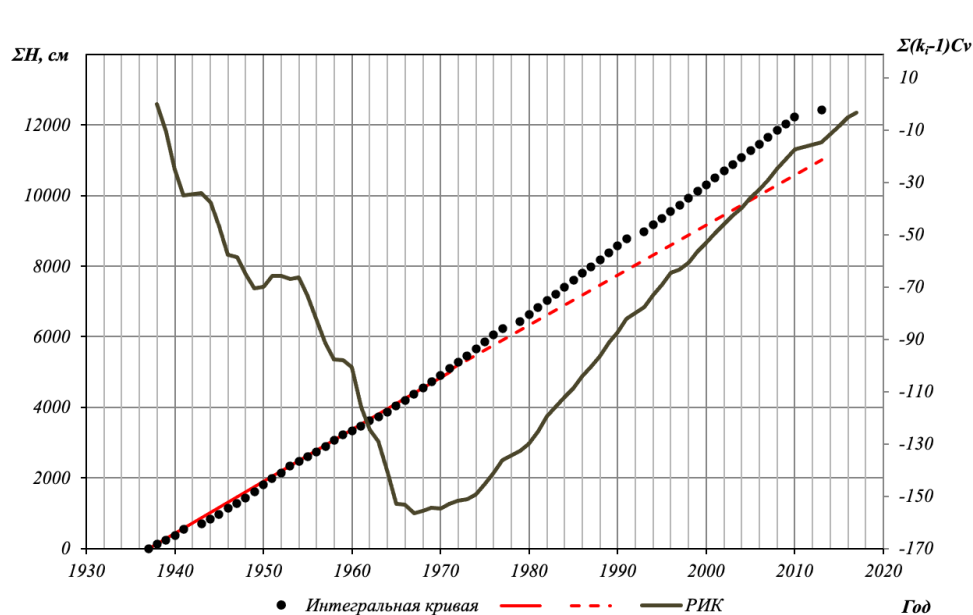


Рисунок 3.8 – Интегральная и нормированная разностно-интегральная кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Валдайское.

Анализ хронологических графиков и разностных интегральных кривых средних месячных уровней воды показал, что для большинства озер отмечается смена многоводных и маловодных периодов. Внутри выделенных районов смена периодов водности в озерах происходит примерно в одни и те же годы, с небольшой временной сдвижкой. Это происходит потому, что разные озерные системы неодинаково реагируют на общие климатические изменения. Так, например, для озер Северо-Запада переход от маловодного периода к многоводному произошел во второй половине 70-х – первой половине 80-х годов XX века.

Для изучения структуры временных рядов исследуемых водоемов в программе *Statistica 10* был проведен спектральный анализ. Для этого все ряды были стандартизированы, также были убраны тренды. Большие пики в области некоторых частот ω указывают на то, что в спектральном разложении автокорреляционной функции присутствуют соответствующие гармонические компоненты. Чем выше и резче выделены пики, тем большая часть мощности сосредоточена около данных частот и тем большую роль они играют в описании соответствующих временных рядов. Для оценки статистической значимости полученных спектров с помощью параметра χ^2 были рассчитаны и нанесены на графики односторонние уровни значимости 10 %. В результате на 16 озерах было установлено наличие хорошо выраженных пиков спектральной плотности $S(\omega)$, которые соответствуют различным периодам колебаний уровня воды в озерах (рисунок 3.9), все результаты спектрального анализа представлены в приложении Д. Для описания полученных результатов спектрального анализа использовались понятия «квази» и «около», так как выделенные циклы имеют небольшие вариации по временному сдвигу.

В результате анализа, установлено, что основной вклад в изменчивость многолетних колебаний вносят квази-пятилетние и квази-тридцатилетние колебания. При этом вклад высокочастотных колебаний (около 5-летних циклов) больше на озерах, которые расположены преимущественно в северной части (Кольский полуостров, Карелия, северные регионы района III), при продвижении на юг вклад

низкочастотных колебаний увеличиваются и около 30-летние колебания преобладают среди выделенных циклов на озерах. Внутривековые уровенные циклы включают разное количество второстепенных циклов, имеющих различную длительность и амплитуду колебаний.

В рядах средних годовых уровней озер Ильмень, Онежское, Сямозеро, Чудское, Охват, Пулозеро, Суоярви, Селигер и Ладожское были выявлены квази 30-летние флуктуации уровня (частота 0.037 год^{-1}). На рисунке 3.8 в качестве примера приведен график оценки спектральной плотности средних годовых уровней оз. Ильмень, остальные графики представлены в приложении Д.

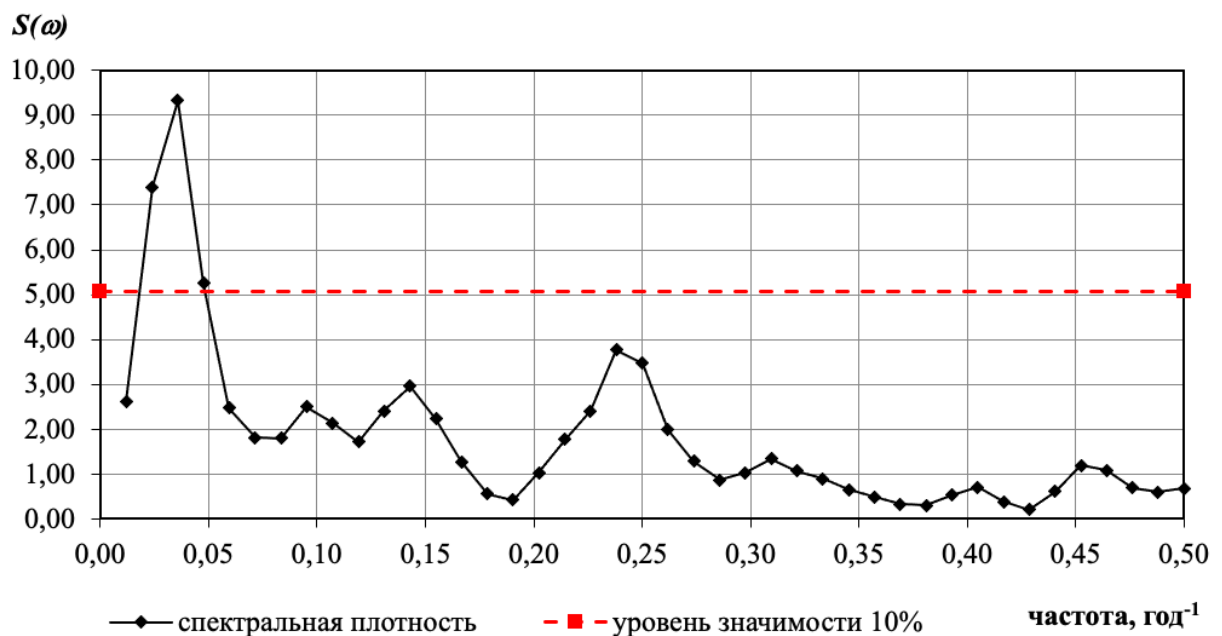


Рисунок 3.9 – График оценки спектральной плотности средних годовых уровней оз. Ильмень.

В спектрах уровней озер Валдайское, Гимольское, Ладожское, Лижмозеро, Большое Михайловское, Ругозеро проявляются около 6-летние периоды колебаний (частота 0.17 год^{-1}). На рисунке 3.10 в качестве примера приведен график спектральной плотности средних годовых уровней оз. Большое Михайловское.

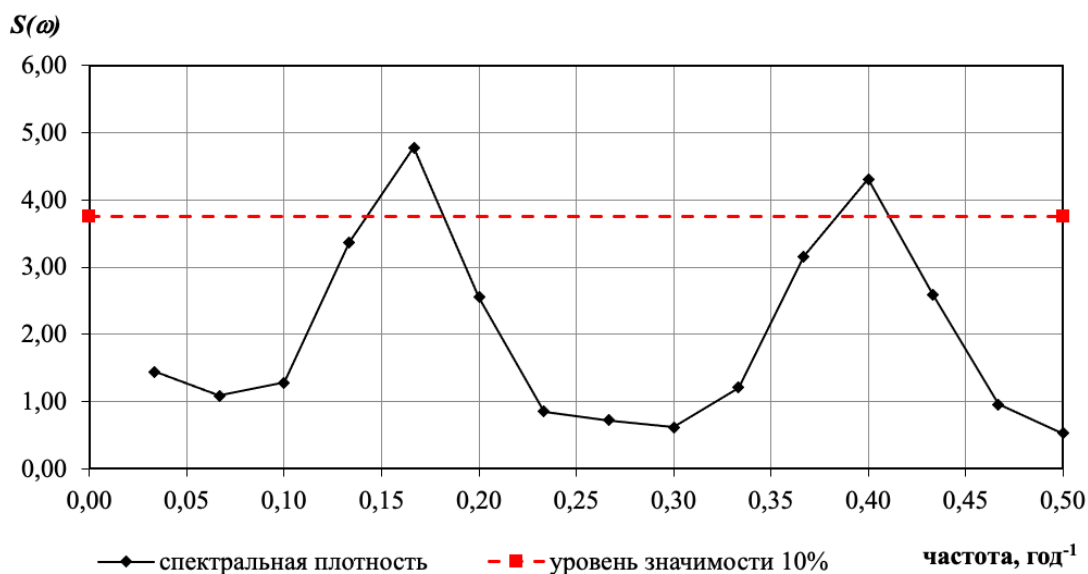


Рисунок 3.10 – График оценки спектральной плотности средних годовых уровней оз. Большое Михайловское.

На полученных периодограммах озёр Лексозеро, Ведлозеро, Водлозеро, Лача, Ловозеро, Умб-озеро, Пермус-озеро, Лендерское значимые пики отсутствуют, имеющиеся всплески находятся ниже принятого уровня значимости 10 %. Эти колебания могут быть связаны с автоколебаниями в системе океан–атмосфера [102, 104, 109], рисунок 3.11.

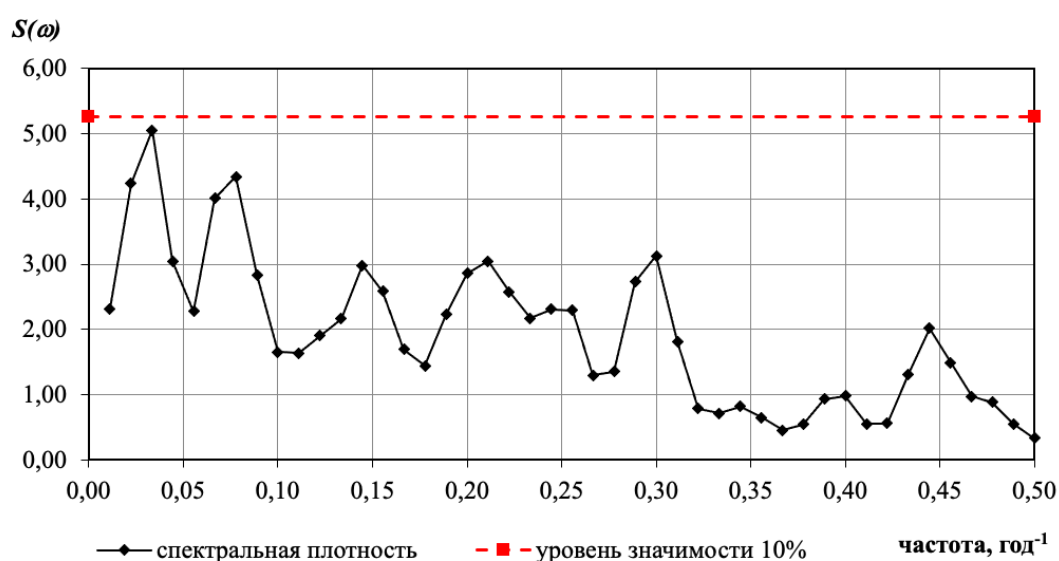


Рисунок 3.11 – График оценки спектральной плотности средних годовых уровней оз. Лача.

На ряде озер: Глубокое, Тулмозеро, Черемнецкое, Щучье, Воже, Коробожа, Пелено выявлены значимые пики, которые находятся выше уровня значимости 10 % и соответствуют частоте колебаний 0.037 год^{-1} (около 30-летние колебания), но, т.к. длина ряда недостаточно велика, для выявления подобных спектров, эти колебания не учитывались при анализе из-за большой погрешности в точности определения длительности циклов колебаний уровней воды.

На исследуемой территории находятся крупнейшие европейские озера Ладожское, Онежское, уровень режим которых анализировался отдельно. Для них характерно незначительное увеличение средних годовых уровней воды.

Ладожское озеро

Ладожское озеро является крупнейшим озером Европы и десятым в мире по запасу пресной воды. Изучением его уровня режима занимались Догановский А.М., Мякишева Н.В., Науменко М.А. и др. [14, 67, 87, 95, 124]. Гидрологический режим озера не зарегулирован (но стоит отметить, что режим ряда рек, впадающих в озеро, регулируется) [101].

Главной причиной колебаний уровня воды Ладожского озер является изменение климата. В то же время на формирование уровня режима оказывают влияние особенности строения озерной системы, определяющие ее отклик на климатические сигналы [87, 95]. В качестве одного из индикаторов изменения климата в атлантико-европейском секторе северного полушария является динамика воздушных масс, которая создаёт своеобразный режим тепла и влаги [56, 72, 93]. Основное влияние на формирование колебаний уровня озера, составляющих притока-стока оказывает своеобразный режим тепла и влаги территории северо-запада России [95]. Учитывая большие размеры всей Ладожской озерной системы (ЛОС), включающей озеро и его водосбор, этот режим неодинаков в ее разных частях. Поэтому уровень озера можно рассматривать как интегральный показатель колебаний климата на изучаемой территории. Также надо отметить, что на формирование уровня режима оказывают влияние особенности подстилающей поверхности и строение самой озерной системы, определяющей ее отклик на климатические сигналы

[87, 95]. Это в первую очередь размеры бассейна, его высокая озерность и форма русла вытекающей из озера реки Невы.

Уровень Ладожского озера можно рассматривать как интегральный показатель колебаний климата на большой территории.

На рисунке 3.12 представлен график колебаний средних годовых уровней воды Ладожского озера за весь период наблюдений.

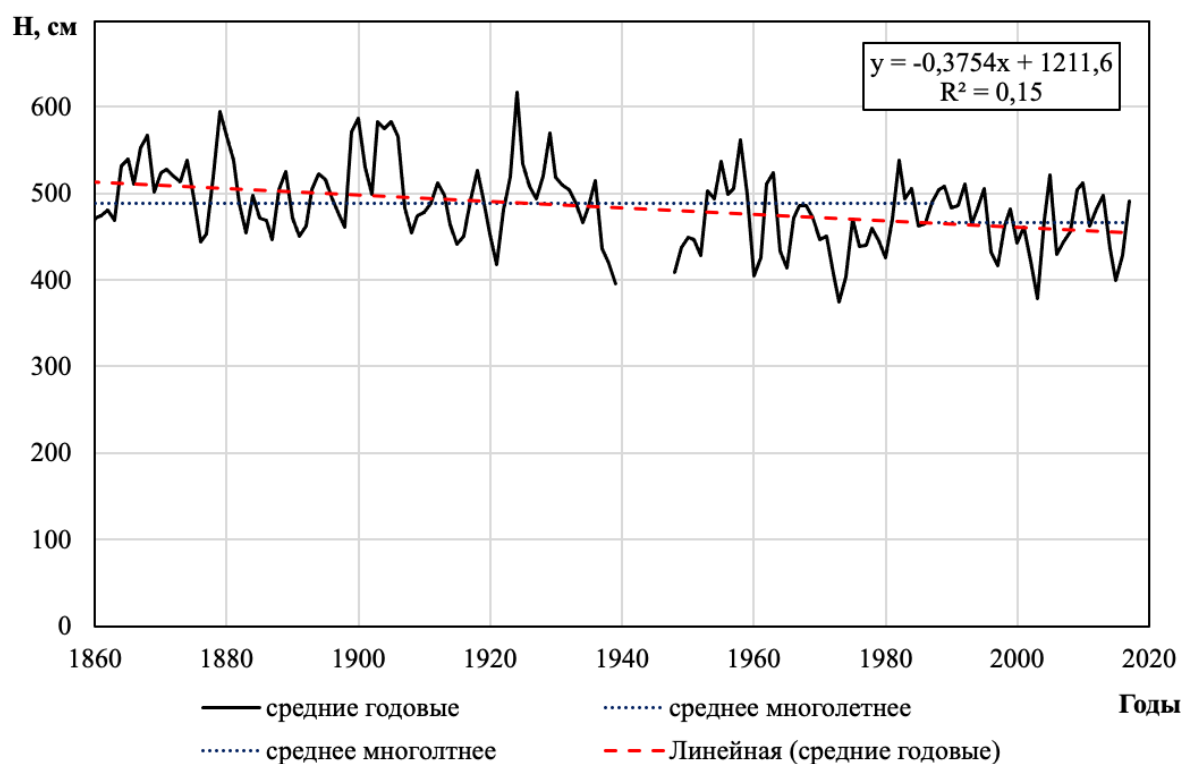


Рисунок 3.12 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Ладожское.

На полученном графике наблюдается тенденция к уменьшению средних многолетних уровней со скоростью около 4 см за 10 лет. Выявленный линейный тренд на понижение является статистически значимым. Минимум уровней пришелся на 40-е и 70-е годы. Максимальный уровень наблюдался в 1924 году. За рассматриваемый период средний многолетний годовой уровень ($\bar{H}$) понизился более чем на 30 см. Ряд не однороден по среднему значению. На рисунке 3.13 представлены

суммарная и разностно-интегральная кривые для оз. Ладожское, которые показывают маловодные и многоводные периоды.

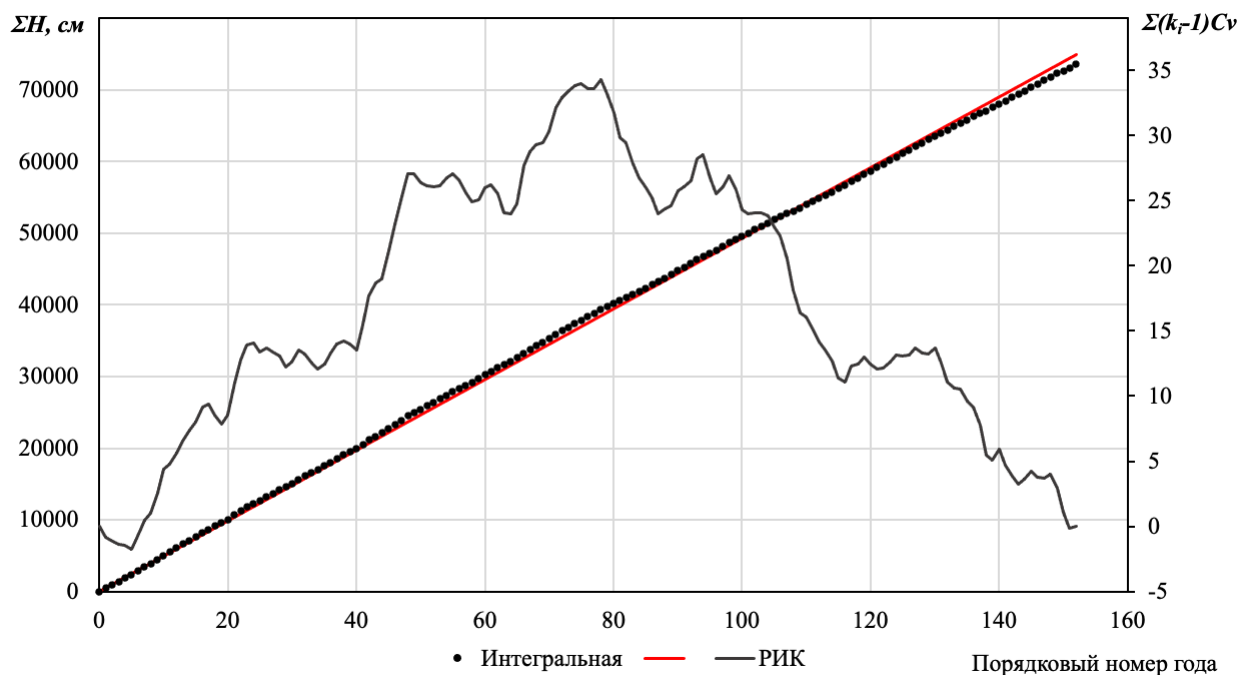


Рисунок 3.13 – Интегральная и нормированная разностно-интегральная кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Ладожское.

Для исследования структуры временного ряда уровней Ладожского озера в программе *Statistica 10* был проведен спектральный анализ ряда средних годовых уровней Ладожского озера. В результате было установлено наличие хорошо выраженных около 30-летних (при уровне значимости 5%) и 6-летних периодов повышенной и пониженной водности (при уровне значимости 10%). Каждому выявленному периоду соответствует четко выраженные пики спектральной плотности, которые соответствуют различным периодам колебаний. На рисунке 3.14 представлен график распределения спектральной плотности уровенных колебаний Ладожского озера. Квази 30-летние колебания согласуются с известными «климатическими периодами» Э.А. Брикнера (1890 г.).

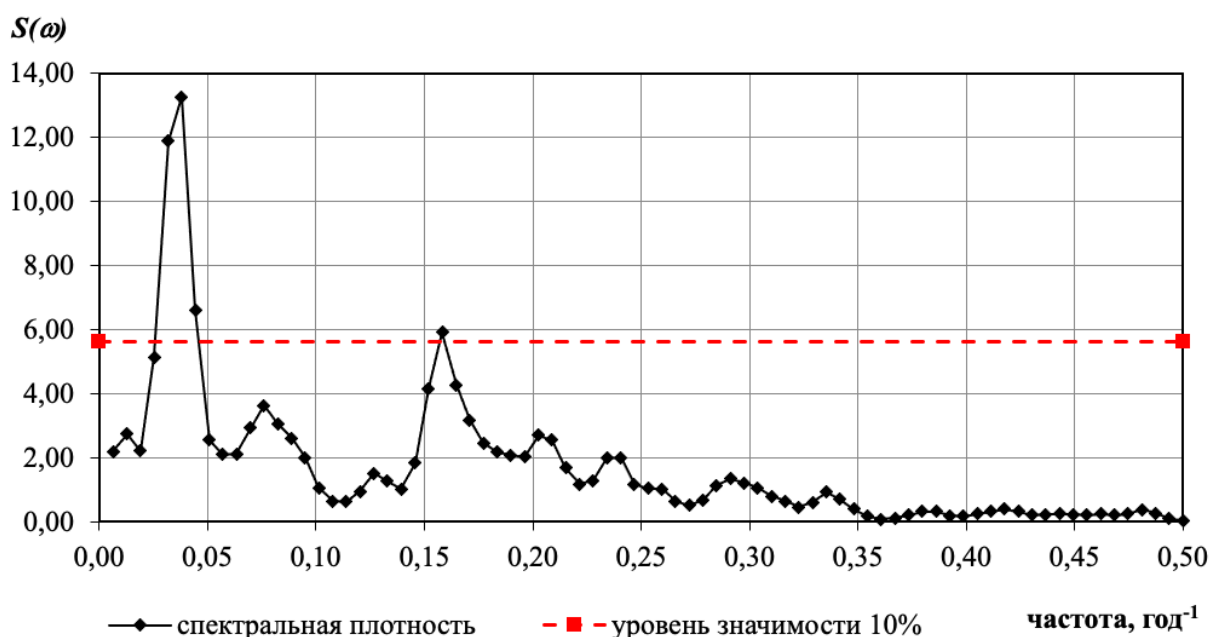


Рисунок 3.14 – График оценки спектральной плотности уровненных колебаний Ладожского озера.

Следует отметить, что в левой части спектрограммы ниже уровня значимости намечается «всплеск», указывающий на присутствие в ряде уровней ветвей спада и подъема 11-летнего цикла – колебаний, возможно, связанных с циклами изменения солнечной активности.

Установленные циклы дают возможность провести фильтрацию рядов и выделить значимые гармонические составляющие. Для этих целей существуют различные аппроксимирующие функции (кубические сплайны, преобразование Фурье и т.п.). В данной работе для выделения гармоник и фиксации квазипериодических колебаний использован фильтр Баттерворта.

На рисунке 3.15 приведен график колебаний уровня Ладожского озера за весь период инструментальных наблюдений.



Рисунок 3.15 – Хронологический график хода уровней воды Ладожского озера

Как видно из графика, минимум уровней пришелся на 40-е и 70-е годы. Максимальный уровень наблюдался в 1924 году. На рисунке представлены около 30-летние колебания, и отрицательный линейный тренд. За рассматриваемый период годовой уровень понизился более чем на 30 см.

Для анализа ритмики годовой цикличности уровня воды в Ладожском озере использовался методы теории периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП). Эти методы изложены в работе [86]. Основными вероятностными оценками ПКСП являются математическое ожидание $m(t)$, дисперсия $D(t)$, матрица корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости $K(t, x)$. Они хорошо отображают особенности ритмики годовой цикличности гидрометеорологических процессов.

Математическое ожидание ПКСП характеризует регулярную компоненту внутригодовых изменений процесса и позволяет оценить средний многолетний повторяющийся образ внутригодового колебания; дисперсия – отклонения процесса от средней многолетней нормы.

Наличие ритмики годовой цикличности достаточно четко проявляется на фоне долгопериодных (низкочастотных) колебаний Ладожского озера (рисунок 3.16).

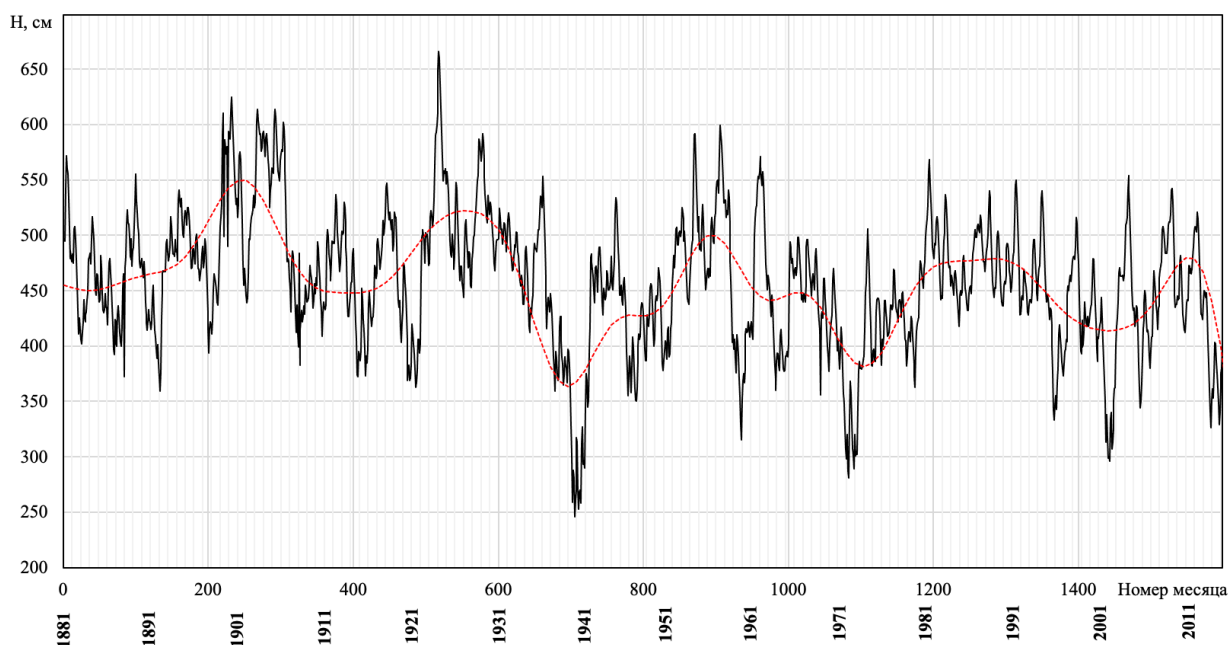


Рисунок 3.16 – Ход средних месячных значений уровня Ладожского озера за период 1881–2017 гг. и результаты низкочастотной фильтрации Баттерворта

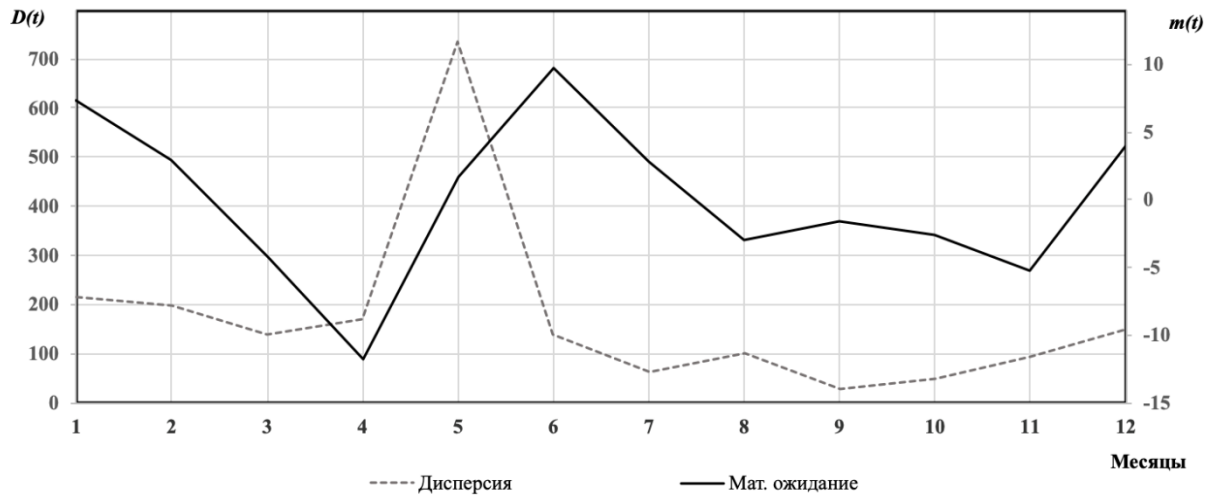
При этом внутригодовые колебания уровня значительно преобразованы. Фазы водного режима растянуты и распластаны: озеро служит своеобразным фильтром, трансформирующим энергию внутригодовых колебаний в энергию долгопериодной изменчивости [64].

Для характеристики структуры внутригодовых уровней колебаний озер разных классов водообмена в настоящей работе использованы средние месячные уровни Ладожского озера (период водообмена 11–12 лет), т.к. оно является уникальным водным объектом.

Введение в 1953 г. Верхне-Свирской ГЭС, осуществляющей многолетнее регулирование стока р. Свири, привело к значительному уменьшению с 60-х годов прошлого века дисперсии внутригодовых и, как следствие, многолетних колебаний

уровня. На рисунке 3.17 представлен график оценок математического ожидания и дисперсии внутригодовых колебаний уровня воды Ладожского озера за весь период инструментальных наблюдений до введения в эксплуатацию Верхне-Свирской ГЭС в 1953 году и после.

а)



б)

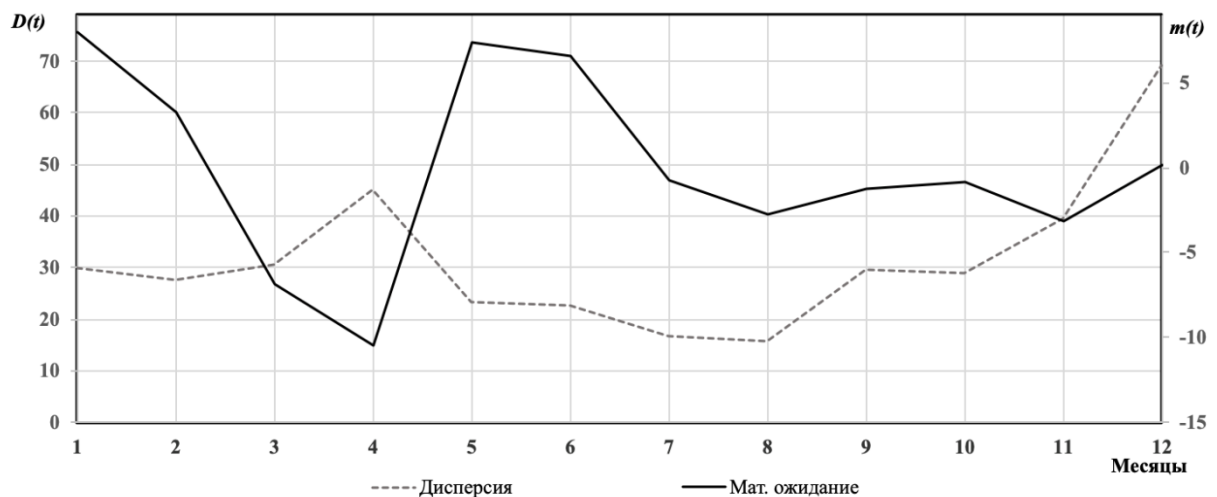


Рисунок 3.17 – График оценок математического ожидания и дисперсии средних месячных уровней воды Ладожского озера а) за период 1881–1952 гг.; б) за период 1953–2017 гг.

На графиках кривая среднего многолетнего внутригодового хода уровня Ладожского озера характеризуется сглаженным ходом. Она имеет четко выраженный сезонный характер. До 50-х годов максимум наблюдался в июне, минимум – в апреле. После введения в эксплуатацию Верхне-Свирской ГЭС максимальный уровень наблюдается в мае.

За период 1881–1952 гг. на кривой дисперсии наблюдается один ярко выраженный максимум – в мае. После 50-х годов значение дисперсии резко уменьшилось, что хорошо видно на рисунке 3.17 б). При этом на графике кривой дисперсии наблюдаются два ярко выраженных максимума – в апреле и в декабре.

Для оценки внутригодовой изменчивости уровней воды в Ладожском озере были построены корреляционные зависимости $K(t, T)$ за период инструментальных наблюдений (рисунок 3.18).

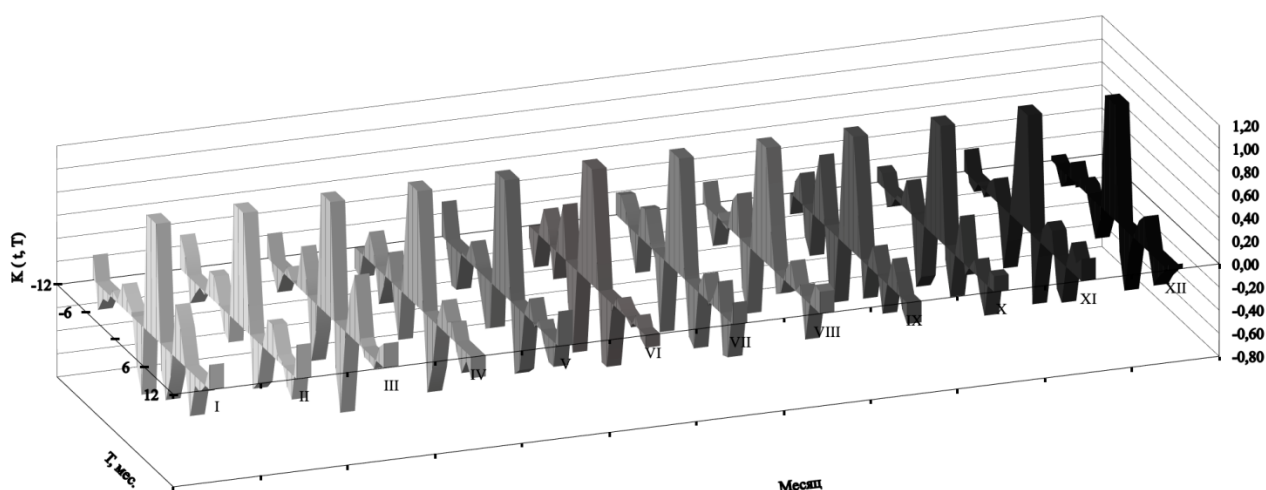


Рисунок 3.18 – График оценки корреляционной зависимости внутригодовой изменчивости хода уровней воды Ладожского озера

Анализ оценок $K(t, T)$ показывает, что при временном сдвиге $i = 1$, $K_i(1)$ для всех месяцев года близки к 1,0. Для всех месяцев связи как "вперед", так и "назад" при сдвиге 2–4 мес. затухают, но продолжают флуктуировать в дальнейшем. При сдвиге $i = 2–4$ мес., $K_i(1)$ находятся в области отрицательных значений и остаются

значимыми для весенних и летних месяцев. Корреляционные связи внутри года для колебаний уровня симметричны и однотипны для всех месяцев.

Онежское озеро

Сведения об уровненом режиме Онежского озера приведены в работах Филатова Н.Н., Выручалкиной Т.Ю. и др. [14, 101, 102]. Онежское озеро после 1951 г. Превратилось в Верхне-Свирское водохранилище, площадь водосбора возросла на 5,5 %, что привело к увеличению притока и стока из озера и, как следствие, изменению уровненого режима водоема, рисунок 3.18. Средний многолетний уровень воды ($\bar{H}$) после зарегулирования возрос 37 см, с 96 до 133 см над нулем поста.

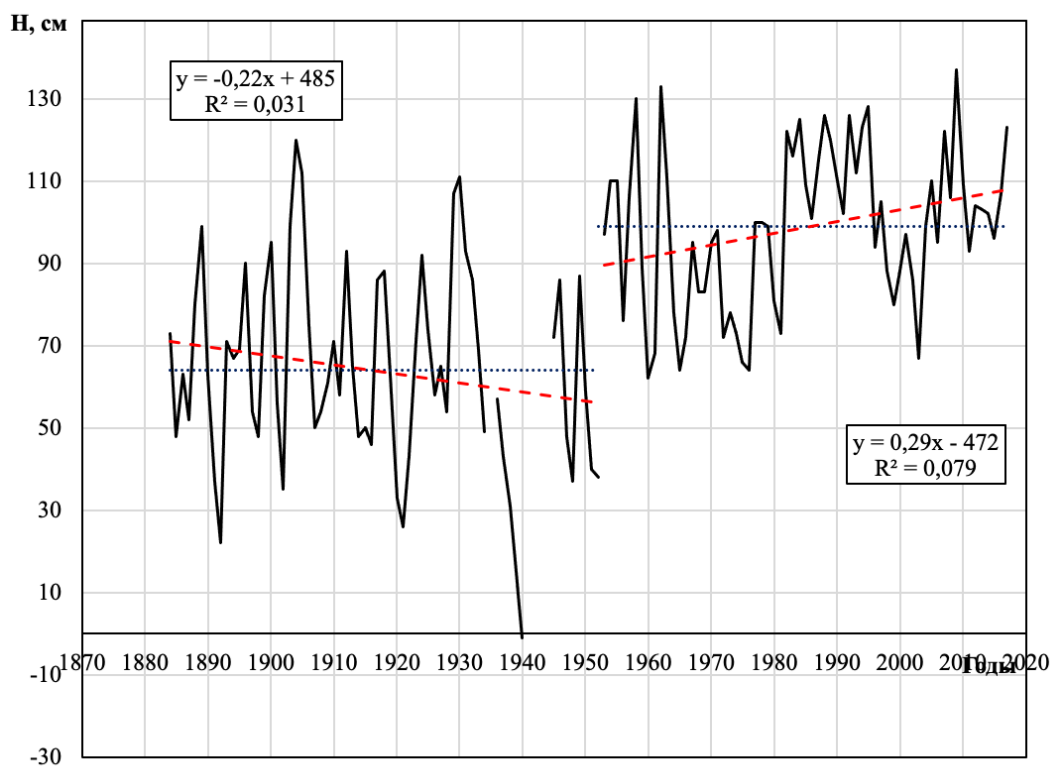


Рисунок 3.19 – Хронологический график хода минимальных уровней воды Онежского озера (г. Петрозаводск).

Рассчитанные по средним годовым значениям уровня воды значения линейных трендов для 1884–1950 и 1950–2017 гг. показывают, что для первого периода незначительная тенденция на понижение уровней воды, а для второго — положительным статистически значимый линейный тренд.

3.2 Минимальные уровни воды

Для оценки многолетней изменчивости минимальных уровней воды на исследуемых озерах анализировались данные о минимальных значениях уровней воды H_{min} . Для анализа уровня режима выбранных водоемов и выявления линейных трендов были построены хронологические графики минимальных уровней воды (результаты приведены в приложении Е). Установлено, что 17 рядов минимальных уровней воды в озерах являются неоднородными, из них 9 неоднородны по среднему значению, а 11 – по дисперсии и 3 ряда неоднородны по обоим признакам.

Совместный анализ данных инструментальных наблюдений за климатом и уровнями озер свидетельствует о доминирующем влиянии климатических факторов на изменения режима минимальных уровней воды. При этом реакция гидрологического режима уровней воды озер на изменения климата в районе исследуемых водоемов различалась в зависимости от региональных особенностей, площади и характера водосбора, влияния антропогенных факторов. На хронологических графиках хорошо видно, что на многих озерах произошли резкие изменения в рядах минимальных уровней воды (приложение Е).

Анализ результатов расчета линейных трендов в рядах минимальных уровней воды показал, что наблюдается общая тенденция на рост уровней воды во всех выделенных районах. В среднем линейный тренд равен ± 3 см/10 лет. На 19 озерах были выявлены статистически значимые при 5 % уровне значимости линейные тренды, при этом 5 из них имеют тенденцию на понижение. Результаты оценки значимости трендов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах минимальных уровней воды в озерах

№	Озеро-пост	R	$t_{2\alpha}^* C_l$	$t_{2\alpha}^* C_l^* \sigma R$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
1	Валдайское – г. Валдай	0,30	2,68	0,38	Не опровергается	+
2	Ведлозеро – д. Ведлозеро	0,18	2,34	0,35	Не опровергается	+
3	Водлозеро – д. Кугонаволоок	0,05	2,29	0,72	Не опровергается	-

№	Озеро-пост	R	$t_{2\alpha}^* C_l$	$t_{2\alpha}^* C_l^* \sigma R$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
4	Ильмень – д. Войцы	0,17	2,27	0,25	Не опровергается	+
5	Гимольское – д. Гимолы	0,22	2,44	0,41	Не опровергается	-
6	Глубокое – д. Корвителино	0,55	3,81	0,52	Опровергается	+
7	Ладожское – д. Сторожно	0,46	3,22	0,24	Опровергается	-
8	Лексозеро – с. Реболы	0,00	2,01	0,28	Не опровергается	+
9	Онежское – г. Петрозаводск	0,28	2,58	0,31	Не опровергается	+
10	Суоярви – г. Суоярви	0,24	2,47	0,29	Не опровергается	-
11	Сяберо – д. Сяберо	0,37	2,87	0,31	Опровергается	+
12	Сямозеро – д. Угмойла	0,10	2,13	0,26	Не опровергается	+
13	Тулмозеро – д. Палалахта	0,14	2,22	0,27	Не опровергается	-
14	Череменинское – д. Наволок	0,36	2,85	0,36	Опровергается	-
15	Чудское – п. Реболы	0,05	2,05	0,23	Не опровергается	-
16	Лиелайс-Лудза	0,85	-	0,28	Опровергается	+
17	Янисъярви	0,20	2,39	0,39	Не опровергается	+
18	Щучье – с. Щучье	0,79	-	0,14	Опровергается	+
19	Лижмозеро – д. Кяппсельга	0,47	3,33	0,45	Опровергается	+
20	Линдозеро – д. Линдозеро	0,02	2,04	0,31	Не опровергается	-
21	Охват – д. Бдынъ	0,01	1,99	0,22	Не опровергается	-
22	Самро – д. Усадище	0,26	2,56	0,42	Не опровергается	-
23	Сандал* – д. Сопоха	0,41	3,01	0,34	Опровергается	+
24	Остречье – д. Остречье	0,85	-	0,17	Опровергается	+
25	Шугозеро – д. Ульяница	0,69	4,84	0,53	Опровергается	-
26	Коробож – д. Устрека	0,81	-	0,14	Опровергается	+
27	Лача – с. Нокола	0,14	2,21	0,23	Не опровергается	+
28	Воже – устье р. Тордокс	0,10	2,14	0,28	Не опровергается	+
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	0,41	3,04	0,35	Опровергается	-
30	Унд-озеро – д. Гороховая	0,22	2,41	0,33	Не опровергается	+
31	Кубенское -д. Коробово	0,07	2,09	0,22	Не опровергается	-
32	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	0,72	-	0,26	Опровергается	+
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	0,02	2,03	0,29	Не опровергается	+
34	Долгое – с. Вершинино	0,05	2,09	0,34	Не опровергается	+
35	оз. Куэтс-Ярви – пгт Никель	0,80	-	0,15	Опровергается	+
36	оз. Пул-озеро – ст. Пулозеро	0,49	3,38	0,32	Опровергается	+
37	оз. Ловозеро – с. Ловозеро	0,05	2,05	0,23	Не опровергается	-
38	оз. Умб-озеро – исток реки Умба	0,03	2,03	0,23	Не опровергается	+
39	оз. Пермус-озеро – г. Оленегорск	0,24	2,45	0,28	Не опровергается	+
40	Пелено – д. Спасское	0,37	2,89	0,37	Опровергается	-
41	Верхнее Куйто – с. Вокнаволо	0,41	3,04	0,35	Опровергается	+
42	Ругозеро – с. Ругозеро	0,89	-	0,11	Опровергается	+
43	Селигер – г. Осташков	0,32	2,68	0,26	Опровергается	+
44	Лендерское – пос. Лендеры	0,17	2,30	0,35	Не опровергается	+

Основной фактор, влияющий на изменения уровня режима – климат, в частности рост температуры воздуха и сумм осадков за холодный период.

Кольский полуостров (Район I)

На озерах Куэ́тс-Ярви, Пулозеро и Пермус-озеро выявлены статистически значимые тренды на повышение уровней воды. Повышение минимальных уровней на озере Куэ́тс-Ярви связано с созданным в 1963 году водохранилищем Борисоглебской ГЭС, включающего оз. Сальмиярви, которое протокой связано с оз. Куэ́тс-Ярви, и возникшим, вследствие этого, подпором [133]. Хронологический график озера Куэ́тс-Ярви представлен на рисунке 3.20.

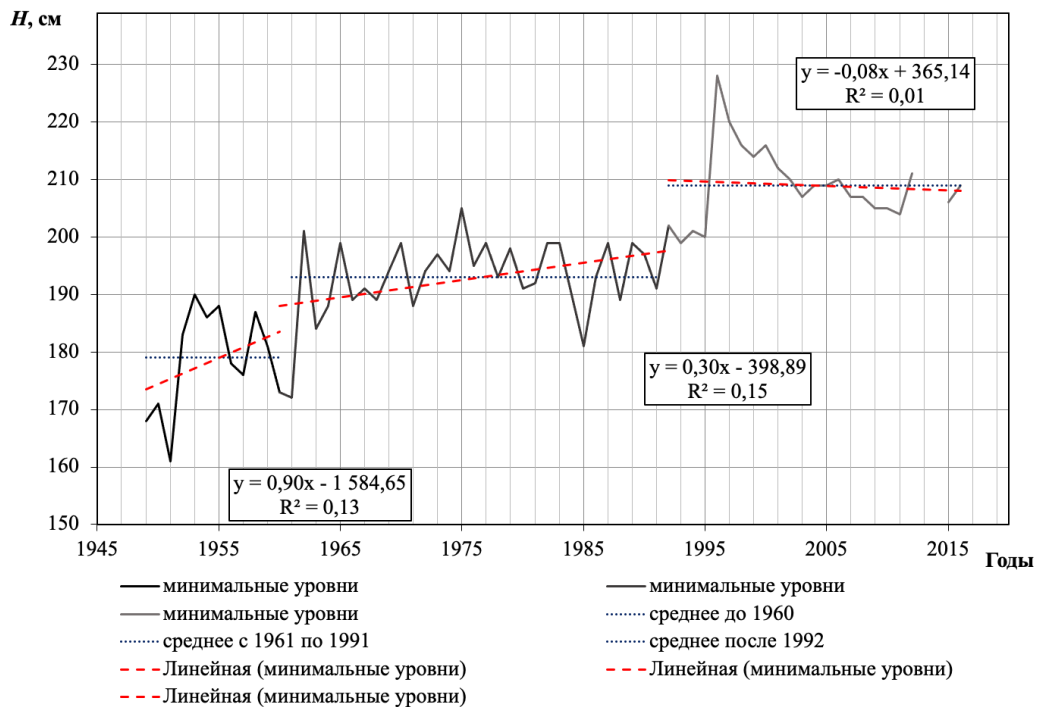


Рисунок 3.20 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Куэ́тс-Ярви.

На полученном графике видно, что после 1963 года среднее многолетнее значение минимального уровня ($\bar{H}_{min}$) увеличилось на 14 см, после 1992 года на 16 см.

На озерах Ловозеро и Умб-озеро наблюдается относительная стабильность уровней воды со статистически незначимыми отрицательным и положительным трендами, соответственно. Пример хронологического графика хода минимальных уровней воды на озере Умб-озеро представлен на рисунке 3.21.

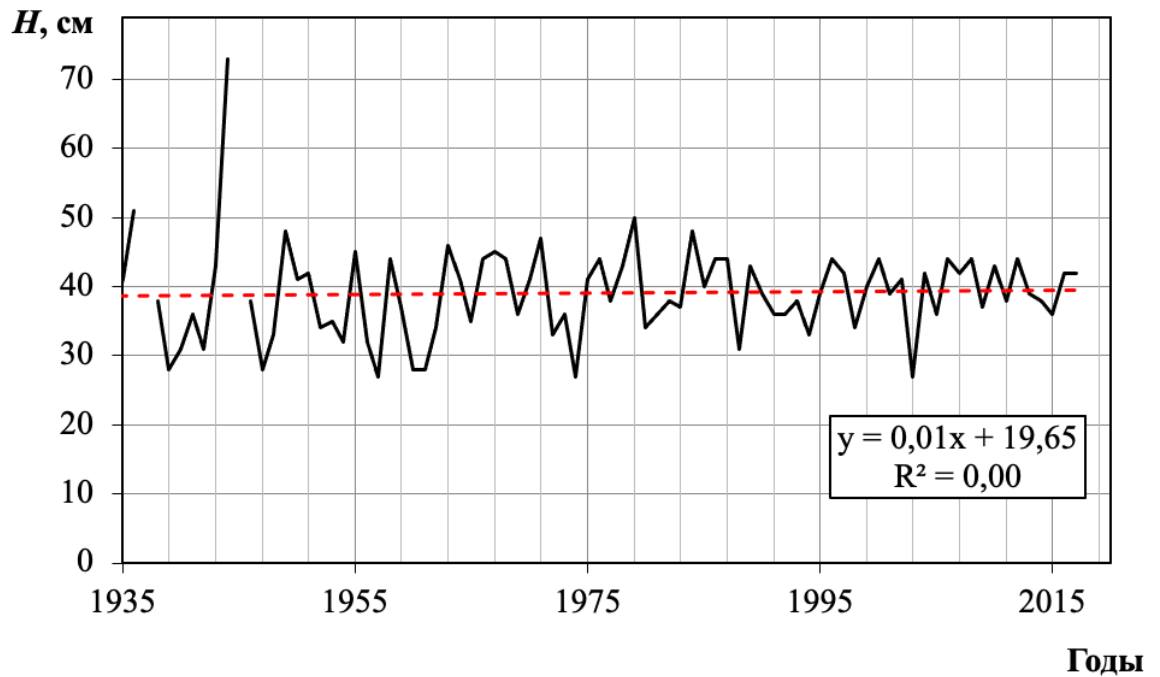


Рисунок 3.21 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Умб-озеро.

Карельский сегмент (Район II)

Как указывалось ранее межгодовые колебания средних годовых уровней озер Карелии достаточно синхронны. Это также прослеживается и в режиме минимальных уровней воды. В рядах минимальных уровней воды на большей части озер (Гимольское, Лендерское, Сямозеро, Тулмозеро, Суоярви, Янисъярви), расположенных на территории Карелии и севере Ленинградской области, статистически значимые тренды отсутствуют. На рисунке 3.22 в качестве примера представлен хронологический график хода минимальных уровней озера Сямозеро.



Рисунок 3.22 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Сямозеро.

Как видно из графика, после 1980 года изменение значения среднего минимального уровня воды незначительное и составляет 5 см.

На озерах Остречье, Лижмозеро, Лексозеро, Ругозеро и Верхнее Куйто выявлены статистически значимые тренды на повышение минимальных уровней воды. На рисунке 3.23 представлен график хода минимальных уровней воды озера Верхнее Куйто.

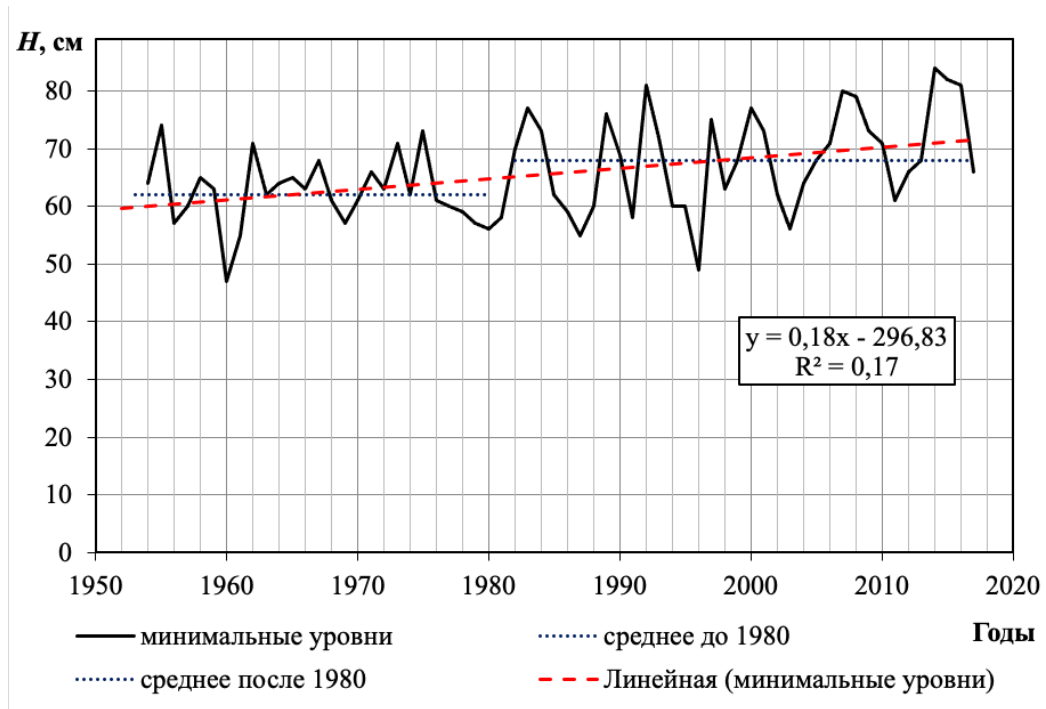


Рисунок 3.23 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Верхнее Куйто.

На озерах Лижмозеро, Лексозеро в 1960 году произошел резкий подъем средних многолетних минимальных уровней воды ($\bar{H}_{min}$) на 14 и 17 см, соответственно. На озере Остречье так же произошло увеличение значения среднего многолетнего минимального уровня на 28 см в 80-е годы XX века. На рисунке 3.24 представлен график хода уровней озера Лексозеро. Хронологические графики минимальных уровней озер Лижмозеро и Остречье представлены в приложении Е, рисунки 19 и 24.

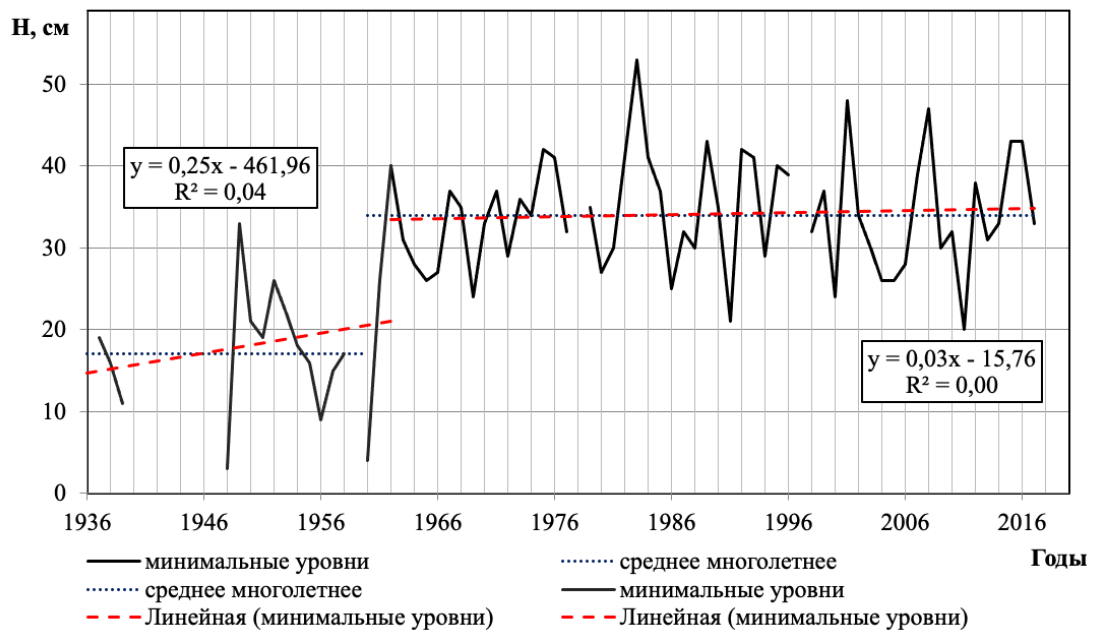


Рисунок 3.24 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Лексозеро.

Так как информация об антропогенном воздействии на эти озера отсутствует, поэтому предполагается, что причины данных изменений носят природный характер. При этом после изменений статистически значимый тренд на всех озерах отсутствует.

На уровень режим озер Водлозеро, Ведлозеро, Сандал оказывается антропогенное влияние. Так, озеро Водлозеро в 1934 г. было превращено в водохранилище сезонного регулирования, используемое для лесосплава. С этой целью были сооружены деревянные плотины, регулирующие сток вытекающих из озера рек Вамы и Сухой Водлы. В 1990-х гг. лесосплав был прекращен, и водохранилище стало использоваться для водообеспечения населенных пунктов. В 2006 г. в истоке р. Вамы деревянная плотина была заменена на нерегулируемую бетонную, которая позволяет поддерживать минимальные уровни воды в озере, оптимальные для рыбоводства. Таким образом, гидрологический режим водоёма возвращается к естественному (рисунок 3.25).

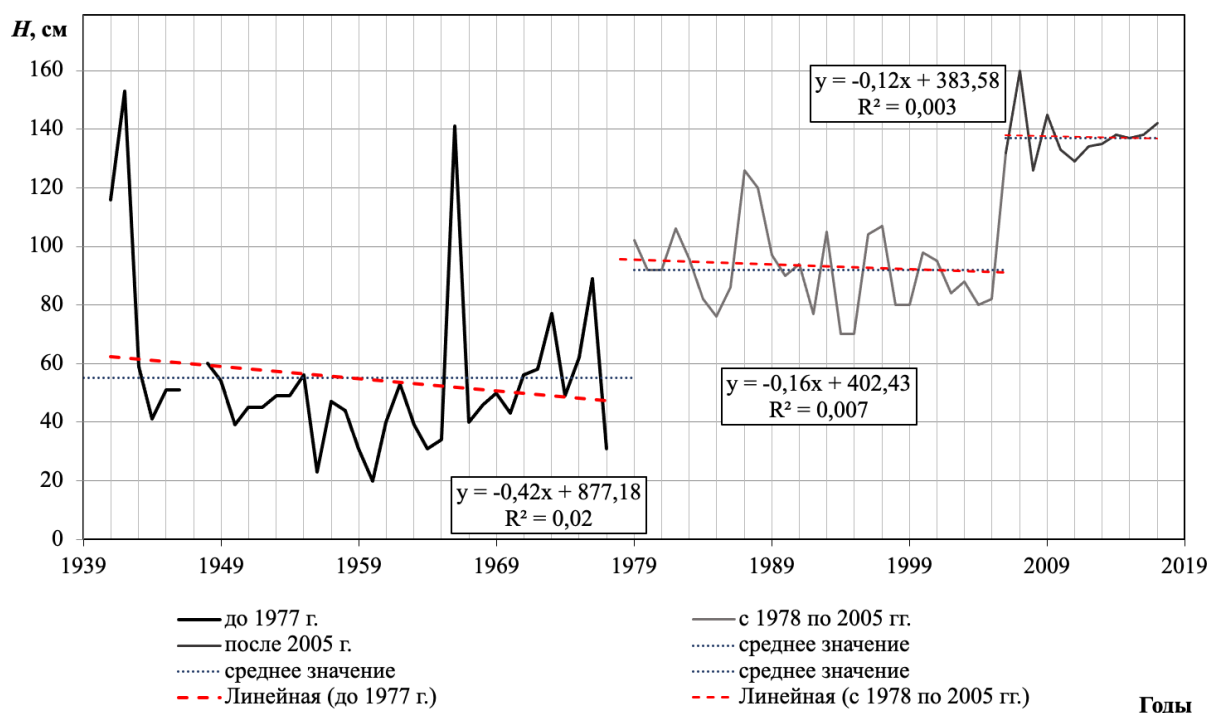


Рисунок 3.25 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Водлозеро.

Среднее многолетнее минимальное значение уровня ($\bar{H}_{min}$) озера Водлозера за период с 1939 по 1979 годы составляет 55 см, за период с 1980 по 2006 – 92 см, а с 2007 по 2017 годы – 137 см.

На рисунке 3.26 представлен хронологический график хода минимальных уровней озера Сандал, которое в 1929 году было превращено в водохранилище. До 1936 года оно выполняло многолетнее регулирование стока бассейна. В сравнении с естественным режимом средняя многолетняя амплитуда колебания уровня увеличилась более, чем втрое, при этом увеличился его удельный водосбор [57].

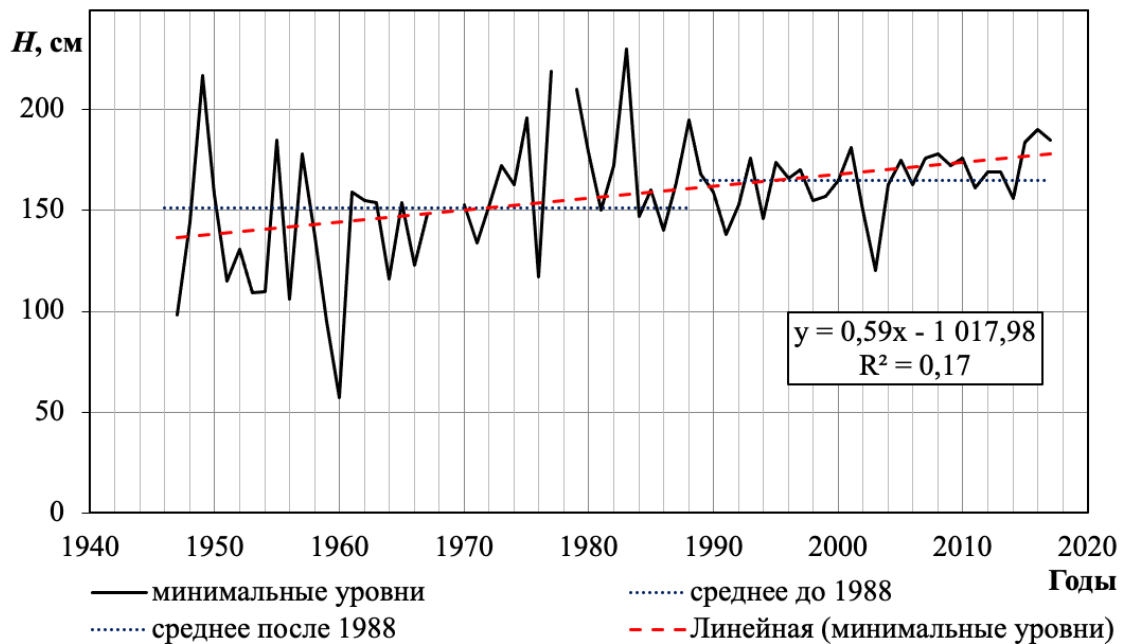


Рисунок 3.26 – Хронологический график хода минимальных уровней воды водохранилища Сандал.

В середине 1960-х годов в районе озера Сандал группа ГЭС была объединена в каскад Сунских ГЭС, в результате чего изменилось среднее многолетнее значение минимальных уровней воды в озере, которое увеличилось на 35 см. Статистически значимые линейные тренды в рядах отсутствуют.

Озеро Ведлозеро с 1937 г. зарегулировано плотиной в истоке р. Видлица. С 1971 года плотина не функционирует, что повлекло за собой уменьшение среднего многолетнего значения минимальных уровней воды на 9 см. На рисунке 3.27 приведен хронологический график хода минимальных уровней воды оз. Ведлозеро.

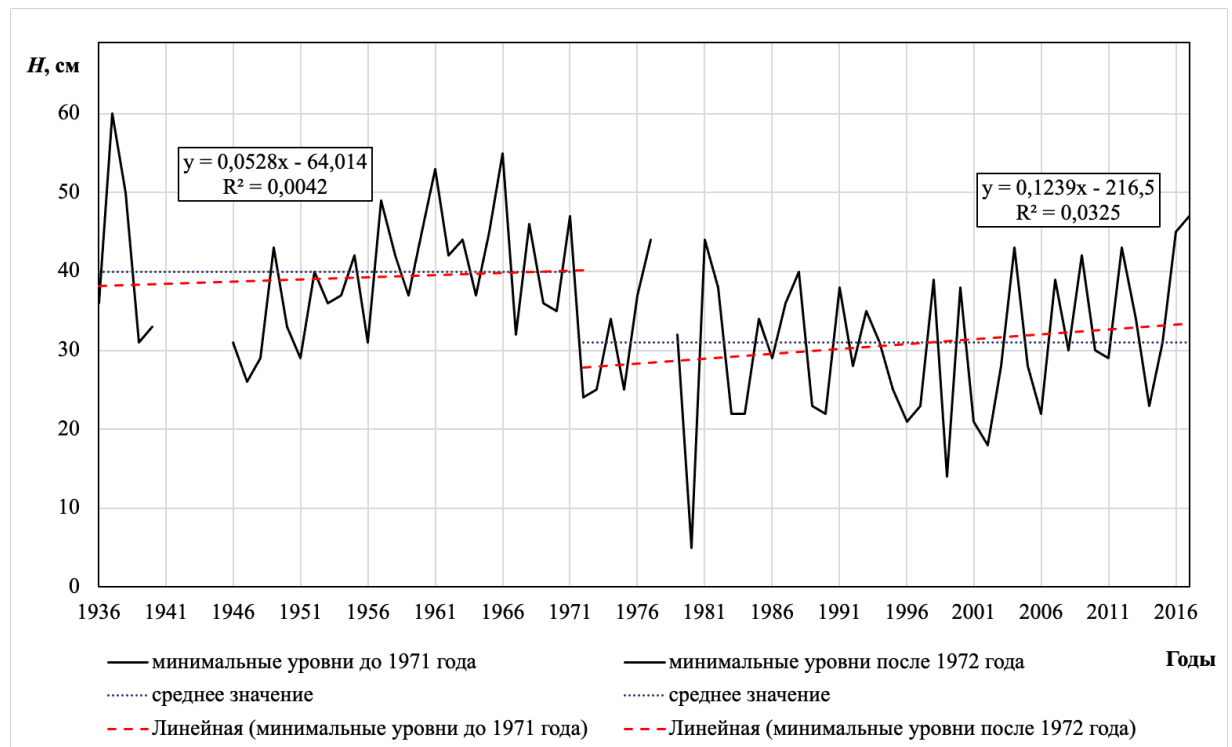


Рисунок 3.27 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Ведлозеро.

Северо-Запад (район III)

На озерах Селигер, Щучье, Большое Михайловское, Коробожа, Глубокое и Сяберо выявлены статистически значимые линейные тренды на повышение минимальных уровней воды. В среднем скорость изменений составляет 4 см/10 лет.

На всех указанных водоемах произошел подъем средних многолетних минимальных уровней воды ($\bar{H}_{min}$) в 80-х годах XX века. Так, на озере Селигер это значение изменилось на 24 см (за период с 1904 по 1980 $\bar{H}_{min} = 39$ см, а за период с 1981 по 2017 $\bar{H}_{min} = 63$ см). На оз. Щучье эта величина увеличилась на 28 см, на оз. Большое Михайловское на 11 см, на оз. Коробожа на 24 см, а на оз. Сяберо на 5 см. На рисунке 3.28 представлен хронологический график хода минимальных уровней воды озера Селигер. Хронологические графики минимальных уровней озер Глубокое, Сяберо, Щучье, Коробожа и Большое Михайловское представлены в приложении Е, рисунки 6, 11, 18, 26 и 32.

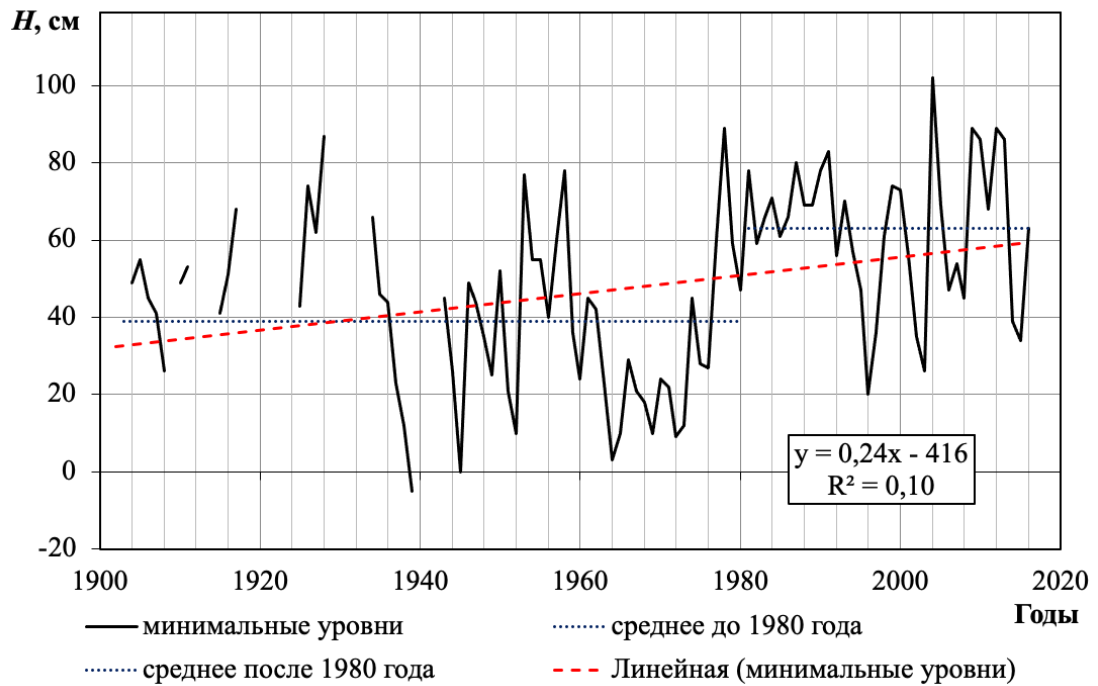


Рисунок 3.28 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Селигер.

При этом направление трендов не является одинаковым для водоемов, принадлежащих одному озерному району. Как говорилось ранее в работе, глобальные изменения климата проявлялись на водосборах исследуемых водоемов по-разному, что обусловлено региональными особенностями. Так, например, несмотря на положительные тренды в рядах годовых сумм осадков и средней температуры воздуха, на озерах Пелено, Кен-озеро, Черемнецкое, Шугозеро наблюдались статистически значимые линейные тренды на понижение уровней воды (рисунок 3.29).

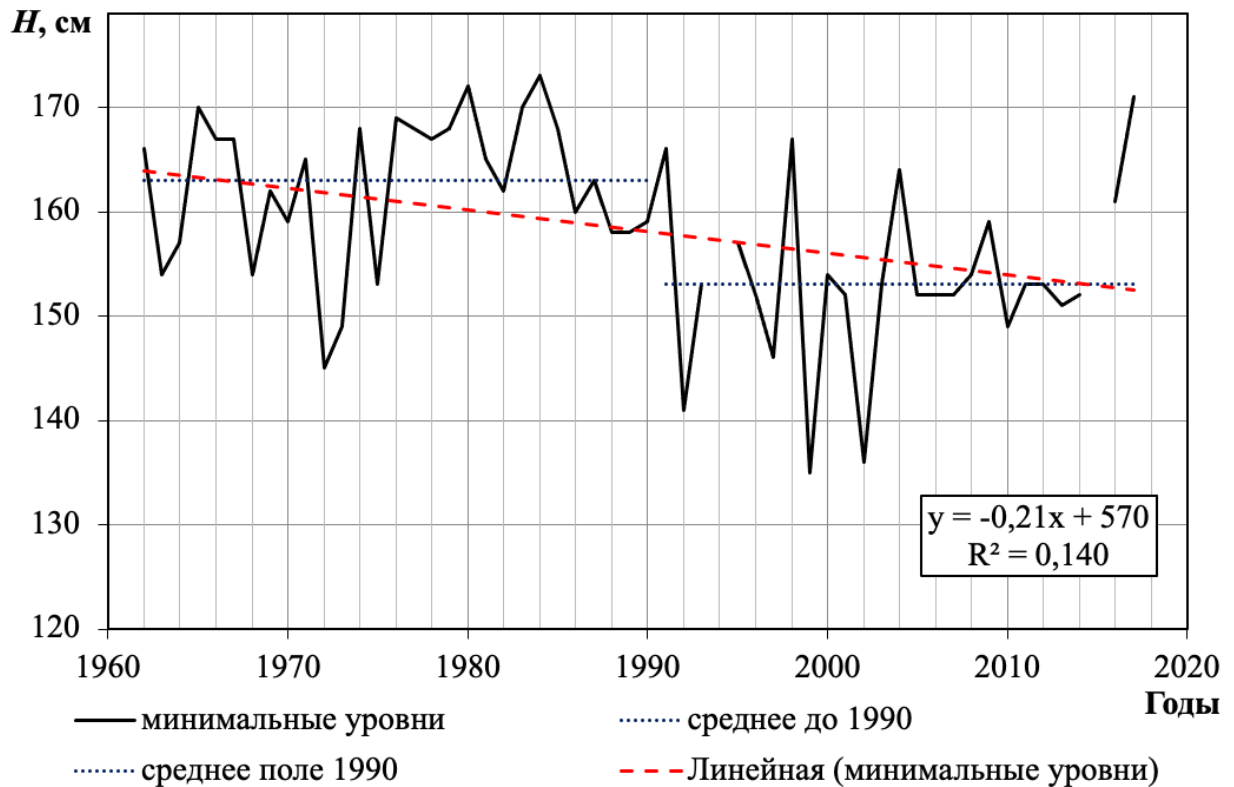


Рисунок 3.29 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Пелено.

Значения линейных трендов минимальных уровней воды на данных озерах за период наблюдений варьируются от -1 см до -5 см за 10 лет. Значения средних многолетних минимальных уровней воды за периоды наблюдений на данных озерах до 80-х годов и после уменьшились в среднем на 10 см.

Изменение в уровненом режиме озера Валдайское носит антропогенный характер. В рядах минимальных уровней воды выявлен статистически значимый линейный тренд на повышение уровней. Это связано с интенсивной хозяйственной деятельностью на этом водоеме, которая состоит главным образом в создании регулирующем сток гидротехническом сооружении. Озеро Валдайское с середины 1960-х годов зарегулировано плотиной в истоке р. Валдайка. На рисунке 3.30 представлен хронологический график минимальных уровней воды озера Валдайское.

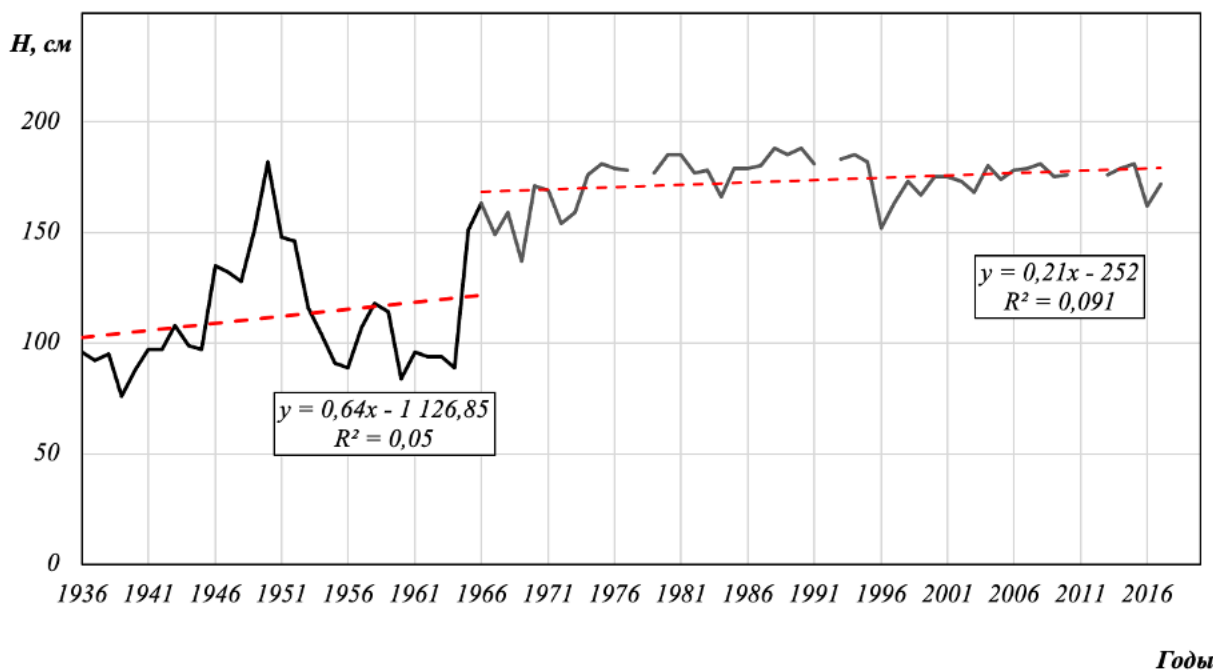


Рисунок 3.30 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Валдайское.

На представленном графике видно, что в 1965 году на озере Валдайское произошли резкие изменения, вследствие чего средний многолетний минимальный уровень увеличился на 65 см. При этом, следует отметить, что после резкого изменения уровней воды на озере Валдайское в 1965 году статистически значимый линейный тренд в рядах минимальных уровней воды отсутствует.

В рядах минимальных уровней озёр Чудское, Самро, Охват, Воже, Лача, Унд-озеро, Долгое, Лекшм-озеро, Кубенское, Ильмень статистически значимые тренды отсутствуют. При этом на данных озерах наблюдаются незначительные тенденции как на повышение, так и на понижение уровней воды.

В рядах минимальных уровней воды Ладожского озера выявлен статистически значимый линейный тренд на понижение. Скорость изменений составляет 4 см / 10 лет.

В рядах минимальных уровней воды Онежского озера после 1953 года статистически значимый тренд отсутствует. Также выявлена тенденция на повышение уровней, которая связана с образованием Верхне-Свирского водохранилища.

Совместный анализ рядов минимальных уровней воды и данных по метеостанциям показал, что наибольшие изменения произошли на озерах, которые расположены южнее на исследуемой территории. Хронологические графики минимальных уровней воды для других озер представлены в приложении Е.

Анализ полученных результатов показал, что наблюдается общая тенденция на рост минимальных уровней воды. В среднем линейный тренд равен ± 3 см/10 лет. Для части озер отмечено уменьшение средних многолетних минимальных уровней воды, а на некоторых озерах тренды на изменения уровней отсутствуют. Основной фактор, влияющий на изменения уровня режима – климат, в частности рост температуры воздуха приземного слоя атмосферы и сумм осадков за холодный период. Установлено, что повышение температуры привело к уменьшению глубины промерзания почвы и увеличению ее дренирующих свойств, возрастанию количества и продолжительности зимних оттепелей, во время которых происходит снеготаяние и водоотдача из снежного покрова, пополнение запасов грунтовых вод и формирование поверхностного стока [15]. Все это влечет за собой увеличение уровней воды в период зимней межени и, как следствие, увеличение минимальных уровней воды в целом. При этом влияние антропогенной деятельности на некоторые исследуемые озера имеет так же большое значение. Также следует отметить, что на метеорологических станциях, расположенных на севере исследуемой территории значение трендов ниже, чем на тех, что расположены южнее. И в то же время, как отмечалось ранее, наиболее заметные изменения в уровне режима также оказались на озерах, которые расположены южнее.

3.3 Максимальные уровни воды

Для оценки многолетней изменчивости максимальных уровней воды на исследуемых озерах анализировались данные о максимальных значениях уровней воды $H(t)$. Несмотря на то, что на многих озерах в рядах минимальных уровней воды выявлены статистически значимые линейные тренды, в большинстве рядов максимальных уровней значительные изменения отсутствуют. Результаты оценки

значимости линейных трендов представлены в таблице 3.3. Статистически значимые линейные тренды выявлены только на 6 озерах, на 4 из них тренды отрицательные.

Таблица 3.3 – Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах максимальных уровней воды в озерах

№	Озеро-пост	R	$t_{2\alpha}^* C_t$	$t_{2\alpha}^* C_t^* \sigma R$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
1	Валдайское – г. Валдай	0,02	2,04	0,32	Не опровергается	-
2	Ведлозеро – д. Ведлозеро	0,27	2,56	0,38	Не опровергается	-
3	Водлозеро – д. Кугонаволоок	0,00	1,99	0,23	Не опровергается	-
4	Ильмень – д. Войцы	0,14	2,21	0,24	Не опровергается	-
5	Гимольское – д. Гимолы	0,10	2,17	0,37	Не опровергается	-
6	Глубокое – д. Корвитино	0,28	2,61	0,41	Не опровергается	+
7	Ладожское – д. Сторожно	0,36	2,81	0,22	Опровергается	-
8	Лексозеро – с. Реболы	0,20	2,35	0,28	Не опровергается	+
9	Онежское – г. Петрозаводск	0,20	2,36	0,29	Не опровергается	+
10	Суоярви – г. Суоярви	0,41	3,03	0,34	Опровергается	-
11	Сяберо – д. Сяберо	0,24	2,45	0,28	Не опровергается	+
12	Сямозеро – д. Угмойла	0,00	1,99	0,24	Не опровергается	+
13	Тулмозеро – д. Палалахта	0,66	4,55	0,42	Опровергается	-
14	Черемнецкое – д. Наволок	0,10	2,14	0,28	Не опровергается	-
15	Чудское	0,14	2,21	0,24	Не опровергается	-
16	Лиелайс-Лудза	0,06	2,20	0,55	Не опровергается	-
17	Янисъярви	0,17	2,31	0,38	Не опровергается	+
18	Щучье – с. Щучье	0,04	2,03	0,23	Не опровергается	+
19	Лижмозеро – д. Кяппсельга	0,22	2,42	0,35	Не опровергается	+
20	Линдозеро – д. Линдозеро	0,03	2,06	0,31	Не опровергается	+
21	Охват – д. Бдынъ	0,19	2,33	0,25	Не опровергается	-
22	Самро – д. Усадище	0,14	2,25	0,38	Не опровергается	-
23	Сандал – д. Сопоха	0,00	2,00	0,25	Не опровергается	+
24	Остречье – д. Остречье	0,77	3,57	0,42	Опровергается	+
25	Шугозеро – д. Ульяница	0,24	2,48	0,36	Не опровергается	-
26	Коробожа – д. Устрека	0,00	1,99	0,24	Не опровергается	+
27	Лача – с. Нокола	0,07	2,09	0,22	Не опровергается	-
28	Воже – устье р. Тордокс	0,14	2,22	0,29	Не опровергается	+
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	0,17	2,28	0,29	Не опровергается	+
30	Унд-озеро – д. Гороховая	0,10	2,15	0,30	Не опровергается	-
31	Кубенское -д. Коробово	0,12	2,17	0,23	Не опровергается	-
32	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	0,14	2,27	0,42	Не опровергается	+
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	0,02	2,03	0,28	Не опровергается	+
34	Долгое – с. Вершинино	0,22	2,43	0,39	Не опровергается	+
35	оз. Куэтс-Ярви - пгт Никель	0,15	2,24	0,28	Не опровергается	+
36	оз. Пул-озеро - ст. Пулозеро	0,24	2,45	0,26	Не опровергается	-
37	оз. Ловозеро - с. Ловозеро	0,10	2,13	0,24	Не опровергается	+

№	Озеро-пост	R	$t_{2\alpha}^* C_t$	$t_{2\alpha}^* C_t^* \sigma R$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
38	оз. Умб-озеро – исток реки Умба	0,10	2,13	0,24	Не опровергается	+
39	оз. Пермус-озеро - г. Оленегорск	0,06	2,07	0,24	Не опровергается	+
40	Пелено - д. Спасское	0,45	3,35	0,42	Опровергается	-
41	Верхнее Куйто – с. Вокнаволок	0,04	2,04	0,26	Не опровергается	-
42	Ругозеро - с. Ругозеро	0,53	3,61	0,36	Опровергается	+
43	Селигер - г. Осташков	0,10	2,12	0,20	Не опровергается	+
44	Лендерское – пос. Лендеры	0,03	2,06	0,32	Не опровергается	-

Анализ полученных результатов показал, что на половине озер наблюдается общая тенденция на уменьшение максимальных уровней воды. Для I и II районов характерно преимущественно увеличение максимальных уровней воды в водоемах.

Кольский полуостров (район I)

Для озер региона характерно отсутствие статистически значимых линейных трендов уровня, что объясняется высокой проточностью и естественной зарегулированностью озер. В среднем межгодовые изменения максимальных уровней составляют 124 см.

На рисунке 3.31 в качестве примера приведен хронологический график хода максимальных уровней воды озера Умбозера. В приложении Ж приведены хронологические графики остальных озер данного региона.

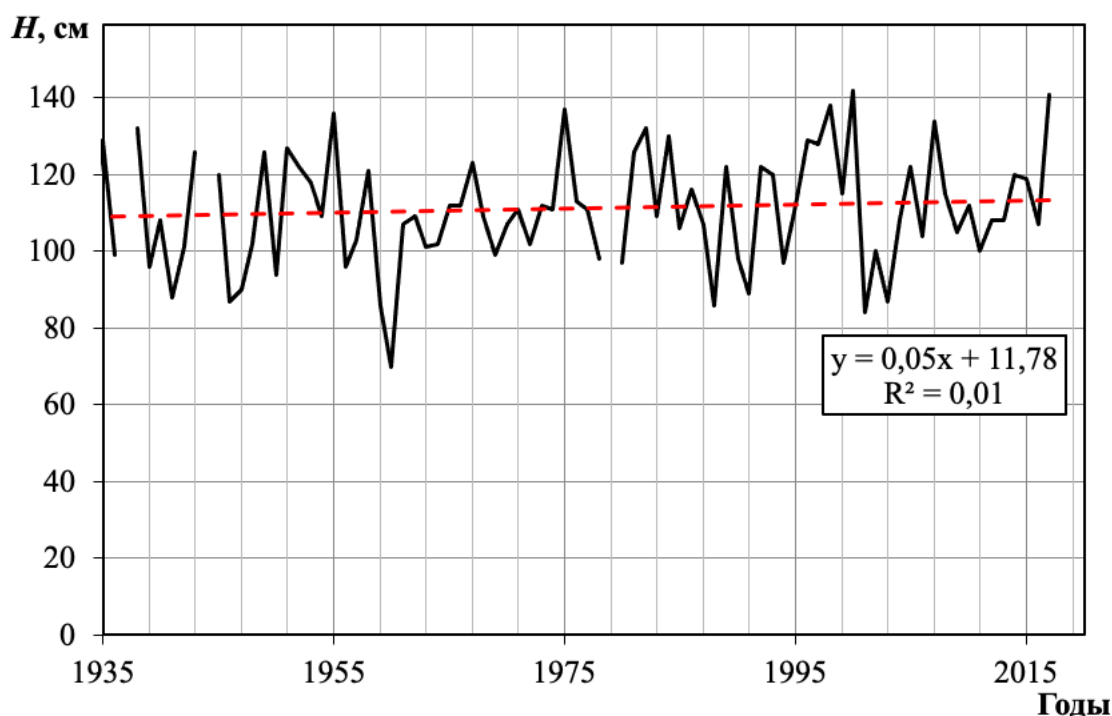


Рисунок 3.31 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Умб-озеро.

Анализ полученных результатов показал, что для озёр Умб-озеро, Пермус-озеро, Ловозеро и Куэтс-Ярви наблюдается общая тенденция на рост максимальных уровней. В среднем линейный тренд равен ± 3 см/10 лет. Для озера Пулозеро отмечено незначительное уменьшение. При этом ряд максимальных уровней озера Пулозера неоднороден по дисперсии.

Карелия (район II)

В рядах максимальных уровней озёр исследуемого района статистически значимые линейные тренды преимущественно отсутствуют. Исключение составляют озера Суоярви, Тулмозеро, Ругозеро и Остречье.

На рисунке 3.32 в качестве примера представлен хронологический график хода максимальных уровней озера Верхнее Куйто.

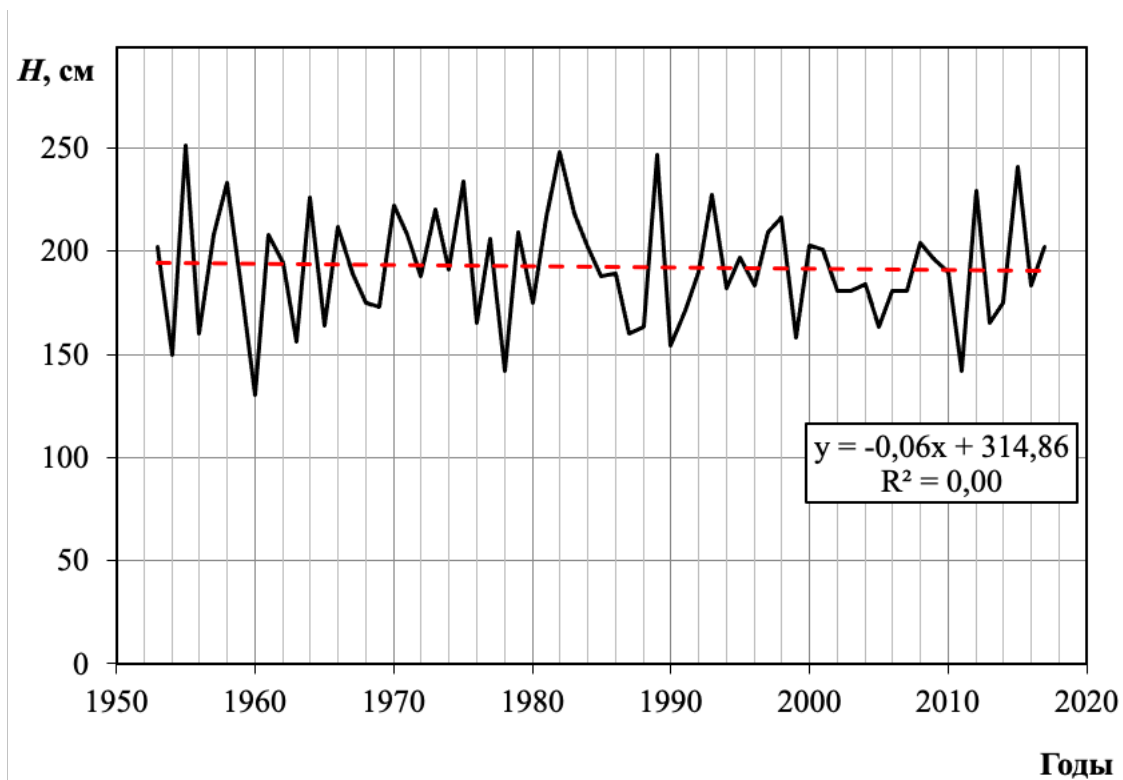


Рисунок 3.32 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Верхнее Куйто.

Анализ данных показал, что колебания уровней воды на исследуемых водоемах различны по направленности линейных трендов. В половине случаев выявлены отрицательные тренды, в остальных – положительные.

На озере Янисъярви с начала 70-х годов отмечается уменьшение размаха колебаний максимальных уровней воды (приложение Ж, рисунок 41). До 1970 межгодовые изменения уровней в среднем составляли 200 см, после – 70 см. На озере Ругозеро среднее многолетнее значение максимального уровня увеличилось на 20 см после 1994 года. На озерах Тулмозеро и Шугозеро, наоборот, это значение уменьшилось на 40 и 25 см, соответственно.

На озере Ведлозеро произошло уменьшение среднего многолетнего значения максимальных уровней на 63 см после прекращения функционирования плотины на вытекающей из озера реке Видлица (рисунок 3.33).

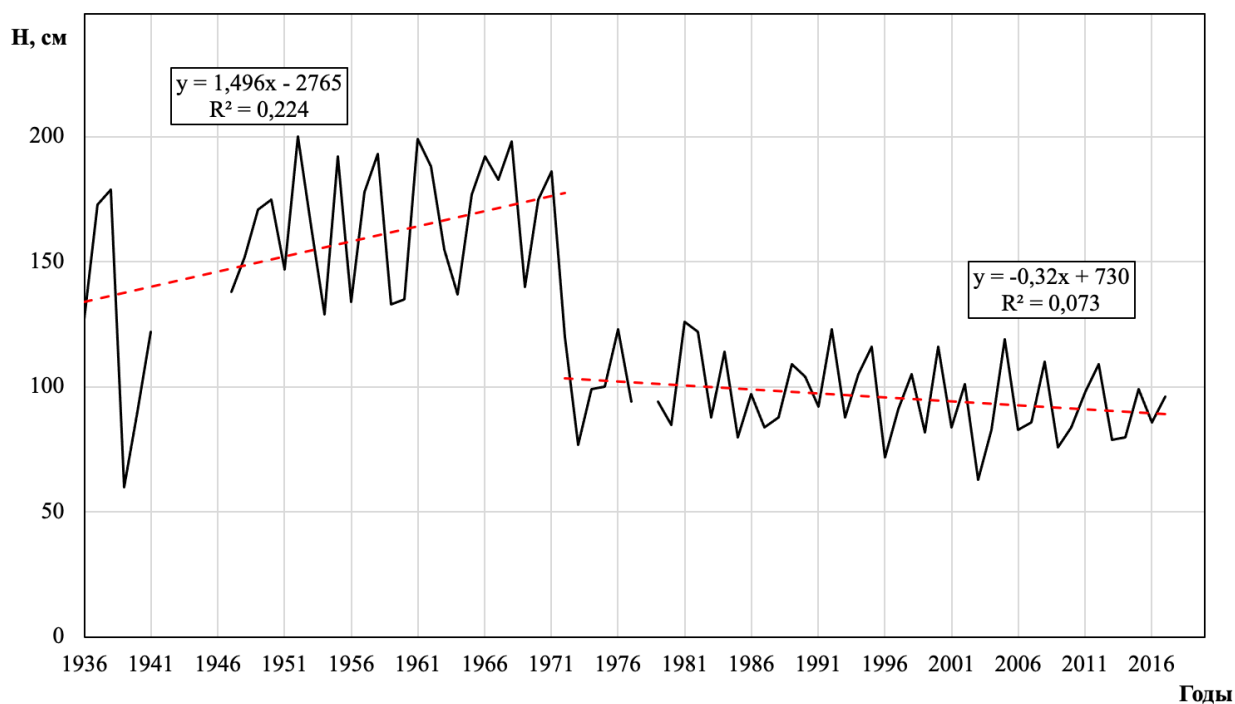


Рисунок 3.33 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Ведлозеро.

После 1971 статистически значимый линейный тренд в рядах максимальных уровней озера Ведлозеро отсутствует. Отмеченный характер изменений связан с прекращением регулирования уровня озер из-за последовательного прекращения лесосплава после 1966 г. [133]. Хронологические графики максимальных уровней озер выделенного района представлены в приложении Ж.

Северо-Запад (район III)

Для озер выделенного района характерно отсутствие статистически значимых трендов в максимальных уровнях воды, за исключением озера Пелено (рисунок 3.34).

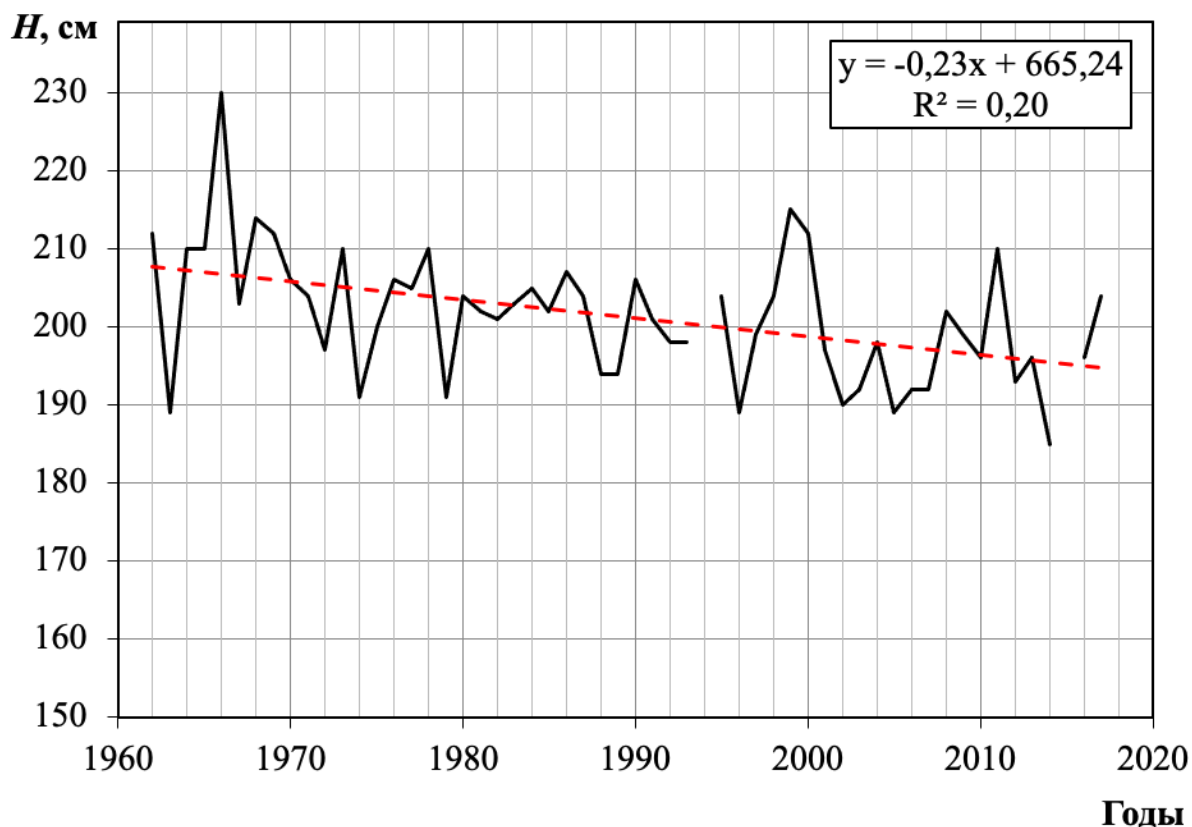


Рисунок 3.34 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Пелено.

В ряде максимальных уровней оз. Пелено выявлен статистически значимый линейный тренд на понижение, скорость которого составляет 2 см за 10 лет.

Также установлено, что 17 рядов максимальных уровней воды в озерах являются неоднородными по среднему значению или по дисперсии.

В рядах максимальных уровней воды Ладожского озера выявлен статистически значимый линейный тренд на понижение. Скорость изменений составляет 4 см / 10 лет.

В рядах максимальных уровней воды Онежского озера после 1953 года статистически значимый тренд отсутствует. Также выявлена тенденция на повышение уровней, которая связана с образованием Верхне-Свирского водохранилища.

Следует отметить, что выявленные изменения гидрологического режима озер необходимо учитывать при планировании водохозяйственных мероприятий, направленных на гарантированное обеспечение водой населения, отраслей

экономики и защищенности от негативного воздействия вод, а также при разработке методов рационального использования водных ресурсов.

Учитывая полученные результаты, можно констатировать, что неоднородность рядов максимальных уровней воды связана с наличием трендов в рядах годовых сумм осадков и средних годовых температур воздуха, то есть с естественно-природными колебаниями климата. В связи с этим, было принято решение не выполнять приведение рядов максимальных уровней воды к так называемым однородным условиям, поскольку это могло привести к необоснованному завышению расчетных максимальных уровней воды в озерах, что негативно скажется при проектировании зданий и сооружений.

4 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ОЗЕР ПРИ НАЛИЧИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В действующем нормативном документе СП 529.1325800.2023 [97] для расчета максимальных уровней неизученных проточных озер рекомендуется формула:

$$\bar{\Delta}_H = \beta \left(\frac{A}{\Omega} \right)^{0,5} \quad (4.1)$$

где $\bar{\Delta}_H$ – средний многолетний весенне-летний подъем уровня воды в озере над порогом стока, см;

A – площадь водосбора озера, км²;

Ω – площадь зеркала озера, км²;

β – коэффициент, определяемый по данным наблюдений на соседних озерах с близкими соотношениями морфометрических характеристик и режимом стока из водоема.

При этом, какую именно отметку принимать за порог стока, в нормативных документах не указано. Также отсутствует информация, в каком месте должен находиться порог стока. Следует отметить, что в месте, где происходит сток из озера, зачастую происходят деформации русла вытекающей реки, которые меняют отметку порога стока во времени и по местоположению. При этом во многих районах находятся бессточные озера, у которых порог стока отсутствует ввиду морфологических особенностей строения водоема. В таком случае нормативный документ не регламентирует, от какой отметки производить расчет среднего многолетнего превышения уровня.

В данной работе предлагается в качестве нуля графика озер использовать отметку среднего многолетнего минимального уровня в меженный период – $\bar{H}_{min}$. Эту отметку при полевых изысканиях определить с приемлемой точностью не сложнее, чем порог стока. Дополнительную информацию можно получить на основе опроса местных жителей. Кроме того, в большинстве случаев эта отметка близка к отметке уровня озера, который нанесен на топографические карты.

При проведении дальнейших расчетов по определению уровней воды различной обеспеченности все ряды были приведены к отметке среднего многолетнего минимального уровня, а не к отметке нуля поста.

В связи с тенденцией потепления климата, наблюдающейся в последние десятилетия XX века, разработан ряд рекомендаций для оценки рядов гидрологических наблюдений с нарушенной стационарностью (однородностью) в результате влияния климатических факторов [61–63, 97]. Все расчеты основных статистических характеристик приведенных рядов уровней озер исследуемого района проводился в соответствии с последним нормативным документом – СП 529.1325800.2023 и дополняющих его рекомендаций [61–63, 97]. Вычисление ординат аналитических кривых было произведено по трехпараметрическому распределению Крицкого–Менкеля и Пирсона III типа (при наличии отрицательных значений коэффициентов асимметрии в рядах). В случае неоднородности по критериям Стьюдента и/или Фишера распределение исследуемых характеристик рассчитывалось по двум частям ряда с построением усеченных и составных кривых.

Продолжительность периода наблюдений при расчетах максимальных уровней считалась достаточной, если относительная погрешность для среднего значения ряда не превышала 10 %, а коэффициента вариации (C_v) – 15 %.

Среднее значение уровней воды ($\bar{H}$, см) определялось по формуле:

$$H = \frac{\sum H_i}{n}, \quad (4.2)$$

где n – длина анализируемого ряда;

i – порядковый номер;

H_i – уровень воды i -ого порядка, см.

Коэффициент вариации (C_v) рассчитывался по формуле:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{n - 1}} \quad (4.3)$$

Коэффициент асимметрии (C_s) рассчитывался по формуле:

$$C_s = \frac{n \sum (k_i - 1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3}, \quad (4.4)$$

Среднеквадратическое отклонение (σ) рассчитывалось по формуле:

$$\sigma = C_v H, \quad (4.5)$$

Относительная погрешность для среднего значения рассчитывалась по формуле (4.6):

$$\varepsilon_H = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\%, \quad (4.6)$$

а для коэффициента вариации по формуле (4.7):

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1 + r^2} \right) 100\%, \quad (4.7)$$

Результаты расчета основных статистических характеристик приведенных рядов уровней озер представлены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Основные статистические характеристики приведенных рядов уровней воды

№	Озеро - Пост	K	$\bar{H}$, см	C_s	σ	C_v	C_s/C_v	D	εH , %	εC_v , %
1	Валдайское – г. Валдай	4,93	36	0,98	4,57	0,13	7,7	20,84	2,05	11,12

№	Озеро - Пост	K	$\bar{H}$, см	C_s	σ	C_v	C_s/C_v	D	ϵH , %	ϵC_v , %
2	Ведлозеро* – д. Ведлозеро	10,69	87,14	0,61	38,45	0,44	1,39	1479	3,99	10,72
3	Водлозеро* – д. Кугонаволоок	14,39	115	-0,38	13,52	0,12	-3,20	183	3,99	20,60
4	Ильмень – д. Войцы	60,54	361	-0,12	82,85	0,23	-0,52	6865	3,21	8,27
5	Гимольское – д. Гимолы	33,11	111	0,24	32,53	0,29	0,80	1058	5,08	12,18
6	Глубокое – д. Корвитино	7,33	48	1,21	9,06	0,19	6,33	82	3,43	11,58
7	Ладожское – о. Валаам	15,59	79	0,29	51	0,65	0,45	2598	9,61	9,75
8	Лексозеро – с. Реболы	20,78	98	0,01	29,50	0,30	0,05	870	3,63	8,72
9	Онежское – г. Петрозаводск	6,48	99	-0,36	22,60	0,23	-1,58	511	3,80	9,42
10	Суоярви – г. Суоярви	27,79	97	0,59	30,67	0,32	1,88	941	4,59	9,09
11	Сяберо – д. Сяберо	3,38	27	0,61	10,41	0,39	1,57	108	5,94	10,13
12	Сямозеро – д. Угмойла	5,94	48	0,78	16,78	0,35	2,21	282	5,18	9,17
13	Тулмозеро – д. Палалахта	57,17	158	-0,10	23,14	0,15	-0,66	535	3,99	9,76
14	Череменецкое – д. Наволок	33,07	100	0,70	45,81	0,46	1,53	2098	6,17	10,00
15	Чудское – д. Раскопель	13,61	98	-0,14	44,27	0,45	-0,31	1960	6,60	9,44
16	Лиелайс-Лудза	71,95	147	-2,15	13,24	0,09	-23,88	175	1,90	16,76
17	Янисъярви	20,93	153	-1,12	40,04	0,26	-4,30	1603	4,57	11,83
18	Щучье – с. Щучье	25,04	123	0,38	30,23	0,25	1,53	914	2,82	8,03
19	Лижмозеро – д. Кяппсельга	7,31	61	0,12	21,33	0,35	0,34	455	5,53	10,79
20	Линдозеро – д. Линдозеро	177,78	114	0,70	26,71	0,23	2,97	713	3,61	10,90
21	Охват – д. Бдынъ	43,09	168	0,02	40,18	0,24	0,10	1615	3,19	8,08
22	Самро – д. Усадиче	2,14	36	-0,59	19,64	0,55	-1,07	386	24,49	20,61
24	Остречье – д. Остречье	3,3	33	-0,65	16,4	0,50	-1,30	269	19,20	18,33
25	Шугозеро – д. Ульяница	16,61	102	0,10	24,52	0,24	0,42	601	5,47	11,77
26	Коробожа – д. Устрека	159,44	160	0,30	44,26	0,28	1,09	1959	4,29	8,99
27	Лача – с. Нокола	35,9	149	0,61	36,64	0,25	2,49	1343	2,67	7,62
28	Воже – устье р. Тордокс	14,83	154	0,28	38,06	0,25	1,12	1449	3,30	9,30

№	Озеро - Пост	K	$\bar{H}$, см	C_s	σ	C_v	C_s/C_v	D	ϵH , %	ϵC_v , %
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	79,45	214	-0,15	49,36	0,23	-0,65	2437	3,01	9,19
30	Унд-озеро – д. Гороховая	15,86	118	-0,60	23,58	0,20	-3,01	556	2,83	9,88
31	Кубенское – д. Коробово	88,55	374	0,14	71,68	0,19	0,72	5137	2,33	7,74
32	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	105,5	109	-0,16	22,21	0,20	-0,78	493	3,81	12,91
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	3,62	35	-0,23	13,98	0,39	-0,59	196	8,73	12,30
34	Долгое – с. Вершинино	350,76	212	2,10	50,78	0,24	8,77	2579	6,68	16,04
35	оз. Куэтс-Ярви – пгт Никель	39,53	95	0,38	31,53	0,33	1,16	994	4,19	9,11
36	оз. Пул-озеро – ст. Пулозеро	131,09	110	0,68	28,36	0,26	2,66	805	2,94	7,79
37	оз. Ловозеро – с. Ловозеро	16,91	88	0,13	26,13	0,30	0,43	683	3,36	8,07
38	оз. Умб-озеро – исток реки Умба	7,6	72	0,03	15,20	0,21	0,16	231	2,42	7,93
39	оз. Пермус-озеро – г. Оленегорск	20,61	73	0,01	19,31	0,26	0,05	373	2,98	8,19
40	Пелено – д. Спасское	7,39	43	0,57	8,39	0,20	2,94	70	3,51	10,13
41	Верхнее Куйто – с. Вокнаволоок	30,79	123	0,10	27,53	0,22	0,44	758	2,81	8,96
42	Ругозеро – с. Ругозеро	17,68	41	0,12	16,72	0,40	0,29	279	7,20	10,37
43	Селигер – г. Осташков	14,07	89	-0,48	33,93	0,38	-1,27	1151	5,27	8,05
44	Лендерское – пос. Лендеры	472,73	100	0,23	21,94	0,22	1,04	481	3,49	11,00

Как видно из таблицы, относительные погрешности в приведенных рядах уровней воды для среднего значения находятся в интервале от 2 до 10 %. Относительные погрешности коэффициента вариации находятся в диапазоне от 7 до 20 %. Исключение составляют погрешности на озере Самро, которые равны 24 и 20 %, соответственно.

Так как во всех случаях погрешности расчета числовых характеристик не превышают допустимых значений, расчет можно считать надежным.

Гидрологический ряд считается однородным, если в течение всего рассматриваемого периода условия формирования уровня режима водоема оставались

неизменными. Антропогенное воздействие и природные катаклизмы могут привести к изменению условий формирования уровня режима и нарушить однородность ряда. Проверка рядов на однородность проводилась с использованием критериев Фишера и Стьюдента. Результаты проверки на однородность представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты проверки рядов на однородность

Район	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы об однородности			
		По критерию Фишера		По критерию Стьюдента	
		Абсолютное	Относительное, %	Абсолютное	Относительное, %
Район I (Кольский сегмент)	5	1	20	0	0
Район II (карельский сегмент)	14	4	29	7	50
Район III (Северо-Запад)	22	4	18	3	14

Так же была проведена оценка значимости линейных трендов в приведенных рядах уровней озер, результаты приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты оценки значимости линейных трендов

№	Озеро-пост	R	R/σ_R	$t_{2\alpha}^* C_t$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
1	Валдайское – г. Валдай	0,18	1,14	2,35	Не опровергается	-
2	Ведлозеро – д. Ведлозеро	0,27	1,84	2,56	Не опровергается	-
3	Водлозеро – д. Кугонаволоок	0,05	0,15	2,29	Не опровергается	-
4	Ильмень – д. Войцы	0,14	1,28	2,21	Не опровергается	-
5	Гимольское – д. Гимолы	0,10	0,59	2,17	Не опровергается	-
6	Глубокое – д. Корвитино	0,28	1,64	2,63	Не опровергается	+
7	Ладожское – д. Сторожно	0,36	4,69	2,81	Опровергается	-
8	Лексозеро – с. Реболы	0,10	0,77	2,14	Не опровергается	+
9	Онежское – г. Петрозаводск	0,20	1,66	2,36	Не опровергается	+
10	Суоярви – г. Суоярви	0,41	3,68	3,03	Не опровергается	-
11	Сяберо – д. Сяберо	0,25	2,16	2,47	Не опровергается	+
12	Сямозеро – д. Угмойла	0,07	0,58	2,09	Не опровергается	+
13	Тулмозеро – д. Палалахта	0,53	3,79	3,67	Опровергается	-
14	Черемонецкое – д. Наволок	0,10	0,76	2,14	Не опровергается	-
15	Чудское	0,14	1,29	2,21	Не опровергается	-
16	Лиелайс-Лудза	0,06	0,22	2,2	Не опровергается	-
17	Янисъярви	0,16	0,97	2,29	Не опровергается	+
18	Щучье – с. Щучье	0,04	0,4	2,03	Не опровергается	+

№	Озеро-пост	R	R / σ_R	$t_{2\alpha}^* C_t$	$H_0: R = 0$	Знак тренда
19	Лижозеро – д. Кяппсельга	0,22	1,56	2,42	Не опровергается	+
20	Линдозеро – д. Линдозеро	0,03	0,2	2,06	Не опровергается	0
21	Охват – д. Бдынъ	0,19	1,81	2,33	Не опровергается	-
22	Самро – д. Усадище	0,14	0,8	2,26	Не опровергается	-
24	Остречье – д. Остречье	0,56	3,73	2,22	Опровергается	+
25	Шугозеро – д. Ульяница	0,24	1,68	2,48	Не опровергается	-
26	Коробожа – д. Устрека	0,03	0,28	2,03	Не опровергается	0
27	Лача – с. Нокола	0,00	0	1,99	Не опровергается	0
28	Воже – устье р. Тордокс	0,14	1,1	2,22	Не опровергается	+
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	0,17	1,36	2,28	Не опровергается	+
30	Унд-озеро – д. Гороховая	0,11	0,8	2,17	Не опровергается	-
31	Кубенское -д. Коробово	0,10	0,93	2,13	Не опровергается	-
32	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	0,14	0,77	2,27	Не опровергается	+
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	0,00	0	2,01	Не опровергается	0
34	Долгое – с. Вершинино	0,22	1,99	2,39	Не опровергается	+
35	Куэтс-Ярви - пгт. Никель	0,14	1,14	2,22	Не опровергается	+
36	Пулозеро - ст. Пулозеро	0,23	2,22	2,43	Не опровергается	-
37	Ловозеро - с. Ловозеро	0,10	0,87	2,13	Не опровергается	+
38	Умб-озеро - исток р. Умба	0,10	0,9	0,24	Не опровергается	+
39	Пермус-озеро - г. Олене-горск	0,00	0	1,99	Не опровергается	0
40	Пелено - д. Спасское	0,45	3,61	3,35	Опровергается	-
41	Верхнее Куйто – с. Вок-наволоок	0,00	0	2	Не опровергается	-
42	Ругозеро - с. Ругозеро	0,54	5,35	2,57	Опровергается	+
43	Селигер - г. Осташков	0,10	1,06	2,12	Не опровергается	+
44	Лендерское - Лендеры	0,17	1,13	2,3	Не опровергается	+

С использованием полученных статистических параметров были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей, которые представлены в приложении И и рассчитаны максимальные уровни воды озер различной обеспеченности. В качестве аналитических кривых использовались кривые обеспеченности Крицкого–Менкеля и Пирсона III типа, расчет выполнялся методом моментов.

На рисунке 4.1, в качестве примера, представлена аналитическая кривая Крицкого–Менкеля данным наблюдений за уровнем озера Ловозеро, полученная по приведенному ряду.

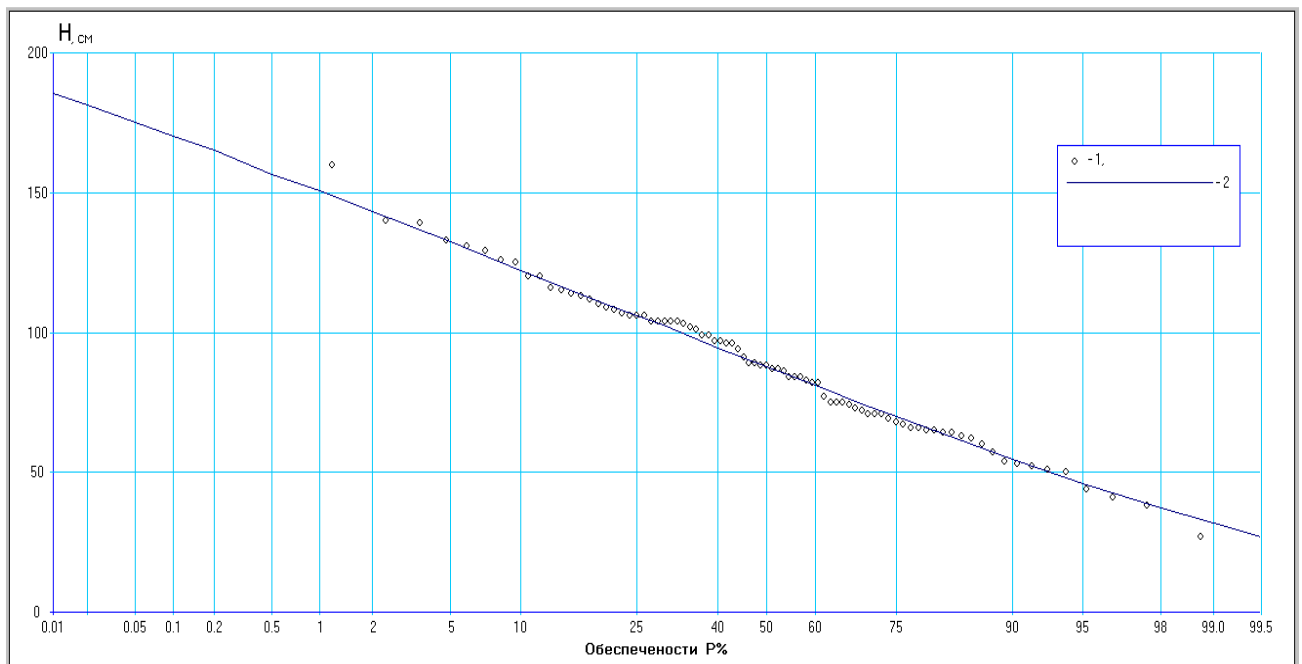


Рисунок 4.1 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого–Менкеля) кривые обеспеченностей для уровней озера Ловозеро.

На рисунке 4.2, в качестве примера, представлена аналитическая кривая Пирсона III типа данным наблюдений за уровнем озера Чудское, полученная по приведенному ряду.

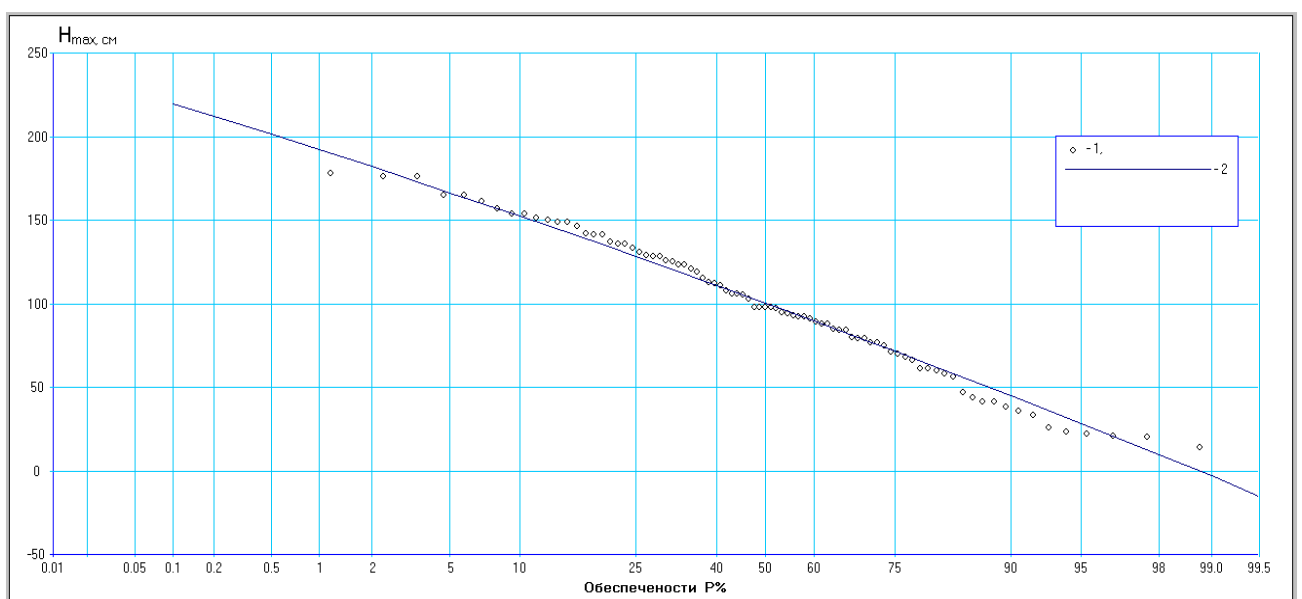


Рисунок 4.2 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей для уровней озера Чудское.

Как показал анализ, ряды максимальных уровней воды озера Суоярви, Остречье, Ругозеро, Тулмозеро, Янисъярви являются неоднородными. Основная причина неоднородности – наличие климатических трендов. В этом случае СП 529.1325800.2023 допускает использование усеченных кривых трехпараметрического гамма-распределения (кривая Крицкого–Менкеля). Сущность усечения кривой распределения состоит в том, что рассматривают только верхнюю часть кривой распределения максимальных уровней воды.

На рисунках 4.3–4.7 представлены эмпирические и усеченные аналитические кривые обеспеченностей озера Суоярви, Остречье, Ругозеро, Тулмозеро, Янисъярви.

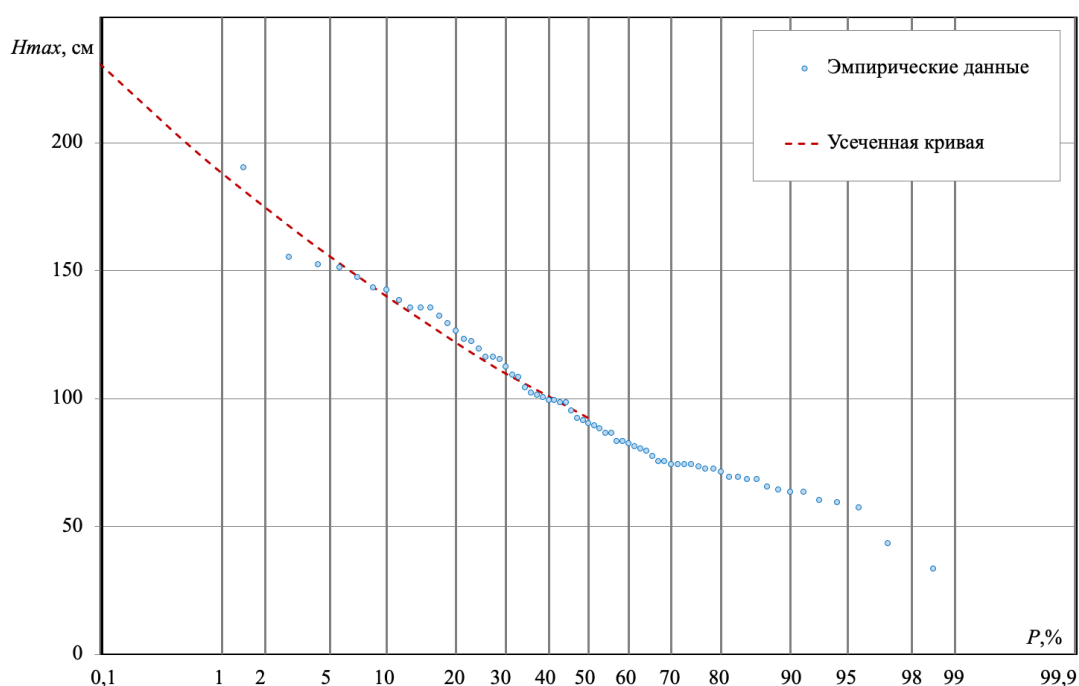


Рисунок 4.3 – Эмпирическая и усеченная аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей типа для уровней озера Суоярви.

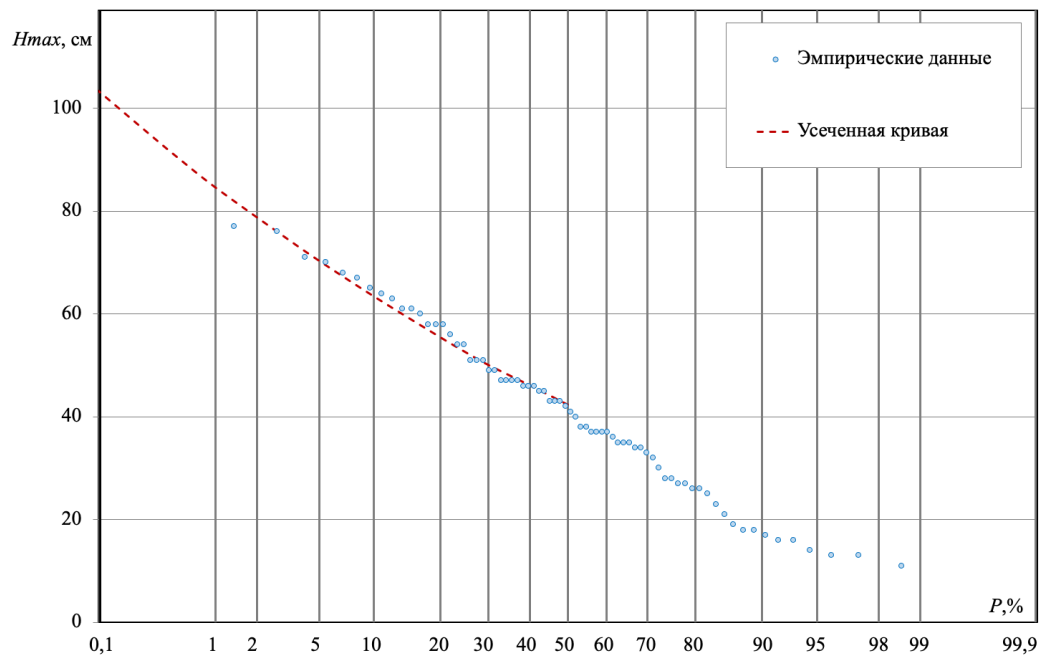


Рисунок 4.4 – Эмпирическая и усеченная аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей типа для уровней озера Ругозеро.

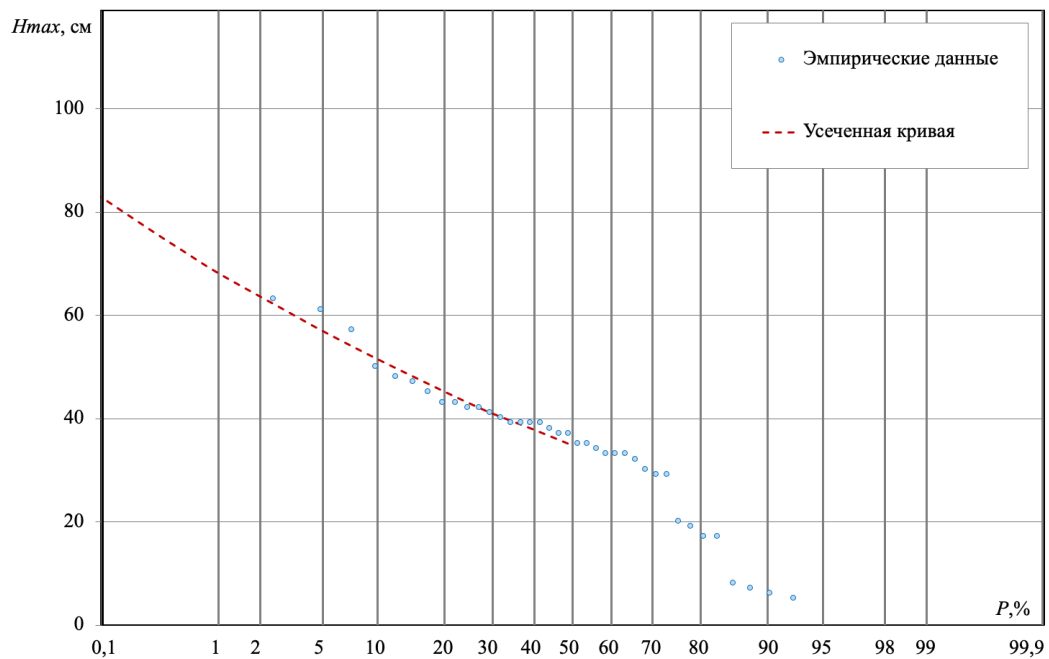


Рисунок 4.5 – Эмпирическая и усеченная аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей типа для уровней озера Остречье.

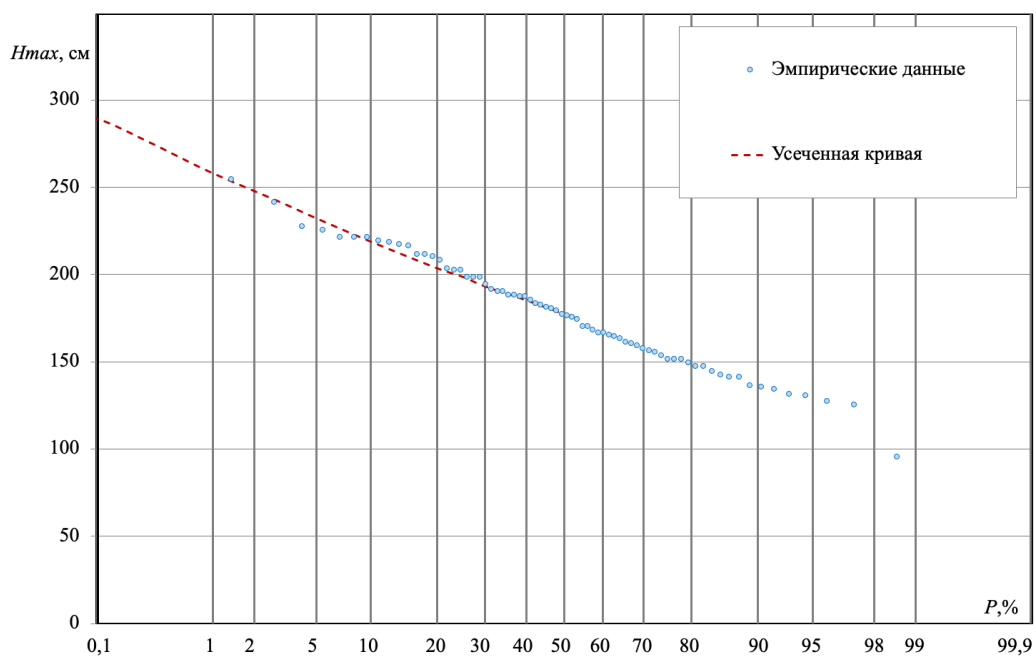


Рисунок 4.6 – Эмпирическая и усеченная аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей типа для уровней озера Тулмозеро.

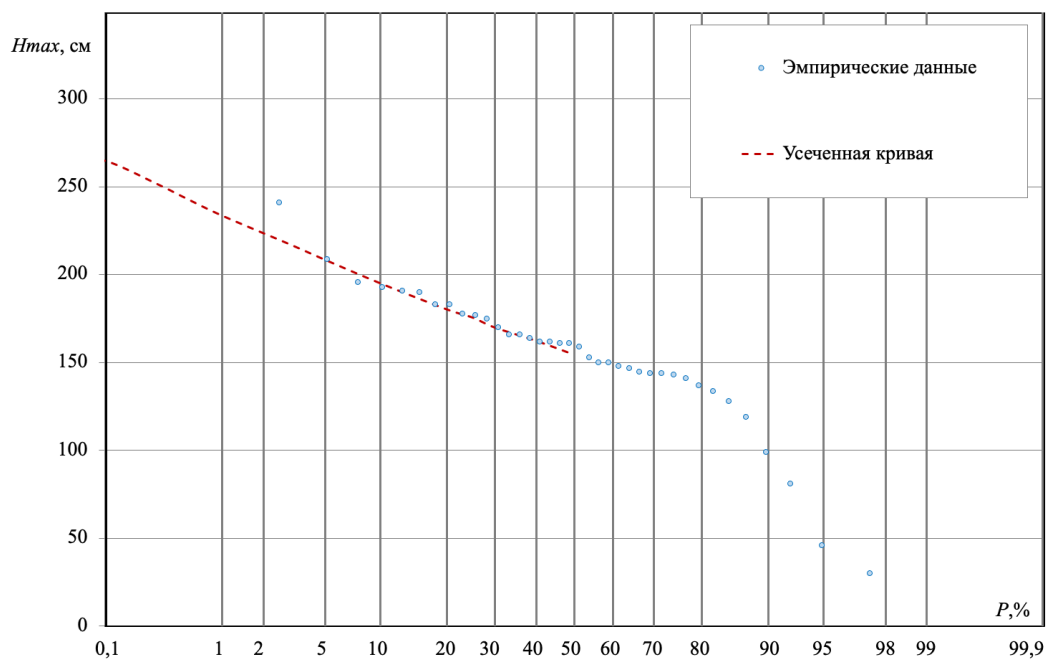


Рисунок 4.7 – Эмпирическая и усеченная аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей типа для уровней озера Янисъярви.

Для всех исследуемых озер были получены уровни воды 1 %, 5 % и 10 % обеспеченности. Результаты представлены в таблице 4.4. При этом, по полученным

аналитическим кривым распределения, в случае необходимости, можно рассчитать максимальные уровни других обеспеченностей.

Таблица 4.4 – Уровни воды 1 %, 5 %, 10 % обеспеченности исследуемых озер

№	Озеро - Пост	$\bar{H}_{min}$, м БС	Рассчитанные уровни воды H_{max}					
			в см			в м БС		
			$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{10\%}$	$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{10\%}$
1	Валдайское – г. Валдай	192,27	51	45	42	192,78	192,72	192,69
2	Ведлозеро* – д. Ведлозеро	76,34	105	93	86	77,39	77,27	77,2
3	Водлозеро* – д. Кугонаво-лок	136,58	151	140	134	138,09	137,98	137,92
4	Ильмень – д. Войцы	17,07	546	493	466	22,53	22	21,73
5	Гимольское – д. Гимолы	163,5	193	167	154	165,43	165,17	165,04
6	Глубокое – д. Корвитино	8,46	75	64	59	9,21	9,1	9,05
7	Ладожское – о. Валаам	4,42	198	163	145	6,4	6,05	5,87
8	Лексозеро – с. Реболы	173,94	169	150	140	175,63	175,44	175,34
9	Онежское – г. Петрозаводск	33,43	146	134	127	34,89	34,77	34,7
10	Суоярви – г. Суоярви	136,9	182	152	137	138,72	138,42	138,27
11	Сяберо – д. Сяберо	46,34	56	46	42	46,9	46,8	46,76
12	Сямозеро – д. Угмойла	106,59	97	79	70	107,56	107,38	107,29
13	Тулмозеро – д. Палалахта	75,25	248	227	216	77,73	77,52	77,41
14	Черемнецкое – д. Наволок	38,08	224	174	151	40,32	39,82	39,59
15	Чудское – с. Раскопель	29,49	192	166	152	31,41	31,15	31,01
16	Лиелайс-Лудза	131,85	297	248	225	134,82	134,33	134,1
17	Янисъярви – п. Янисъярви	63,65	234	209	195	65,99	65,74	65,60
18	Щучье – с. Щучье	177,38	202	176	163	179,4	179,14	179,01
19	Лижмозеро – д. Кяппсельга	68,02	111	97	89	69,13	68,99	68,91
20	Линдозеро – д. Линдозеро	131,77	189	162	149	133,66	133,39	133,26
21	Охват – д. Бдынь	215,49	267	237	221	218,16	217,86	217,7
22	Самро – д. Усадище	65,3	73	64	59	66,03	65,94	65,89
24	Остречье – д. Остречье	128,93	63	56	52	129,56	129,49	129,45
25	Шугозеро – д. Ульяница	74,08	162	144	134	75,7	75,52	75,42
26	Коробожа – д. Устрека	144,7	274	237	219	147,44	147,07	146,89
27	Лача – с. Нокола	117,21	251	215	197	119,72	119,36	119,18
28	Воже – устье р. Тордокс	120,56	250	219	203	123,06	122,75	122,59
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	84,91	324	293	277	88,15	87,84	87,68
30	Унд-озеро – д. Гороховая	118,54	163	153	147	120,17	120,07	120,01
31	Кубенское – д. Коробово	108,26	549	495	467	113,75	113,21	112,93

№	Озеро - Пост	$\overline{H}_{min}$, м БС	Рассчитанные уровни воды Нmax					
			в см			в м БС		
			$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{10\%}$	$H_{1\%}$	$H_{5\%}$	$H_{10\%}$
32	Большое Михайловское – д. Новая Деревня	18,7	159	145	138	20,29	20,15	20,08
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	155,23	67	58	54	155,9	155,81	155,77
34	Долгое – с. Вершинино	84,95	55	45	40	85,5	85,4	85,35
35	Куэтс-Ярви – пгт Никель	20,65	177	150	137	22,42	22,15	22,02
36	Пул-озеро – ст. Пулозеро	116,05	191	161	148	117,96	117,66	117,53
37	Ловозеро – с. Ловозеро	153,82	152	133	122	155,34	155,15	155,04
38	Умб-озеро – исток реки Умба	149,32	108	97	92	150,4	150,29	150,24
39	Пермус-озеро – г. Оленегорск	141,49	118	105	98	142,67	142,54	142,47
40	Пелено – д. Спасское	172,14	67	59	54	172,81	172,73	172,68
41	Верхнее Куйто – с. Вокнаволоок	102,451	190	169	159	104,351	104,141	104,041
42	Ругозеро – с. Ругозеро	130,58	80	70	63	131,38	131,28	131,21
43	Селигер – г. Осташков	205,17	156	140	131	206,73	206,57	206,48
44	Лендерское – пос. Лендеры	146,68	155	138	128	148,23	148,06	147,96

Учитывая, что расчеты были выполнены в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, полученные данные можно использовать для дальнейших расчетов при проектировании различных объектов в районе исследований. А также в качестве аналогов при расчетах гидрологических характеристик во время выполнения гидрометеорологических изысканий. В результате были обобщены статистические параметры кривых обеспеченностей Крицкого–Менкеля для выделенных районов, рисунок 4.8.

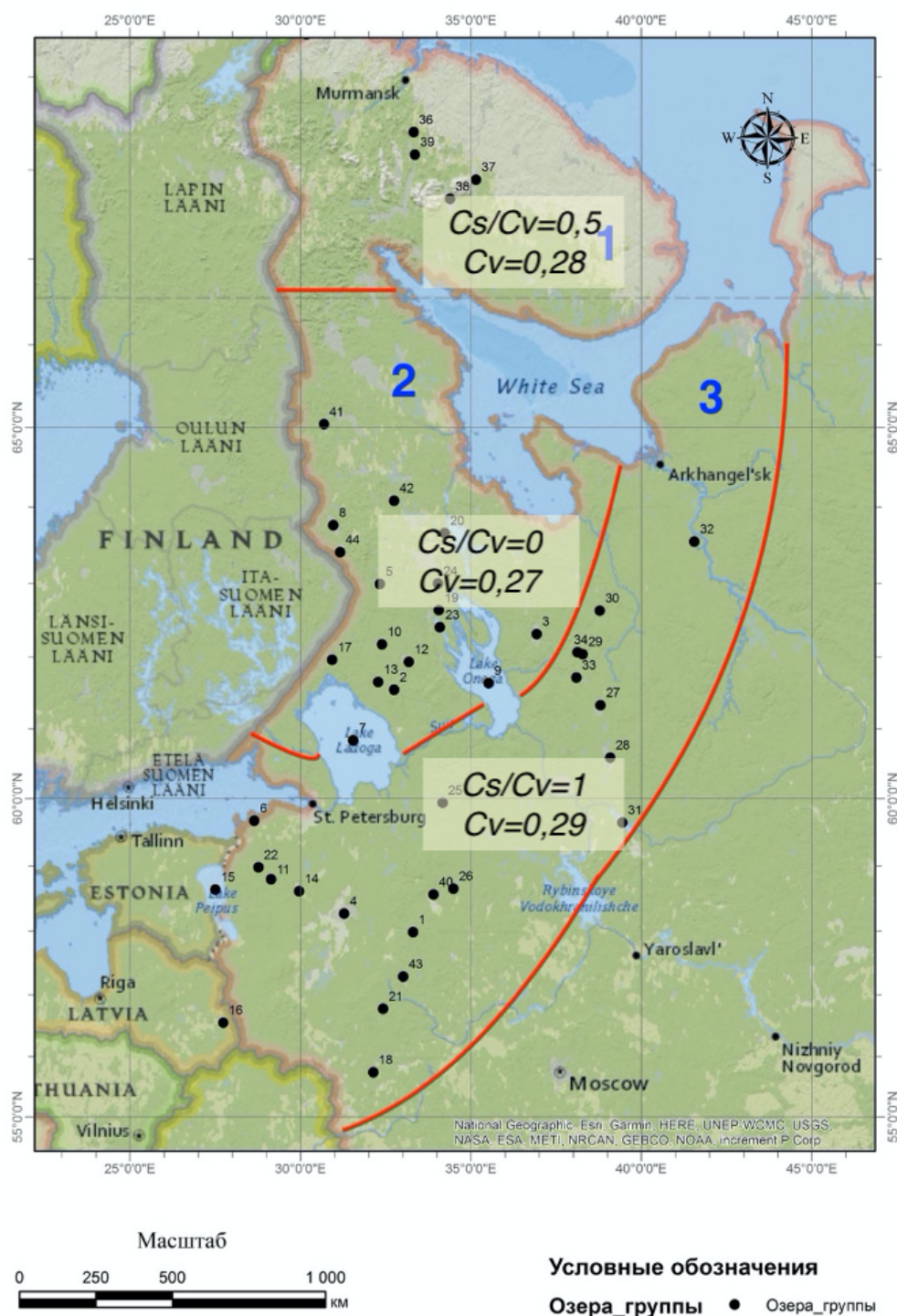


Рисунок 4.8 – Обобщенные параметры для выделенных районов.

Учитывая большую погрешность коэффициента асимметрии, в качестве расчетного значения отношения C_s/C_v принято его эмпирическое значение $(C_s/C_v)^*$ с округлением до 0,5 в большую сторону. Отношение C_s/C_v принято средним в пределах выделенных районов: район 1 – $C_s/C_v = 0,5$; район 2 – $C_s/C_v = 0$; район 3 – $C_s/C_v = 1,0$.

5 РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ОЗЕР ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

5.1 Максимальные уровни воды

При выполнении комплексных инженерных изысканий в зависимости от поставленной задачи специалистам, как правило, необходимо рассчитать максимальные уровни водоемов различной обеспеченности, на которых отсутствуют наблюдения за их уровнем режимом. Чаще всего озера, на которых проводятся изыскания, относятся к малым и очень малым озерам.

В действующем нормативном документе СП 529.1325800.2023 [97] для расчета максимальных уровней неизученных проточных озер рекомендуется формула:

$$\bar{\Delta}_H = \beta \left(\frac{A}{\Omega} \right)^{0,5} \quad (5.1)$$

где $\bar{\Delta}_H$ – средний многолетний весенне-летний подъем уровня воды в озере над порогом стока, см;

A – площадь водосбора озера, км²;

Ω – площадь зеркала озера, км²;

β – коэффициент, определяемый по данным наблюдений на соседних озерах с близкими соотношениями морфометрических характеристик и режимом стока из водоема. При этом, согласно СП 33-101-2003 [134] параметр β для Кольского полуострова и Карелии принимают равным 20, для озер северных и центральных областей европейской территории России – 32.

Значения коэффициента вариации (C_v) и отношение коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии (C_s/C_v) при этом также рекомендуется определять по данным наблюдений на соседних, изученных озерах.

На практике при использовании этих рекомендаций возникают определенные трудности:

- методика может применяться только для проточных озер;
- при полевых изысканиях не всегда надежно определяется отметка порога стока озера;
- для корректного расчета необходимо знать не только порог стока неизученного озера, но и озера-аналога, так как коэффициент вариации зависит от нуля графика водомерного поста.
- в некоторых районах сложно подобрать озеро-аналог.
- при использовании одного аналога ошибка параметра β может быть существенной.

Учитывая сказанное, в настоящей работе предлагается следующее:

а) в качестве нуля графика неизученного озера использовать не отметку порога стока озера, а отметку среднего многолетнего минимального уровня межени – $\bar{H}_{min}$. Эту отметку при полевых изысканиях определить с приемлемой точностью не сложнее, чем порог стока (если изыскания проводятся в период летней межени). Дополнительную информацию можно получить на основе опроса местных жителей. Кроме того, в большинстве случаев эта отметка близка к отметке уровня озера, который нанесен на топографические карты. Из публикаций на эту тему можно отметить [20–23, 28, 40];

б) в качестве характеристики изменчивости максимального уровня озера рассматривать не коэффициент вариации, а среднеквадратическое отклонение, которое не зависит от нуля графика водомерного поста;

в) параметры распределения максимальных уровней воды неизученного озера определять не по одному аналогу, а на основе региональных обобщений с использованием всей имеющейся информации по режиму озер исследуемого района.

При обосновании данной методики были исключены озера с площадью удельного водосбора (A/Ω) более 100. Оставшиеся озера были разбиты на две

группы. Первая группа включала только малые и средние озера [42, 64], с площадью зеркала менее 100 км². Вторая группа – включала все озера.

В результате проведенных расчетов, было установлено, что для первой группы озер имеет место устойчивая зависимость среднего максимального уровня воды над $\bar{H}_{min}$ от показателя $\left(\frac{A}{\Omega}\right)^{0,5}$ для всей рассматриваемой территории (5.2):

$$H_{max} = 21\left(\frac{A}{\Omega}\right)^{0,5} \quad (5.2)$$

На рисунке 5.1 представлена зависимость среднего максимального уровня озера от показателя $\left(\frac{A}{\Omega}\right)^{0,5}$ для территории Северо-Запада РФ.

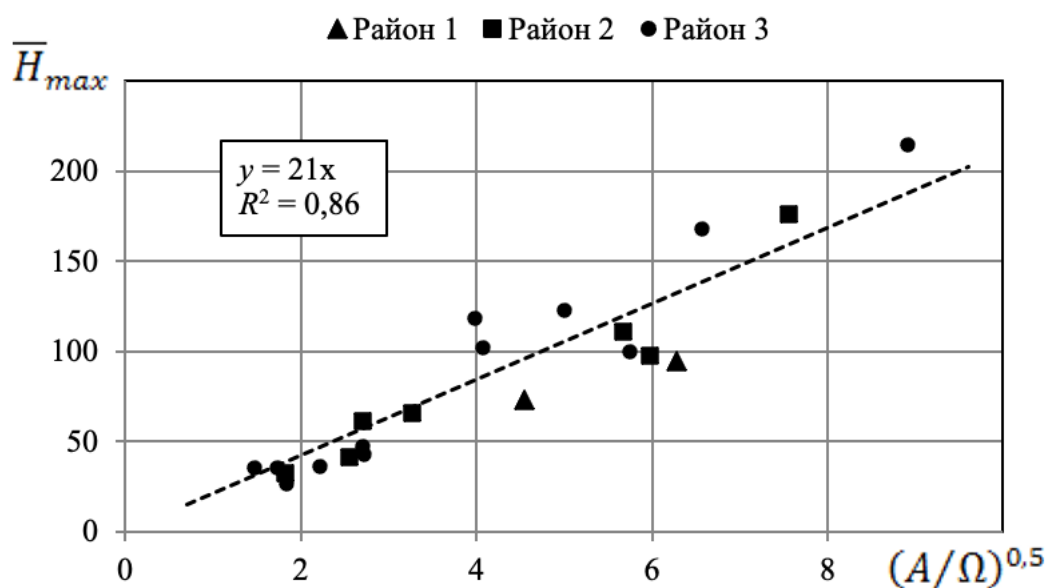


Рисунок 5.1 – Зависимость среднего максимального уровня озера от показателя $\left(\frac{A}{\Omega}\right)^{0,5}$ для территории Северо-Запада РФ.

Для второй группы озер, в которую входят все изучаемые в данной работе озера, получено уравнение множественной регрессии, включающее в качестве

предикторов площадь зеркала озера, площадь водосбора озера и их комбинацию в виде показателя $\left(\frac{A}{\Omega}\right)^{0,5}$:

$$H_{\max} = 22\left(\frac{A}{\Omega}\right)^{0,5} - 0,049\Omega + 0,0032A \quad (5.3)$$

Свободный член оказался статистически не значим [5], поэтому параметры выражения (5.3) получены при нулевом свободном члене (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Параметры уравнения множественной линейной регрессии для зависимости (5.3)

Характеристика	Коэффициент	Стандартная ошибка	Статистика Стьюдента
Свободный член	0	—	—
Площадь зеркала озера, Ω	-0,049	0,015	-3,23
Площадь водосбора озера, A	0,0032	0,00054	5,93
$(A/\Omega)^{0,5}$	22,0	1,04	21,2

График связи эмпирических и рассчитанных по формуле (5.3) максимальных уровней представлен на рисунке 5.2.

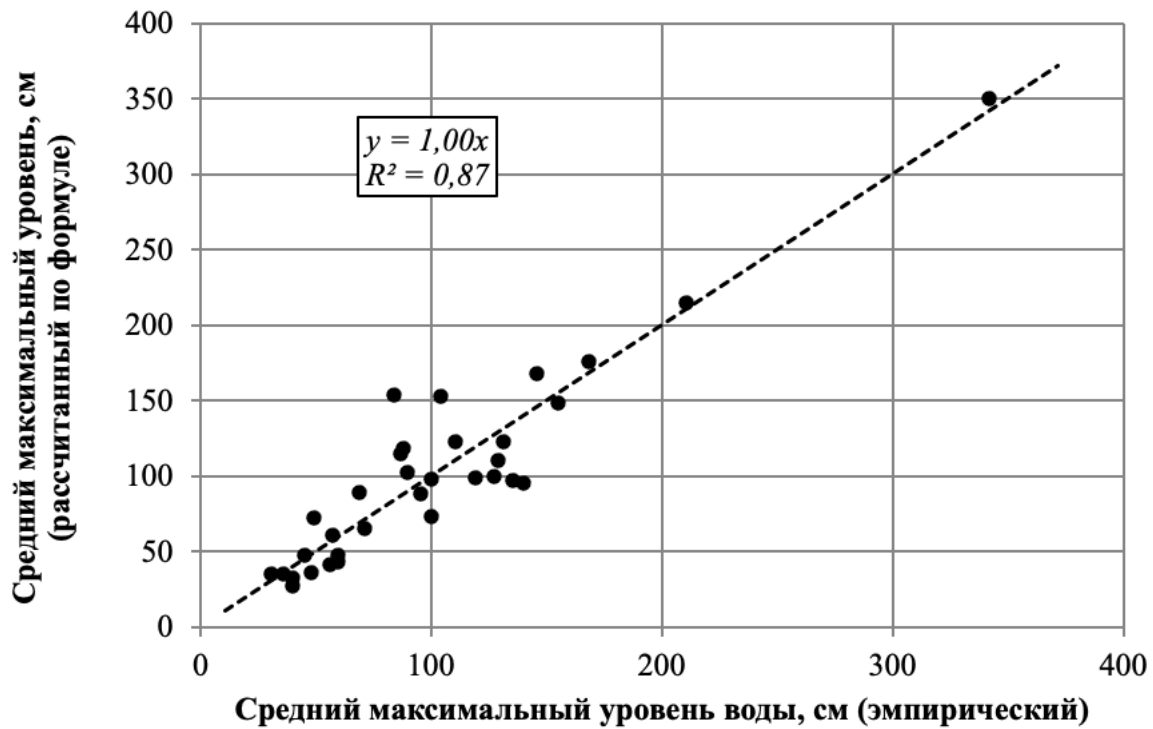


Рисунок 5.2 – График связи эмпирических и рассчитанных по формуле (5.3) средних максимальных уровней воды для озер Северо-Запада РФ.

Таким образом значение среднего многолетнего превышения уровня воды над средним многолетним минимальным значением можно рассчитывать по формулам (5.2) и (5.3). Следует отметить, что относительная ошибка расчета по формуле (5.2) составила 20 % (16 см), максимальная – 44 % (37 см). Относительная ошибка расчета по формуле (5.3) также равна 20 % (18 см), максимальная – 48 % (69 см). При этом значения, полученные по формуле (5.3), имеют чуть большие значения, чем значения, полученные по формуле (5.2), за счет этой погрешности в некоторых случаях будут меньше.

Для озер с удельным водосбором больше 100, но меньше 350 была построена зависимость $H_{max}=f(A/\Omega)$, по полученному уравнению средние многолетние превышения уровня воды относительно минимального уровня. Зависимость получилась

$$H_{\max} = 7,6 \left(\frac{A}{\Omega} \right)^{0,56}, \quad (5.4)$$

Для того, чтобы качественно характеристики изменчивости максимального уровня озера использовать не коэффициент вариации, а среднеквадратическое отклонение для средних и малых озер с удельным водосбором менее 100 была получена зависимость среднеквадратического отклонения максимального уровня воды от среднего многолетнего максимального уровня (рисунок 5.3). При построении графика были исключены озера, которые используются как водохранилища сезонного регулирования.

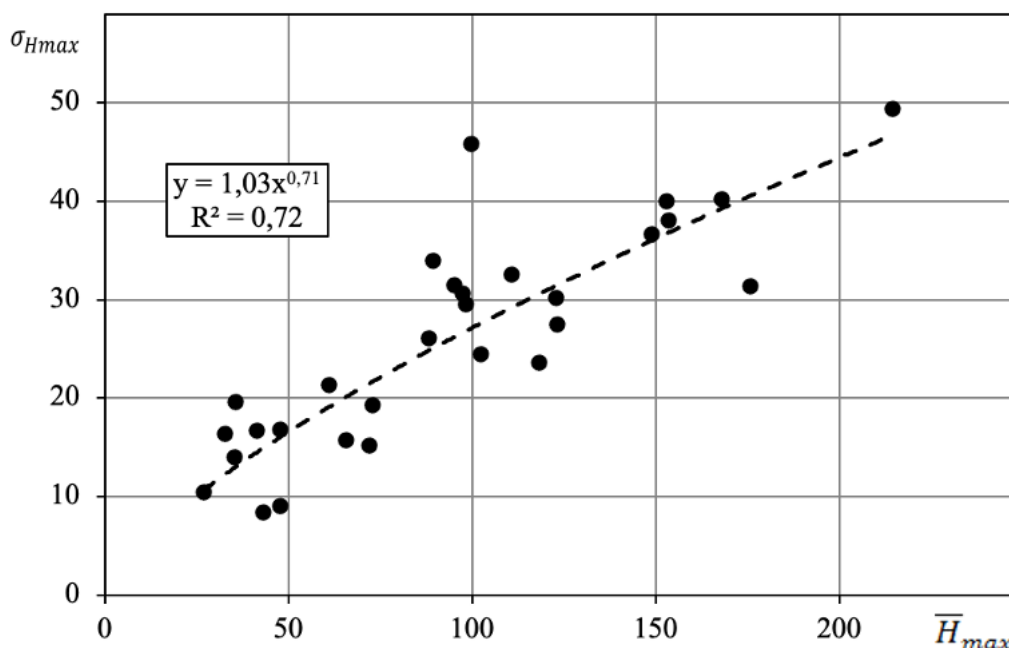


Рисунок 5.3 – График связи среднего максимального уровня воды и среднеквадратического отклонения для средних и малых озер Северо-Запада РФ.

Зависимость аппроксимирована степенным выражением:

$$\sigma_{H_{max}} = H_{max}^{0,7} \quad (5.5)$$

Относительная ошибка расчета по формуле (5.5) составила 20%, максимальная – 66%.

Для получения обеспеченных значений уровня воды озер при отсутствии данных наблюдений использовались обобщенные значения соотношения C_s/C_v для выделенных районов, полученные в главе 4. Для всех озер данных районов были построены аналитические кривые Пирсона III типа и Крицкого–Менкеля с целью выявления наиболее подходящих кривых. Полученные результаты сравнивались с итогами расчетов по данным наблюдений на озерах и анализировались отклонения уровней от значений, полученных по кривым, построенным по фактическим данным. Результаты расчетов представлены в таблице 5.2. Расчеты были выполнены для озер с удельным водосбором менее 100.

Таблица 5.2 – Результаты расчета уровней воды 1 %, 5 %, 10% обеспеченности по районным соотношениям C_s/C_v

	№	Озеро - Пост	Средняя многолетняя амплитуда озера, см	Средний многолетний уровень, полученный по зависимостям 5.2 и 5.3, см	Уровни, рассчитанные по районным C_s/C_v			Разница уровней (по данным наблюдениям и по представленным зависимостям) в см		
					1%	5%	10%	1%	5%	10%
Кольский полуостров (Район 1)	35	Куэтс-Ярви – пгт Никель	95	139	232	205	190	55	55	53
	39	Пермус-озеро – г. Оленегорск	73	100	167	147	136	50	42	38
	38	Умб-озеро – исток реки Умба	72	49	82	72	67	-26	-25	-25
	37	Ловозеро – с. Ловозеро	88	96	161	142	131	10	9	9
Карелия (Район 2)	2	Ведлозеро* – д. Ведлозеро	66	71	115	102	96	14	14	14
	3	Водлозеро* – д. Кугонаволоок	188	86	139	124	116	-4	-12	-16
	5	Гимольское – д. Гимолы	111	129	208	186	174	16	19	20
	8	Лексозеро – с. Реболы	102	100	161	144	135	-5	-3	-2

	№	Озеро - Пост	Средняя многолетняя амплитуда озера, см	Средний многолетний уровень, полученный по зависимостям 5.2 и 5.3, см	Уровни, рассчитанные по районным C_s/C_v			Разница уровней (по данным наблюдениям и по представленным зависимостям) в см		
					1%	5%	10%	1%	5%	10%
	10	Суоярви – г. Суоярви	97	125	202	179	165	-20	-28	-32
	12	Сямозеро – д. Угмойла	48	45	73	65	61	-24	-14	-9
	13	Тулмозеро – д. Палалахта	176	168	271	242	227	23	15	11
	17	Янисъярви – д. Янисярви	153	104	174	153	142	60	55	53
	19	Лижмозеро – д. Кяппсельга	61	57	92	82	77	-18	-15	-12
	24	Остречье – д. Остречье	33	38	61	55	51	2	1	1
	41	Верхнее Куйто – с. Вокनावолок	126	131	211	189	177	22	20	18
	42	Ругозеро – с. Ругозеро	41	56	90	81	76	11	11	12
Северо-Запад Русской равнины (Районы 3)	1	Валдайское – г. Валдай	34	48	83	72	67	34	28	25
	4	Ильмень – д. Войцы	355	342	593	514	474	47	21	8
	6	Глубокое – д. Корвителино	47	60	104	90	83	30	26	24
	11	Сяберо – д. Сяберо	28	40	69	60	55	14	15	15
	14	Черемнецкое – д. Наволок	101	127	220	191	176	-9	7	14
	15	Чудское – д. Раскопель	100	119	206	179	165	-14	-13	-13
	18	Щучье – с. Щучье	111	111	192	167	154	-9	-9	-9
	21	Охват – д. Бдынъ	166	146	253	219	202	-13	-17	-18
	22	Самро – д. Усадище	38	36	62	54	50	-10	-10	-9
	25	Шугозеро – д. Ульяница	102	90	156	135	125	-5	-8	-9
	27	Лача – с. Нокола	149	155	269	233	215	18	19	18
	28	Воже – устье р. Тордокс	154	84	146	126	116	-103	-93	-87

№	Озеро - Пост	Средняя многолетняя амплитуда озера, см	Средний многолетний уровень, полученный по зависимостям 5.2 и 5.3, см	Уровни, рассчитанные по районным C_s/C_v			Разница уровней (по данным наблюдениям и по представленным зависимостям) в см		
				1%	5%	10%	1%	5%	10%
29	Кен-озеро – д. Ряпусово	214	210	364	315	291	40	22	14
30	Унд-озеро – д. Гороховая	118	88	153	132	122	-10	-21	-25
33	Лекшм-озеро – д. Орлово	35	36	62	54	50	-4	-4	-4
40	Пелено – д. Спасское	43	60	104	90	83	38	32	29
43	Селигер – г. Осташков	88	69	120	104	96	-36	-36	-35

Полученные результаты показали, что в при расчете максимальных уровней воды 1 % обеспеченности по выведенным районным соотношениям C_s/C_v в 85 % случаев методика дает положительный результат. Отрицательные значения показывают, что уровни воды, рассчитанные по районным коэффициентам выше уровней воды, полученных по фактическим данным наблюдений на водомерных постах. В результате было установлено, что значения, полученные по аналитическим кривым Пирсона III типа, дают завышенное значение относительно фактических данных примерно в 2 раза. Лучшие результаты получены с использованием кривых Крицкого–Менкеля. В связи с чем, для определения уровней воды заданной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений для озер, расположенных на Северо-Западе Российской Федерации, рекомендуется использовать аналитические кривые Крицкого–Менкеля. Несмотря на то, что на некоторых озерах выявлена отрицательная асимметрия.

Как указывалось ранее, отметки минимальных уровней воды неизученных озер можно снимать с топографических карт. Для определения точности такого способа определения отметок минимальных уровней воды с топографических карт масштаба 1:500000 были сняты отметки, которые сравнивались с данными, полученными в результате расчета по фактическим данным наблюдений. Следует отметить, что данную величину рекомендуется уточнять при полевых изысканиях. При этом в последнее время широкое применение находят новые методы дистанционного зондирования Земли, что позволяет в отдельных случаях определять отметки водной поверхности в меженьный период по данным спутниковой съемки.

Результаты расчетов представлены в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Результаты расчета погрешностей отметок уровней воды, снятых с карт

№ района	Озеро - Пост	Средняя многолетняя амплитуда, см	Удельный водосбор	Отметка БС (минур)	уровень с карт (м БС)	разница в см	% от амплитуды
1	Куэ́тс-Ярви – пгт Никель	95	39,53	20,65	21,4	75	79
	Пермус-озеро – г. Оленегорск	73	20,61	141,49	141,5	1	1
	Умб-озеро – исток реки Умба	72	7,6	149,32	149,6	28	39
	Ловозеро – с. Ловозеро	88	16,91	153,82	154	18	20
2	Ведлозеро* – д. Ведлозеро	66	10,69	76,34	77,1	76	> 100 %
	Водлозеро* – д. Кугонаволоок	188	14,39	136,58	136,3	-28	15
	Гимольское – д. Гимолы	111	33,11	163,5	164	50	45
	Лексозеро – с. Реболы	102	20,78	173,94	174,2	26	25
	Суоярви – г. Суоярви	97	27,79	136,9	137	10	10
	Сямозеро – д. Угмойла	48	5,94	106,59	106,7	11	23
	Тулмозеро – д. Палалахта	176	57,17	75,25	76,3	105	60

№ района	Озеро - Пост	Средняя многолетняя амплитуда, см	Удельный водосбор	Отметка БС (мин ур)	уровень с карт (м БС)	разница в см	% от амплитуды
	Янис-Ярви	153	20,93	63,65	64,4	75	49
	Лижмозеро – д. Кяппсельга	61	7,31	68,02	68,1	8	13
	Остречье – д. Остречье	33	3,3	128,93	176,3	4737	> 100 %
	Верхнее Куйто – с. Вокнаволоок	126	30,79	102,451	102,7	25	20
	Ругозеро – с. Ругозеро	41	17,68	130,58	130,3	28	68
3	Валдайское – г. Валдай	34	4,93	192,27	192,6	33	97
	Ильмень – д. Войцы	355	60,54	17,07	18,1	103	29
	Глубокое – д. Корвитино	47	7,33	8,46	9,2	74	74
	Сяберо – д. Сяберо	28	3,38	46,34	45,3	-104	> 100 %
	Черемнецкое – д. Наволок	101	33,07	38,08	39	92	91
	Охват – д. Бдынъ	166	43,09	215,49	215,7	21	13
	Самро – д. Усадище	38	2,14	65,3	65,4	10	26
	Шугозеро – д. Ульяница	102	16,61	74,08	76,5	242	> 100 %
	Лача – с. Нокола	149	35,9	117,21	117	-21	14
	Воже – устье р. Тордокс	154	14,83	120,56	120,9	34	22
	Кен-озеро – д. Ряпусово	214	79,45	84,91	85,3	39	18
	Унд-озеро – д. Гороховая	118	15,86	118,54	172,3	5376	> 100 %
	Лекшм-озеро – д. Орлово	35	3,62	155,23	156	77	> 100 %
	Пелено – д. Спасское	43	7,39	172,14	172	-14	33
	Селигер – г. Осташков	88	14,07	205,17	205,2	3	3
Удельный водосбор > 100	Пул-озеро – ст. Пулозеро	110	131,09	116,05	116,2	15	14
	Коробожа – д. Устрека	160	159,44	144,7	144,6	-10	6
	Линдозеро – д. Линдозеро	114	177,78	131,77	132,2	43	38

Установлено, что в 79,1 % случаев значения уровней воды, снятых с карт выше рассчитанных средних многолетних минимальных уровней воды. При этом в 69 % случаев расчет дает положительный результат, в случае снятия меженного уровня воды с карты. Следует отметить, что в качестве положительного результата принималось значение уровня воды, которое не превышает 0,5 значения средней многолетней амплитуды.

При вычислении уровней воды 1% обеспеченности 85 % результатов рассчитанных значений дают положительный результат.

5.2 Средние многолетние уровни воды

В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации [12] вдоль береговой линии водных объектов выделяются специальные зоны, в пределах которых вводятся ограничения на ведение хозяйственной деятельности. К числу таких зон относят береговые полосы, прибрежные защитные полосы и водоохранные зоны. Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 29.04.2016 № 377 «Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов» [75] (п. 10 в)), береговая линия (граница водного объекта) озера и обводненного карьера определяется по средне-многолетнему уровню вод в период, когда они не покрыты льдом, с учетом морфологических особенностей водного объекта.

В связи с этим, в практике гидрометрических изысканий часто стоит задача определения среднего многолетнего уровня воды. После обобщения полученных результатов расчетов по фактическим данным наблюдений была получена зависимость (рисунок 5.4), которая аппроксимируется степенным выражением:

$$H = 9,21 \left(\frac{A}{\Omega} \right)^{0,36} \quad (5.6)$$

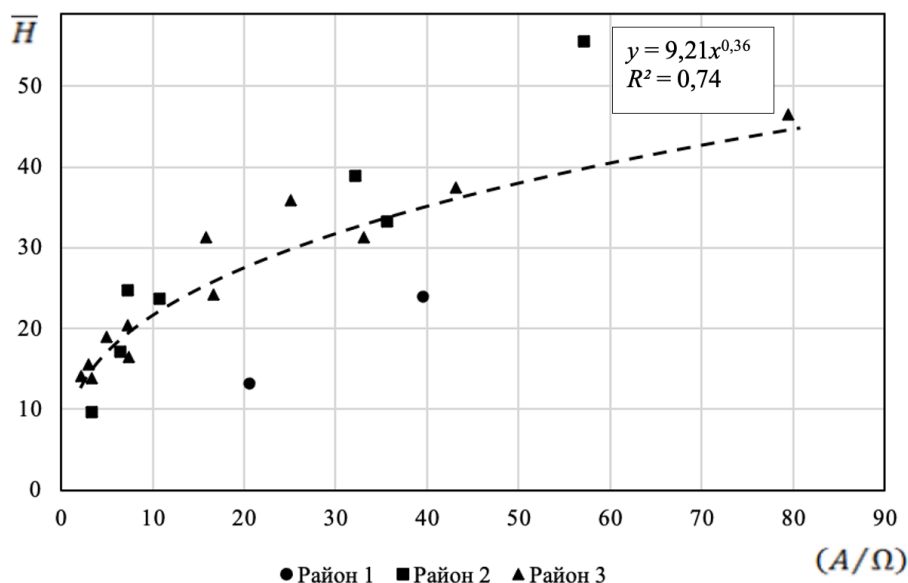


Рисунок 5.4 – Зависимость среднего многолетнего уровня озера от показателя (A/Ω) для территории Северо-Запада Российской Федерации.

Погрешность расчета по полученной зависимости колеблется от 1 см (районы 2 и 3) до 15 см (район 1).

Для каждого из выделенных районов с преобладанием определенных морфометрических и гидрологических особенностей озер были рассчитаны переходные коэффициенты от значения среднего многолетнего уровня воды к среднемноголетнему уровню в период, когда водный объект не покрыт льдом.

Для первого района (Кольский полуостров) этот коэффициент равен 1,11; для второго (Карельский сегмент Балтийского щита) – 1,03 и для третьего района (Северо-Запад Русской равнины) он равен 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы диссертационной работы сводятся к следующим:

1. Выявлены пространственно-временные закономерности естественного уровня режима озер и выделены однородные периоды формирования уровней. Установлена общая тенденция на рост минимальных уровней воды во всех выделенных районах. Также выявлено, что в рядах средних годовых уровней воды за весь период наблюдений на большинстве озер прослеживается тенденция к повышению уровней воды. При этом в рядах максимальных уровней воды значительные изменения отсутствуют.

2. Спектральный анализ показал, что основной вклад в изменчивость межгодовых колебаний вносят квазипятилетние (частота $0,17 \text{ год}^{-1}$) и квазитридцатилетние колебания (частота $0,037 \text{ год}^{-1}$). При этом вклад высокочастотных колебаний (около 5-летних циклов) больше на озерах, которые расположены преимущественно в северной части (Кольский полуостров, Карелия, северные регионы района 3), при продвижении на юг вклад низкочастотных колебаний увеличиваются и около 30-летние колебания преобладают среди выделенных циклов на озерах.

3. Разработана методика и даны рекомендации для расчета максимальных уровней воды неизученных озер, которая позволит подойти на научной основе к проектированию различных сооружений, проведению водоохраных мероприятий, разработке научных основ рационального использования и охраны водных ресурсов, установлению зон затопления и других задач при выполнении комплексных инженерных изысканий. Данная методика апробирована на фактическом материале и дает положительные результаты.

4. Рекомендуются в качестве нуля графика неизученных озер использовать отметку среднего многолетнего минимального уровня межени, что позволяет применить единый подход при расчете максимальных уровней не только проточных озер, но и периодически сточных и бессточных озер.

5. Рассчитаны максимальные уровни воды различной обеспеченности исследуемых озер. Полученные результаты рекомендуется использовать в качестве аналогов при выполнении расчетов во время инженерных изысканий.

6. Рассчитаны и обобщены параметры кривых распределения максимальных уровней неизученных озер Северо-Запада РФ и южной части Кольского полуострова. При проведении комплексных инженерных изысканий рекомендуется использовать отношение C_s/C_v средним в пределах выделенных районов: Кольский сегмент Балтийского кристаллического щита – $C_s/C_v = 0,5$; Карельский сегмент Балтийского кристаллического щита – $C_s/C_v = 0$; Северо-Запад Русской равнины – $C_s/C_v = 1,0$. А коэффициент вариации C_v при этом для всех районов принять равным 0,28.

7. Разработана методика для расчета средних многолетних уровней воды, которые определяют границы водоохранных зон и прибрежных защитных полос неизученных озер. Методика апробирована на фактическом материале и дает положительные результаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Азаркович, Е.Ш. Режим колебаний уровня воды в озерах центра и севера ЕТС / Сборник работ по гидрологии. – 1968. - №8. – с. 152-165
- 2 Азаркович, Е.Ш. О коэффициенте изменчивости амплитуд колебаний уровня воды озер севера и северо-запада ЕТС / Труды Горьковской, Волжской и Рыбинской гидромет. обсерватории. – 1973. – с. 124-131.
- 3 Азаркович, Е.Ш. О режиме колебаний уровня воды в озерах бассейна Верхней Волги / Е.Ш Азаркович, М.Л. Лейвиков // Метеорология и гидрология. – 1962. № 4. с. 47-51.
- 4 Алексеев, Л.П. Многолетние изменения характеристик уровня и термического режима озер Российской Федерации / Л.П. Алексеев, К.А. Дубровская, Т.Э. Литова, М.С. Матвеев, Т.В. Фуксова // Гидрологические и гидрофизические процессы в озерах. Геология, геоморфология озер. – 2019. – № ... – с. 219 – 223.
- 5 Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР [текст] / А.Н. Афанасьев. – Москва. – 1967. 231 с.
- 6 Багров, Н.А. О колебаниях уровня бессточных водоемов [текст]/ Н.А. Багров // Метеорология и гидрология. – 1963. – № 6. – с. 41-48.
- 7 Богданов, В.В. Зонально-региональные свойства лимногенеза и их роль в классификации и районировании озер // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. -Л., 1984. – с. 71-78.
- 8 Богословский, Б.Б. О влиянии относительных размеров зеркала и бассейнов озер на колебания уровней воды / Б.Б. Богословский, В.Я. Гордиенко // Вестник МГУ. – Сер. Геогр. – 1967. – № 2. – с. 128-132.
- 9 Богословский, Б.Б. Некоторые проблемы водного баланса и уровня озер / Б.Б. Богословский, А.М. Догановский // Вопросы гидрологии суши. – 1981. – вып. 74. – с.29-38
- 10 Будыко, М.И. О колебаниях уровня непроточных озер [текст]/ М.И. Будыко, М.И. Юдин, О.А. Дроздов, Т.В. Покровская// Метеорология и гидрология . –

1960. – №8.

- 11 Владимиров, А.М. Гидрологические расчеты [текст]. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 365 с.
- 12 Водный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.06.
- 13 Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Росгидромет. М. 2014
- 14 Выручалкина, Т.Ю., О прогнозе многолетних изменений уровня воды крупных озер / Т.Ю. Выручалкина, Н.Н. Филатов, Н.А. Дианский, А.В. Гусев // Труды Карельского научного центра РАН № 9. 2016 – С. 3-16.
- 15 Георгиевский, В.Ю. Водные ресурсы Российской Федерации в условиях изменяющегося климата / Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 2015 – с. 169-171.
- 16 Гидрологический ежегодник. Т.9, вып. 0-3 [текст]/ Северо-Западное УГМС. – Л.: Гидрометеоздат, 1938 – 2019
- 17 Давыденко Е.В. Особенности уровня режима озер Кольского полуострова / Е.В. Давыденко, Е.В. Гайдукова, М.С. Дрегваль // Гидрометеорология и экология. – 2020. – № 61. – С. 437-445. DOI: 10.33933/2074-2762-2020-61-437-445
- 18 Давыденко Е.В. Влияние климатических и антропогенных факторов на уровень режим озер зон избыточного и достаточного увлажнения / Е.В. Давыденко, Е.Д. Серебрякова // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 6. – С. 83-87. DOI: 10.17513/use.37845
- 19 Давыденко Е.В. Динамика атмосферных осадков в Санкт-Петербурге / Е.В. Давыденко, Г.Т. Фрумин // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXVIII Герценовские чтения. Санкт-Петербург. – 2015. – С. 73-75
- 20 Давыденко Е.В. Определение отметок порогов слива на неизученных озерах // Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога

Юрия Борисовича Виноградова. Под редакцией О.М. Макарьевой. – 2018. – С. 709-710.

21 Давыденко Е.В. Расчёт максимальных уровней воды неизученных озёр на примере водоёмов Северо-Запада РФ / Е.В. Давыденко, А.В. Сикан // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 219-220.

22 Давыденко Е.В. Исследование закономерностей распределения озёр Северо-Запада России в зависимости от их морфологии и гидрологического режима // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. – 2020. – С. 281-284.

23 Давыденко Е.В. Влияние морфологии котловин озёр на их уровенный режим // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Сборник докладов Международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург. – 2020. – С. 428-433.

24 Давыденко Е.В. Разномасштабная изменчивость уровней воды Ладожского озера / Е.В. Давыденко, Н.В. Мякишева // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2020. – С. 335-336.

25 Давыденко Е.В. Режим уровней воды озер Кольского полуострова // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 152-156.

26 Давыденко Е.В. Определение максимальных уровней воды неизученных озёр на примере водоёмов Северо-Запада РФ // VI Международная

конференция молодых ученых (школа-практика) «Водные ресурсы: изучение и управление» Петрозаводск, 1-5 сентября. – 2020.

27 Давыденко Е.В. Уровенный режим озер Чебаркуль и Увильды (Челябинская область) / Е.В. Давыденко, Е.Д. Серебрякова // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. Санкт-Петербург. – 2021. – С. 249-252

28 Давыденко Е.В. Расчет максимальных уровней озер Северо-Запада России при отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений / Е.В. Давыденко, А.В. Сикан // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь. – 2021. – С. 249-252

29 Дмитриев, В.В. «Гидрология», «экология» и «геоэкология» в современных исследованиях водных объектов суши: акценты, проблемы, решения / В.В. Дмитриев, И.В. Федорова, А.Н. Огурцов, С.А. Седова, А.К. Пленкина // сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург. 2020 – С. 12-33.

30 Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Режим доступа: [<http://www.meteorf.ru> 15.10.2011].

31 Догановский, А.М. Амплитуды колебаний уровня воды в водоемах озерного района ЕТР и их расчет // (РГГМИ) сборник научных трудов Вопросы экологии и гидрологические расчеты Санкт-Петербург – 1994.

32 Догановский, А.М. Влияние климатических вариаций на уровенный режим озер Северо-Запада России / А.М. Догановский, Е.А. Анохина// Водные ресурсы Северо-Западного региона России. Сборник научных трудов, вып. 121. – СПб.: Изд. РГГМУ, 1999. – с. 86-91.

33 Догановский, А.М. Гидрология суши (общий курс). Учебник – СПб.: РГГМУ, 2012. – 524 с.

- 34 Догановский, А.М. Долгопериодная изменчивость уровня озер Северо-Запада России / А.М. Догановский, В.А. Румянцев, Ю.А. Трапезников, М.А. Хорбаладзе // Водные ресурсы Северо-Западного региона России. Сборник научных трудов, вып. 121. – СПб.: Изд. РГГМУ, 1999. – с. 77-86.
- 35 Догановский, А.М. Уровенный режим озер – интегральный показатель климатических и экологических изменений // Природная среда – с. 103 – 110
- 36 Догановский, А.М. Закономерности колебаний уровней озер и их влияние на основные элементы режима водоемов // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Т.8. – Л., 1990. – с.65.
- 37 Догановский, А.М. Географические аспекты проявления инерции в колебаниях уровней озер / Изв. ВГО. – 1986. - № 1. – вып. 118. – с. 58-62.
- 38 Догановский, А.М., Некоторые закономерности многолетних колебаний уровней воды озер / А.М. Догановский, Е.С. Гинзбург // Сборник работ по гидрологии, Л.: Гидрометеиздат, 1990, с.180-185
- 39 Догановский А.М., Малинин В.Н. Гидросфера Земли. СПб: Гидрометеиздат, 2004. – 630 с.
- 40 Догановский А.М., Угренинов Г.Н. Разработка методики установления начала отсчета ширины водоохранной зоны на неизученных озерах. //Ученые записки РГГМУ, 2014, №34, с. 103-105.
- 41 Дружинин В.С., Сикан А.В. Районирование территории Северо-Запада РФ по условиям формирования годового стока. / Водные ресурсы Северо-Западного региона России // Сборник научных трудов, СПб: изд. РГГМУ, вып. 121, 1999, с. 24-29.
- 42 Иванов П.В. Классификация озер по величине и по их средней глубине // Бюл. ЛГУ. 1948. №21. С. 29–36
- 43 Измайлова А.В. Изменения водного фонда центра и юга европейской территории России за последние полстолетия // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов. М., 2015. С. 286–290
- 44 Измайлова А.В. Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016 (6). №4. С. 5–14.

- 45 Измайлова А.В., Корнеев Н.Ю. Результаты новой оценки озерных водных ресурсов России // География: развитие науки и образования. Кол. моногр. по материалам Межд. Научно-практич. кофн. LXIX Герценовские чтения 21-23 апреля 2016 г., посвящ. 115-летию со дня рождения С.В. Калесника. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2016. С. 274-278.
- 46 Измайлова А.В., Румянцев В.А., Драбкова В.Г. Лимнологическая изученность европейской части России в свете современных проблем антропогенной модификации озерных экосистем // Изв. РГО. 2017. Вып. 6. С. 1–13.
- 47 Измайлова А.В. Водные ресурсы озер российской части бассейна Северного Ледовитого океана // Вопросы географии. 2016 (в). Вып. 142. С. 123-141.
- 48 Измайлова А.В. Озерные водные ресурсы европейской части Российской Федерации. Водные ресурсы. 2016 (а). Т. 43. №2. С. 122–123.
- 49 Измайлова А.В. Озера России. Закономерности распределения, ресурсный потенциал. – СПб.: Папирус, 2018. – 288 с.
- 50 Квасов, Д.Д. история озер СССР. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер [текст]/ Д.Д. Квасов. – Л.: Наука, 1986. – 253 с.
- 51 Калинин, Г.П. О статистической теории колебаний уровней воды в бессточных водоемах [текст]/ Г.П. Калинин // Метеорология и гидрология. – 1971.– №6.–с.76- 82.
- 52 Кочков Н.В. «Озера мира *WORLD LAKE*» / Н.В. Кочков, С.В. Рянжин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2015621549 от 13 сентября 2015 г.
- 53 Крицкий, С.Н. Методика анализа и расчета колебаний уровня замкнутых водоемов / Водные ресурсы. – 1973. - № 6. – с. 9-26.
- 54 Крицкий, С. Н. Некоторые положения статистической теории колебаний уровней естественных водоемов и их применение к исследованию режима Каспийского моря / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Труды первого совещания по регулированию стока. – Издательство Академии наук СССР. 1946. – с. 76-98.

- 55 Лемешко Н.А., Сперанская Н.А. Особенности увлажнения Европейской территории России в условиях изменяющегося климата // Современные проблемы гидрометеорологии. – СПб.: Астерион, 2006, с. 38–54.
- 56 Либин И., Яни А. Воздействие изменений солнечной активности на географические и гидрологические процессы // Изв. АН ЭССР, Биология, – 1989. – №38. – с. 97–106.
- 57 Литинская, К.Д. Режим уровней воды озёр и водохранилищ Карелии [текст]/ К.Д. Литинская. – Л.: изд. Наука, 1976. – 147 с.
- 58 Логинов В.Ф., Сазонов В.И. 22-летний цикл увлажненности Северной Европы // Бюл. «Солнечные данные». – 1966. – №6. – с. 66-69.
- 59 Максимов, А.А. Природные циклы (причины повторяемости экологических процессов). – Л., 1989. – 263 с.
- 60 Малинин В.Н. Северо-Атлантическое колебание и увлажнение европейской территории России / С.М. Гордеева/. Общество. Среда. Развитие. изд. Астерион №2, – 2014, – с.191-198.
- 61 Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии гидрометрических наблюдений. СПб.: Изд-во ГГИ, 2005. – 124 с.
- 62 Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб.: Изд-во Нестор-История, 2010. – 162 с.
- 63 Методы изучения гидрологического режима водных объектов. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 392 с.
- 64 Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер [текст] / Н.В. Мякишева. – Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 2009. – 153 с.
- 65 Мякишева Н.В., Бирюкова В.А. Разномасштабная изменчивость уровня воды в озерах России. I Озера Арктической зоны // Естественные и технические науки, № 12, 2018, - Изд. Спутник+ с. 181-187.
- 66 Мякишева Н.В. Уровенный режим озер разных классов водообмена / Н.В. Мякишева, Е.В. Головань // Сборник трудов VI Международной конференции

"Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития" имени Л. Н. Карлина / МГО-2022. Сборник трудов VI Международной конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 168-171.

67 Мякишева Н.В., Давыденко Е.В., Орлов Д.А. Разномасштабная изменчивость уровня воды в озерах России. II Ладожское озеро // Естественные и технические науки, № 12, 2020, - Изд. Спутник+ с. 166-172.

68 Мякишева Н.В. Разномасштабная изменчивость уровня воды в озерах России. Арктический регион. Умбозеро /, Н.В. Мякишева, Е.В. Давыденко, Д.А. Орлов // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 12 (часть 1). – С. 166-172. DOI: 10.17513/use.37754

69 Мякишева Н.В. Закономерности формирования внешнего водообмена и уровня режима озер зоны избыточного и достаточного увлажнения: Автореф. дисс. д-ра геогр. наук. – СПб., 2001.– 48 с.

70 Мякишева Н.В., Догановский А.М. Водный баланс и уровень воды озера Ильмень в разных временных интервалах II Труды IV Международного симпозиума по Ладожскому озеру. Великий Новгород. Россия. 2–6 сентября 2002 г. – СПб.: изд. НИИ химии СПбГУ, 2003, с. 175–179.

71 Нежиховский Р.А. Предсказание и расчет уровней сточных озер и водности озерных рек // Метеорология и гидрология. – 1947. – № 6. – с. 73-78.

72 Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание; атмосфера и океан. М. Триада, лтд, -2013, - 144 с.

73 Озера Карелии справочник под ред. чл.-кор. РАН Н.Н. Филатова, к.б.н. В.И. Кухарева, 2013, 460 с

74 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.

75 Постановление Правительства РФ от 29.04.2016 № 377 «Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов» (с изменениями и дополнениями).

- 76 Пронин А.Г. Особенности водного баланса крупных озер мира в зоне избыточного увлажнения // Ученые записки ЛГУ. – 1974. № 376. – с. 116–125
- 77 Прыткова М.Я. Закономерности размещения и водообмена малых озер и малых водохранилищ // «География и природные ресурсы». – 1987. №3. – с. 96–101.
- 78 Прыткова, М. Я. Гидрологический режим и заиление малых разнотипных водоемов Северо-Запада [текст]/ М. Я. Прыткова. Санкт-Петербург: Изд. Наука, 2011. – 200 с.
- 79 <http://win.limno.ru/db/lrus.htm>
- 80 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Кольский полуостров – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 1, – 134 с.
- 81 Ресурсы поверхностных вод СССР Кольский полуостров. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Т. 1, – 316 с.
- 82 Ресурсы поверхностных вод СССР Карелия и Северо-Запад. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Т. 2, часть 1. – 528 с.
- 83 Ресурсы поверхностных вод СССР. Северный край – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – Т. 3, – 644 с.
- 84 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Северный край – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Т. 3 – 612 с.
- 85 Рождественский, А.В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 424 с.
- 86 Рожков В.А., Трапезников Ю.А. Вероятностные модели океанологических процессов. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 270 с.
- 87 Румянцев В.А., С.А. Кондратьев. – СПб. : Нестор-История, 2013. – 468 с., ил.
- 88 Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России. СПб.: Лема, 2015. 390 с.
- 89 Рянжин С.В. Новые оценки глобальной площади и объема воды естественных озер мира // Доклады РАН. 2005. Т. 401. №2. С. 253–257.
- 90 Сакович В.М. Районирование территории Северо-Запада и Карелии по

синхронности многолетних колебаний минимального летне-осеннего стока / Водные ресурсы Северо-Западного региона России // Сборник научных трудов, СПб: изд. РГГМУ, вып. 121, 1999, с. 29-39.

91 Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст]. – СПб: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.

92 Сикан А.В. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов. Вероятностные распределения в гидрологии. / СПб., – 2020. – 285 с.

93 Смирнов Н.П. Североатлантическое колебание и климат / Н.П. Смирнов, В.Н. Воробьев, С.Д. Качанов/. СПб. Изд. РГГМУ, -1998, -122 с.

94 Смирнова, О.О. Пространственные закономерности строения озерных котловин Северо-Запада Русской равнины / О.О. Смирнова // Уч.зап. РГГМУ. – 2011. - №17. – С. 23 – 31.

95 Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. С.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева. – М.: РАН, 2021. – 640 с. – 40 п.л. – ISBN 978-5-907366-50-3.

96 Соколов А.А. Связь водного баланса озер с размерами озера и его бассейна в различных географических условиях // Сб. «Вопросы гидрологии». Изд. МГУ. – 1957. – с. 155–204

97 СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Минстрой России. – 2023. – 110 с.

98 Сумароков, В.С. Средняя многолетняя амплитуда уровней воды в озерах северной части СССР / Метеорология и гидрология. – 1947. – № 6. – с. 72-73.

99 Тамошайтис Ю., Бружайте Н., Василяускене М. Влияние мелиоративных работ на понижение уровня воды Литовской ССР // В сб. «Повышение рационального использования природных условий и ресурсов Советской Прибалтики». Рига. – 1974. – вып. I. – с. 108–110.

100 Филатов, Н.Н. Изменения климата Восточной Фенноскандинавии и уровня воды крупнейших озер Европы. Петрозаводск, 1997.

101 Филатов, Н.Н. Многолетняя изменчивость уровня воды Великих озер Евразии и Северной Америки. / Н.Н. Филатов, Т.Ю. Выручалкина // Водные

ресурсы, – 2017, том 44, №5, с. 519-531.

102 Филатов, Н.Н. Влияние изменений климата на экосистемы озер севера европейской территории России. /Л.А. Руховец, Л.Е. Назарова, Л.П. Георгиев, Т.В.Ефремова, Н.И.Пальшин/. Ученые записки РГГМУ, -2014, - №34, - с.48 – 55.

103 Филатов, Н.Н. Влияние климатических и антропогенных факторов на состояние системы «Белое море – водосбор» / Н. Н. Филатов, Л. Е. Назарова, П. В. Дружинин Труды Карельского научного центра РАН № 9. 2019. С. 30–50.

104 Филатов Н.Н. Изменения и изменчивость климата европейского Севера России и их влияние на водные объекты / Н.Н. Филатов, Л.Е. Назарова, А.П. Георгиев, А.В. Семенов, А.Р. Анциферова, В.Н. Ожигина, М.И. Богдан // Арктика: экология и экономика №2 (6), 2012, с. 80–93.

105 Филатов, Н.Н. Климат Карелии. Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск, 2004. 223 с.

106 Филатов, Н.Н. Гидродинамика озер. СПб.: Наука, 1991. 196 с.

107 Филатов, Н.Н. Динамика озер. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 166 с.

108 Филатов, Н.Н. Изменчивость некоторых характеристик климата и общей увлажненности территории Карелии / Н.Н. Филатов, Ю.А. Сало/ Тез. юбил. конф. «50 лет Карельскому научному центру РАН». Петрозаводск, 1996. С.108-111.

109 Филатов Н.Н. Влияние изменений климата на экосистемы озер / Н.Н. Филатов, Л.А. Руховец, Л.Е. Назарова, В.Н. Баклагин, А.П. Георгиев, Т.В. Ефремова, Н.И. Пальшин, А.В. Толстиков, А.Н. Шаров // Вестник РФФИ. 2(78). 2013. С. 43-50.

110 Филатова И.В. О прогнозе уровня Ладожского озера // Труды ЛИИВТа. – 1984.

111 Филенко, Р.А. Гидрологические особенности Карельского перешейка / Ученые записки ЛГУ. 1960. Сер. географ. наук. Вып. 14. №292. С. 136-138.

112 Фролов, А.В. Динамико-стохастические модели многолетних колебаний уровня проточных озер. – М.: Наука, 1985. – 104 с.

113 Фрумин Г.Т. Межгодовая динамика атмосферных осадков в Санкт-Петербурге / Г.Т. Фрумин, Е.В. Давыденко // В сборнике: Анализ, прогноз и

управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК – 2015). Материалы 9-й Международной научно-практической. Научный Совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – 2015. – С. 420-423.

114 Фрумин Г.Т. Межгодовая динамика атмосферных осадков в Санкт-Петербурге / Г.Т. Фрумин, Е.В. Давыденко // В сборнике: Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата "ГЕОРИСК - 2018". Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков: в 2 томах. Отв. ред. Н.Г. Мавлянова. – 2018. – С. 143-146.

115 Черненко Е.В. Периодически исчезающие озера Прионежья // В сб. «3 сессия Ученого Совета по проблемам биологических ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск. – 1974. – с. 227-228.

116 Шнитников, А.В. Озера проточные и непроточные – индикаторы колебаний климата в их бассейнах / Труды Всесоюзного метеорологического совещания IV. Л., 1962.

117 Шнитников А.В. Внутривековые колебания уровня крупных озер Прибалтики в связи с изменчивостью некоторых других компонентов географической среды // В сборнике: Биология внутренних водоемов Прибалтики. – Изв. АН СССР, 1962

118 Andresen J. Hystorical Climate Trends in Michigan and the Great Lakes Region // Int. Sympos. Climate Change in the Great Lakes Region. Decision Making Under Uncertainty Michigan State Univ. East Lansing. MI 15–16. 2007. March.

119 Angel J.R., Kunkel K.E. The response of Great Lakes water levels to future climate scenarios with an emphasis on Lake Michigan-Huron. // J. of Great Lakes Res. Suppl. 2, 2009. V. 36. P. 51–58.

120 Cohn B.P. A forecast model for Great Lakes water levels / B.P. Cohn, J.H. Robinson // Journal Geology, 1976, №4, p.455-465

121 Davydenko E.V., Sikan A.V. Calculation of the maximum levels of lakes in North-West Russia in the absence of hydrometric observation data

// «IOP Conference Series: Earth and Environmental Science». – 2021. V.834.
DOI:10.1088/1755-1315/834/1/012011

122 IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. – 151 p.

123 Izmailova A.V., Korneenkova N.Y. Water resources of natural and artificial water bodies in Europe // Water Resources. 2022. Vol. 49, № 1. P. 1-9.
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0097807822010079>

124 Rasulova A. M. Estimation of surface water bodies dynamics in Lake Ladoga catchment area according to the project Global Surface Water // Geodesy and Cartography. 2022. Vol. 83. № 7. P. 39-48. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-985-7-39-48

125 Izmailova A.V. Lake Regions of the Russian Federation and their Water Resources // Geography and Natural Resources. – 2020. – Vol. 41, No 2. – P. 108-115. DOI: 10.1134/S187537282002002X

126 Izmailova A.V., Korneenkova N.Yu. Lake Area Percentage in Russian Federation Territory and Its Governing Factors // Water Resources. – 2020. – Vol. 47, No 1. – P. 13-21. DOI: 10.1134/S009780782001008X

127 Meybeck M. Global distribution of lakes// Physics and Chemistry of Lakes. Berlin, Heidelberg, 1995. P. 1—36.

128 Poslawski Z. Wieloletnie wahania i tendencje amian poziomu wody jezior w Polsce Polnecnej // «Prz. Geofiz.». – 1972. – №3–4. – p.249-259

129 Ryzanov S.V. Global Statistics for surface area and water storage of natural world lakes // Verein Intern. Verhein Limnol. 2006. V. 29, N 2. P. 640 – 645.

130 Jaani A. Veerohkus muutub tsukliliselt // «Eesti loodus». – 1973. – №12. – p. 758–764

131 Shumann Die Beziehung zwischen Niederschlagshöhe und Wasserstandsänderung in oberirdischen und abflusslosen Seen des Norddeutschen Tieflande // WWT. – 1972. –№22. – s. 50-56

- 132 Григорьев А.С. Вероятностные модели влияния климата на гидрологический режим озер: Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. – СПб., 2000. – 18 с.
- 133 Научно–прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики озер Российской Федерации и их многолетние изменения. – СПб.: ООО "РИАЛ, 2021. - 364 с.
- 134 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России. – 2003. – 73 с.

Приложение А – Хронологические графики сумм осадков и средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год

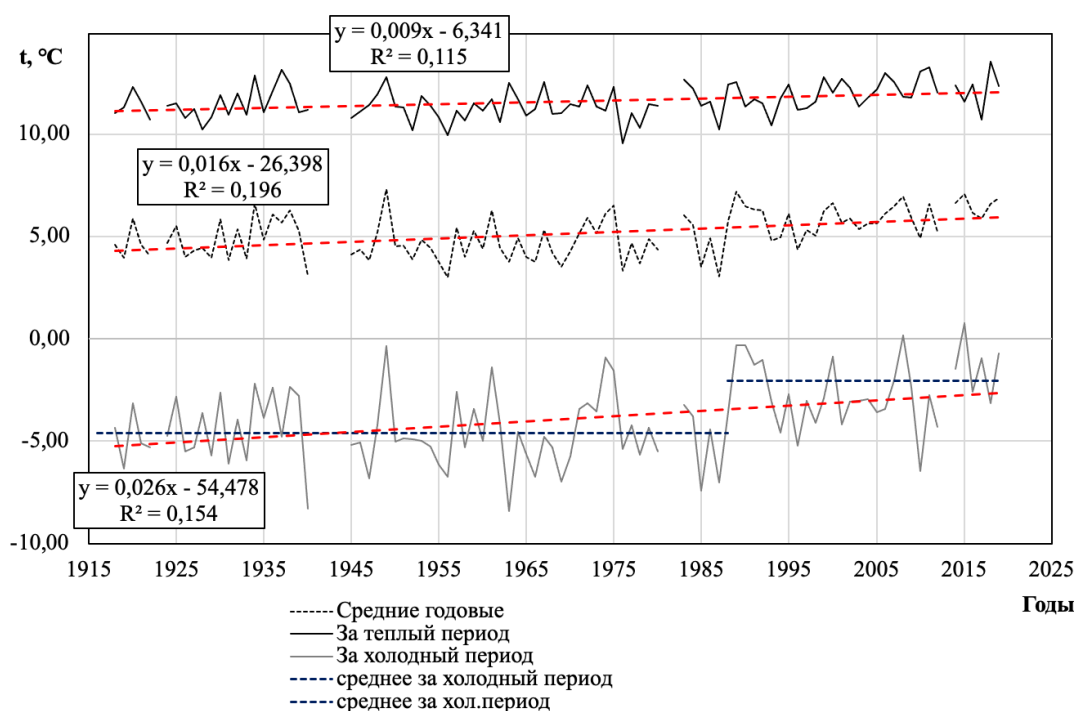


Рисунок А.1 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Гдов.

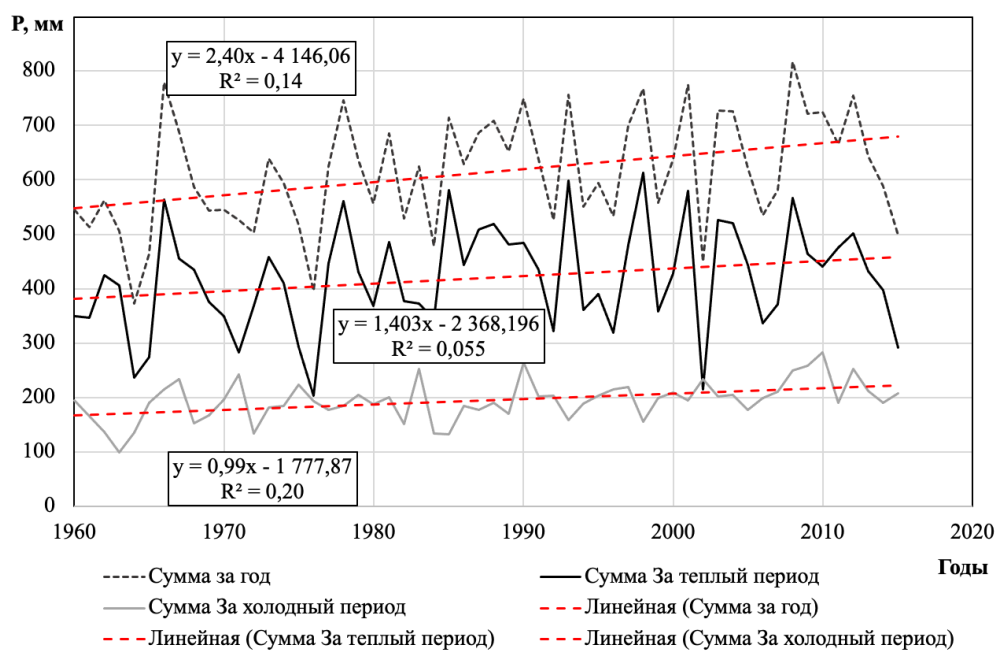


Рисунок А.2 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Гдов.

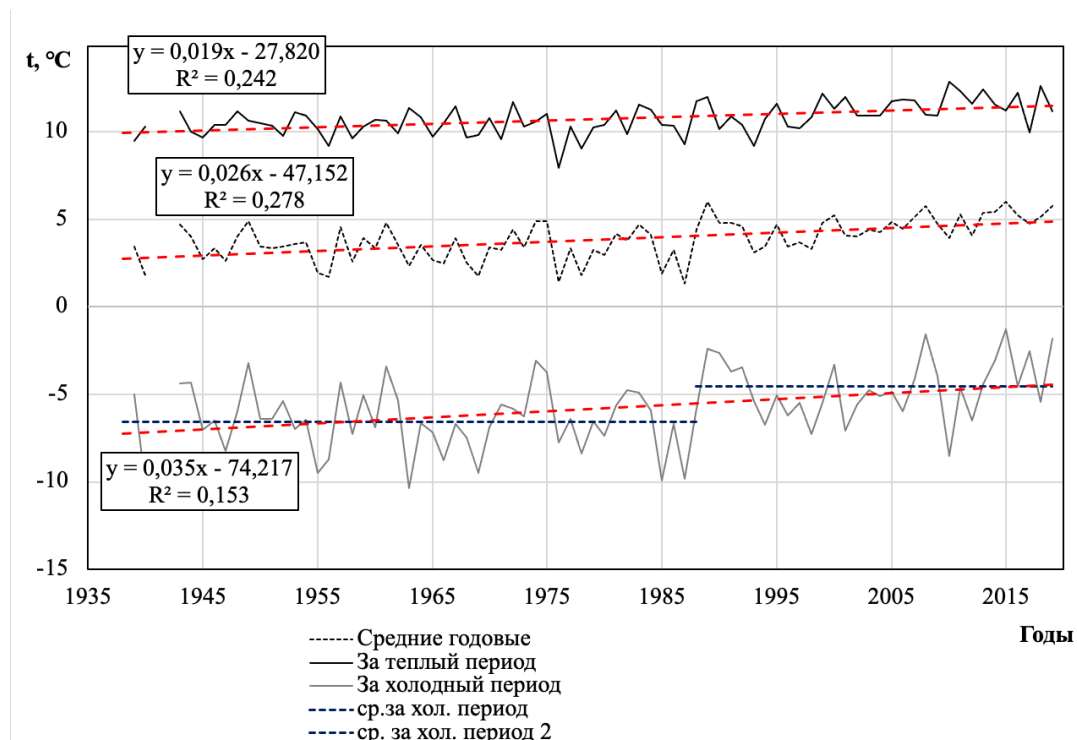


Рисунок А.3 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Тихвин.



Рисунок А.4 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Тихвин.

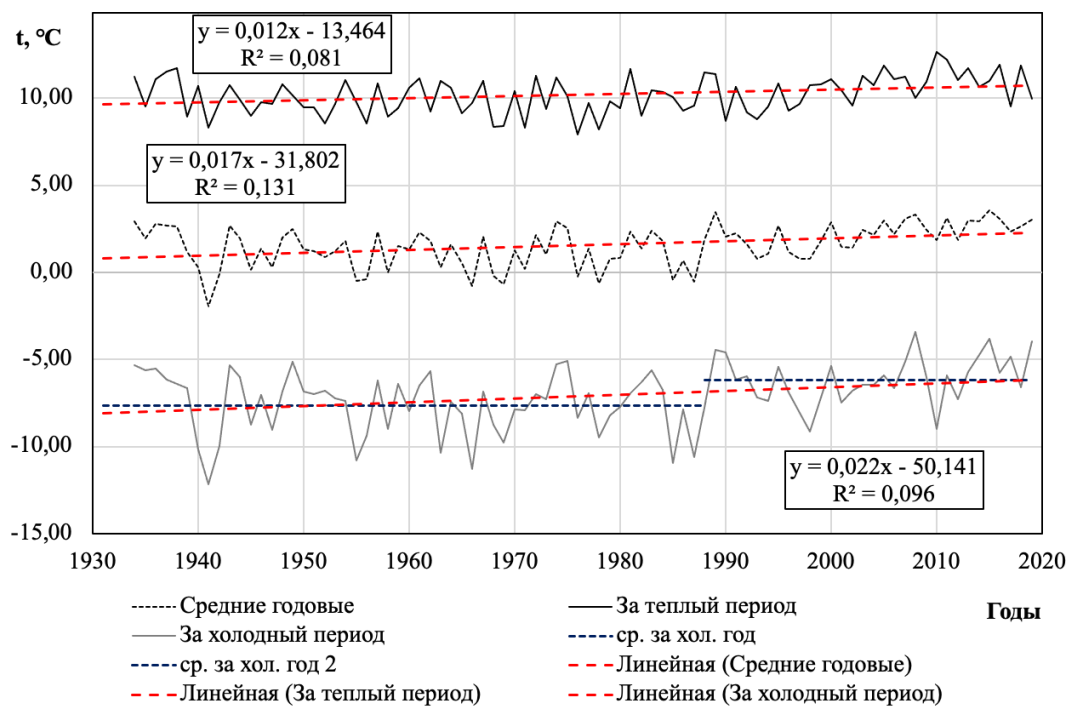


Рисунок А.5 – Хронологические графики средних температур за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Няндомы.

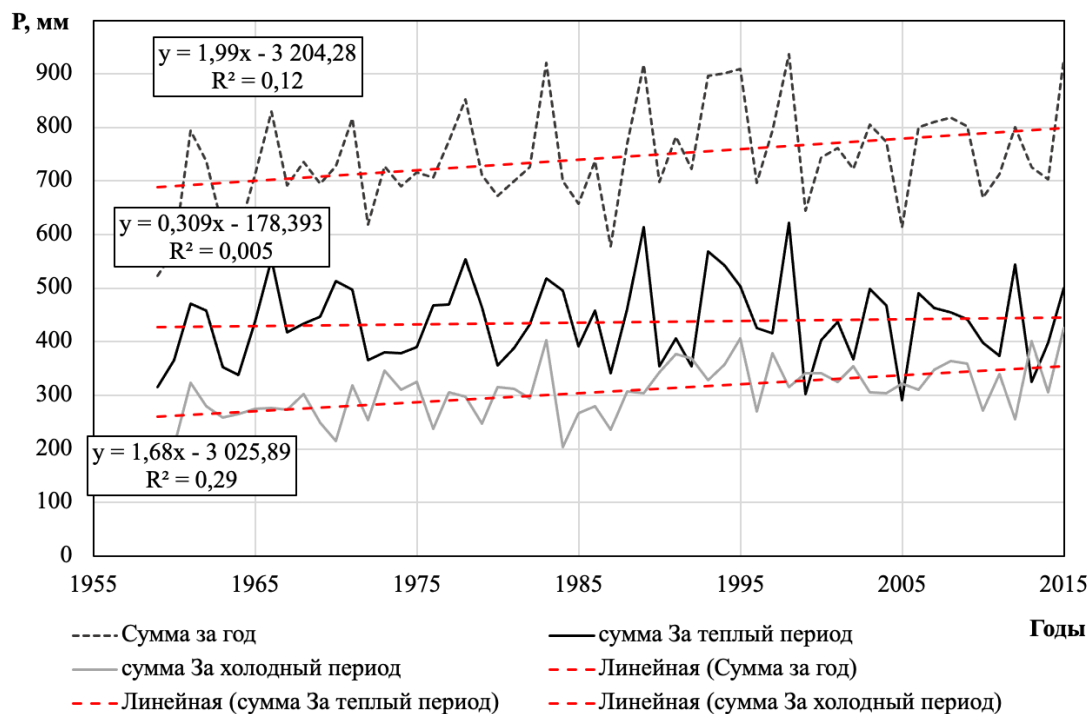


Рисунок А.6 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Няндомы.

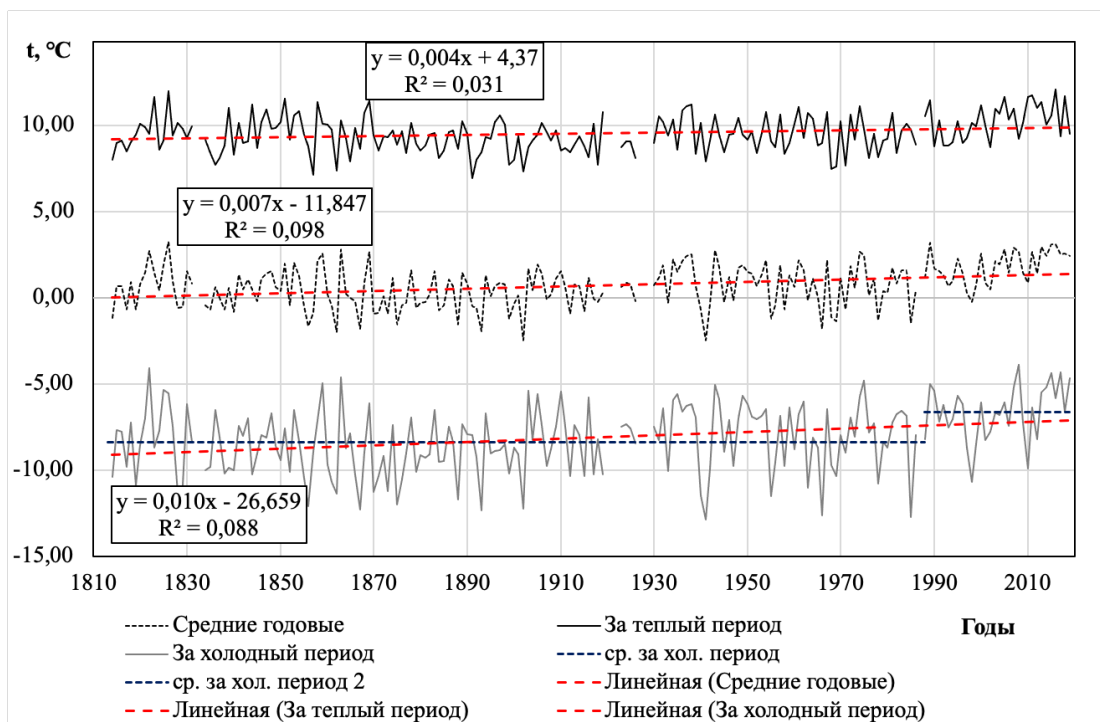


Рисунок А.7 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Архангельск.

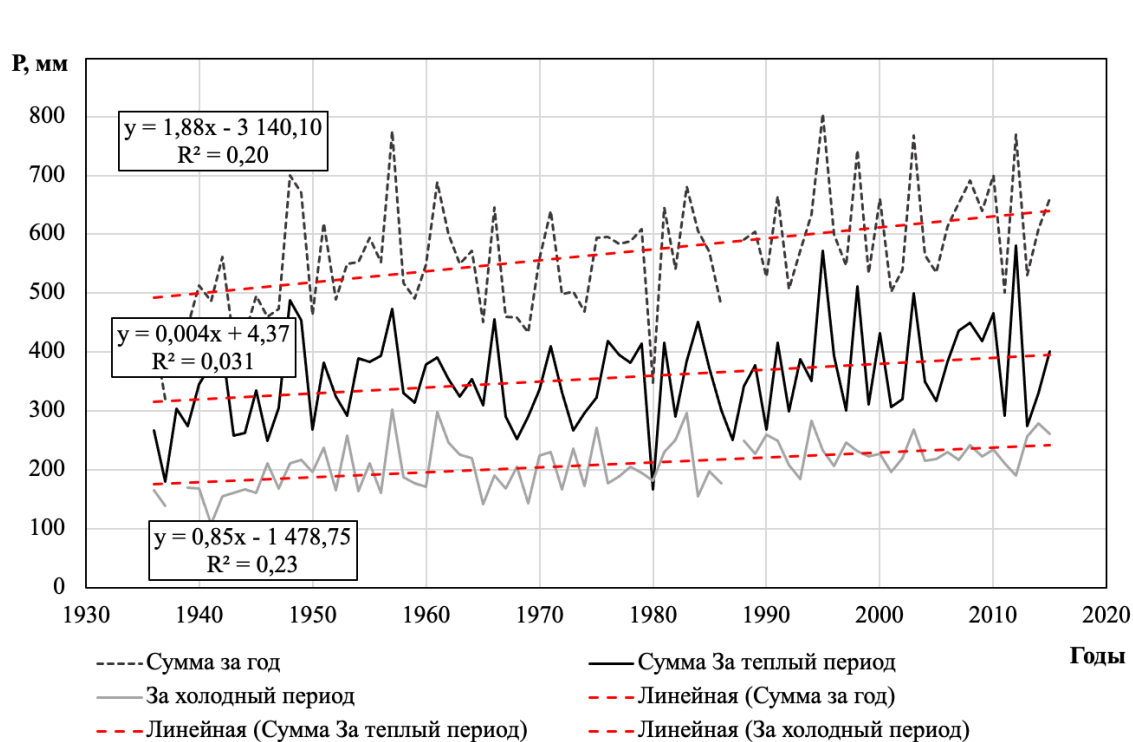


Рисунок А.8 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Архангельск.

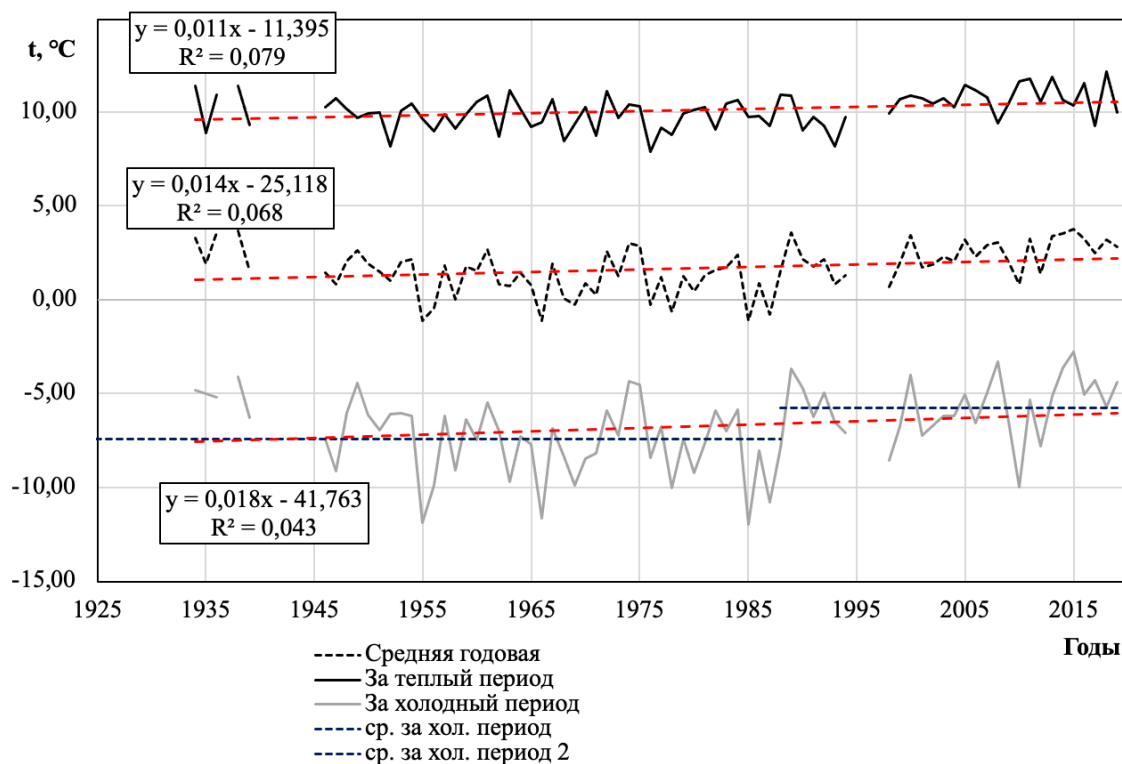


Рисунок А.9 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Реболы.

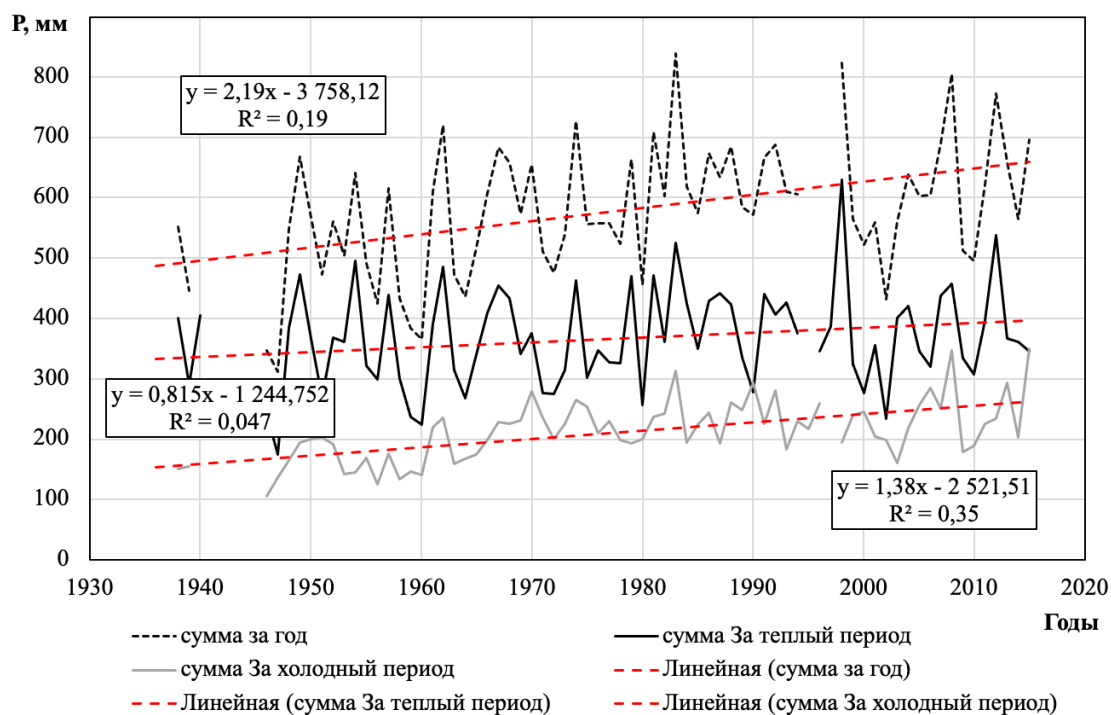


Рисунок А.10 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Реболы.

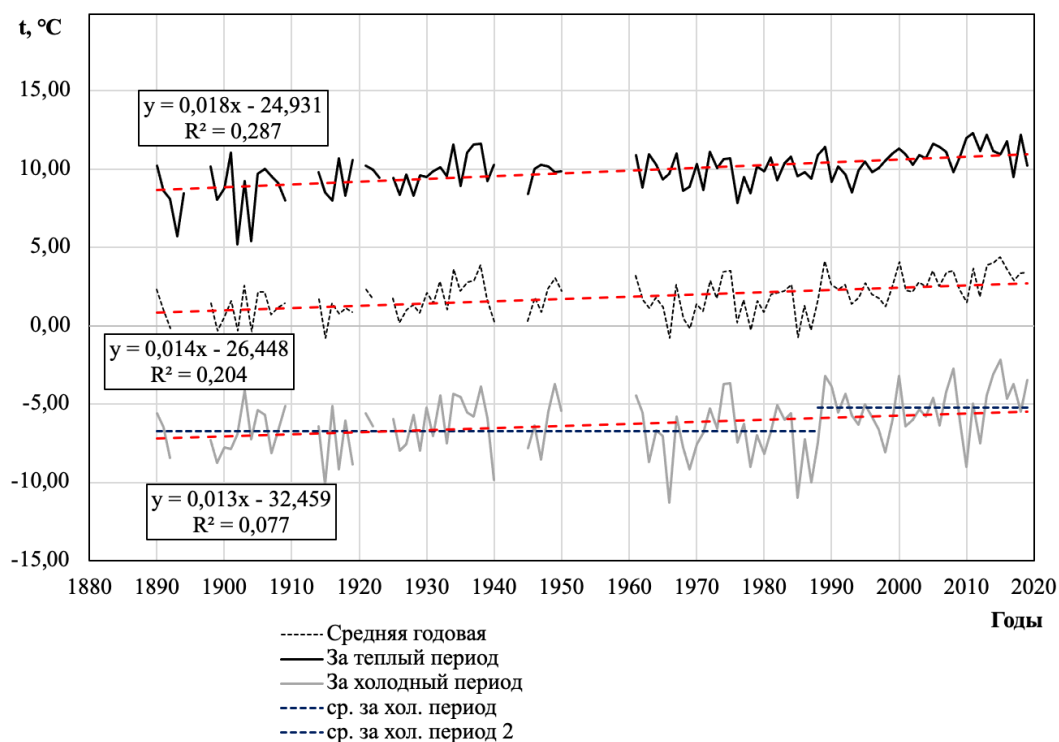


Рисунок А.11 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Паданы.

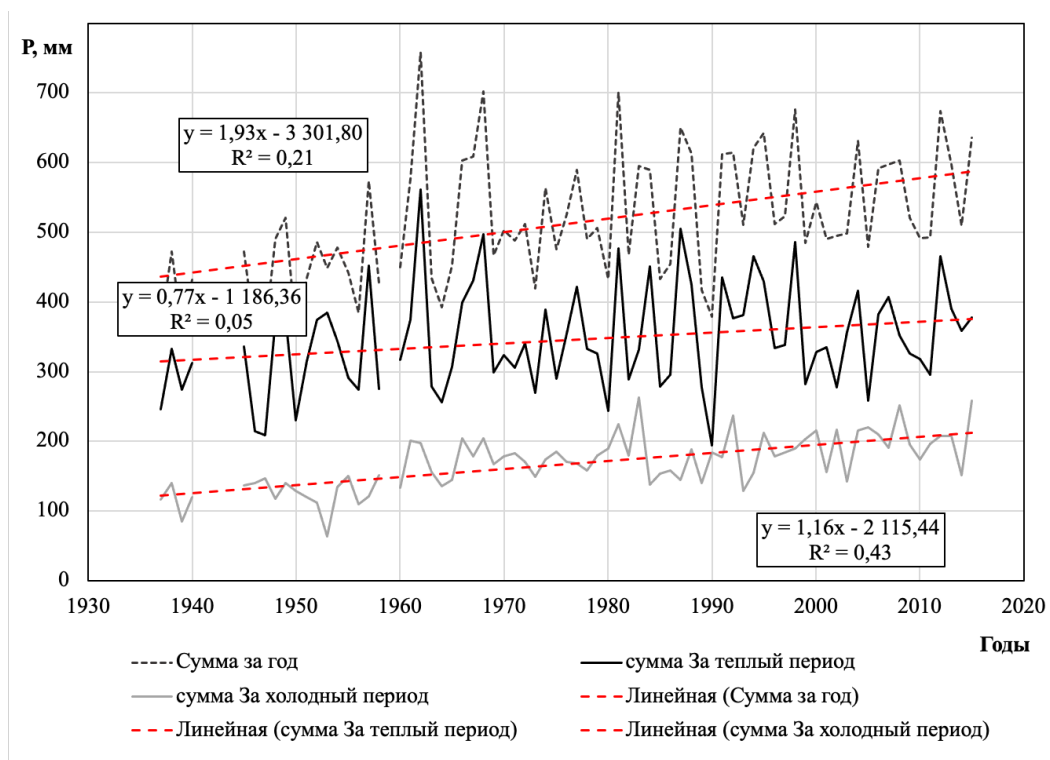


Рисунок А.12 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Паданы.

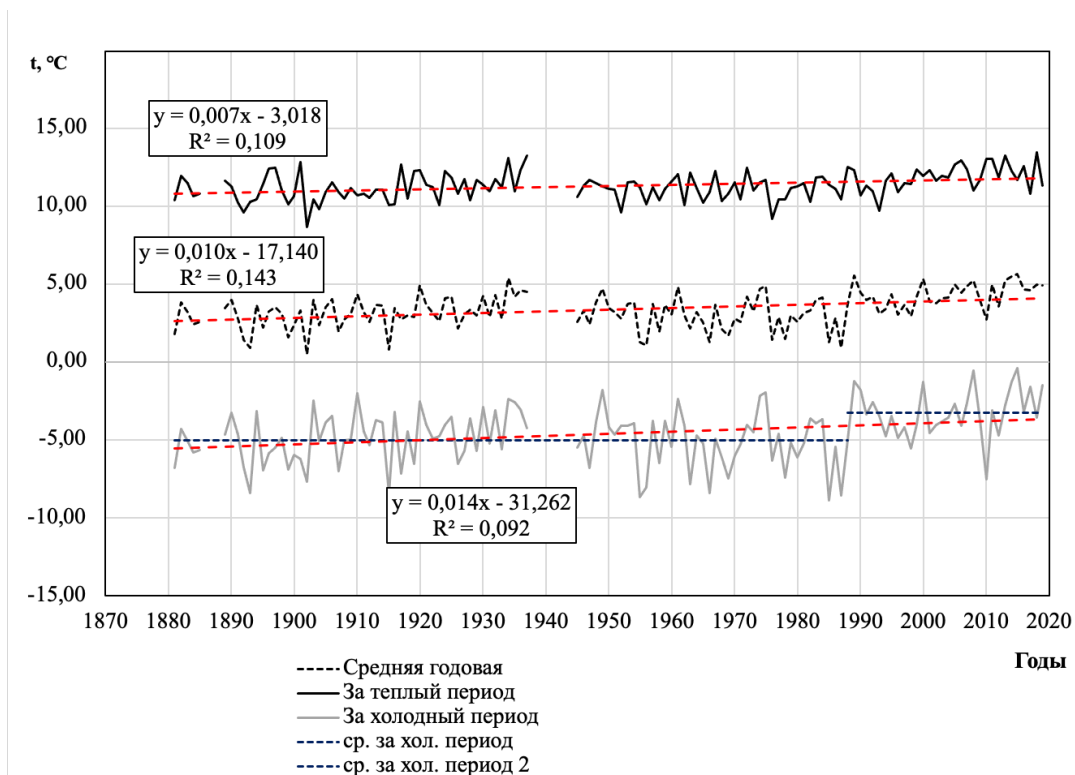


Рисунок А.13 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Сортавала.

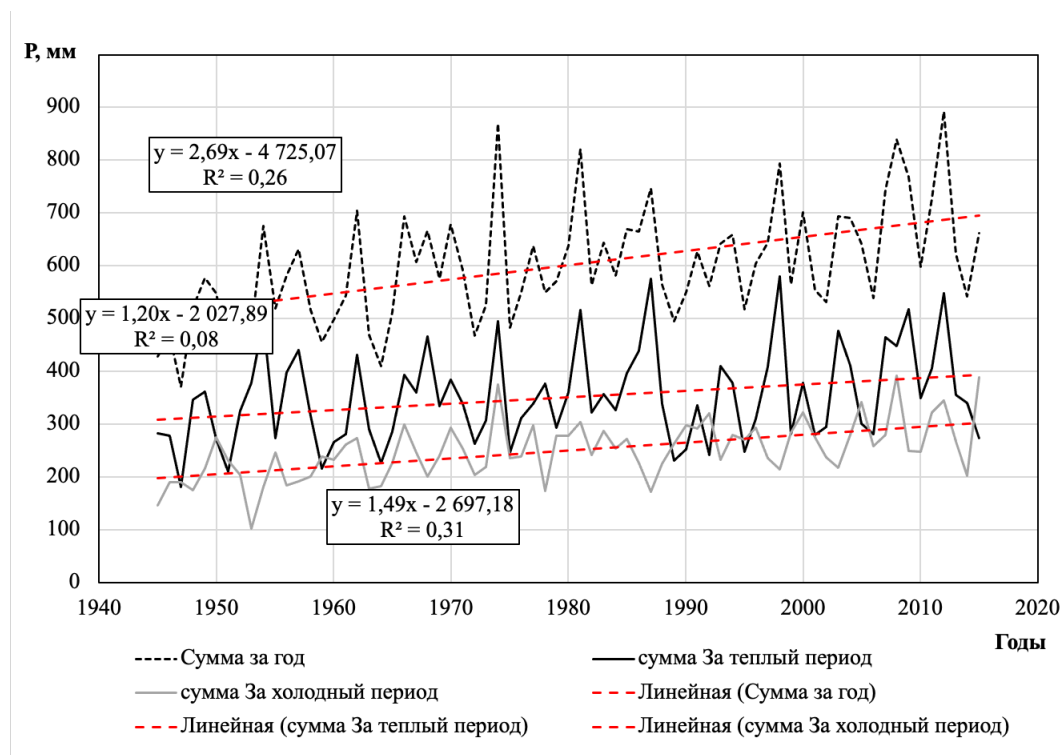


Рисунок А.14 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Сортавала.

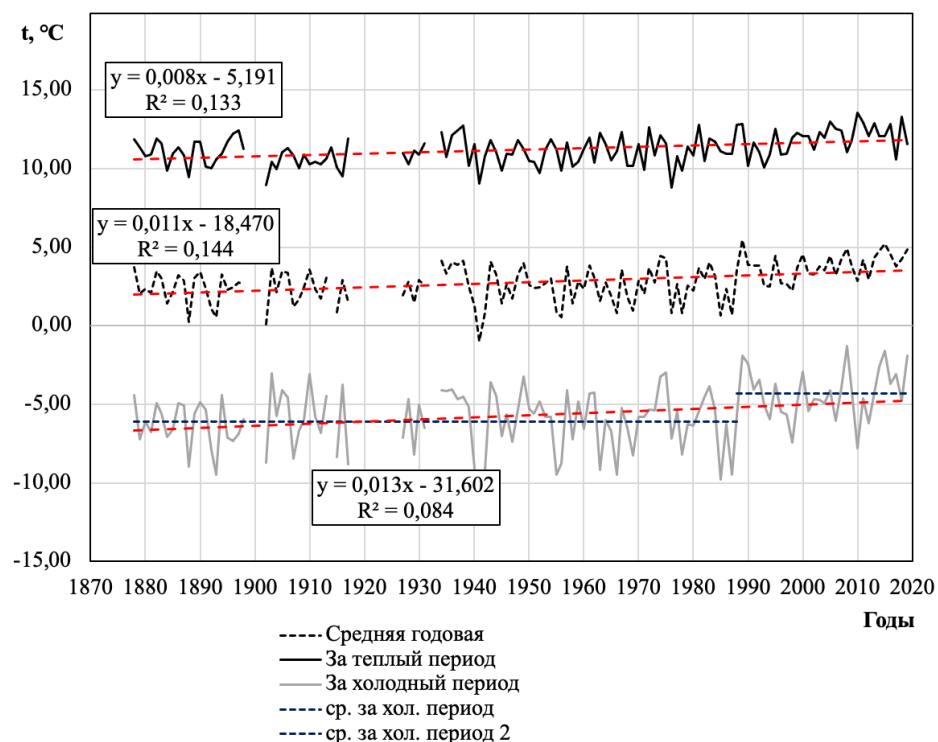


Рисунок А.15 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Вытегра.

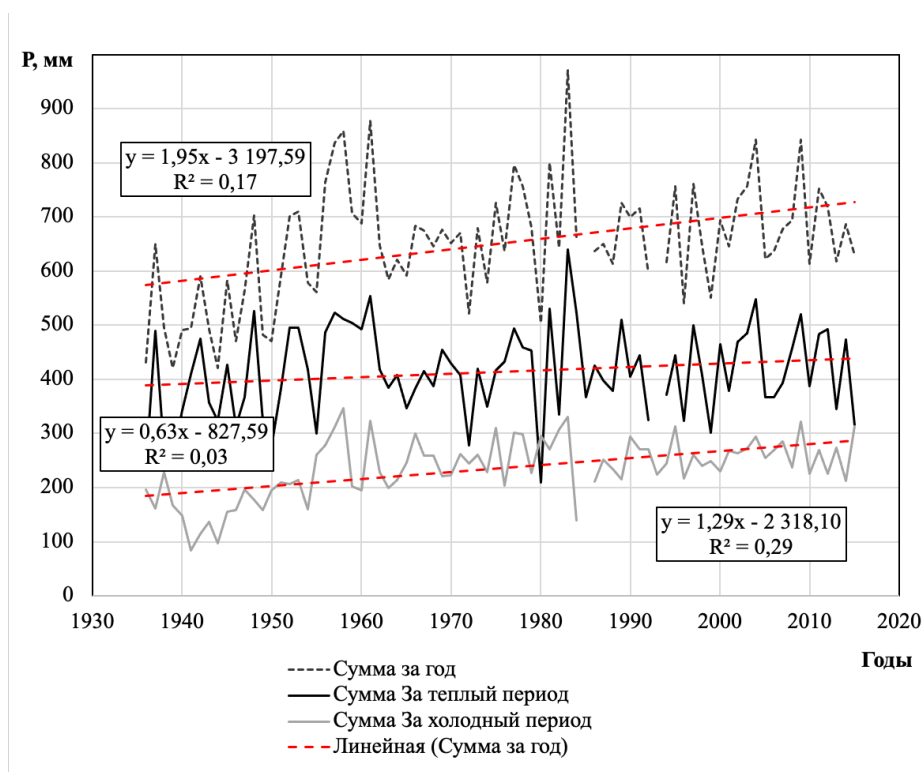


Рисунок А.16 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Вытегра.

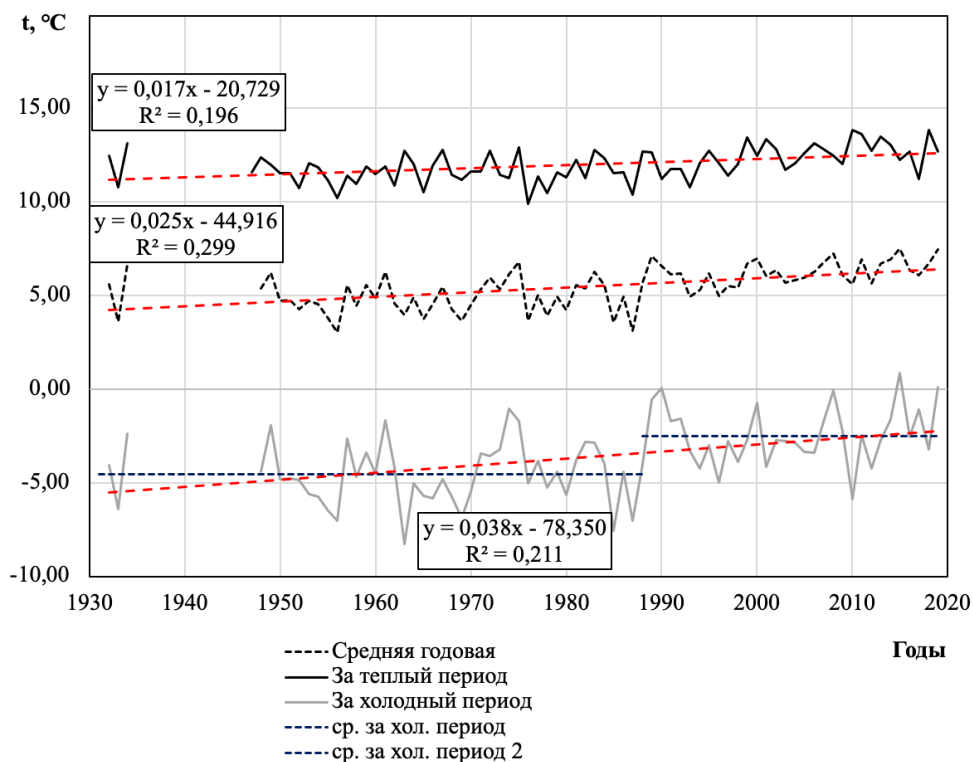


Рисунок А.17 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Пушкинские горы.

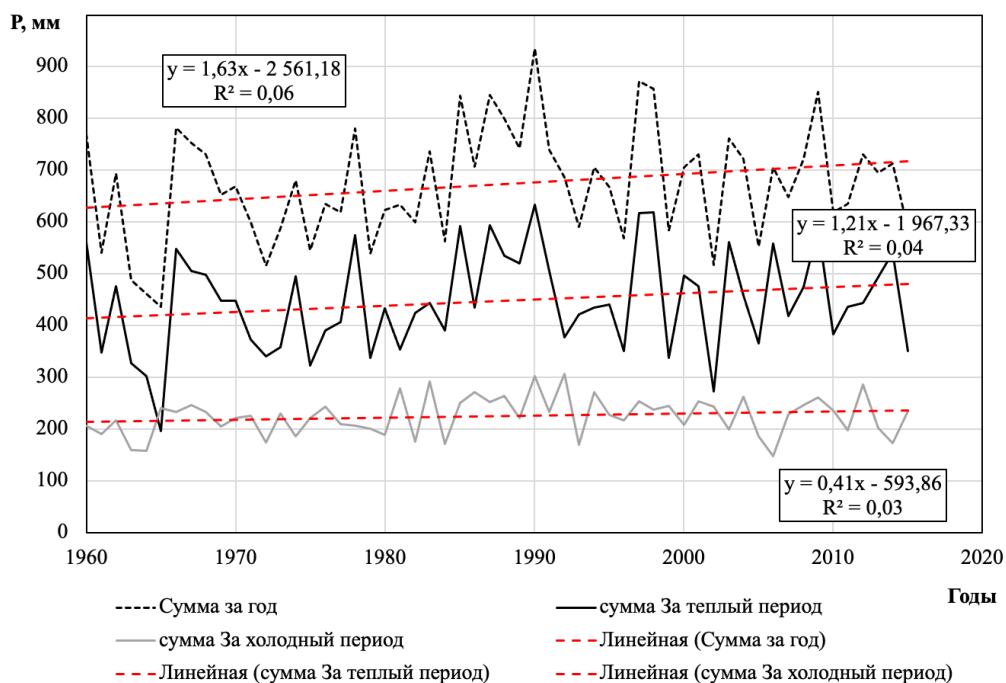


Рисунок А.18 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Пушкинские горы.

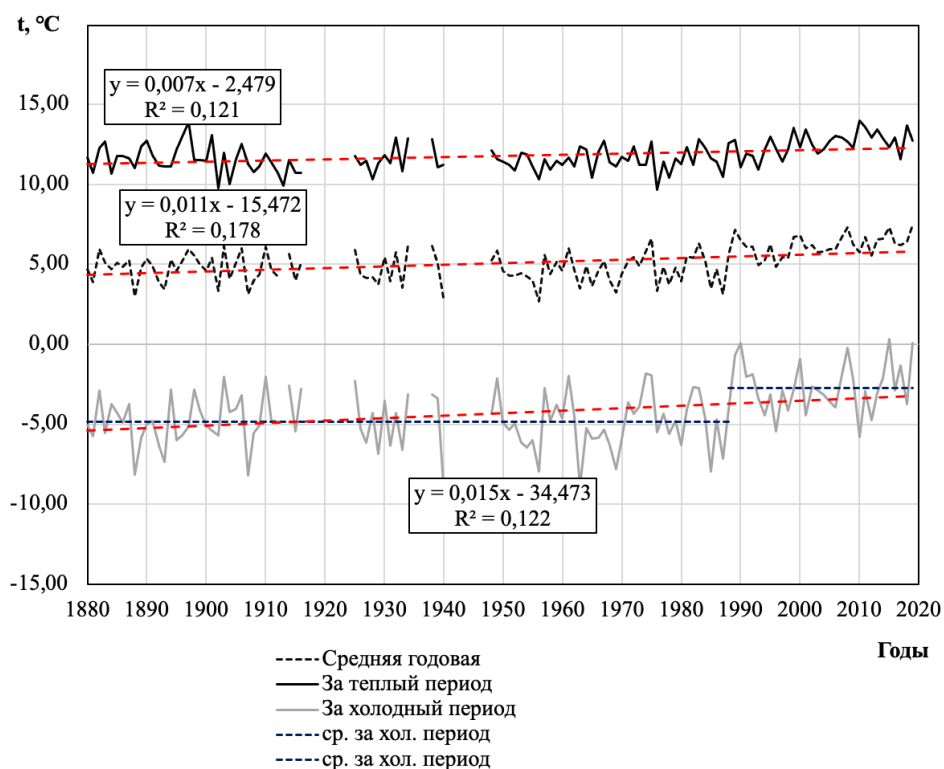


Рисунок А.19 – Хронологические графики средних температур за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Великие Луки.

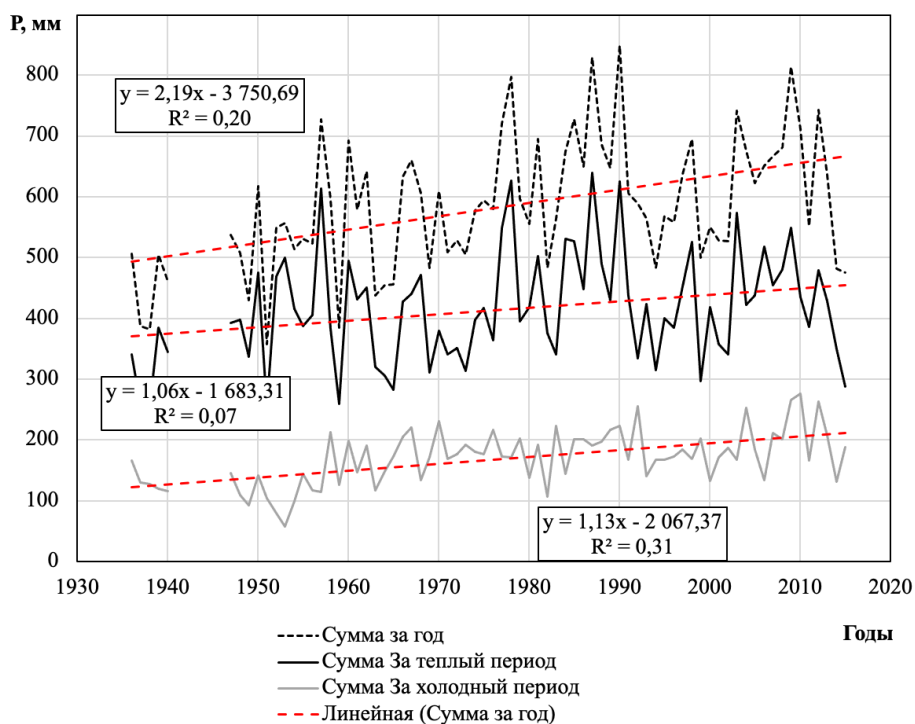


Рисунок А.20 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Великие Луки.

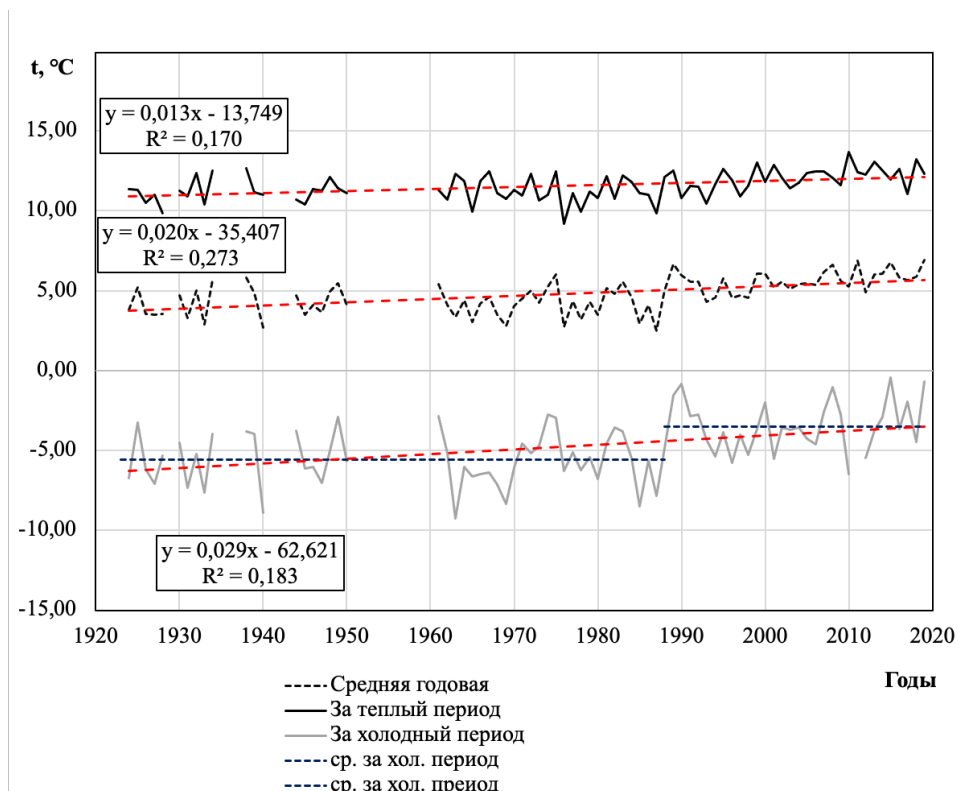


Рисунок А.21 – Хронологические графики средних температур за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Торопец.

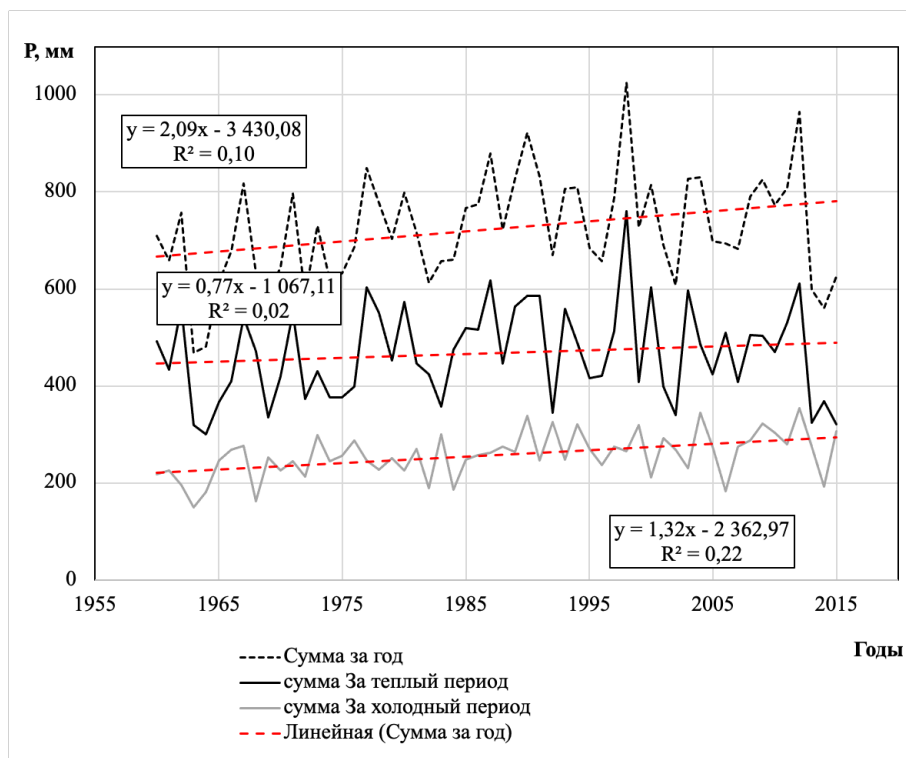


Рисунок А.22 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Торопец.

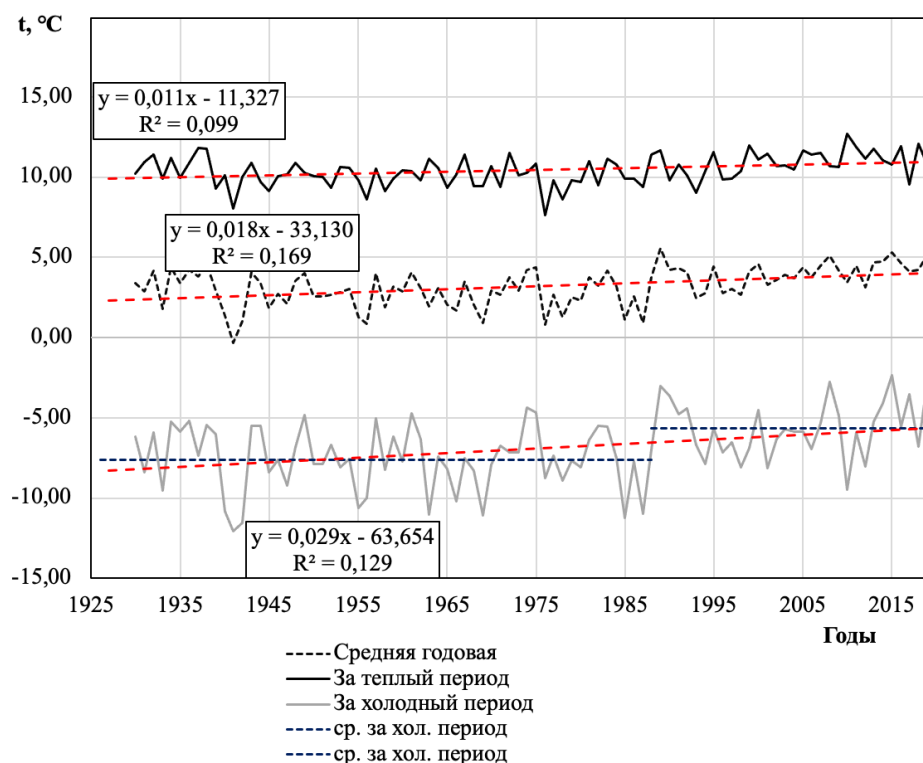


Рисунок А.23 – Хронологические графики средних температур за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Бабаево.

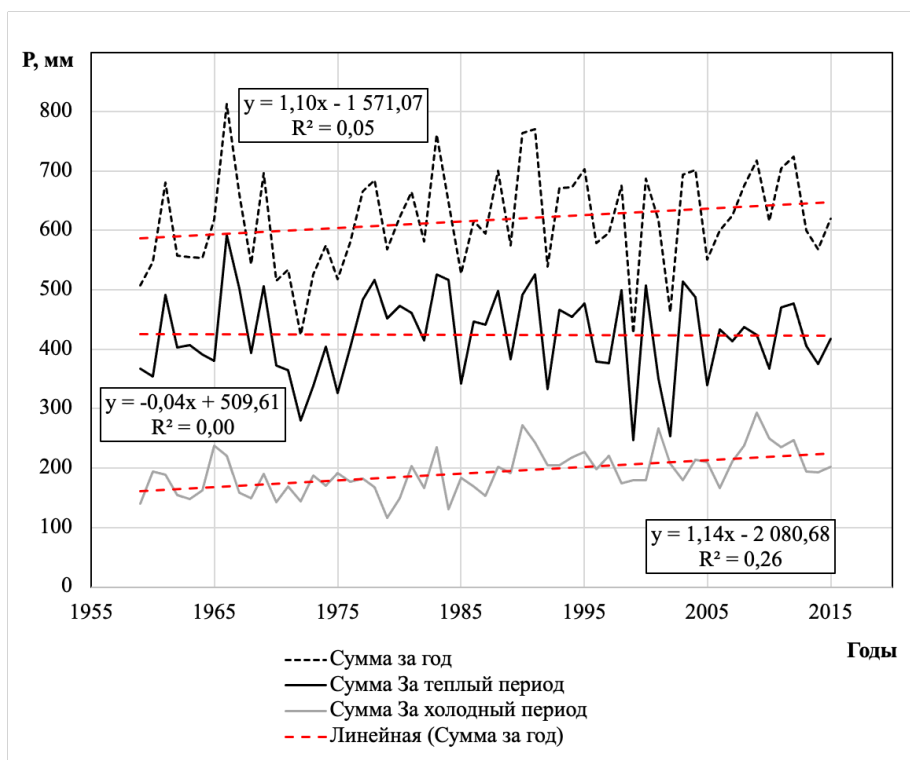


Рисунок А.24 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Бабаево.

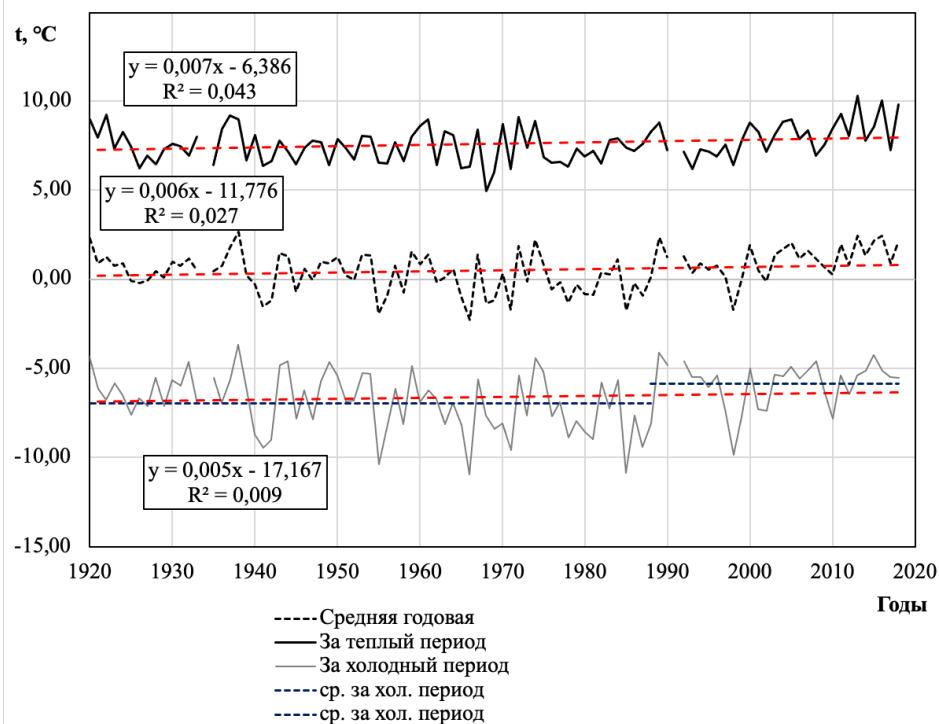


Рисунок А.25 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Мурманск.

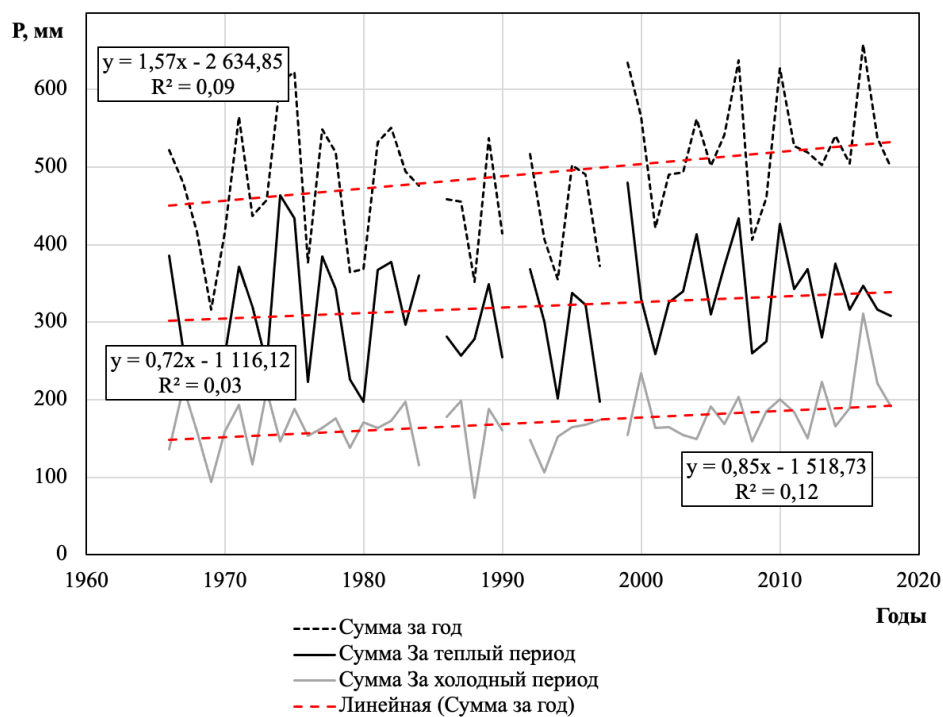


Рисунок А.26 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Мурманск.

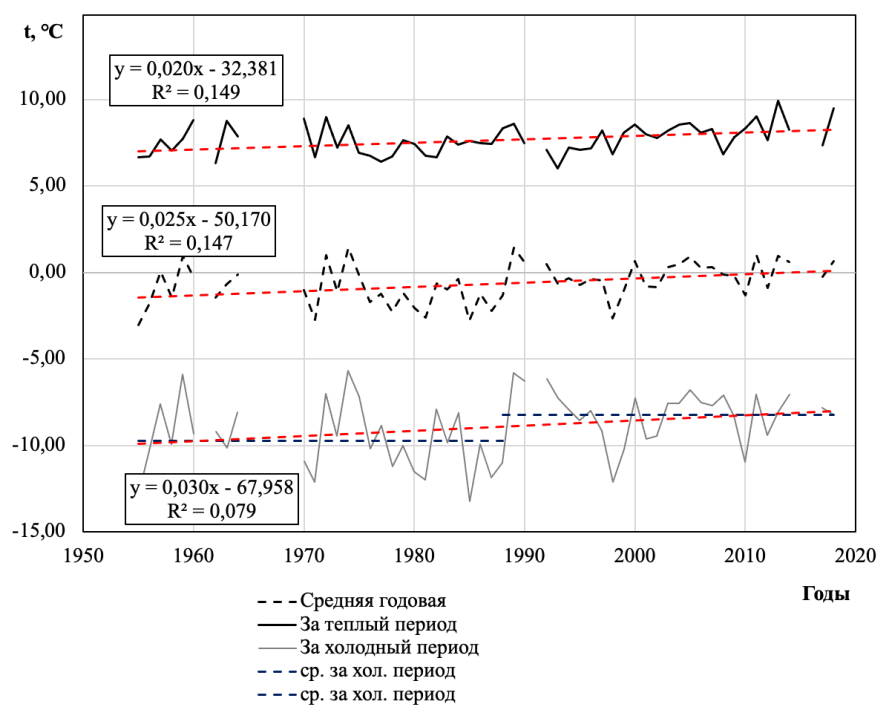


Рисунок А.27 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Янискоски.

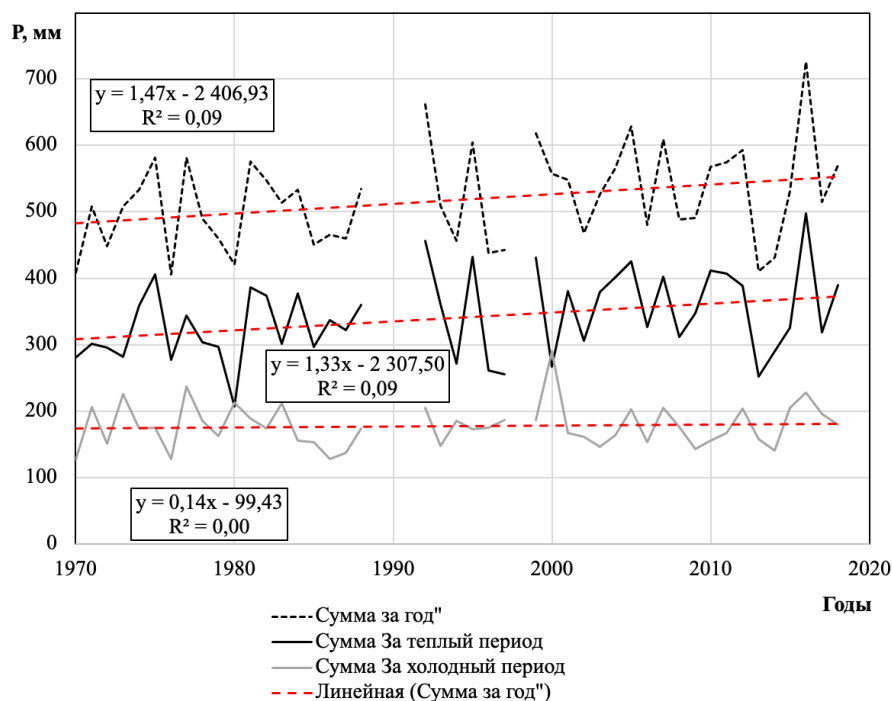


Рисунок А.28 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Янискоски.

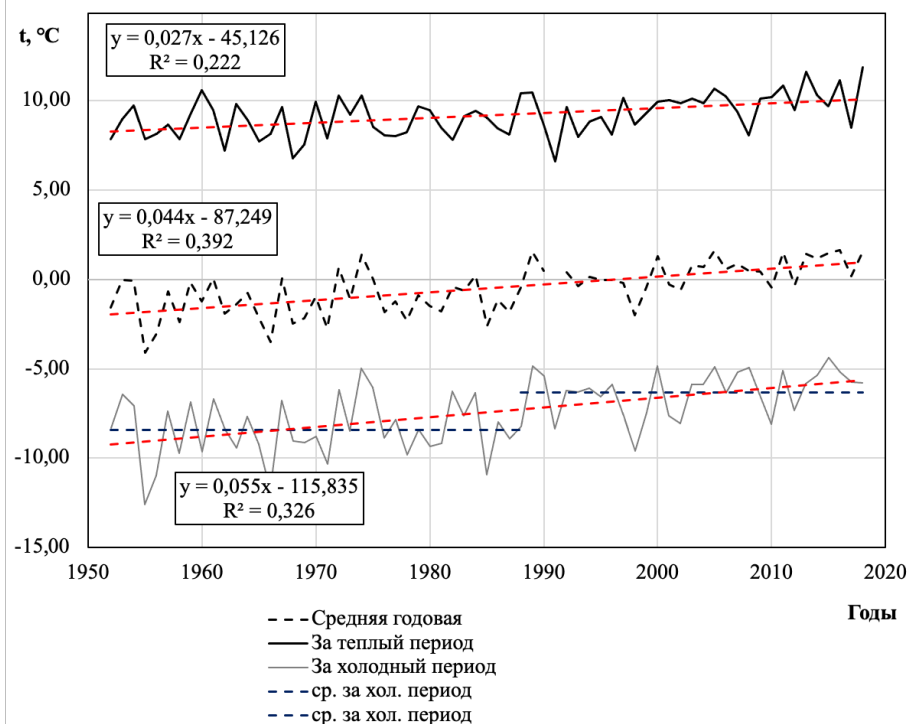


Рисунок А.29 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Ковдор.

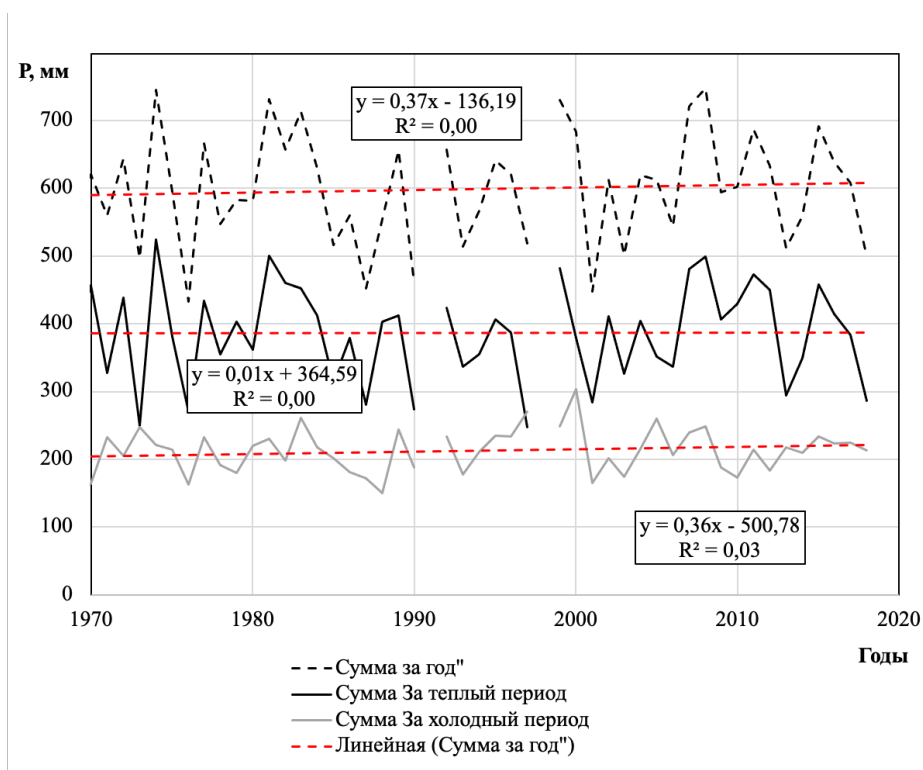


Рисунок А.30 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Ковдор.

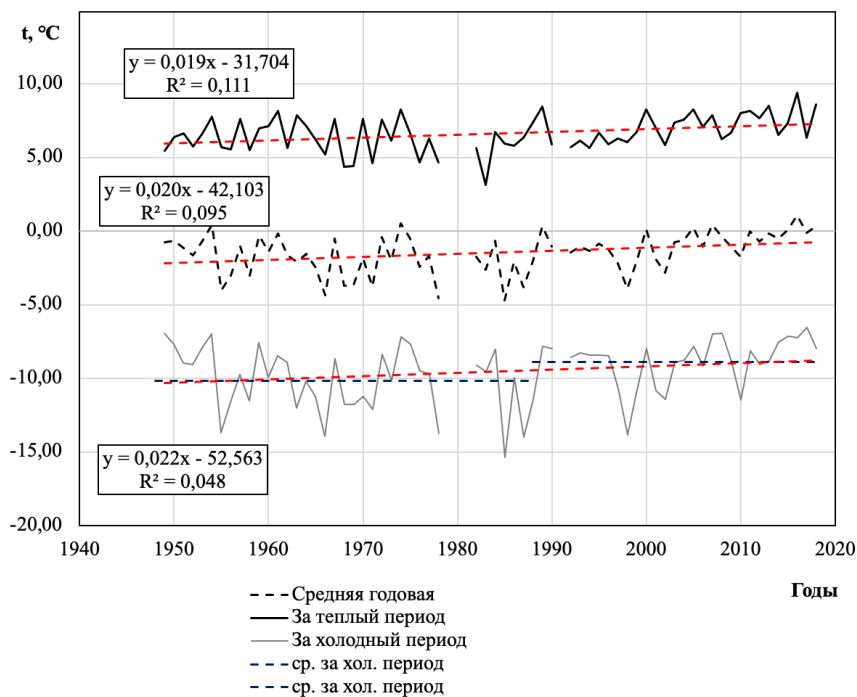


Рисунок А.31 – Хронологические графики средних температур воздуха за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Каневка.

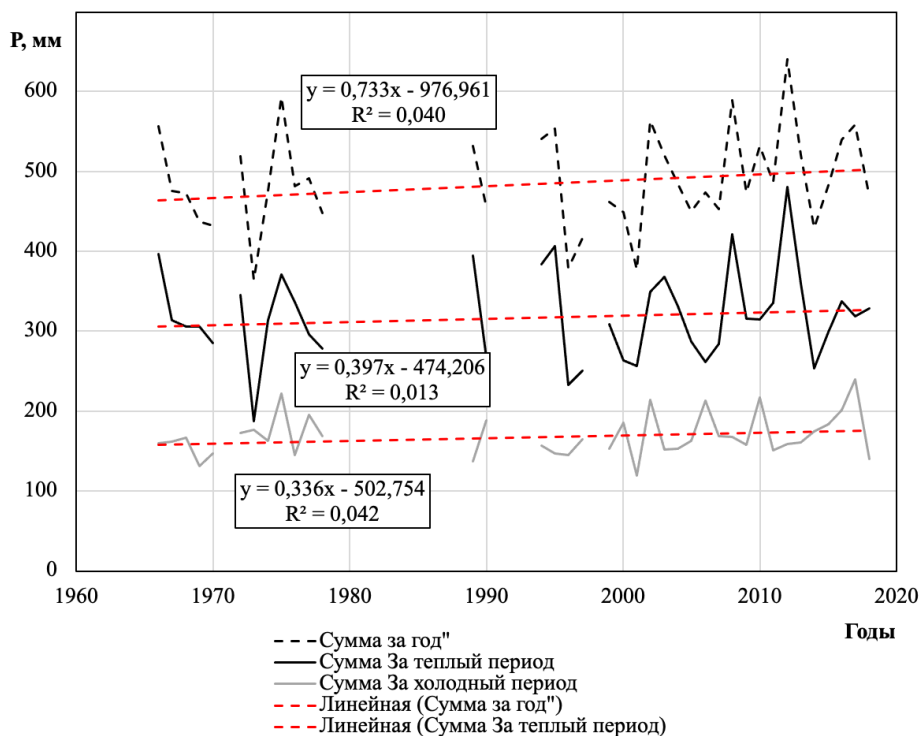


Рисунок А.32 – Хронологические графики годовых сумм осадков за теплый, холодный периоды и за весь год по метеостанции Каневка.

Приложение Б – Разностно-интегральные кривые средних годовых температур воздуха и сумм осадков за год

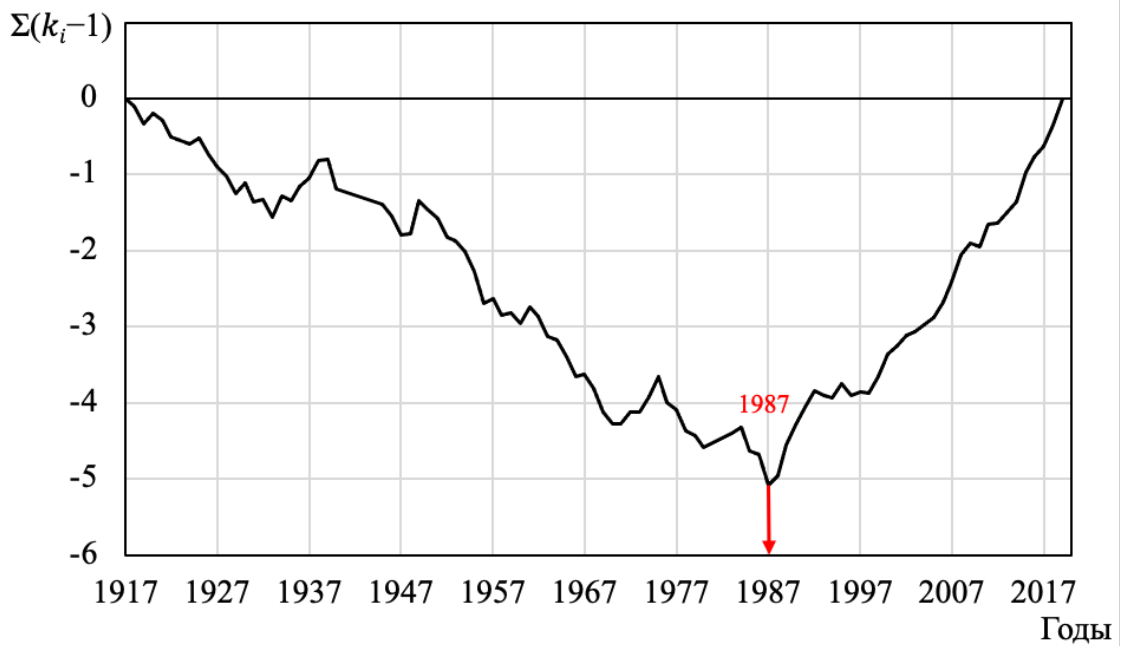


Рисунок Б.1 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Гдов

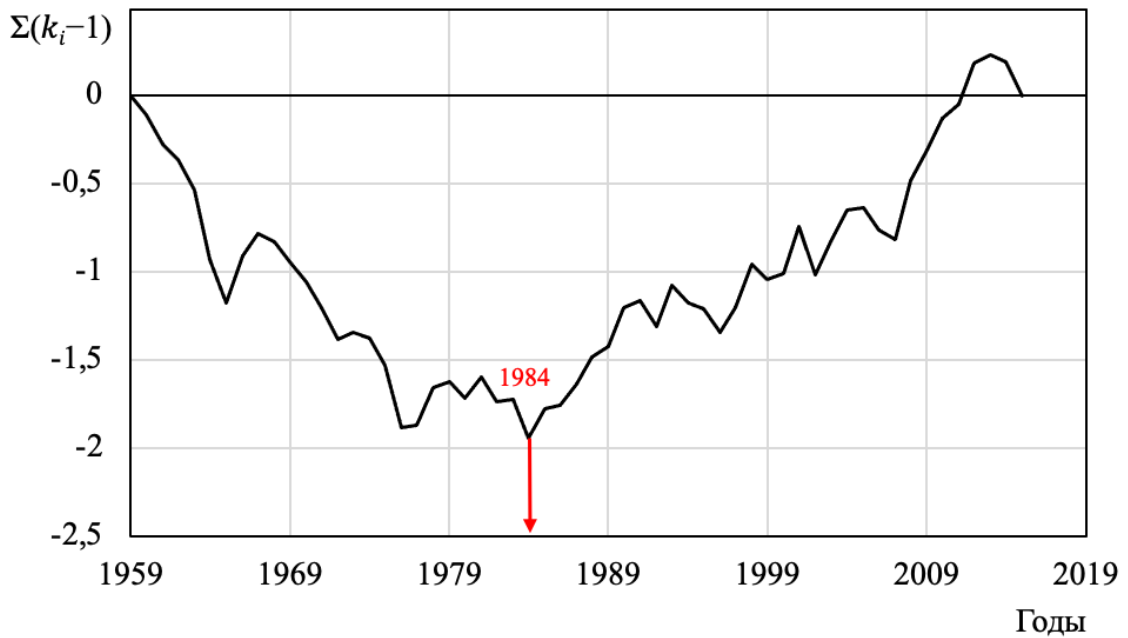


Рисунок Б.2 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Гдов

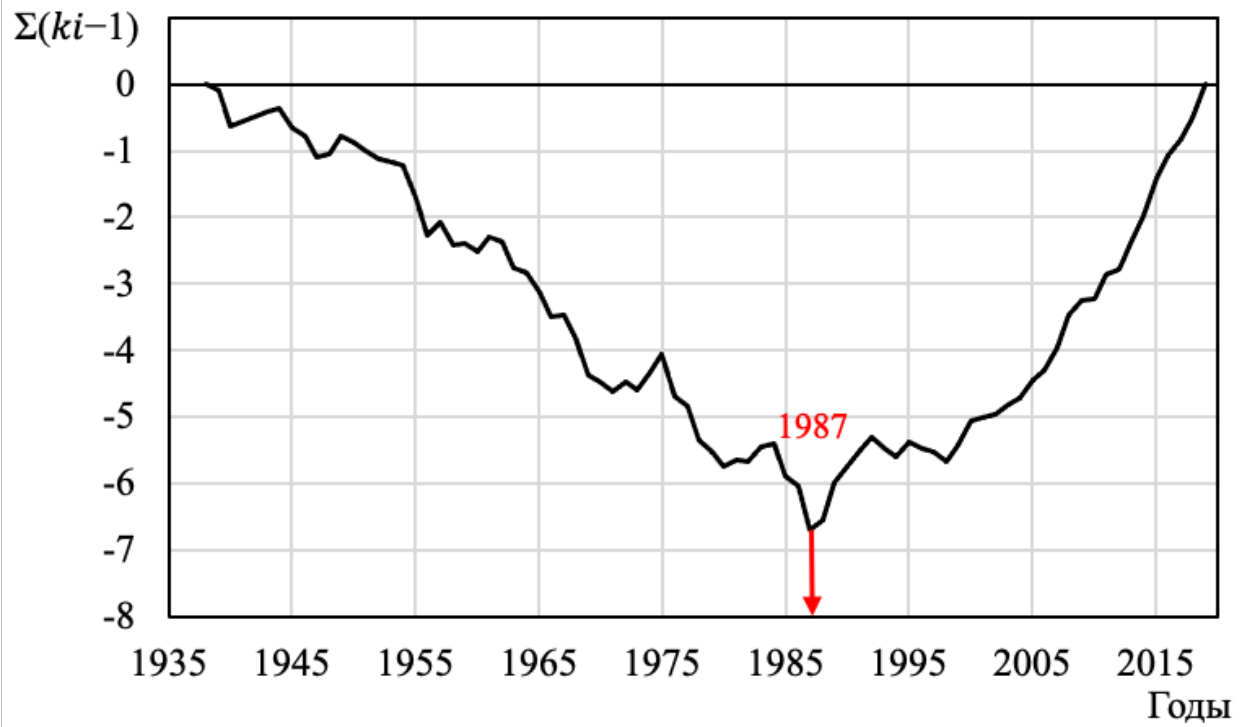


Рисунок Б.3 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Тихвин

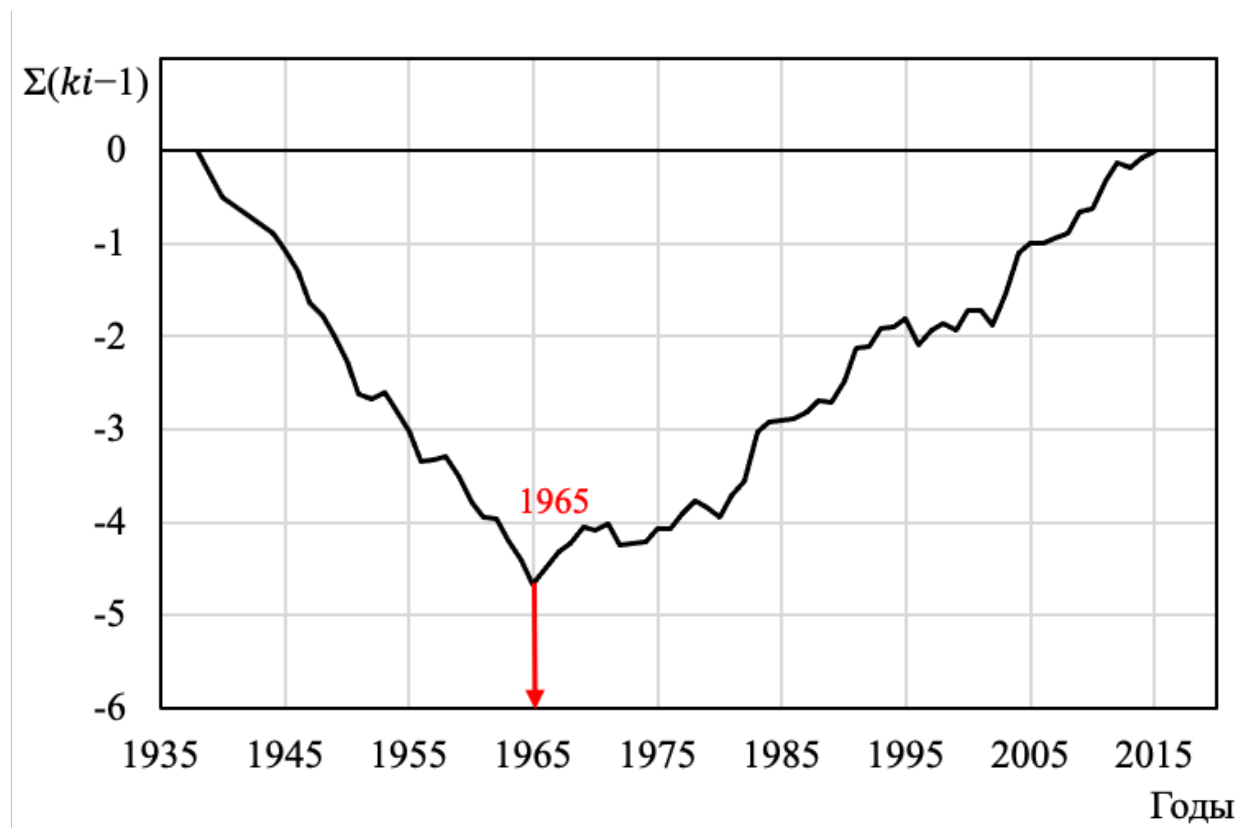


Рисунок Б.4 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Тихвин

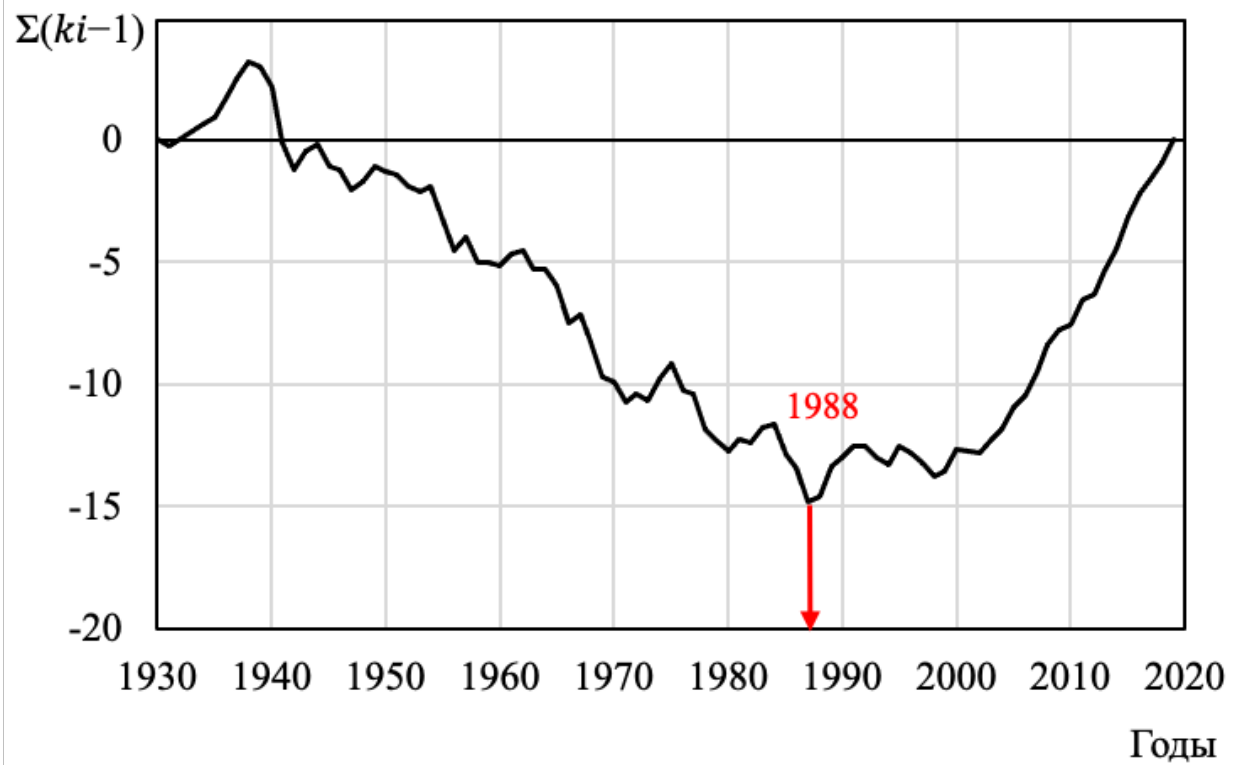


Рисунок Б.5 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Няндомы

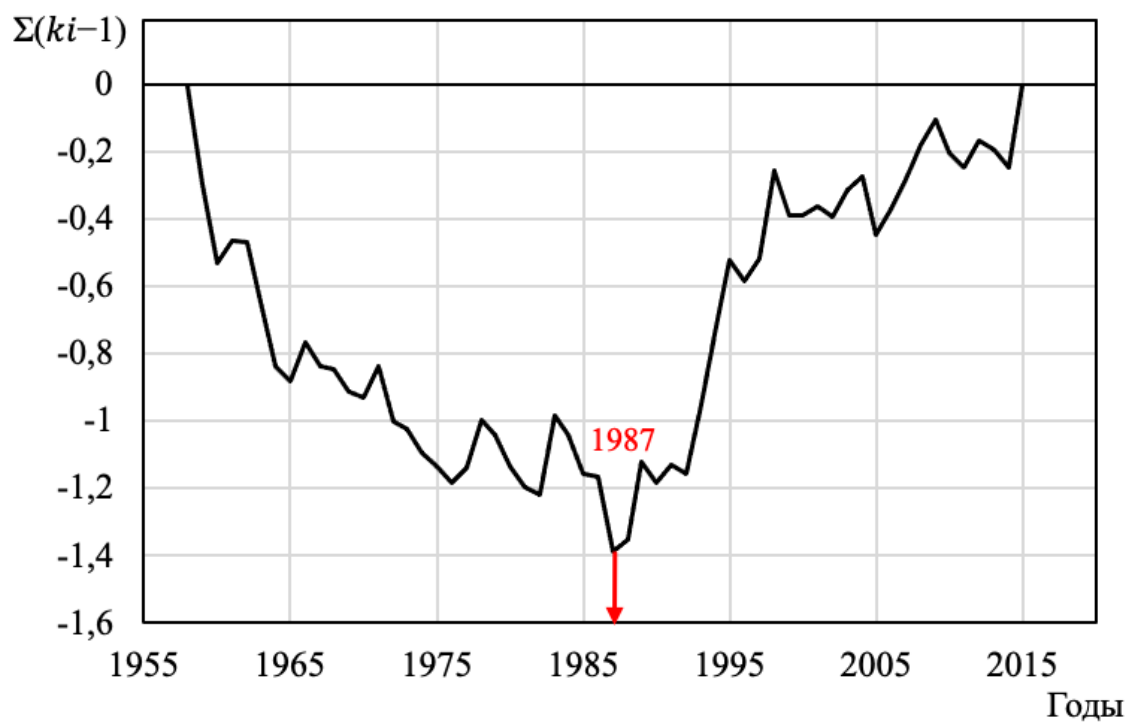


Рисунок Б.6 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Няндомы

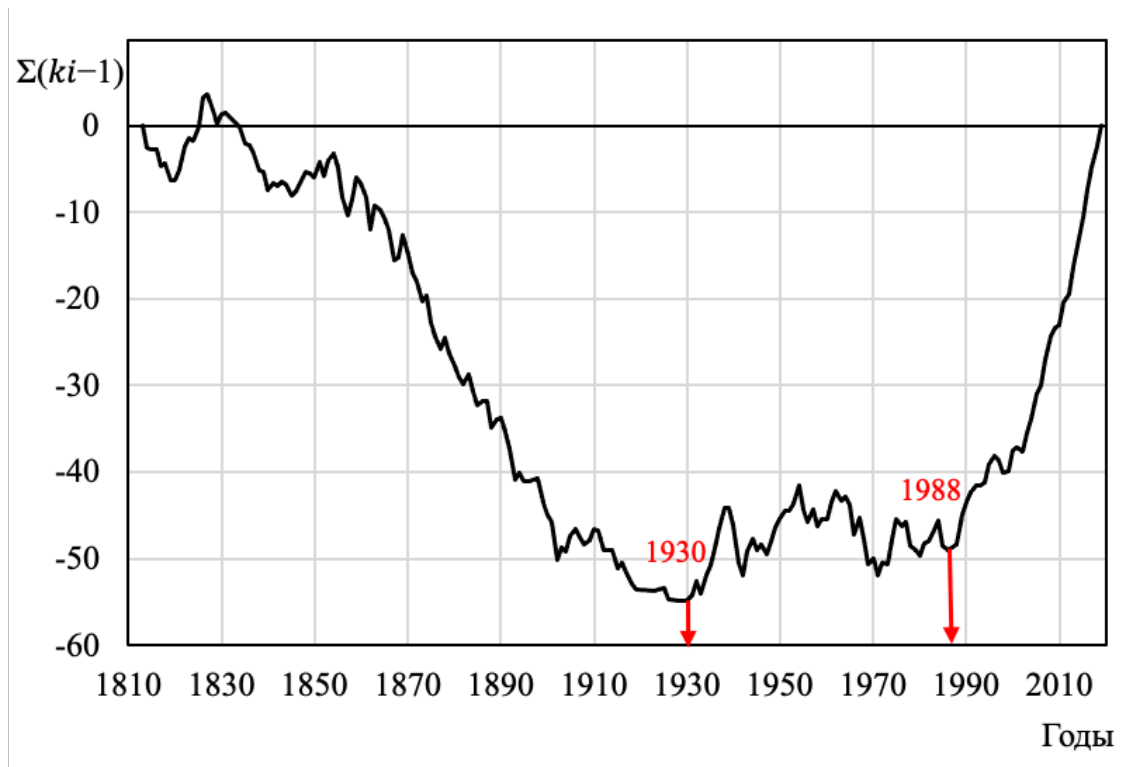


Рисунок Б.7 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Архангельск

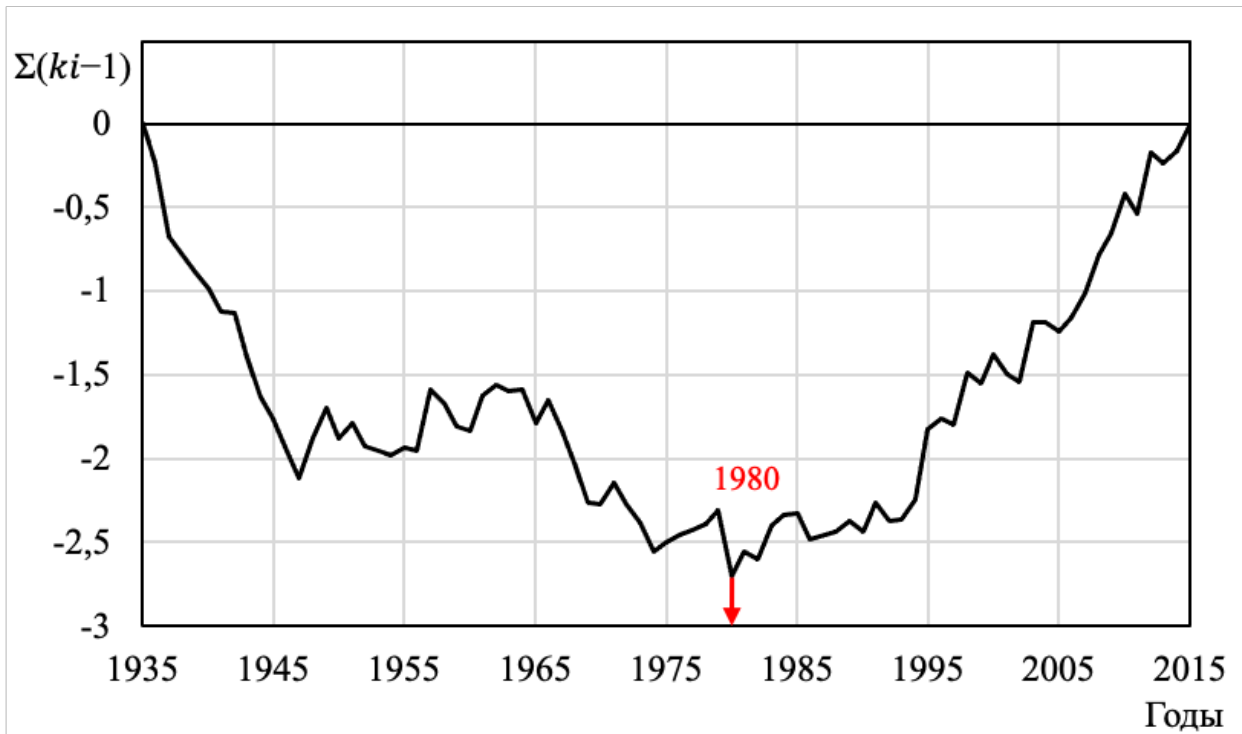


Рисунок Б.8 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Архангельск

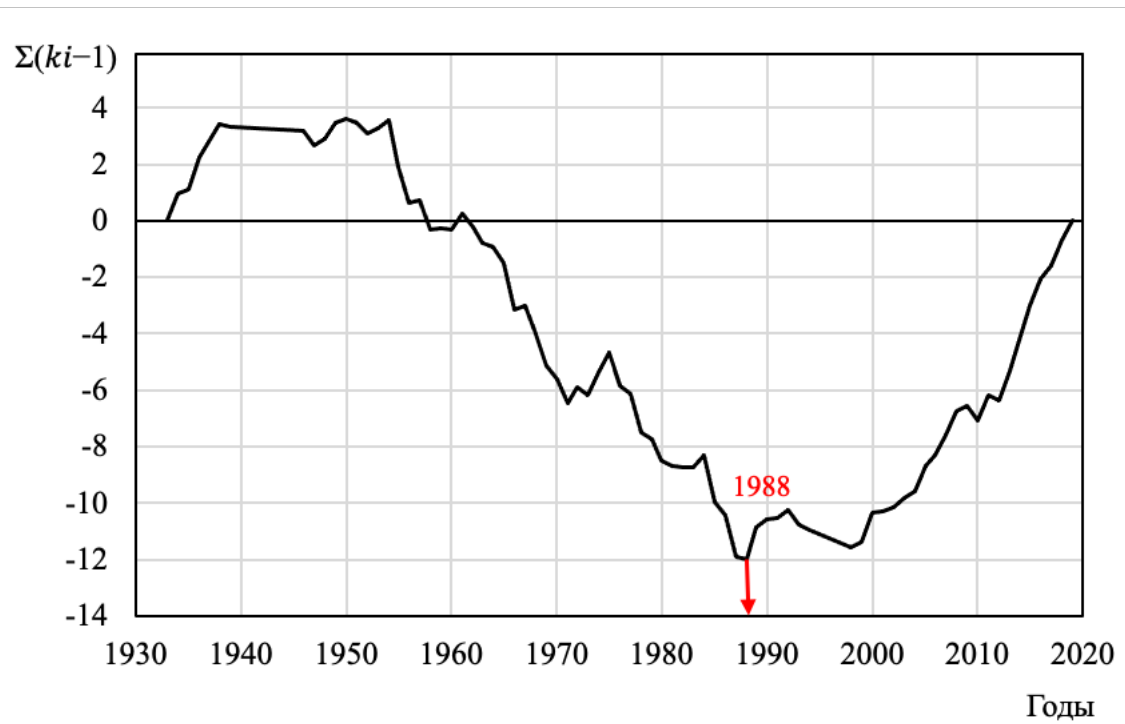


Рисунок Б.9 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Реболы

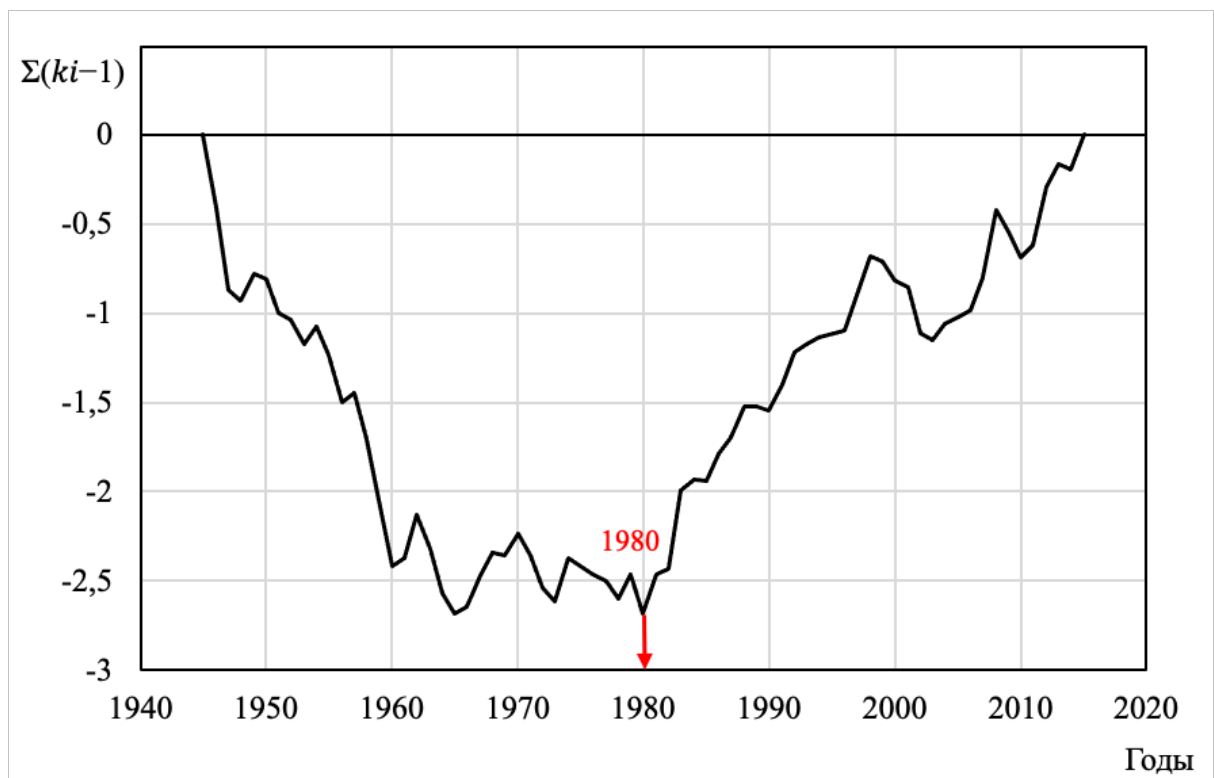


Рисунок Б.10 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Реболы

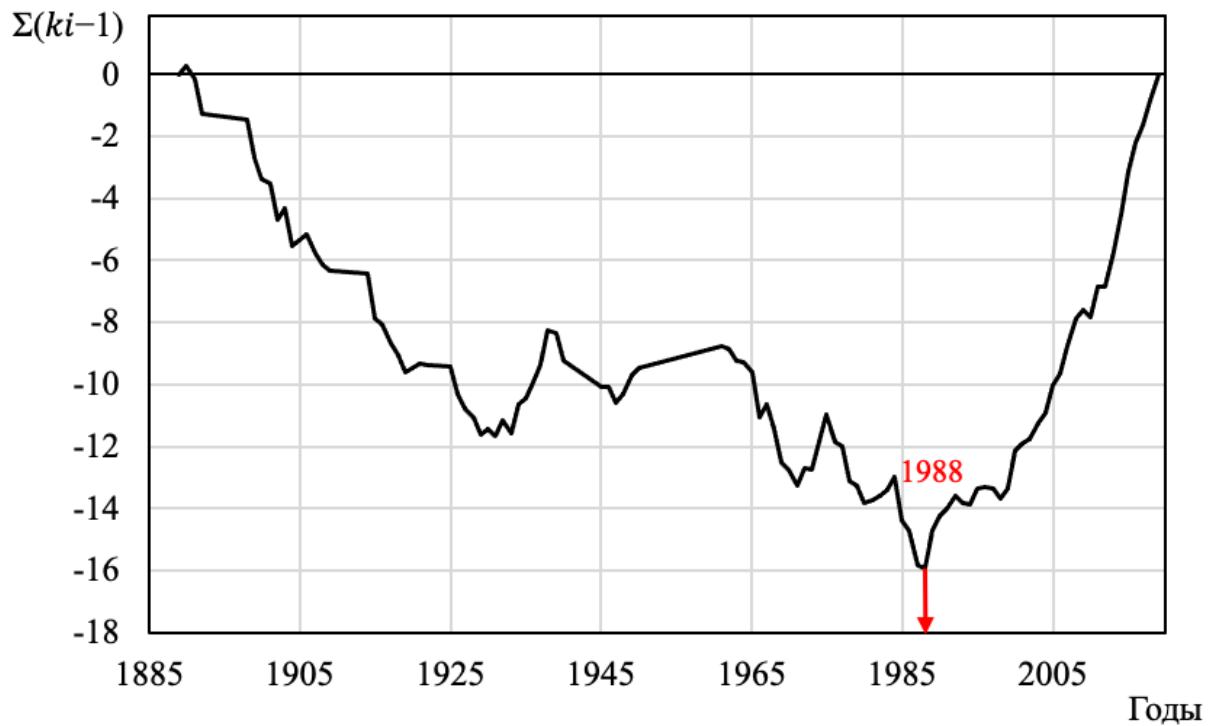


Рисунок Б.11 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Паданы

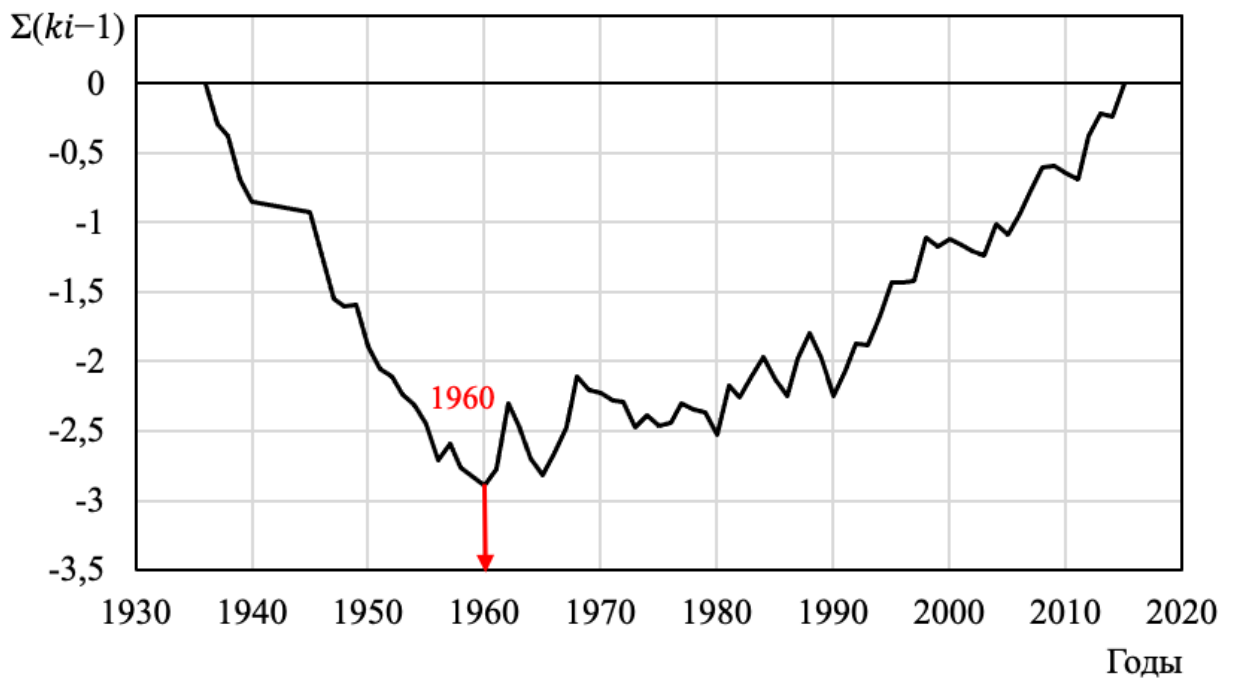


Рисунок Б.12 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Паданы

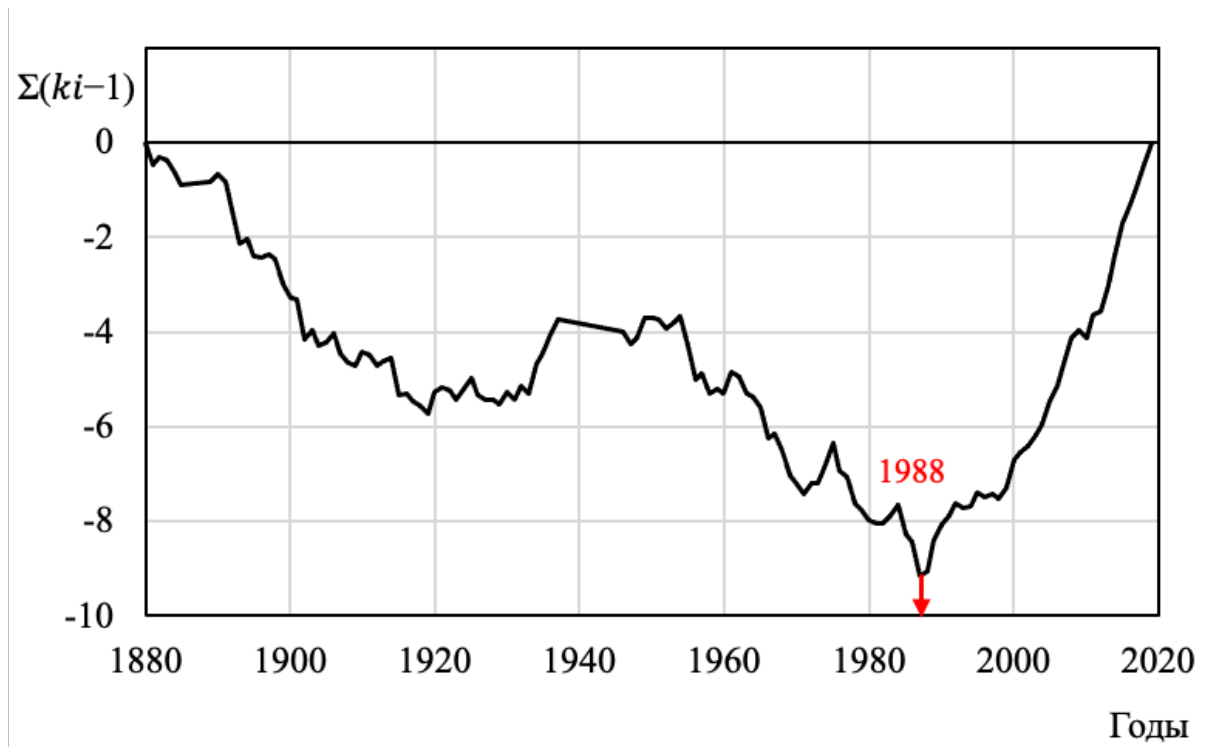


Рисунок Б.13 - Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Сортавала

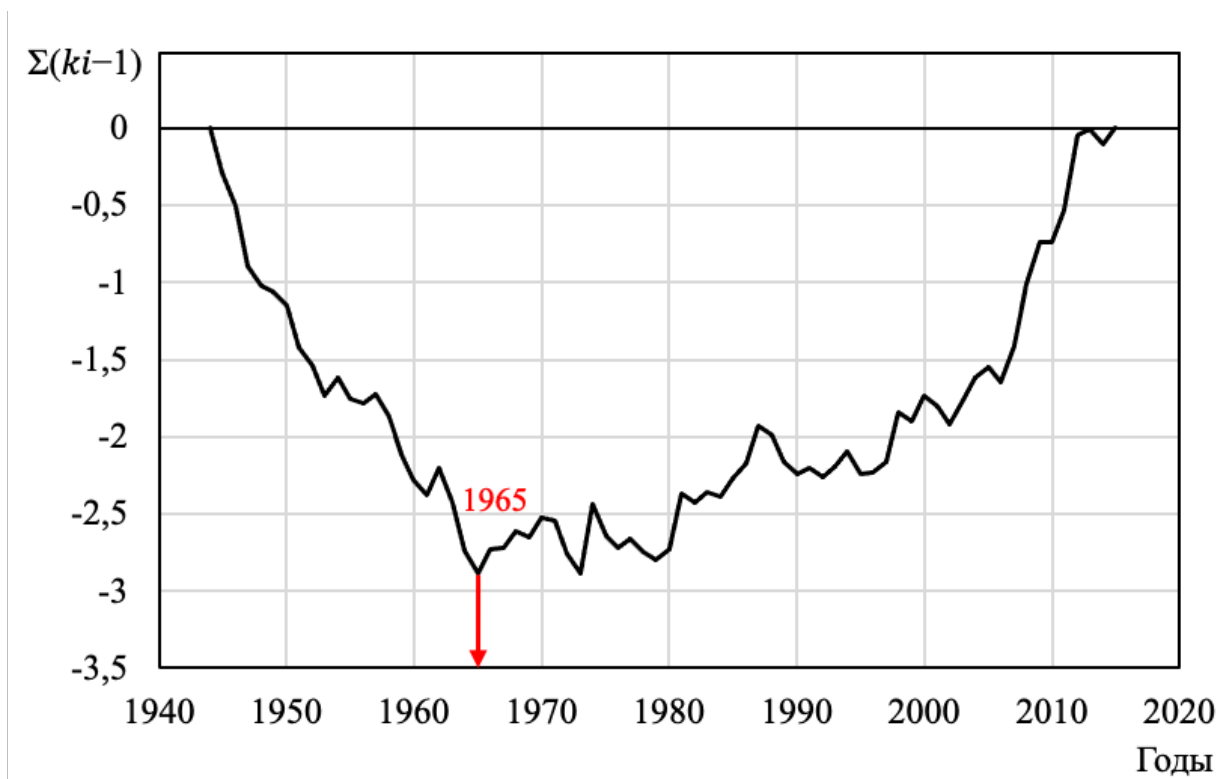


Рисунок Б.14 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Сортавала

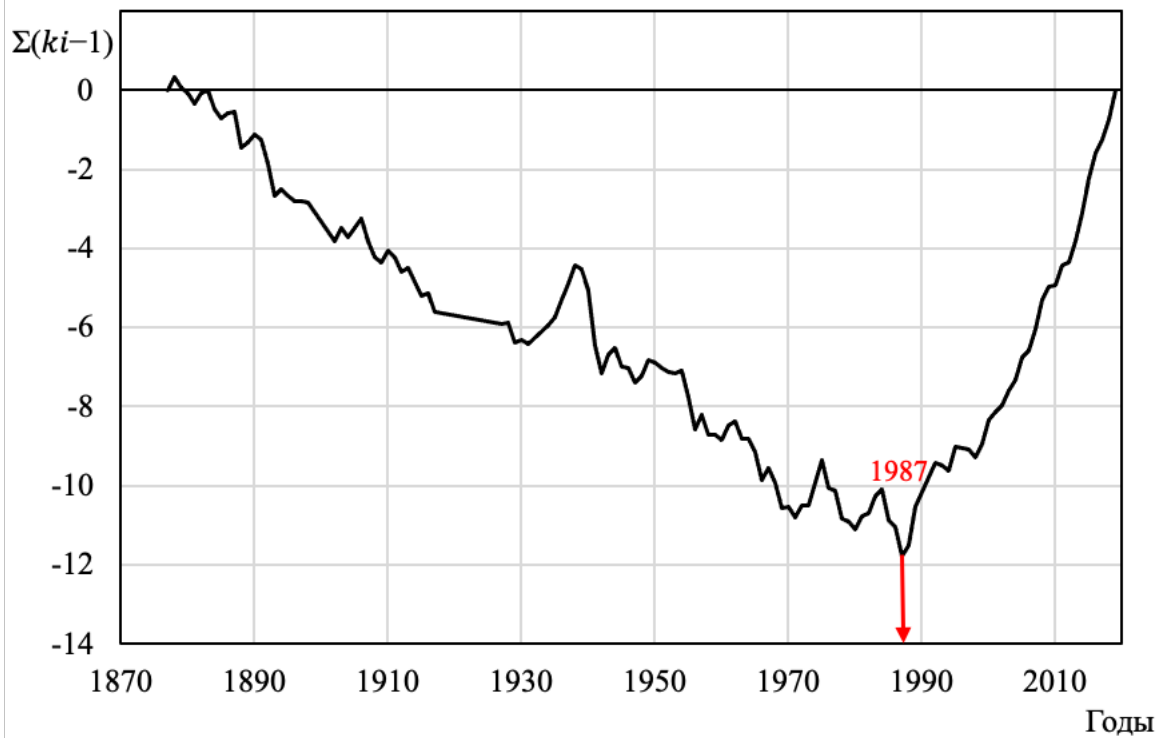


Рисунок Б.15 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Вытегра

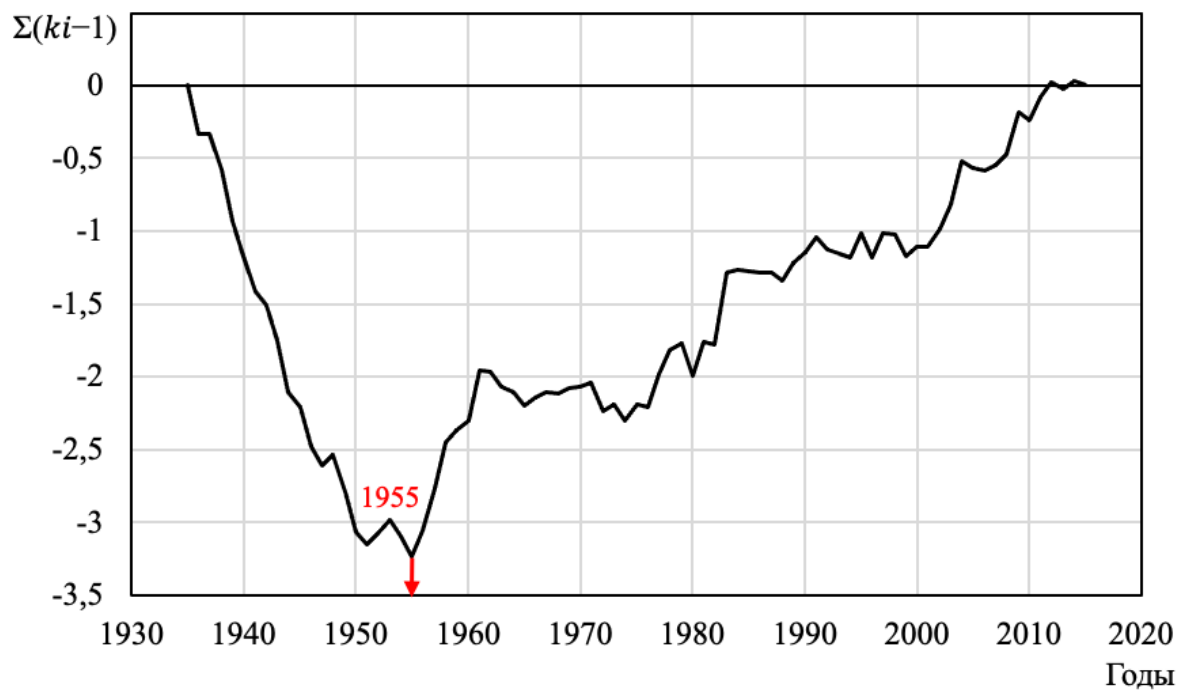


Рисунок Б.16 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Вытегра

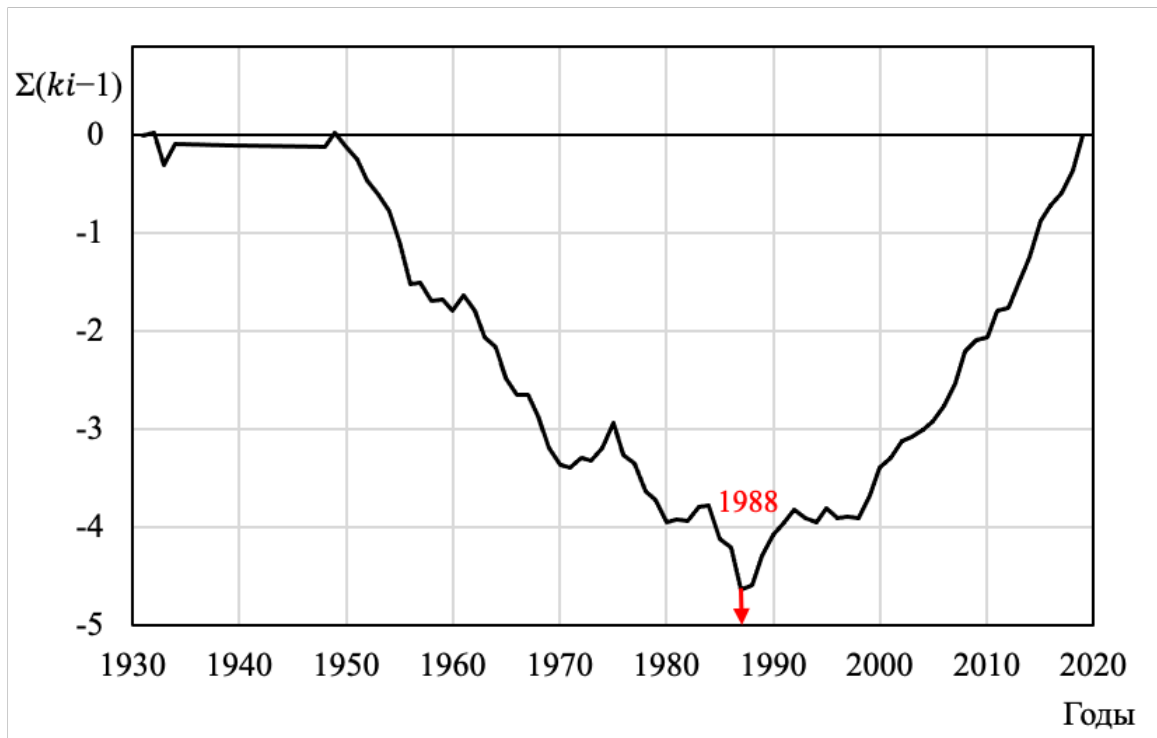


Рисунок Б.17 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Пушкинские горы

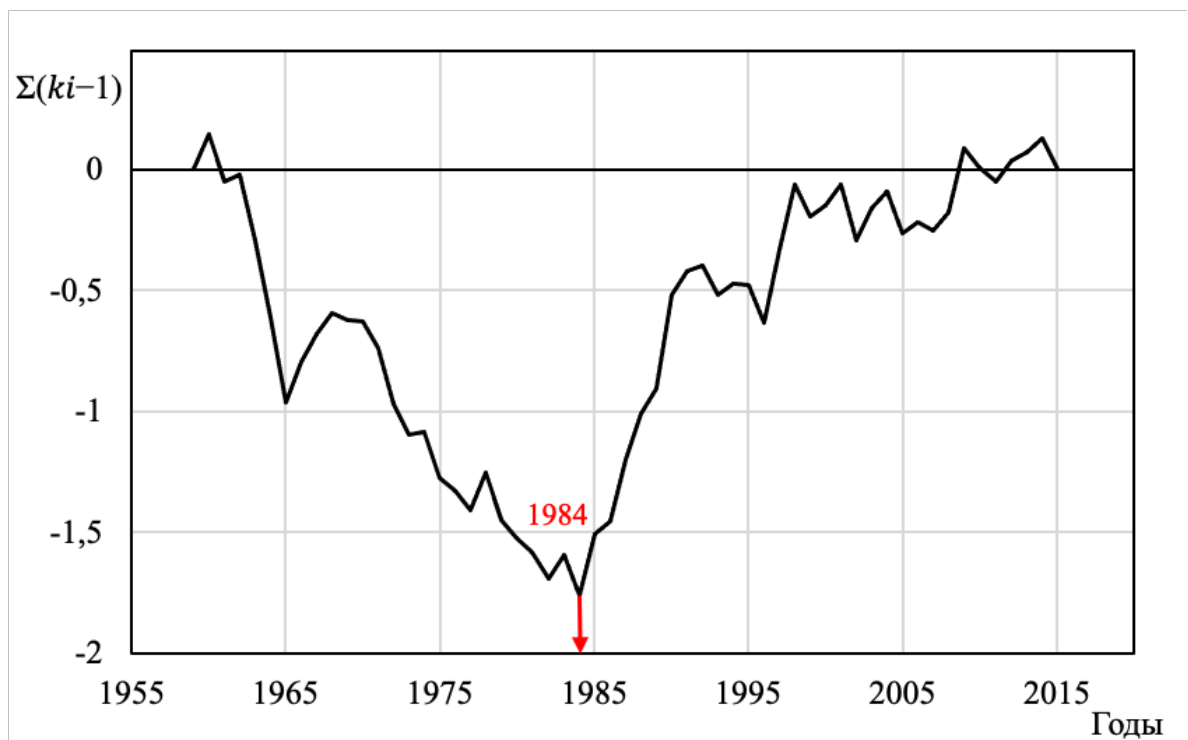


Рисунок Б.18 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Пушкинские горы

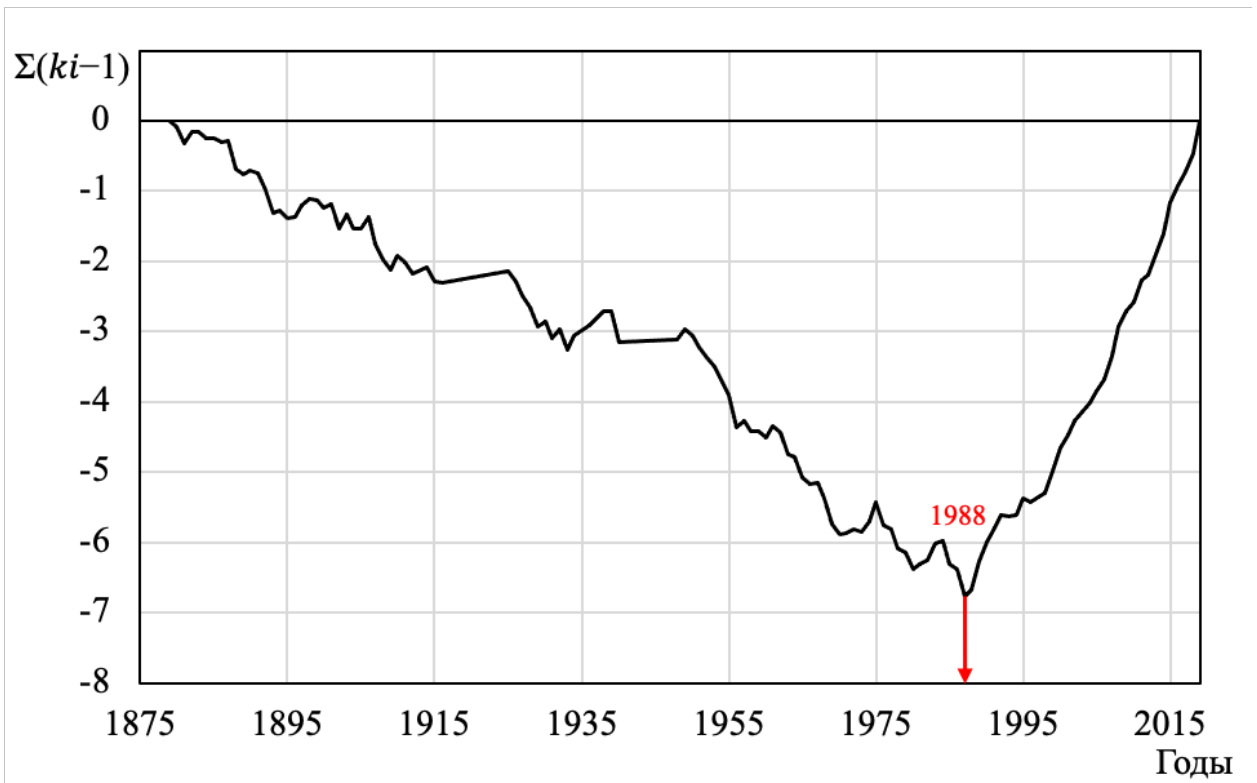


Рисунок Б.19 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Великие Луки

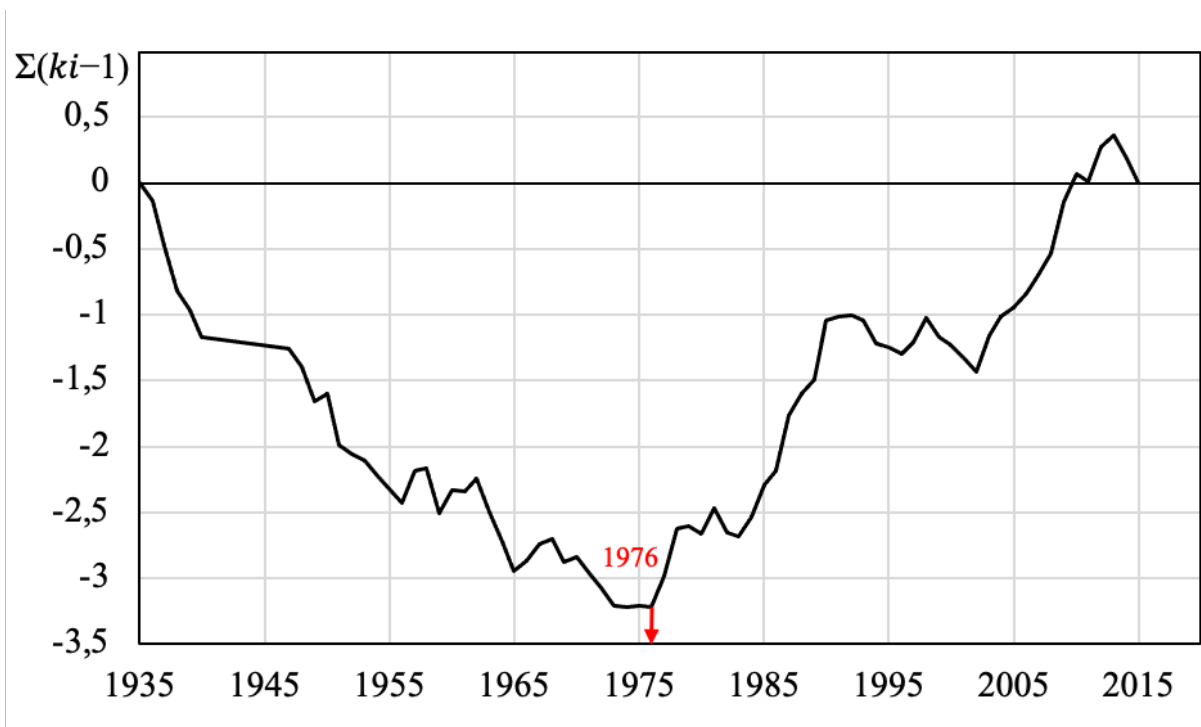


Рисунок Б.20 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Великие Луки

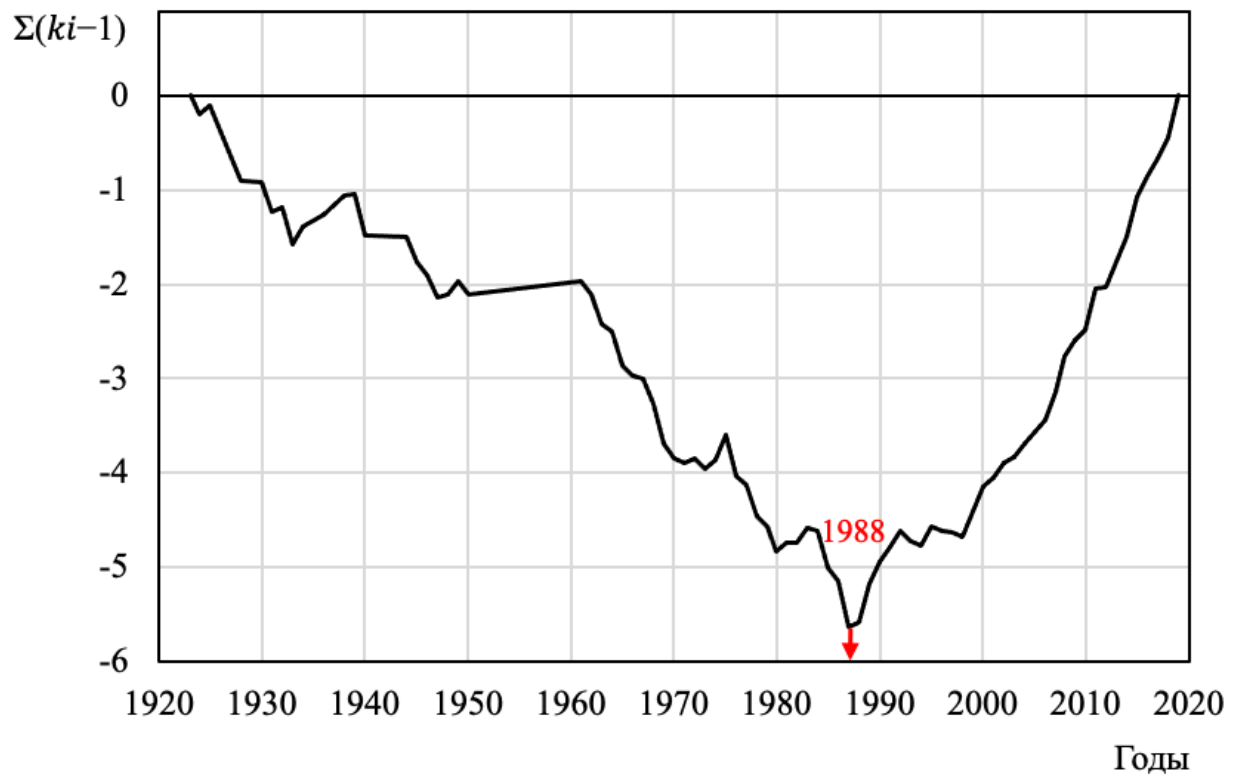


Рисунок Б.21 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Торопец

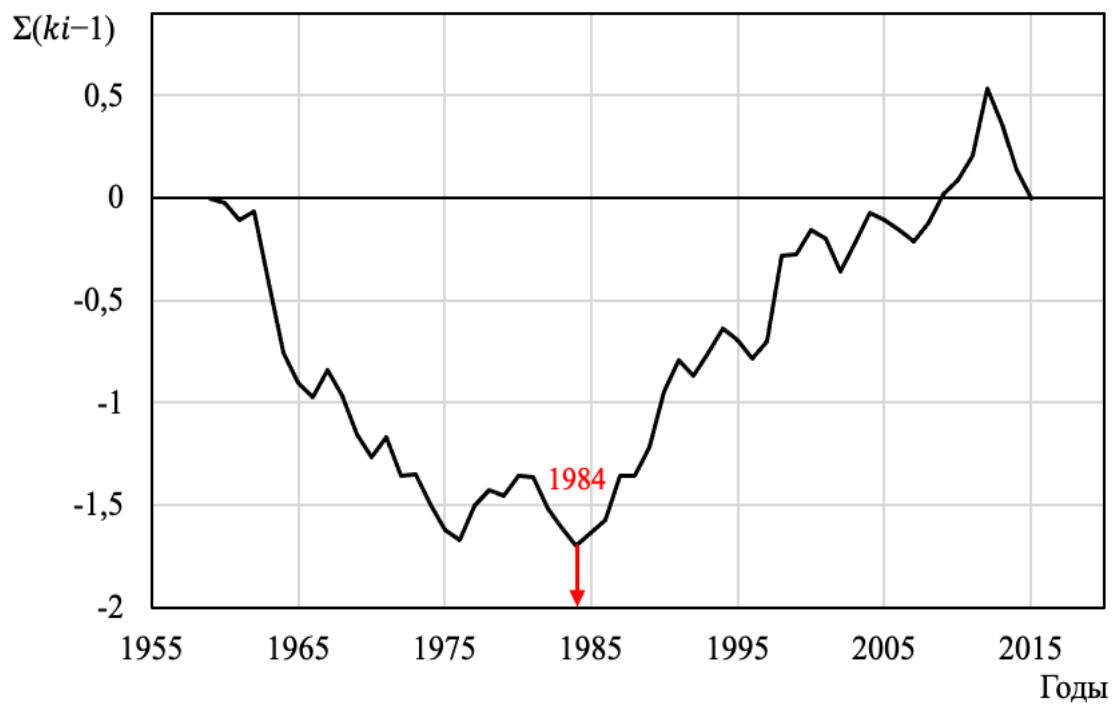


Рисунок Б.22 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Торопец

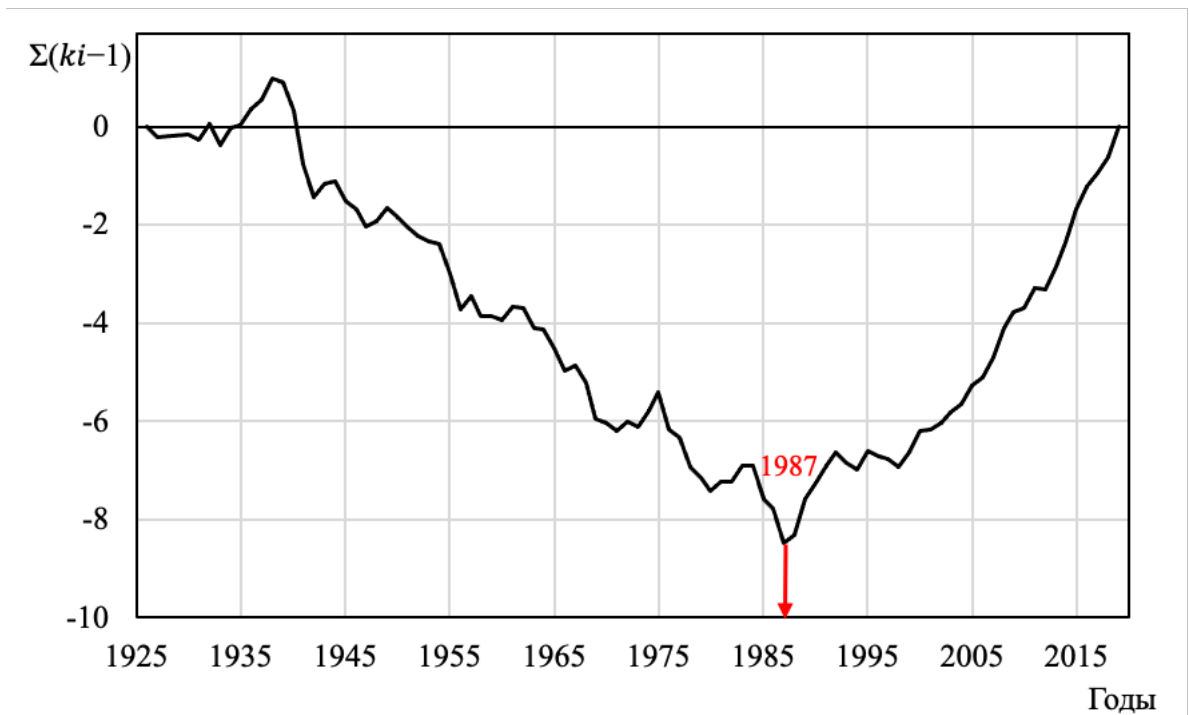


Рисунок Б.23 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Бабаево

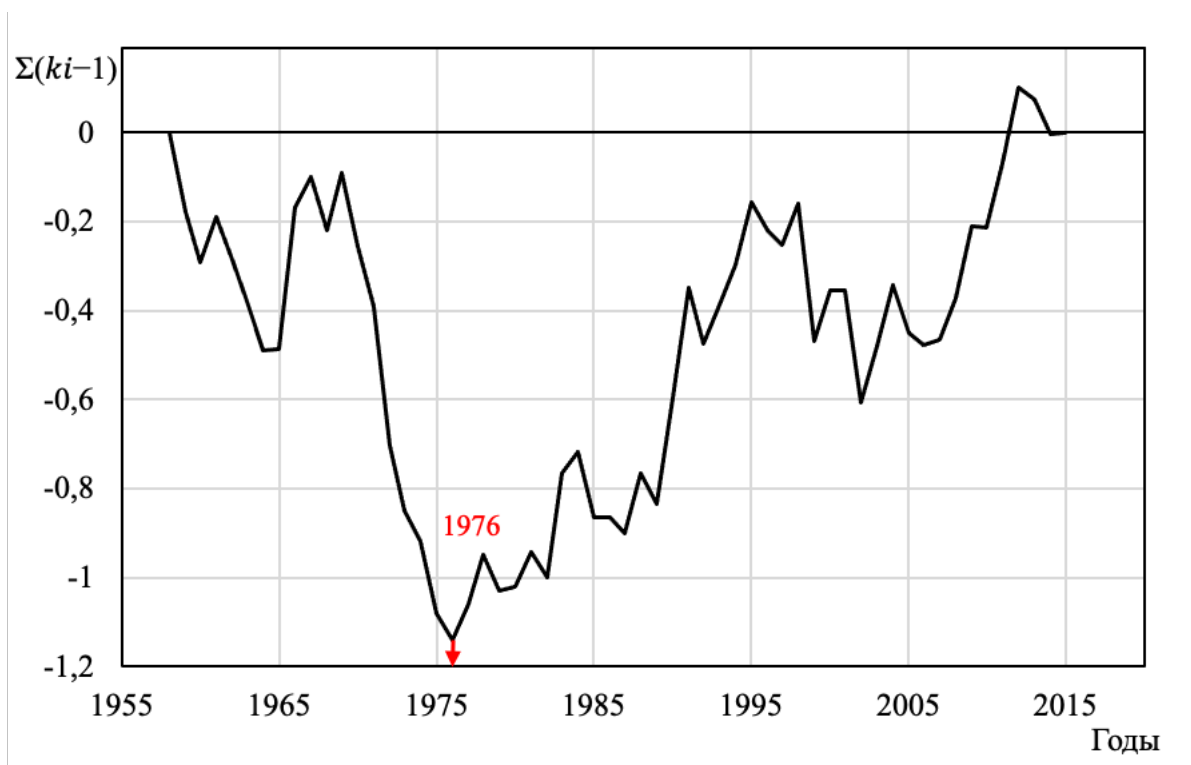


Рисунок Б.24 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Бабаево

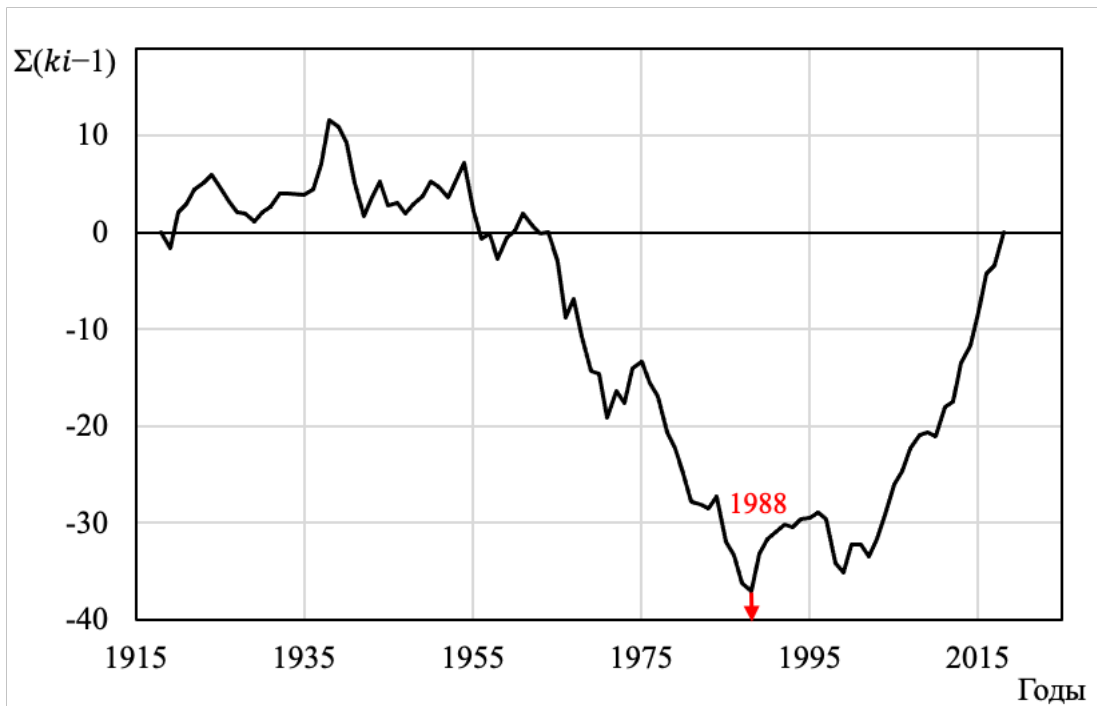


Рисунок Б.25 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Мурманск

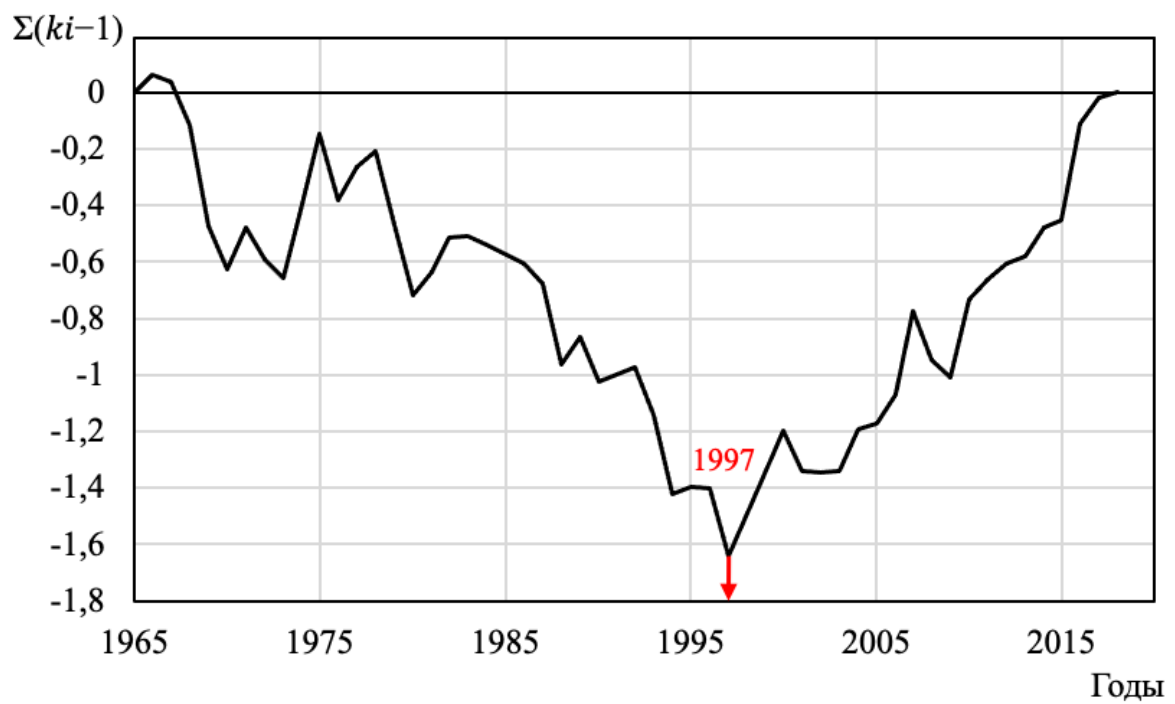


Рисунок Б.26 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Мурманск

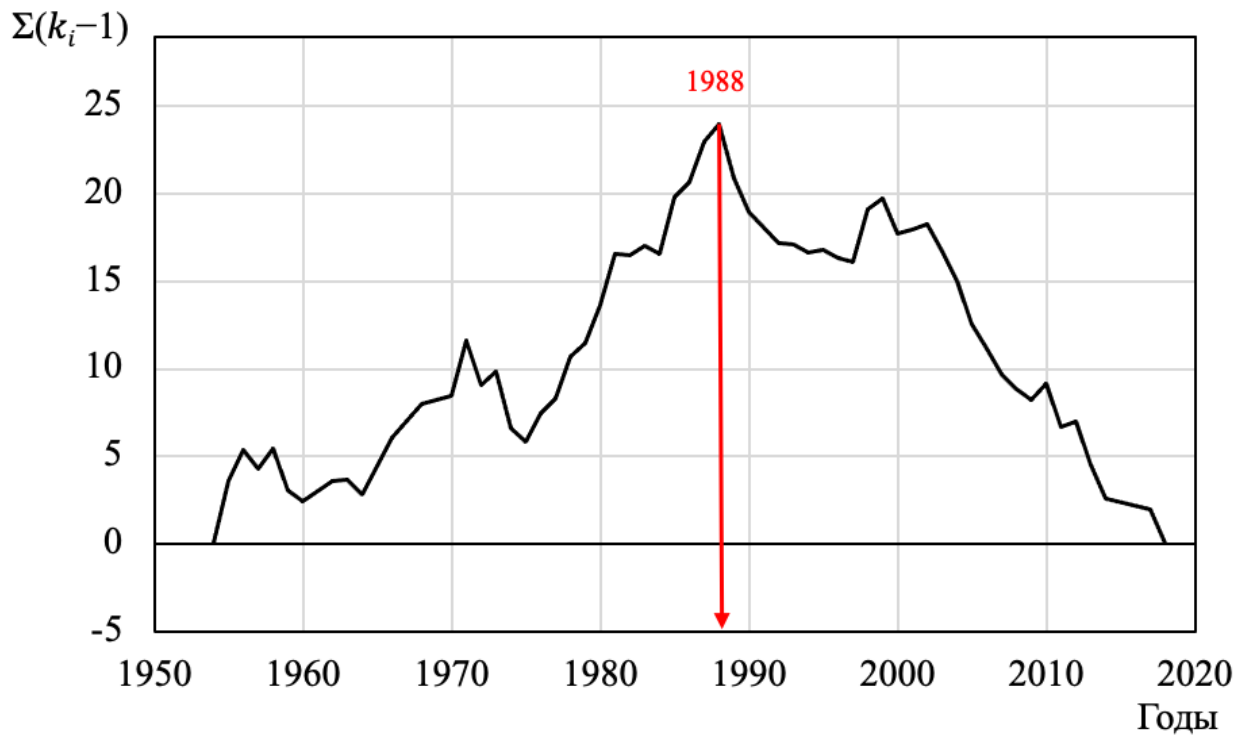


Рисунок Б.27 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Янискоски

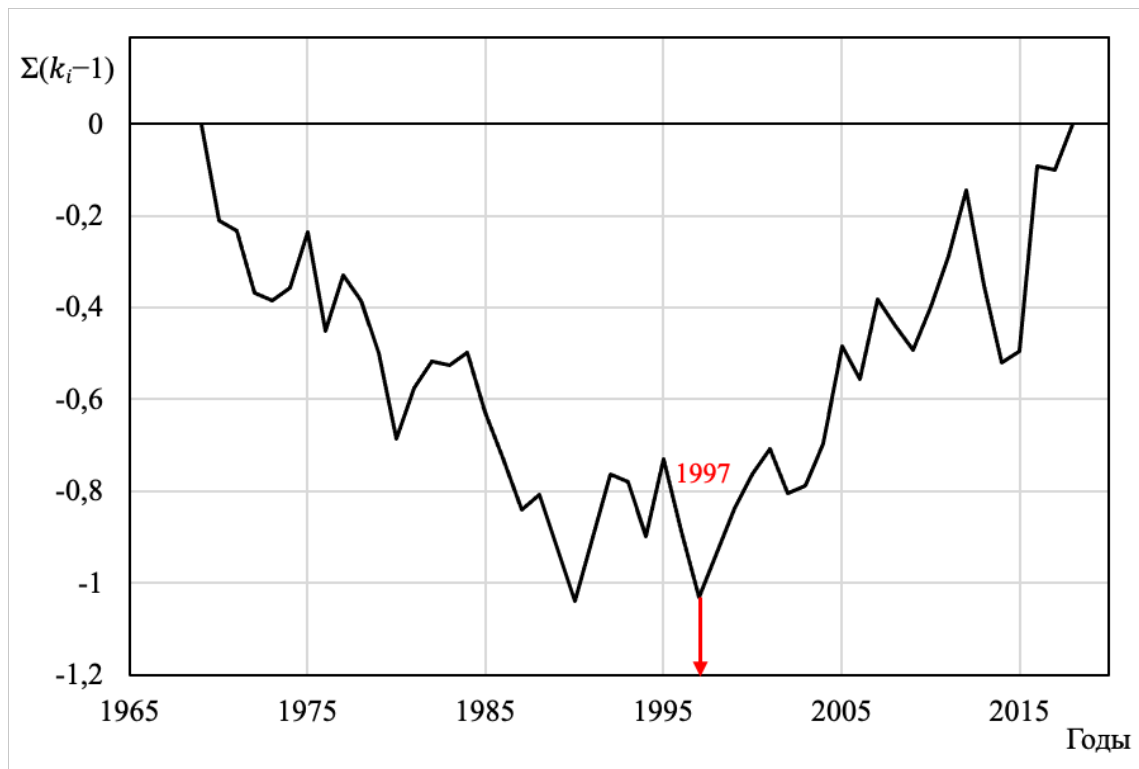


Рисунок Б.28 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Янискоски

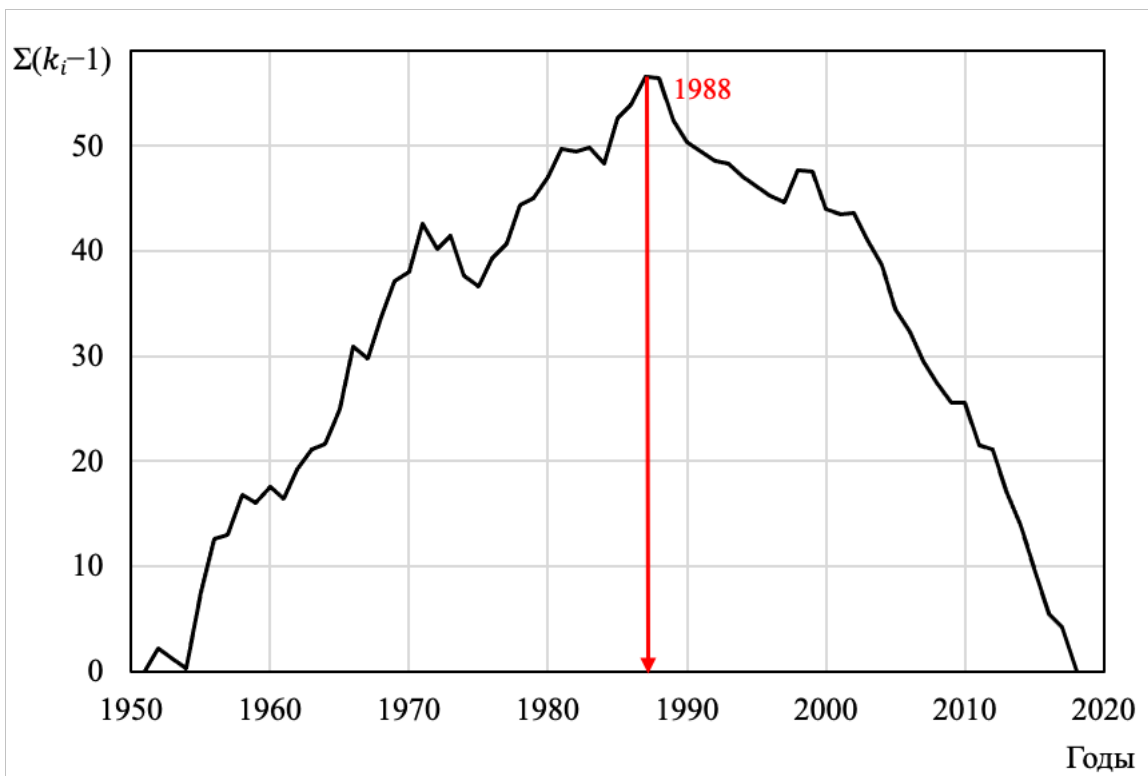


Рисунок Б.29 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Ковдор

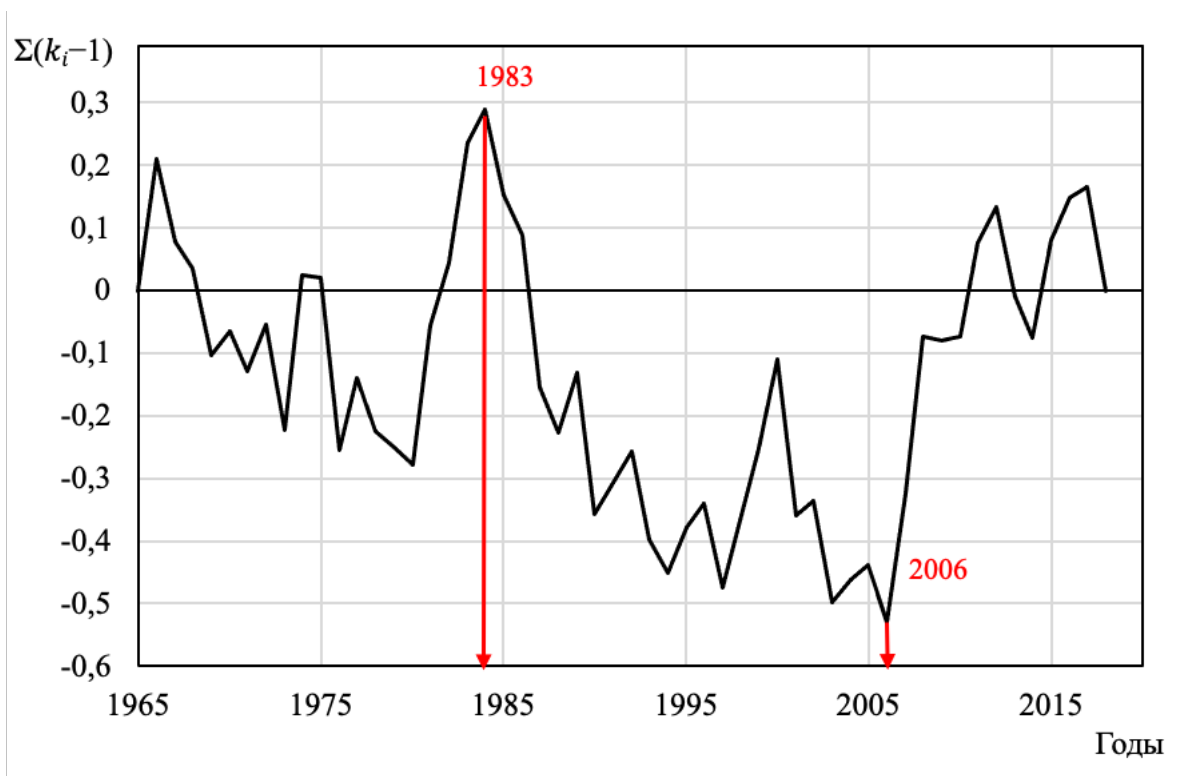


Рисунок Б.30 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Ковдор

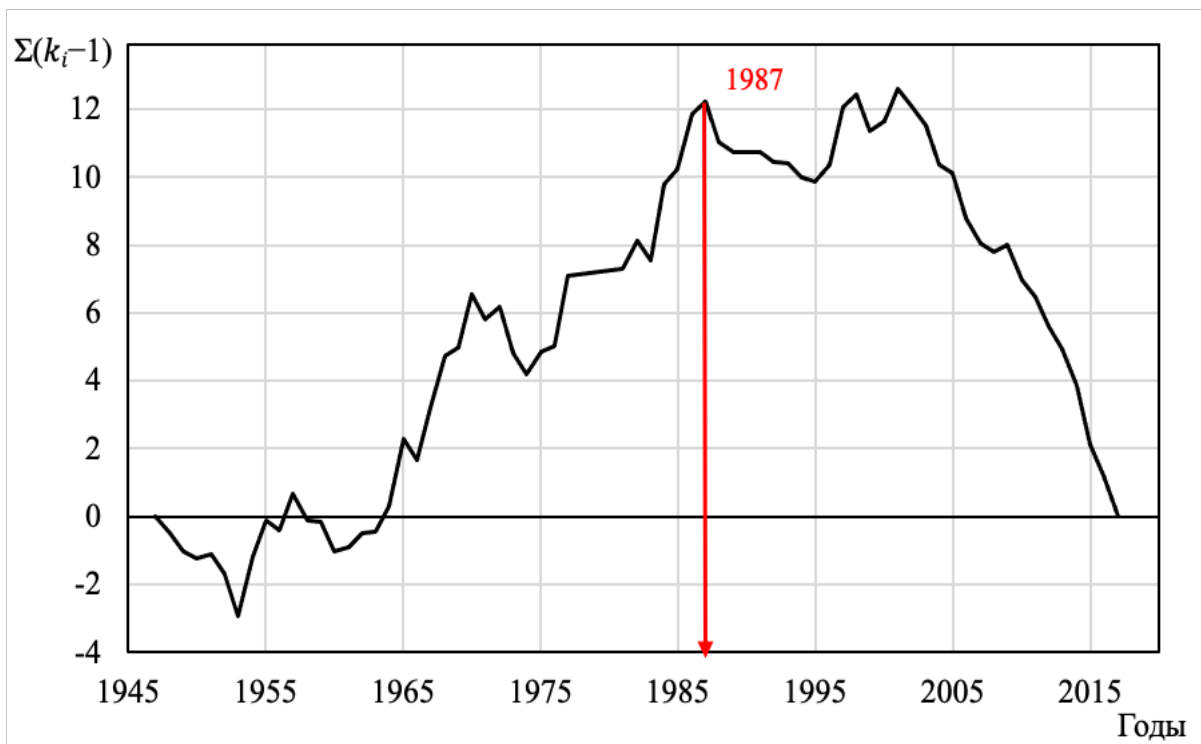


Рисунок Б.31 – Разностно-интегральная кривая средних годовых температур воздуха по данным м/с Каневка

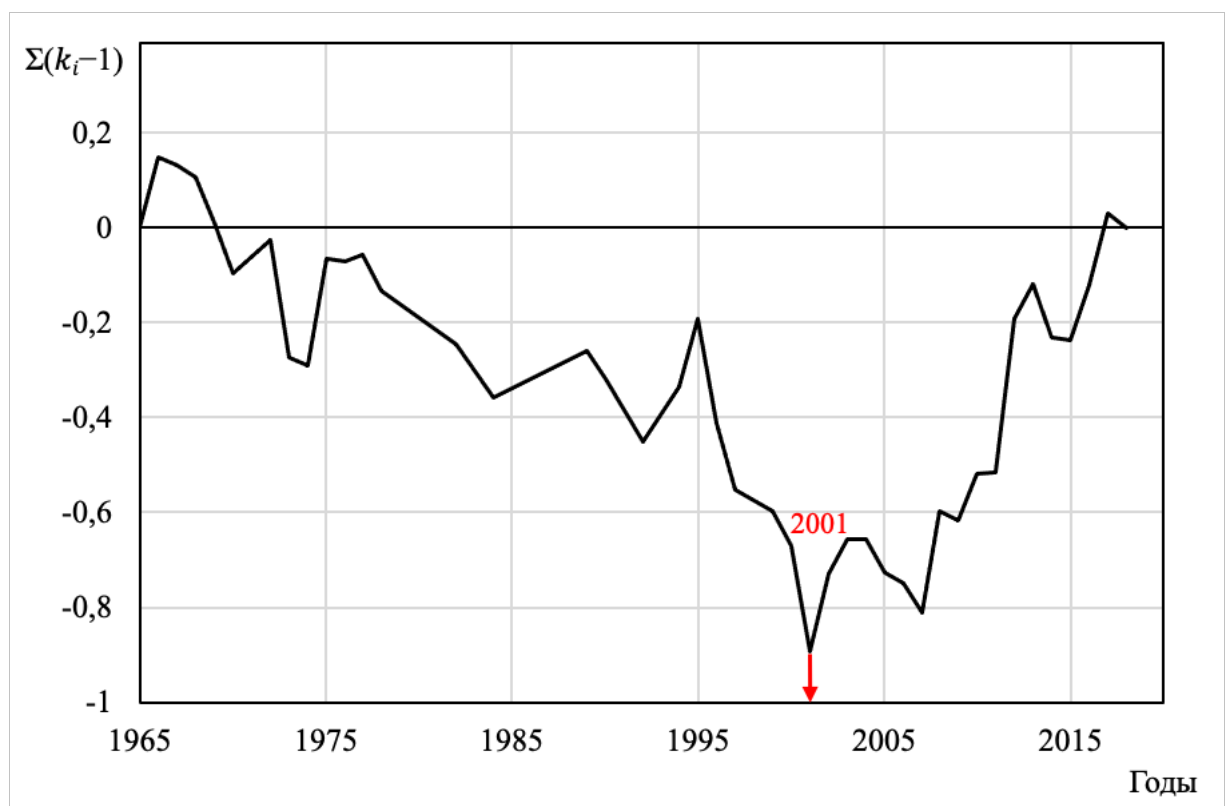


Рисунок Б.32 – Разностно-интегральные кривые сумм осадков за год по данным м/с Каневка

Приложение В – Хронологические графики средних годовых уровней воды озер

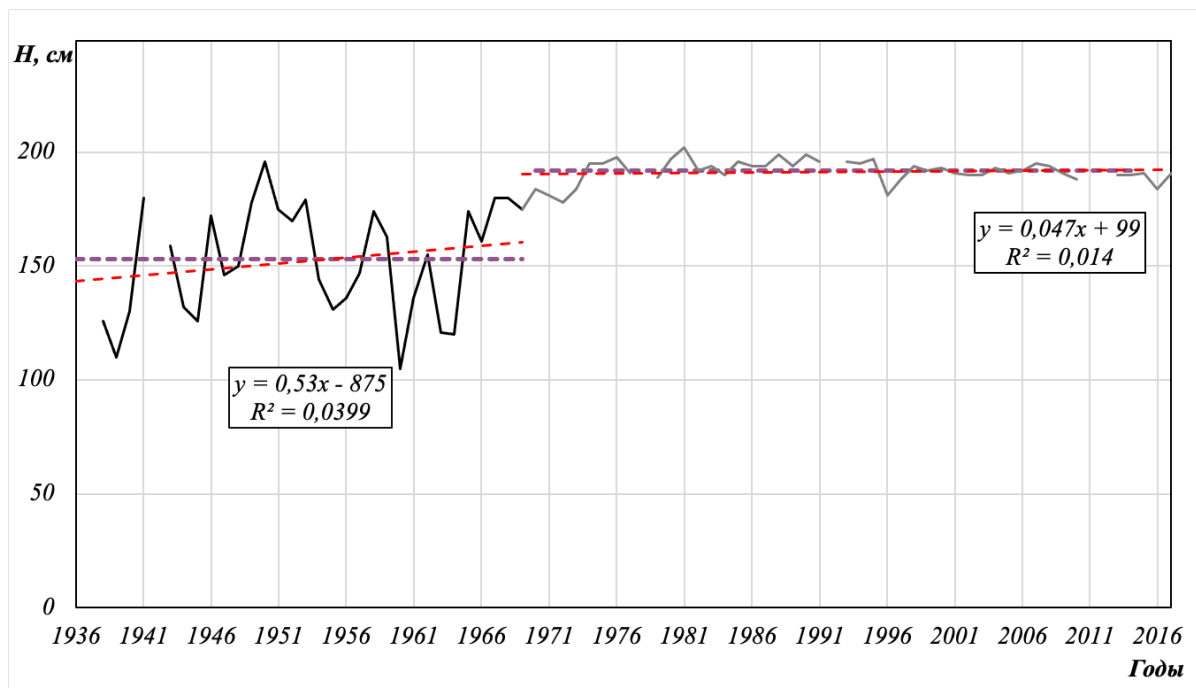


Рисунок В.1 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Валдайское.

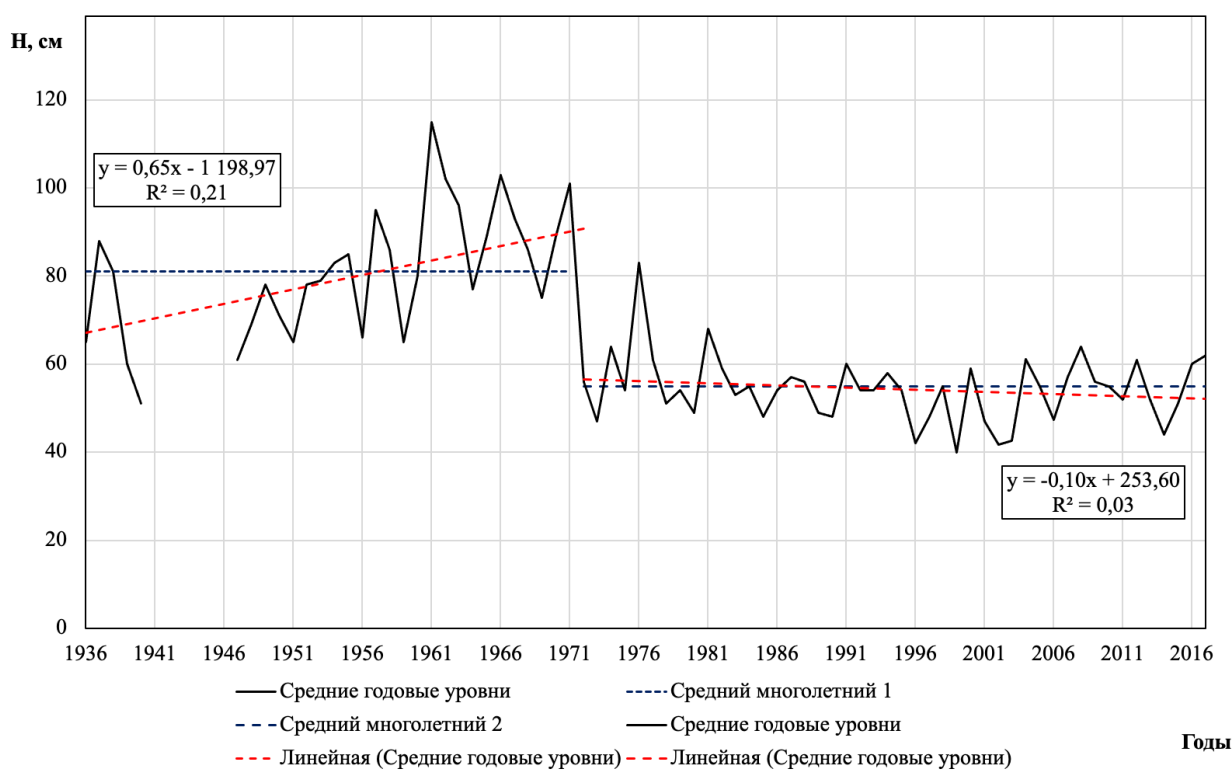


Рисунок В.2 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Ведлозеро



Рисунок В.3 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Водлозеро

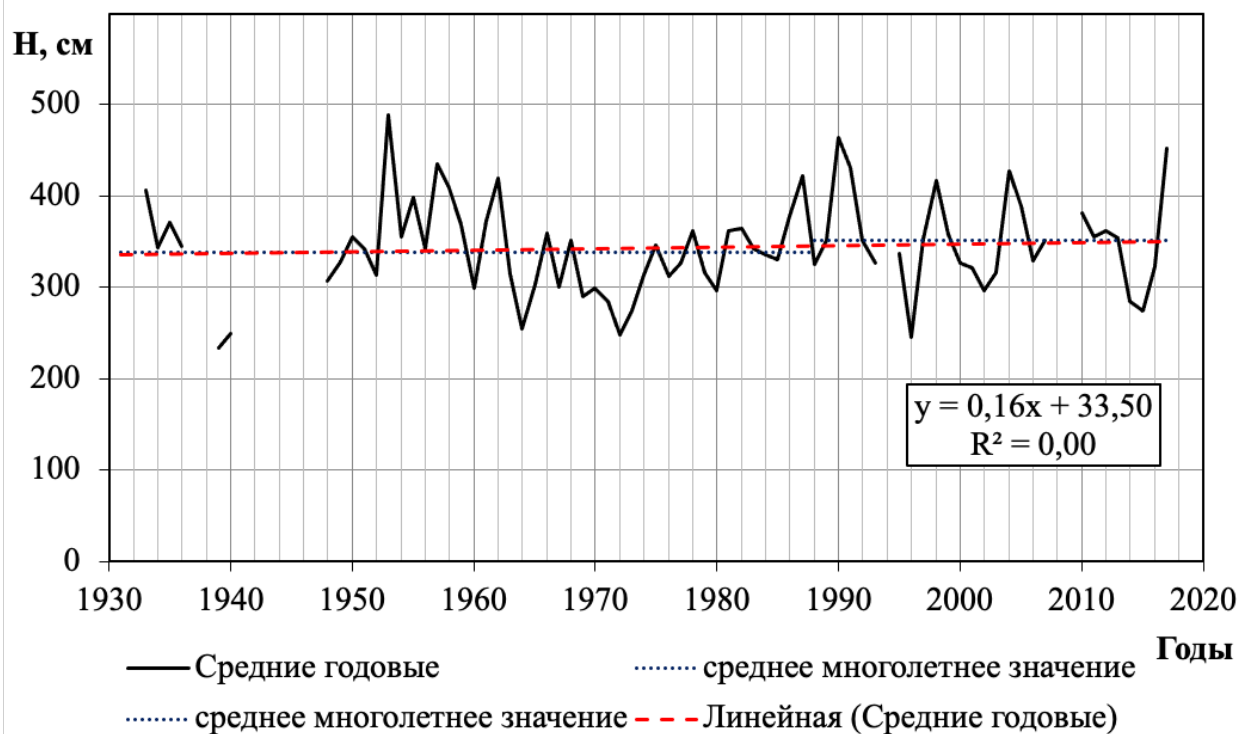


Рисунок В.4 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Ильмень

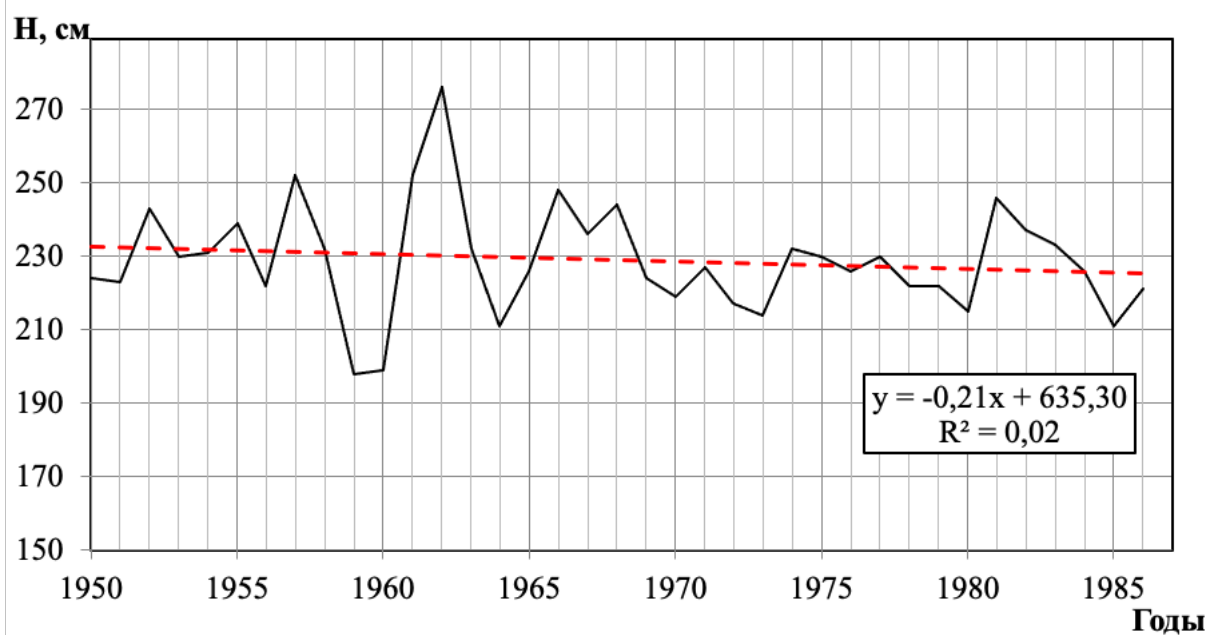


Рисунок В.5 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Гимольское

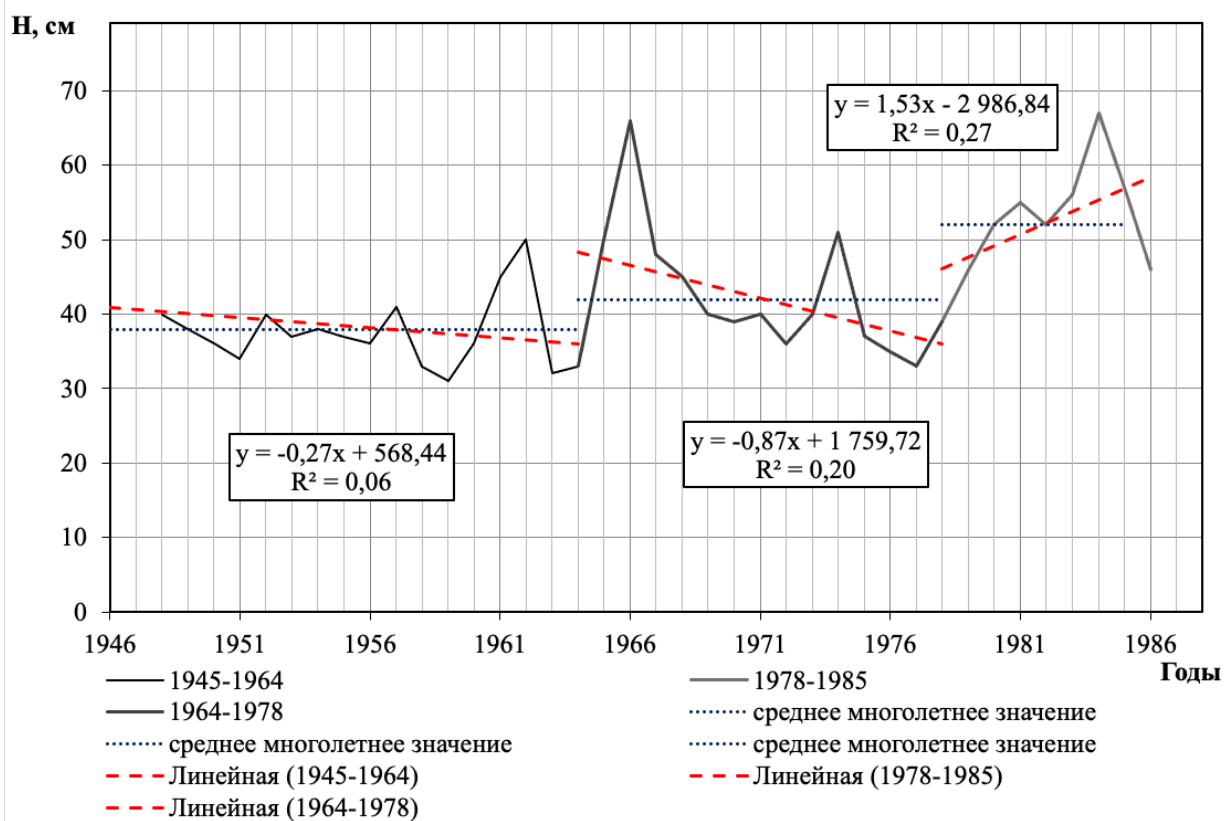


Рисунок В.6 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Глубокое

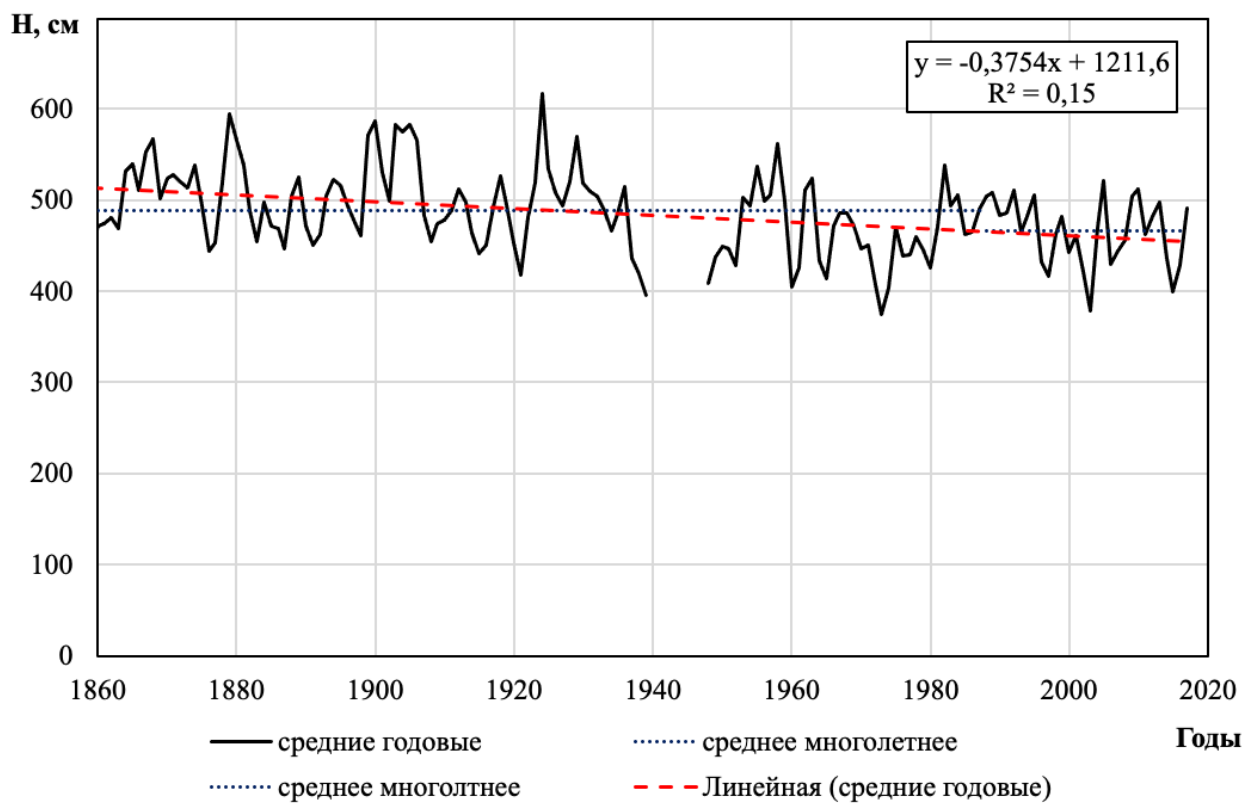


Рисунок В.7 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Ладожское

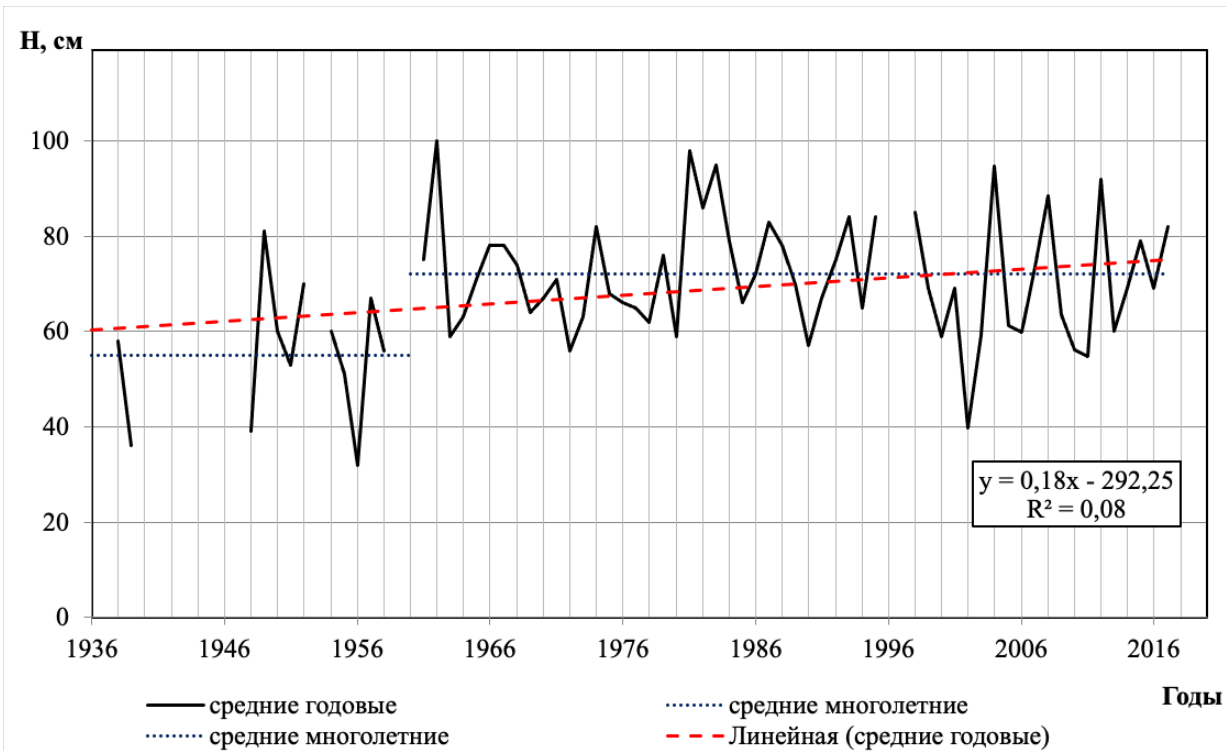


Рисунок В.8 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Лексозеро

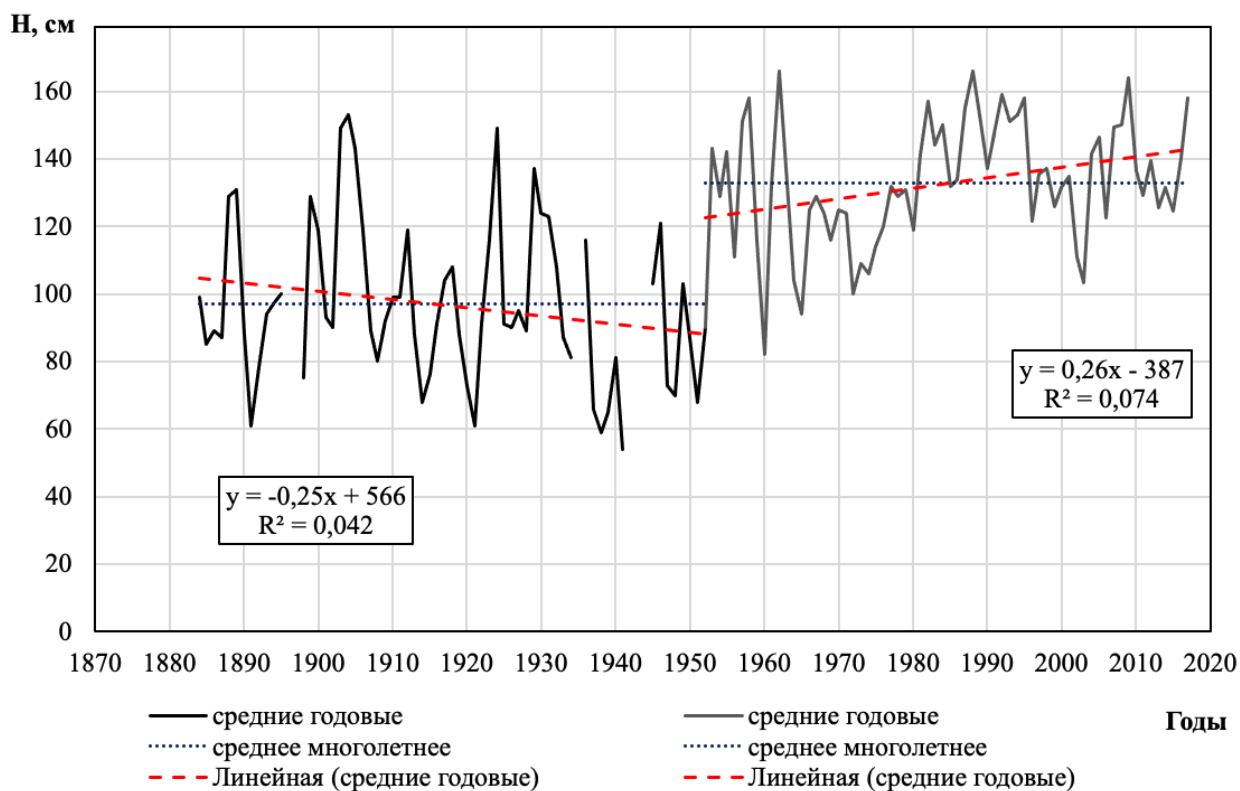


Рисунок В.9 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Онежское

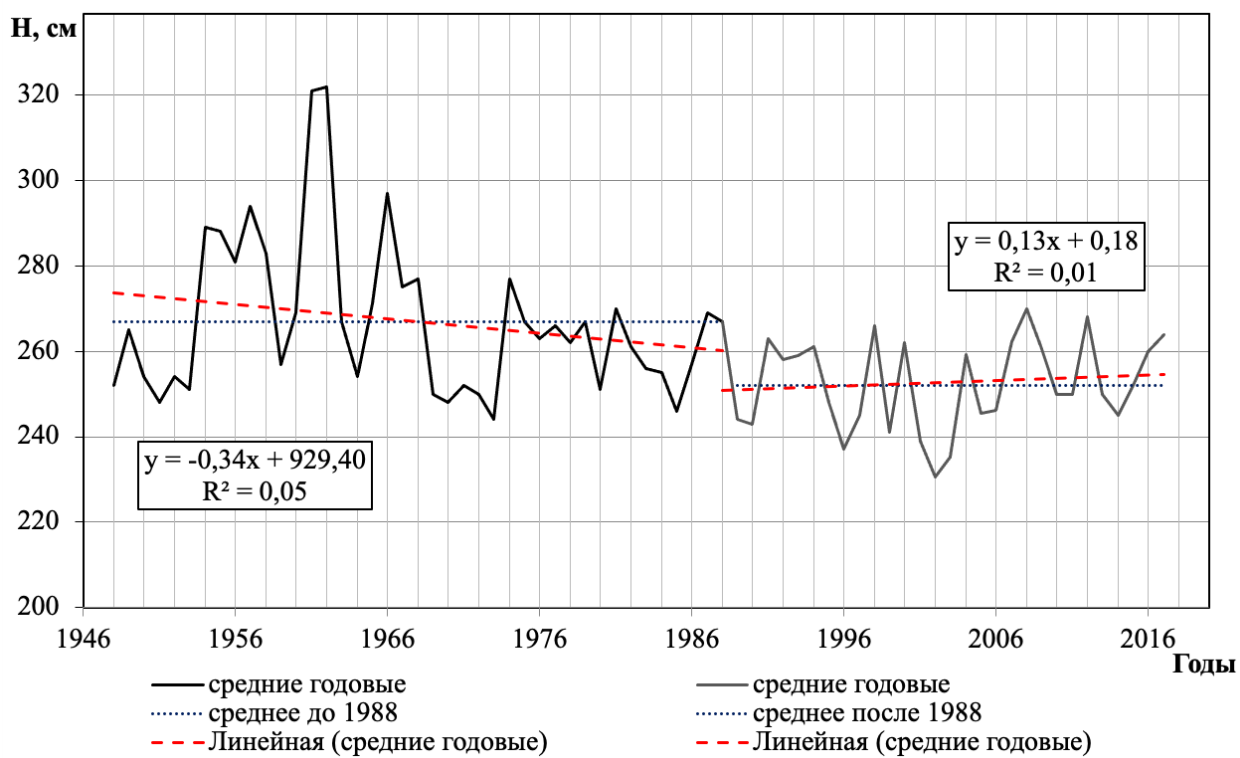


Рисунок В.10 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Суоярви

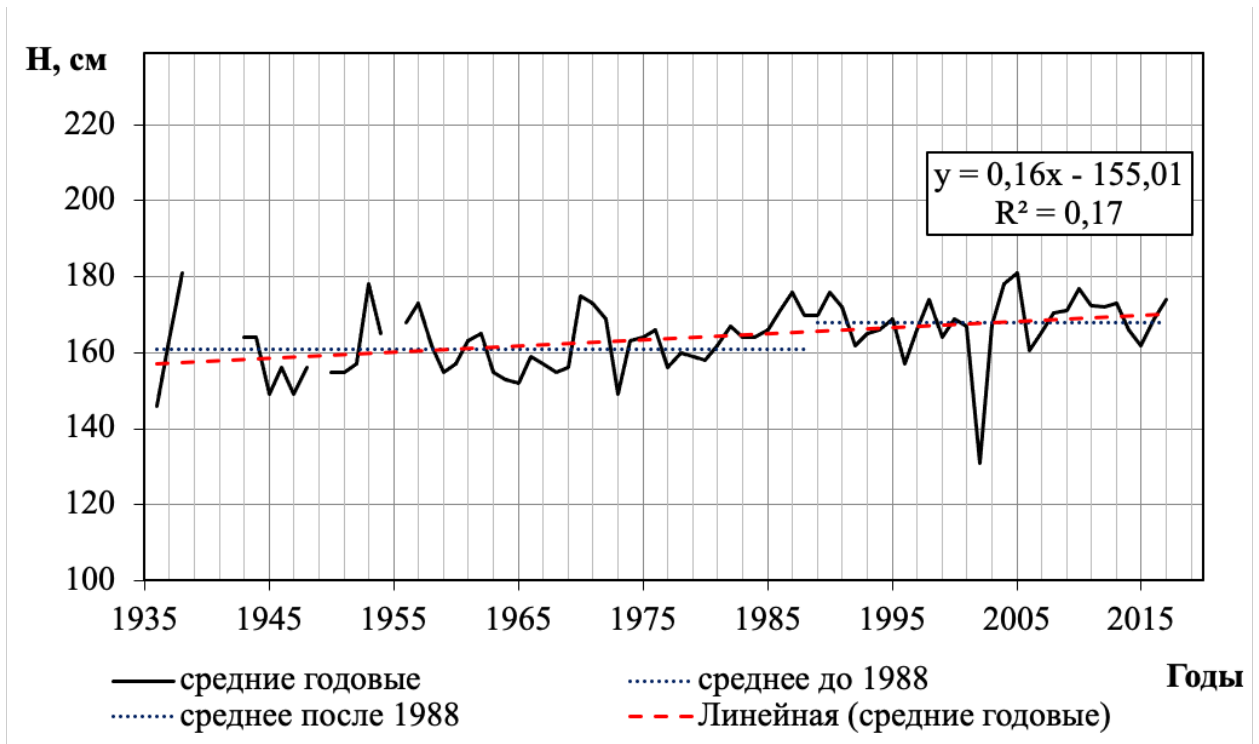


Рисунок В.11 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Сяберо

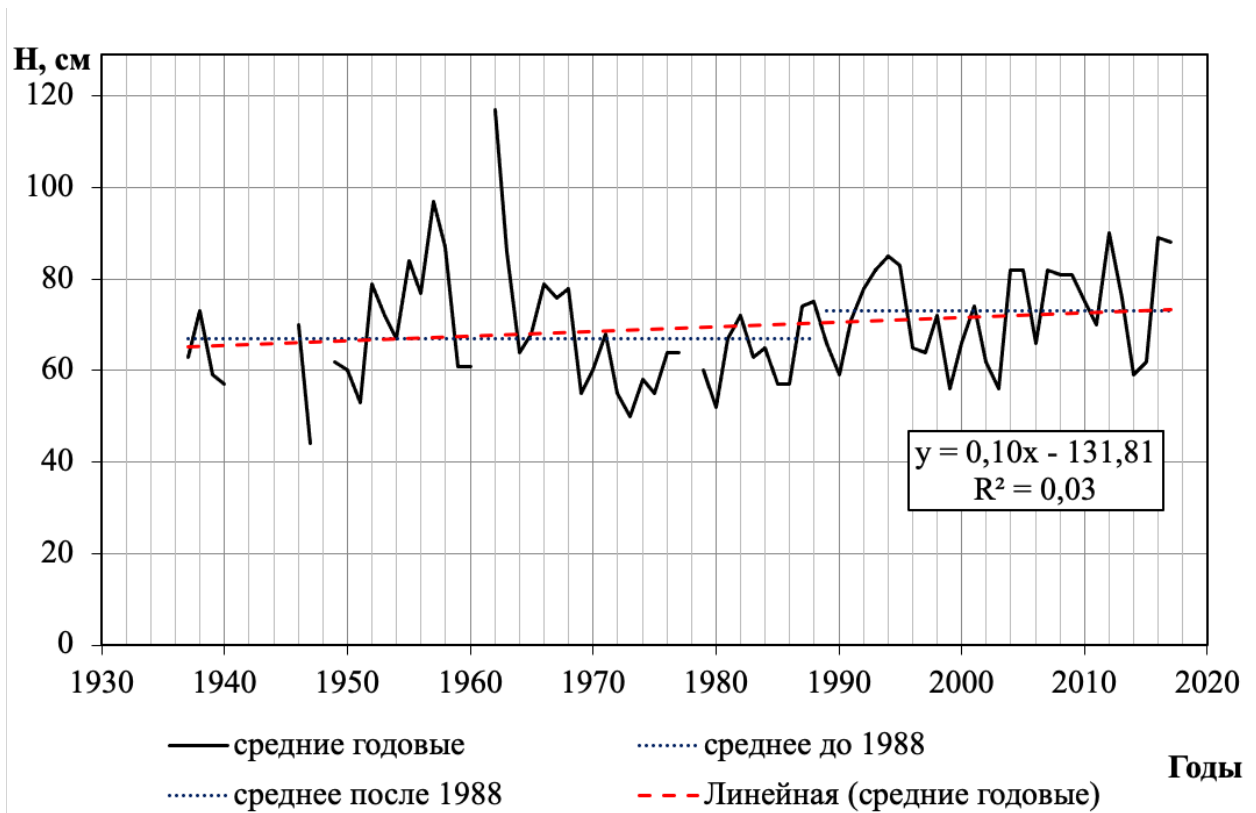


Рисунок В.12 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Сямозеро

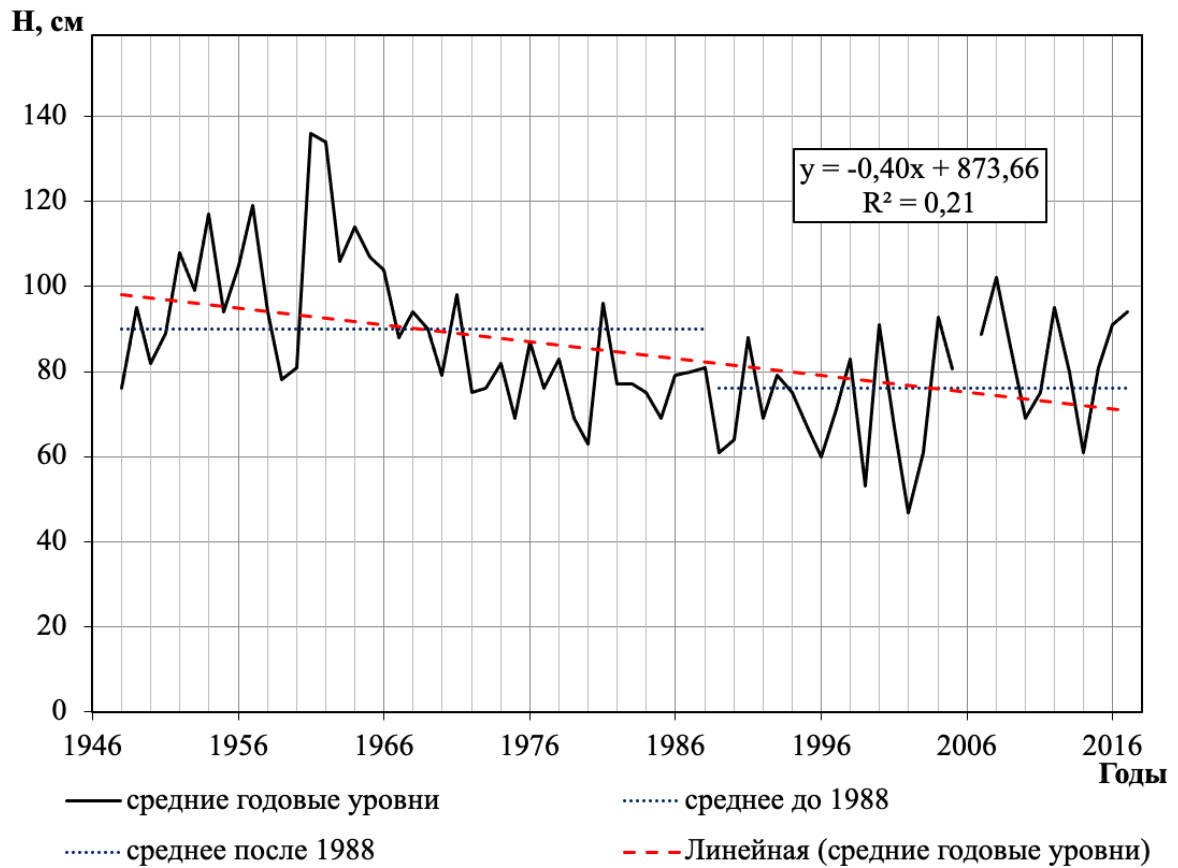


Рисунок В.13 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Тулмозеро

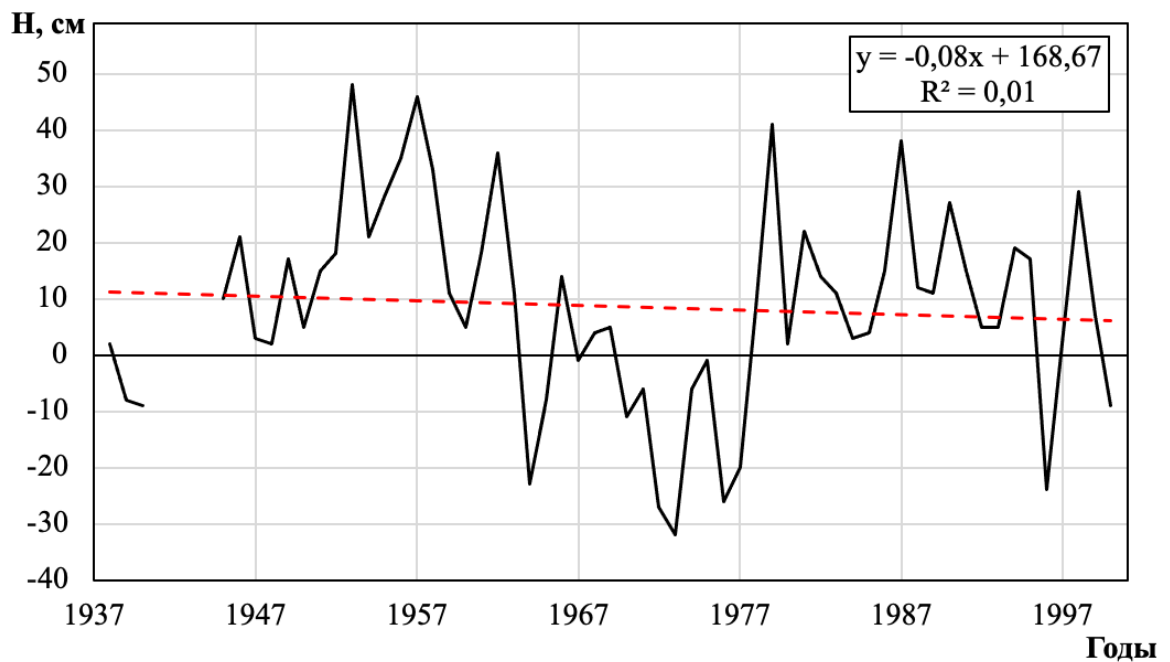


Рисунок В14 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Черемнецкое

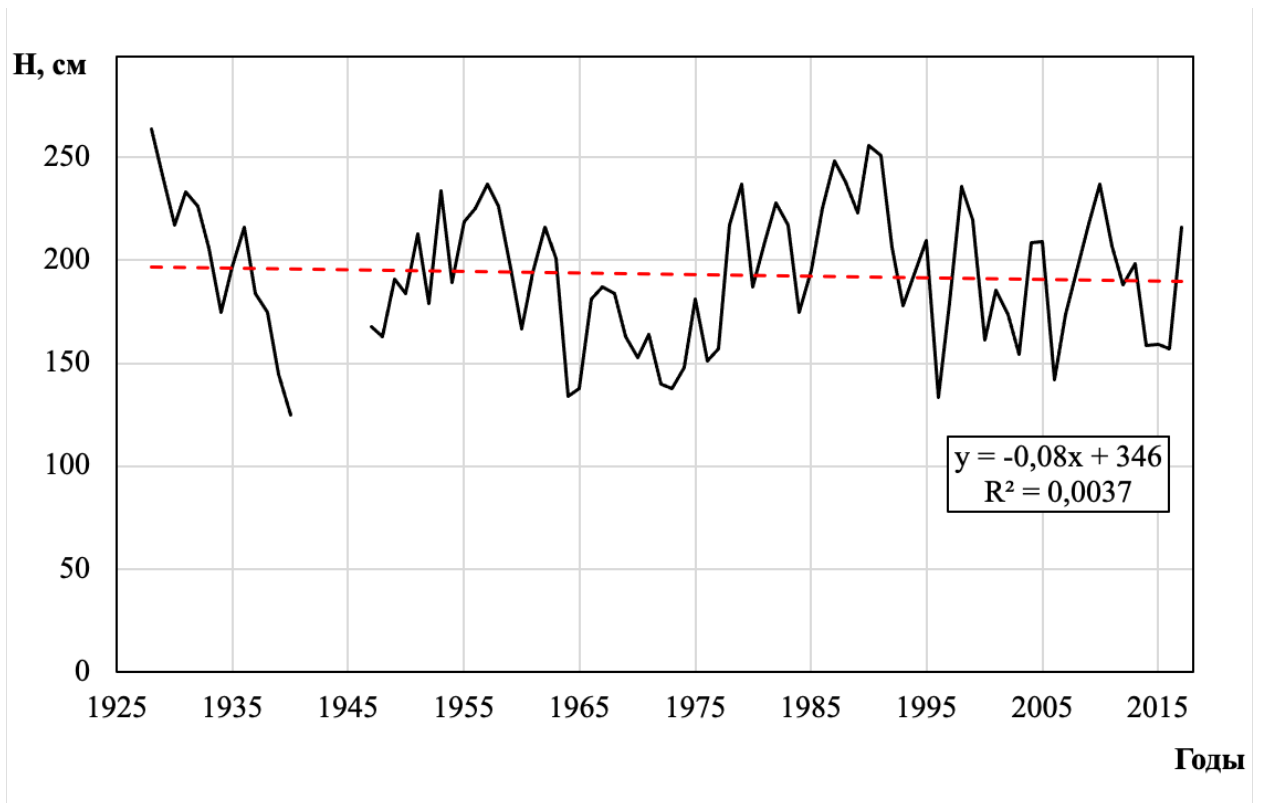


Рисунок В.15 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Чудское

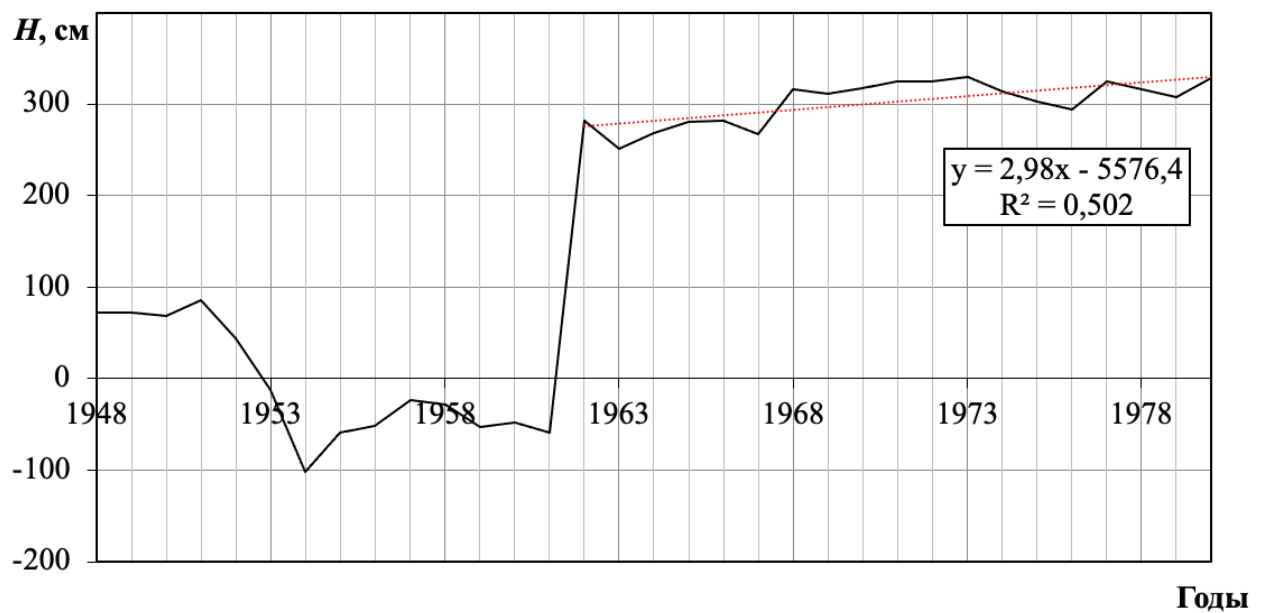


Рисунок В.16 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Лиелайс-Лудза

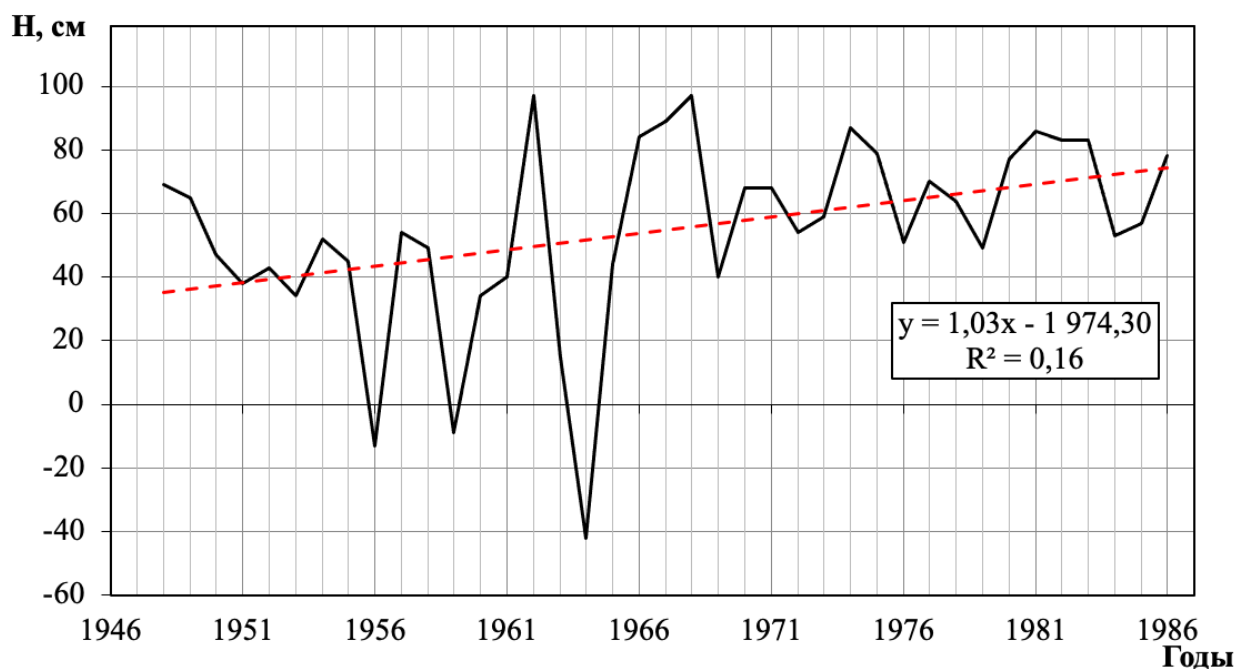


Рисунок В.17 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Янис-Ярви

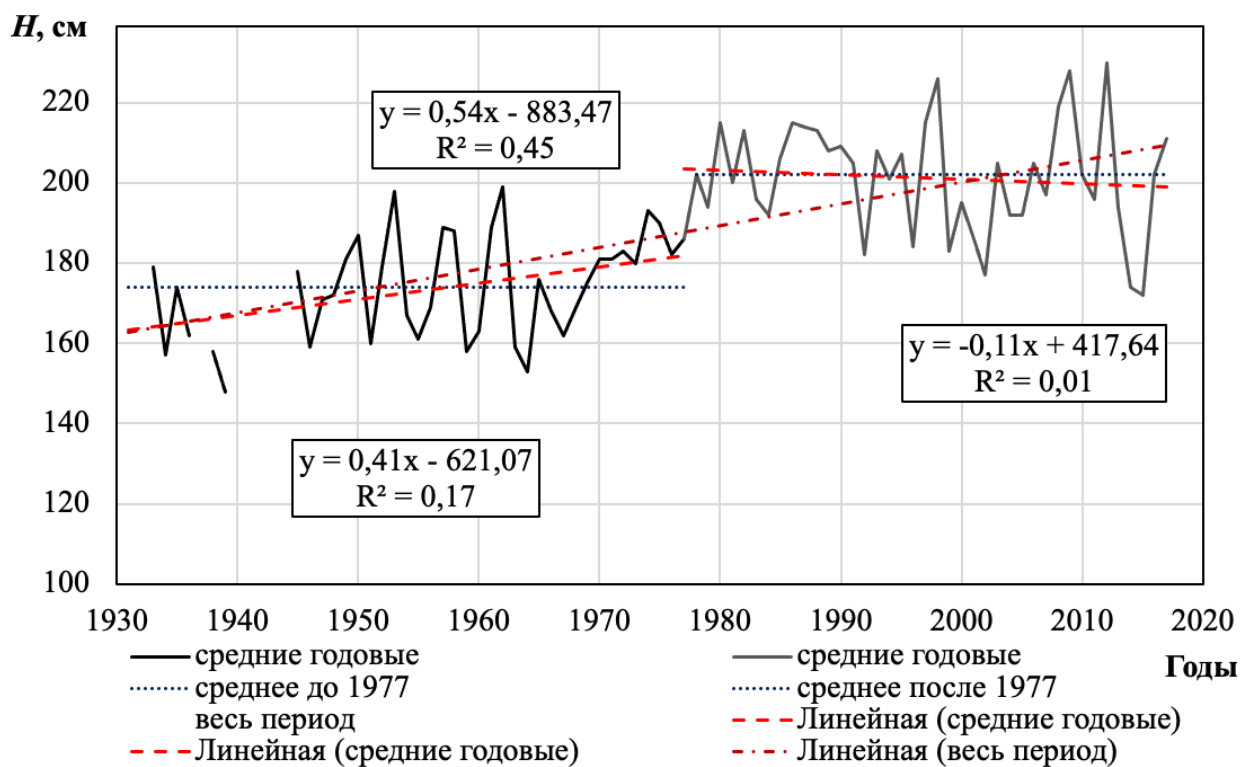


Рисунок В.18 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Щучье

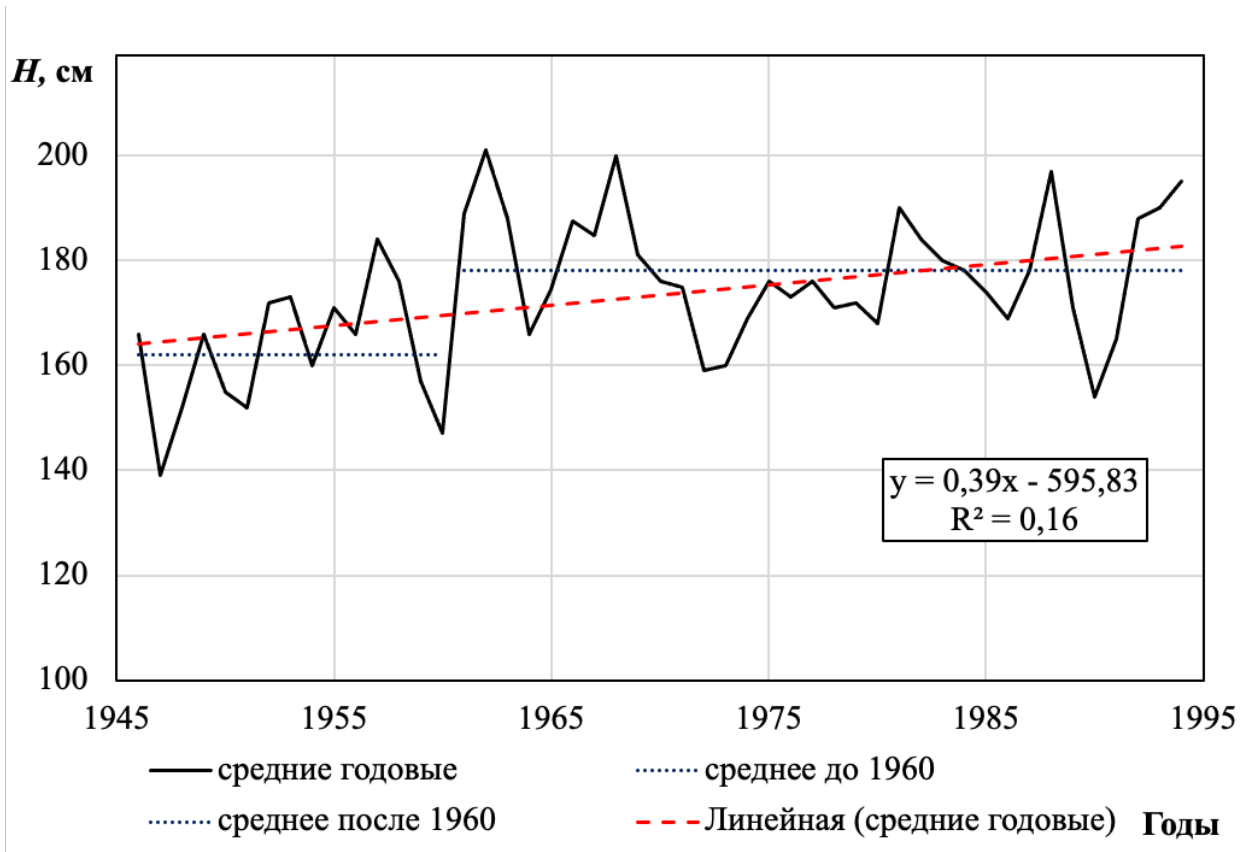


Рисунок В.19 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Лижмозеро

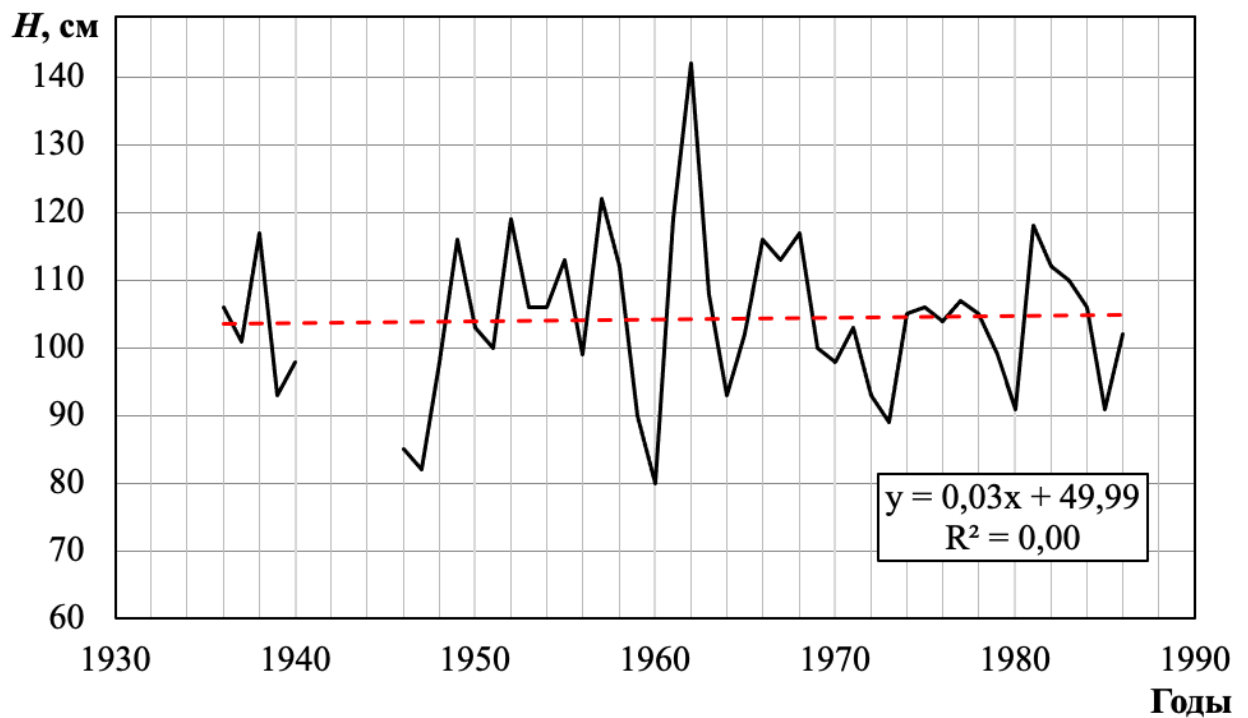


Рисунок В.20 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Линдозеро

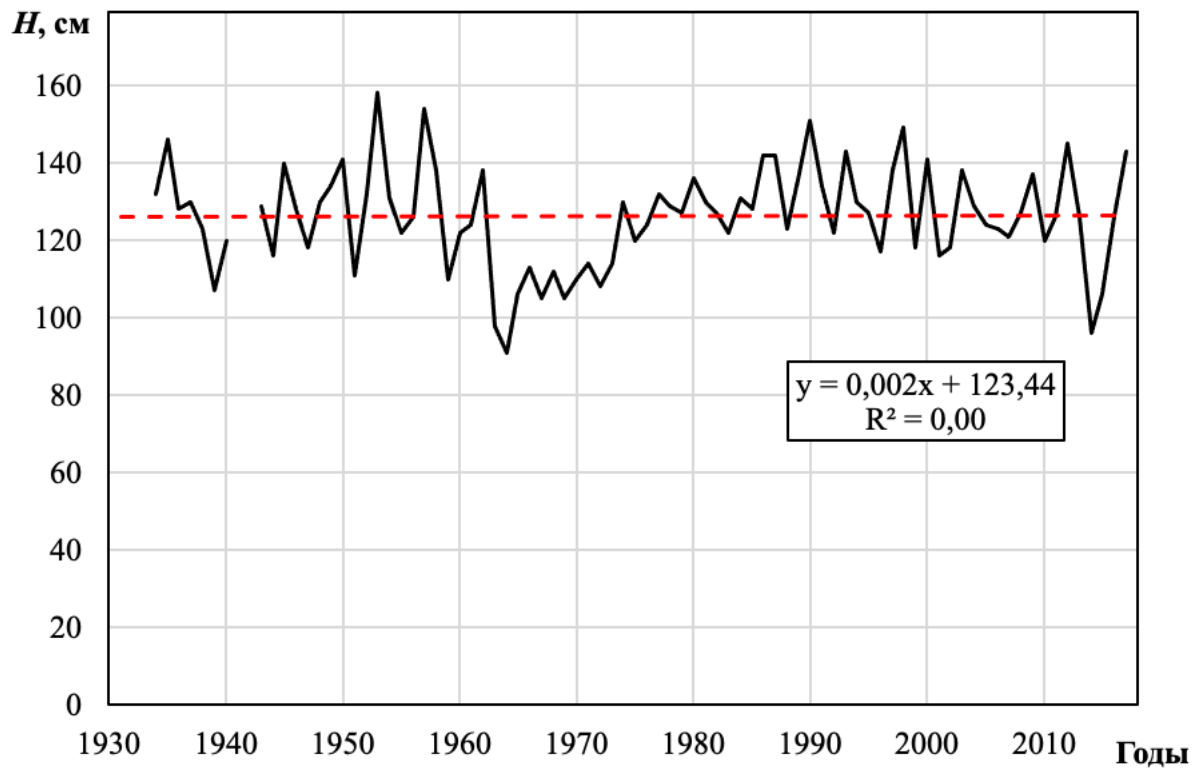


Рисунок В.21 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Охват

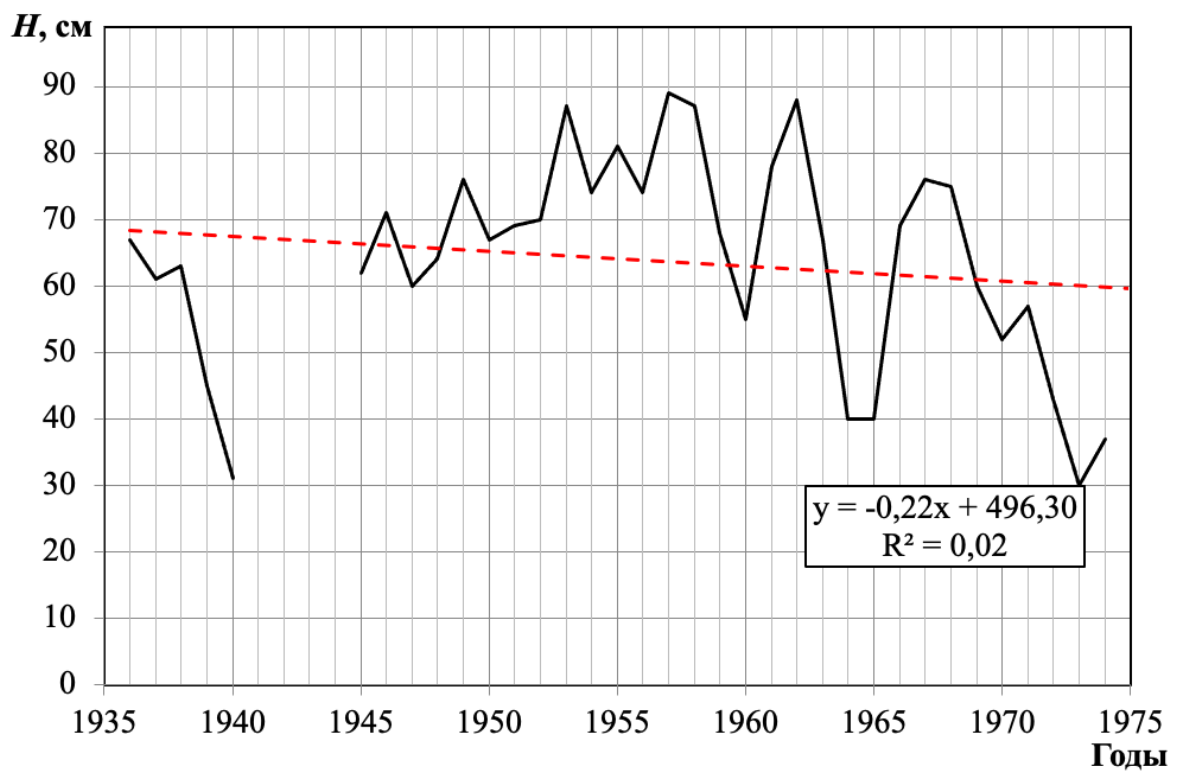


Рисунок В.22 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Самро

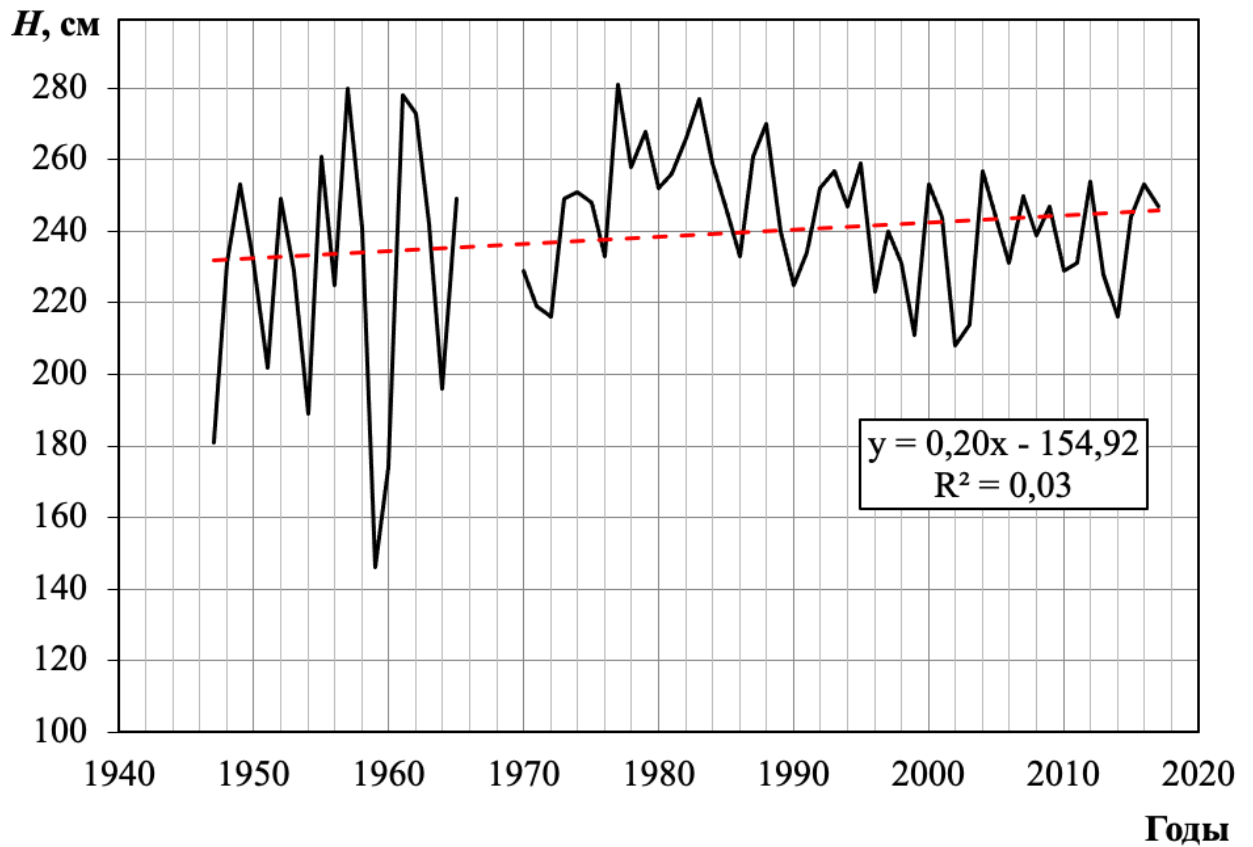


Рисунок В.23 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера (водохранилища) Сандал

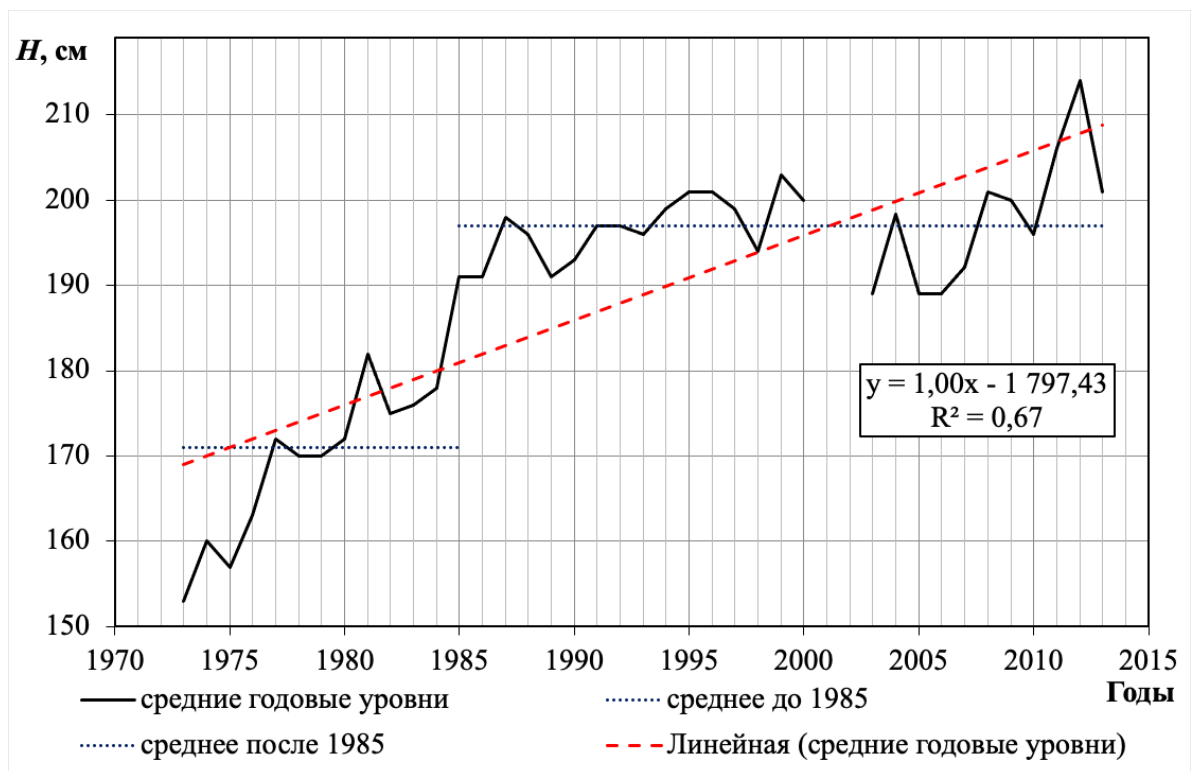


Рисунок В.24 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Остречье

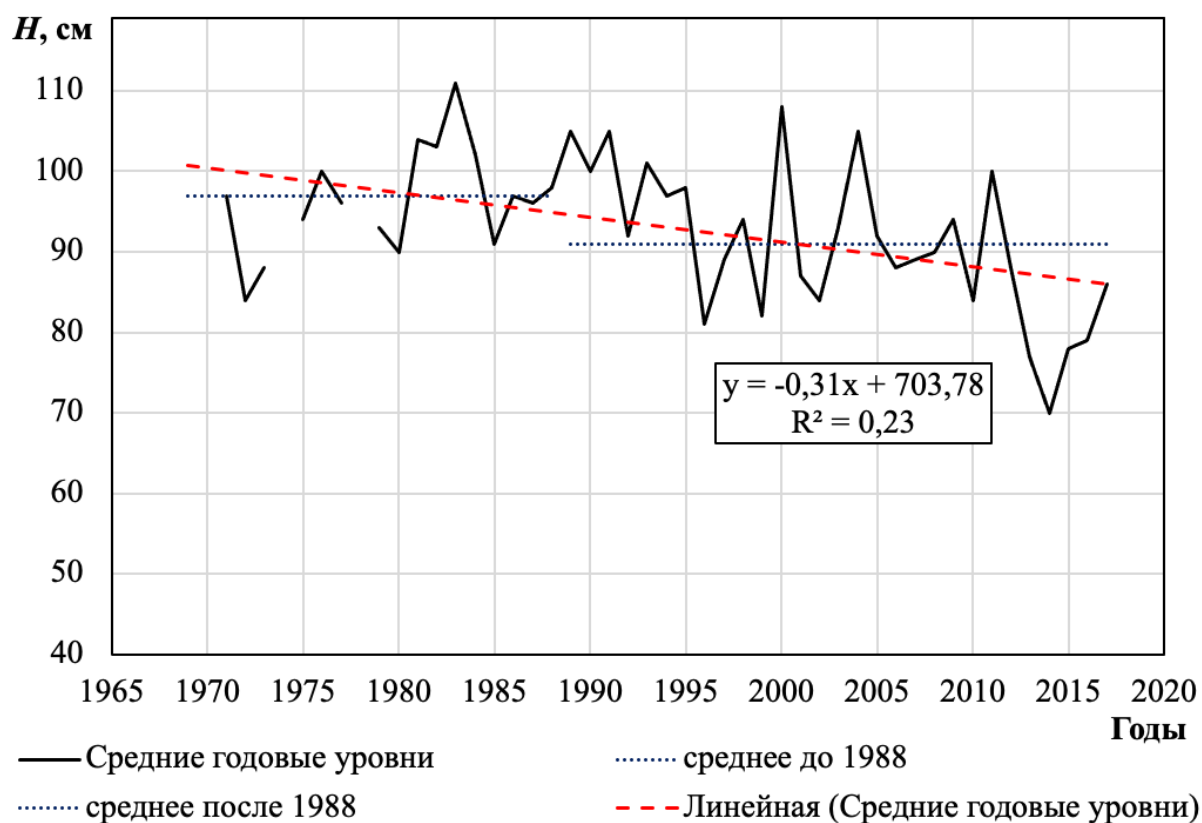


Рисунок В.25 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Шугозеро

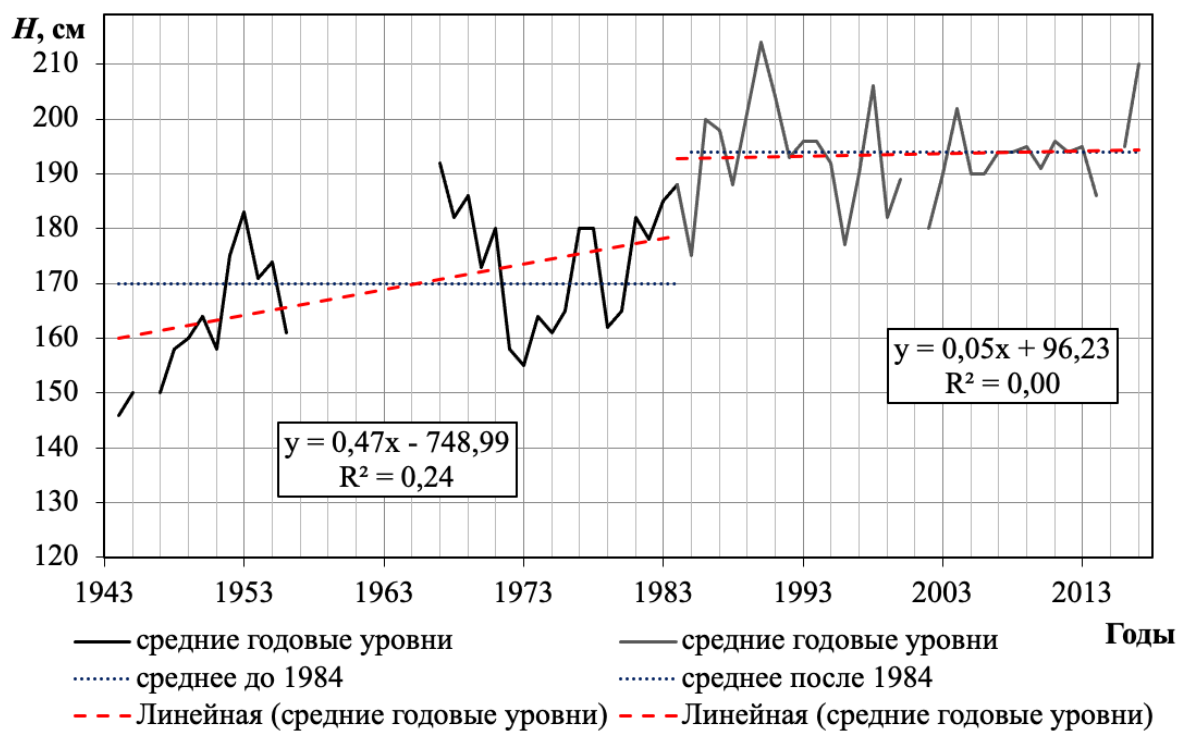


Рисунок В.26 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Коробожа

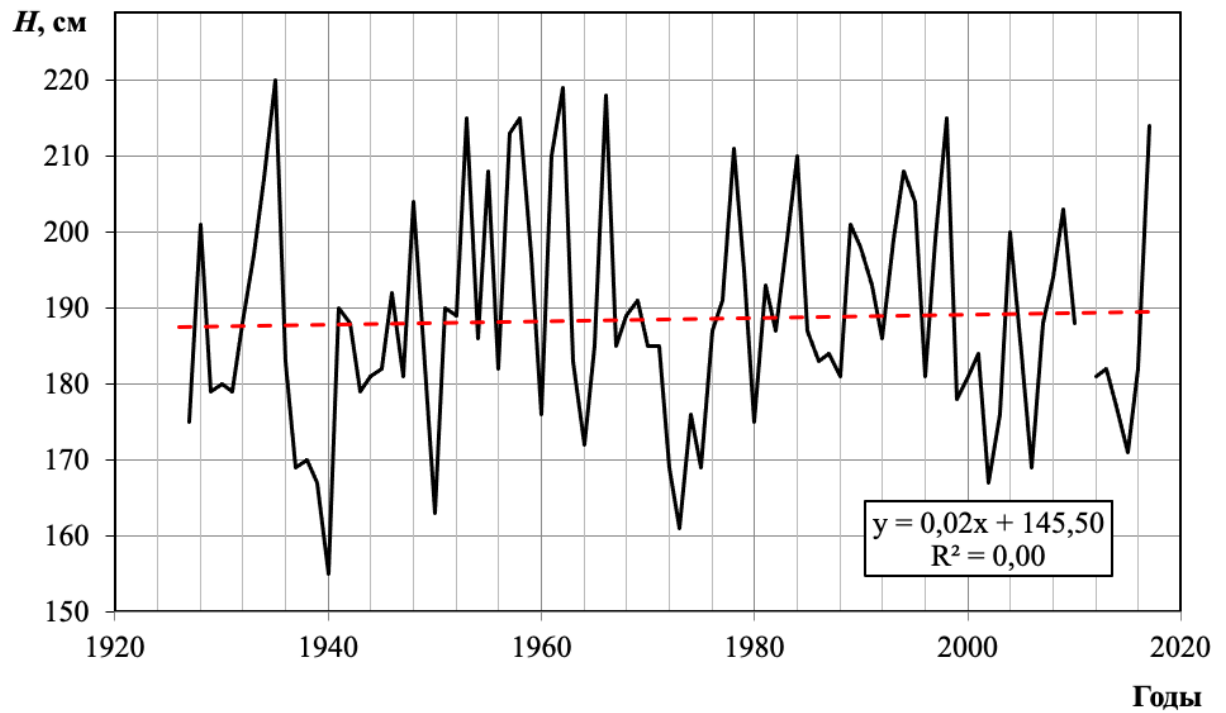


Рисунок В.27 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Лача

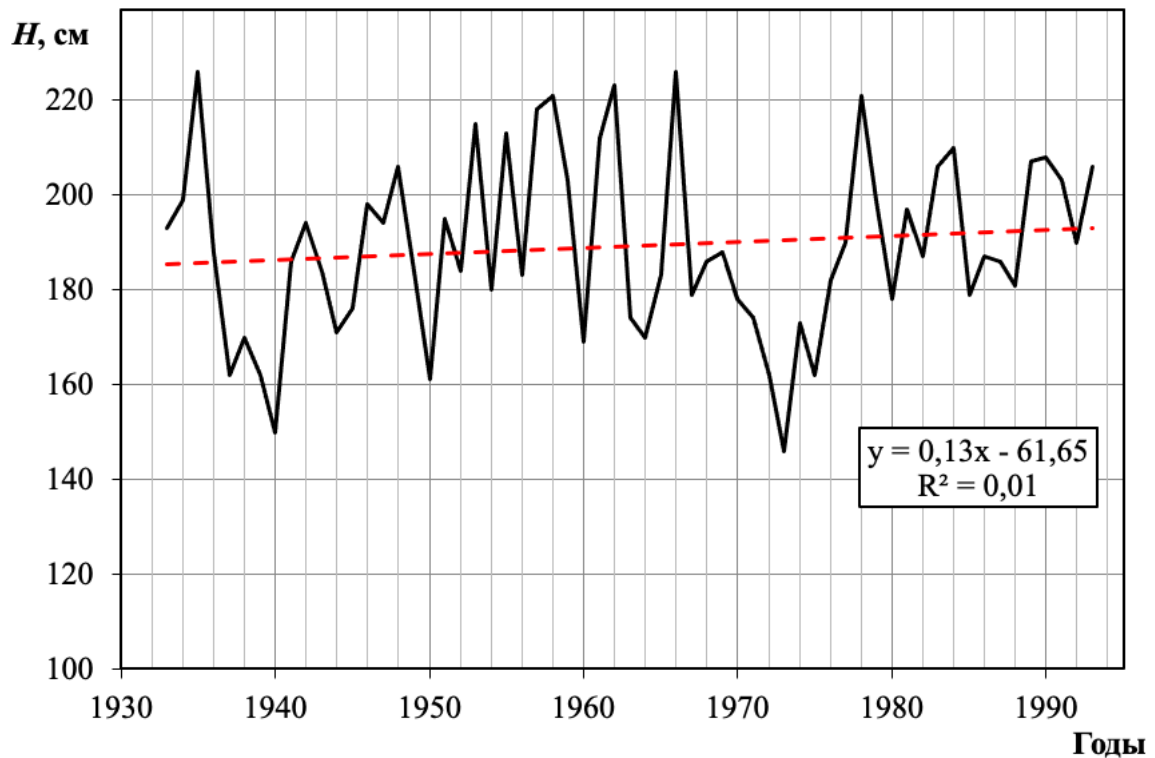


Рисунок В.28 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Воже

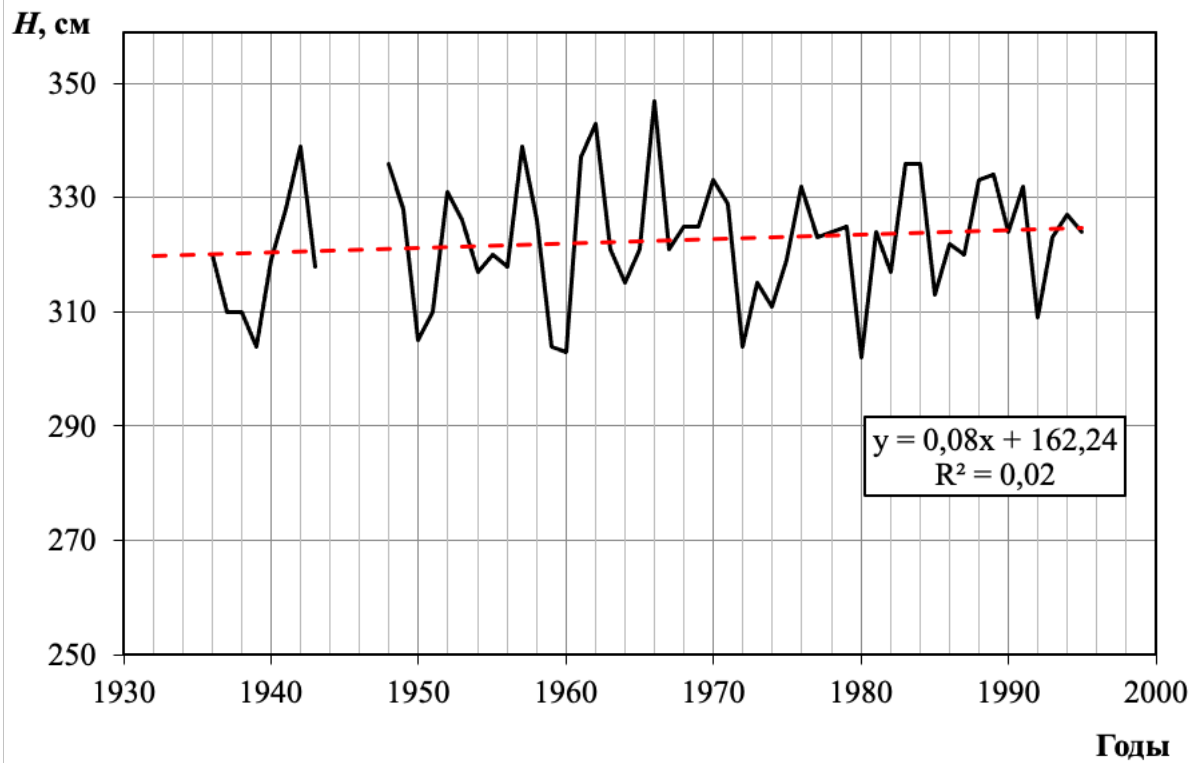


Рисунок В.29 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Кен-озеро

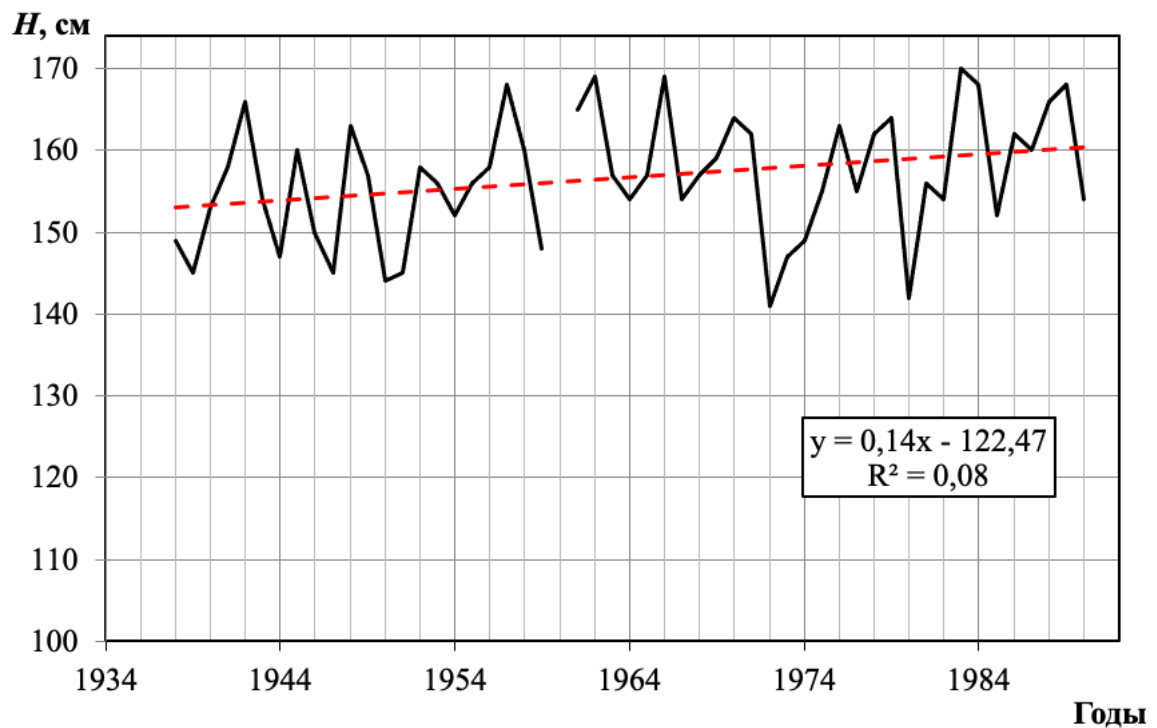


Рисунок В.30 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Унд-озеро

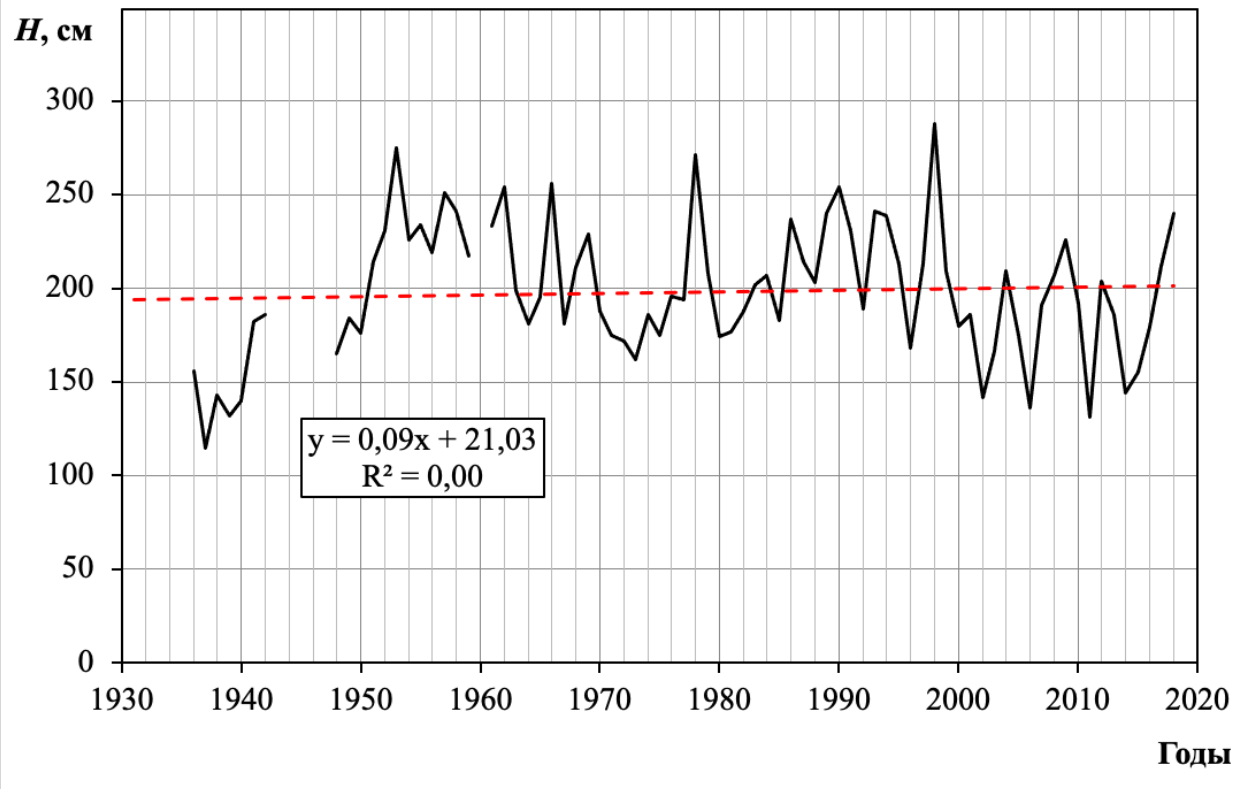


Рисунок В.31 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Кубенское

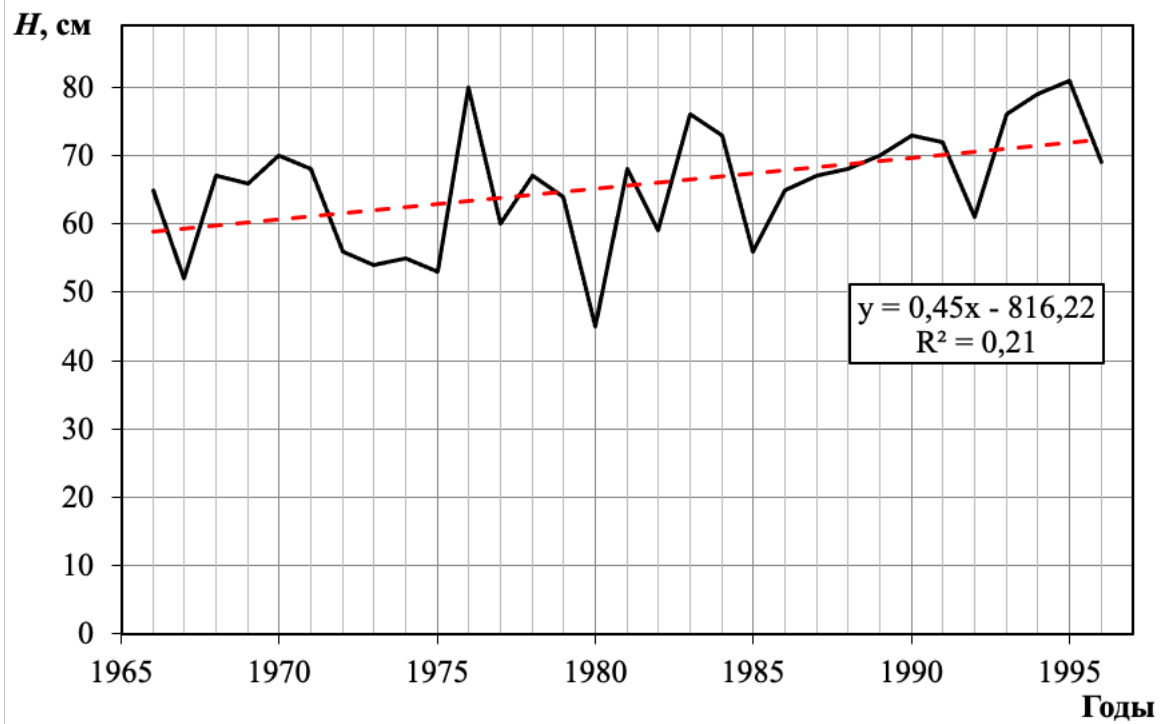


Рисунок В.32 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Большое Михайловское

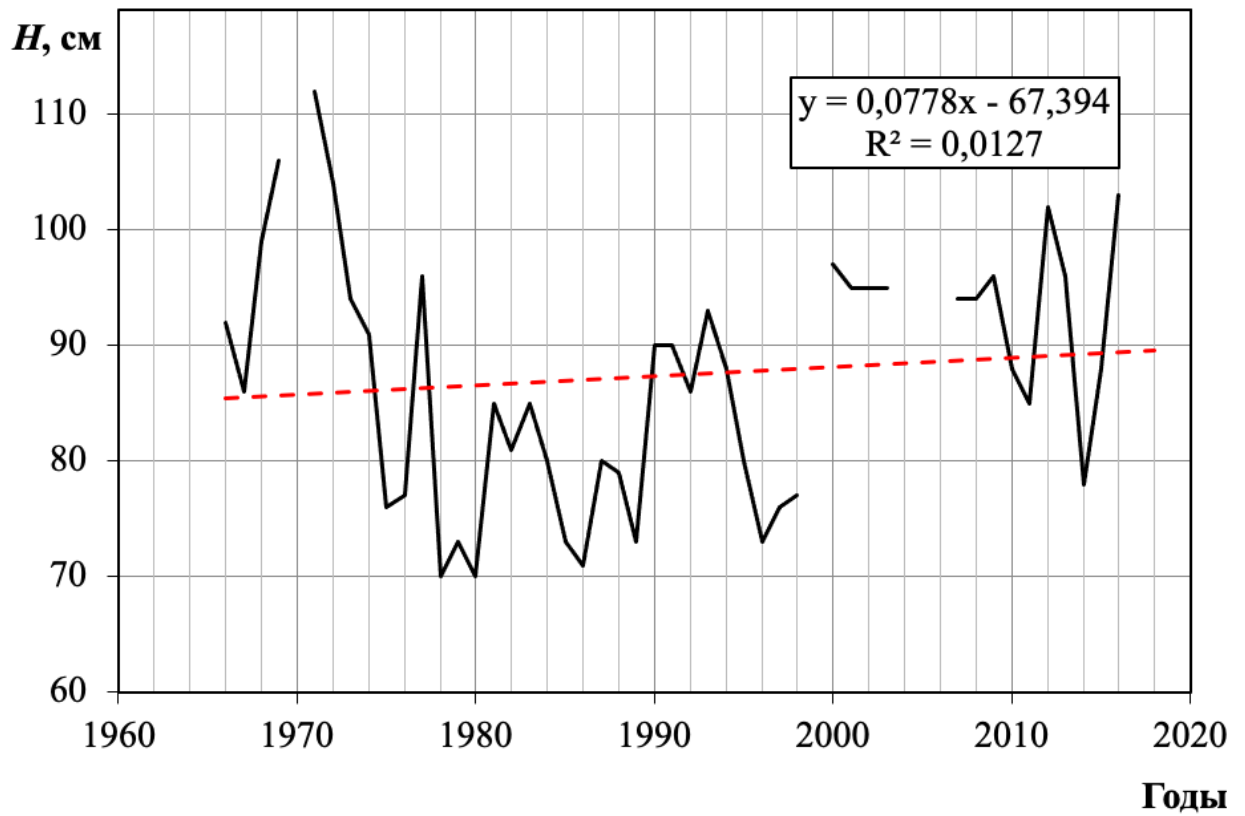


Рисунок В.33 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Лекшм-озеро

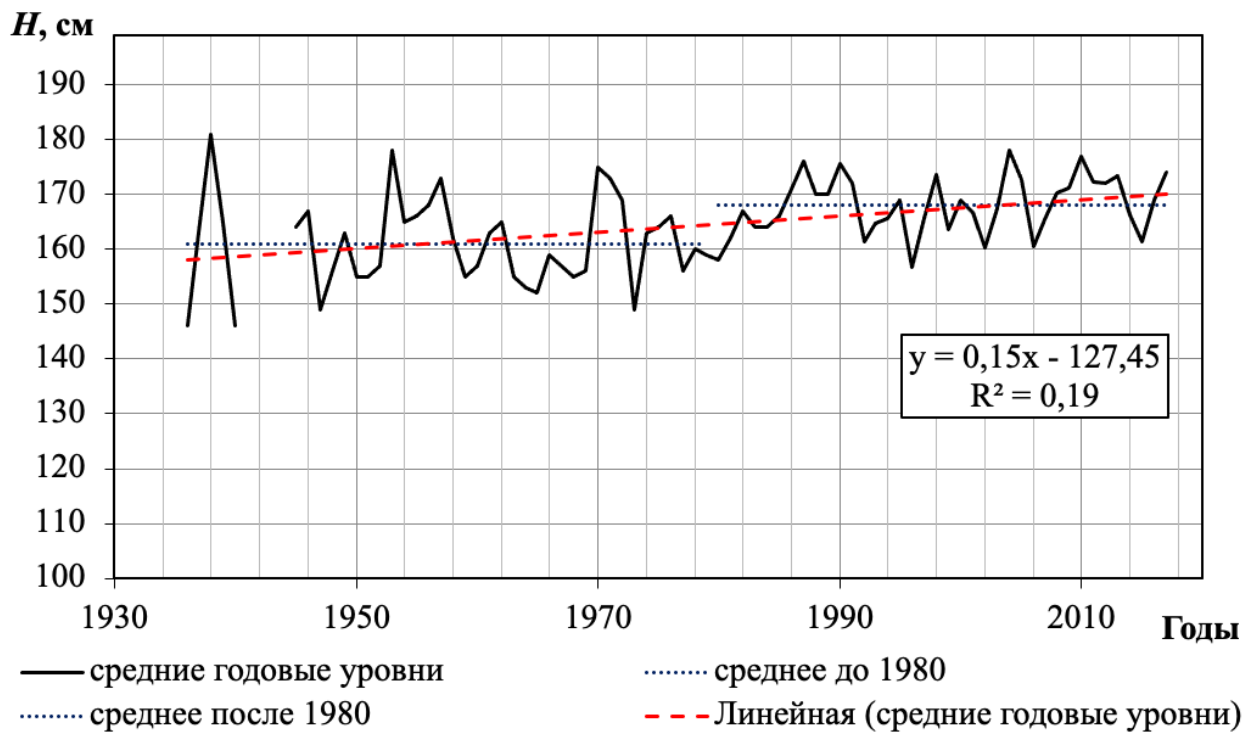


Рисунок В.34 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Долгое

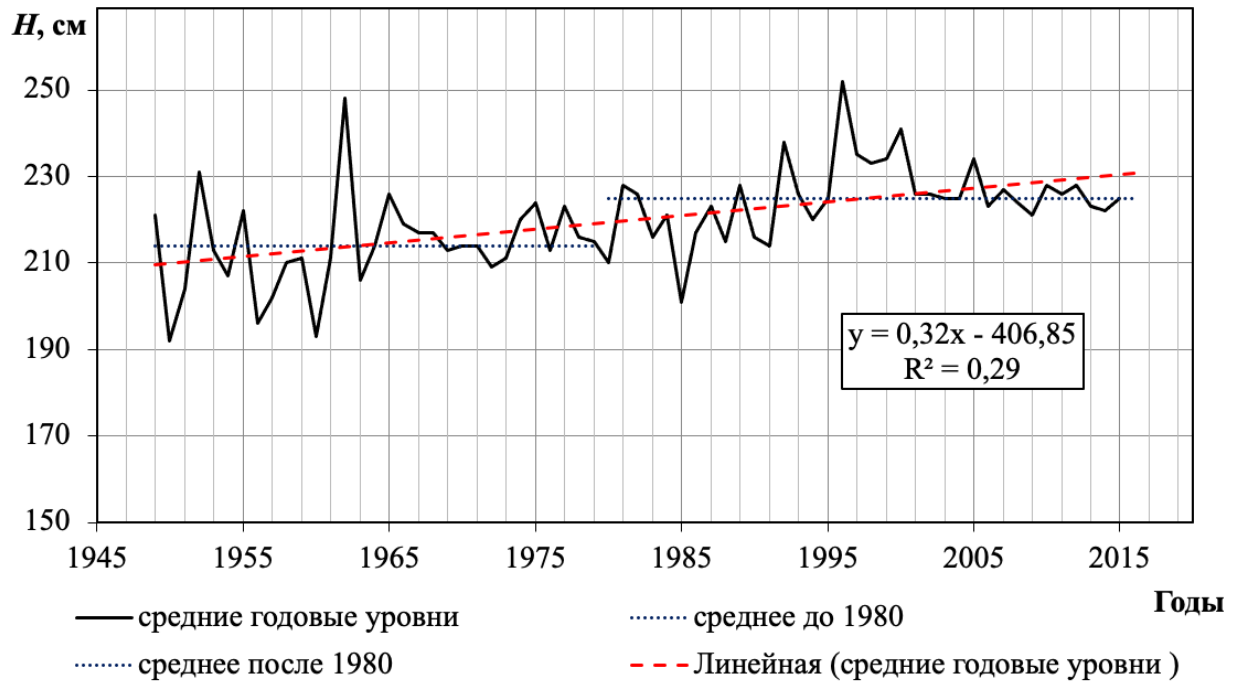


Рисунок В.35 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Куэтсь-Ярви

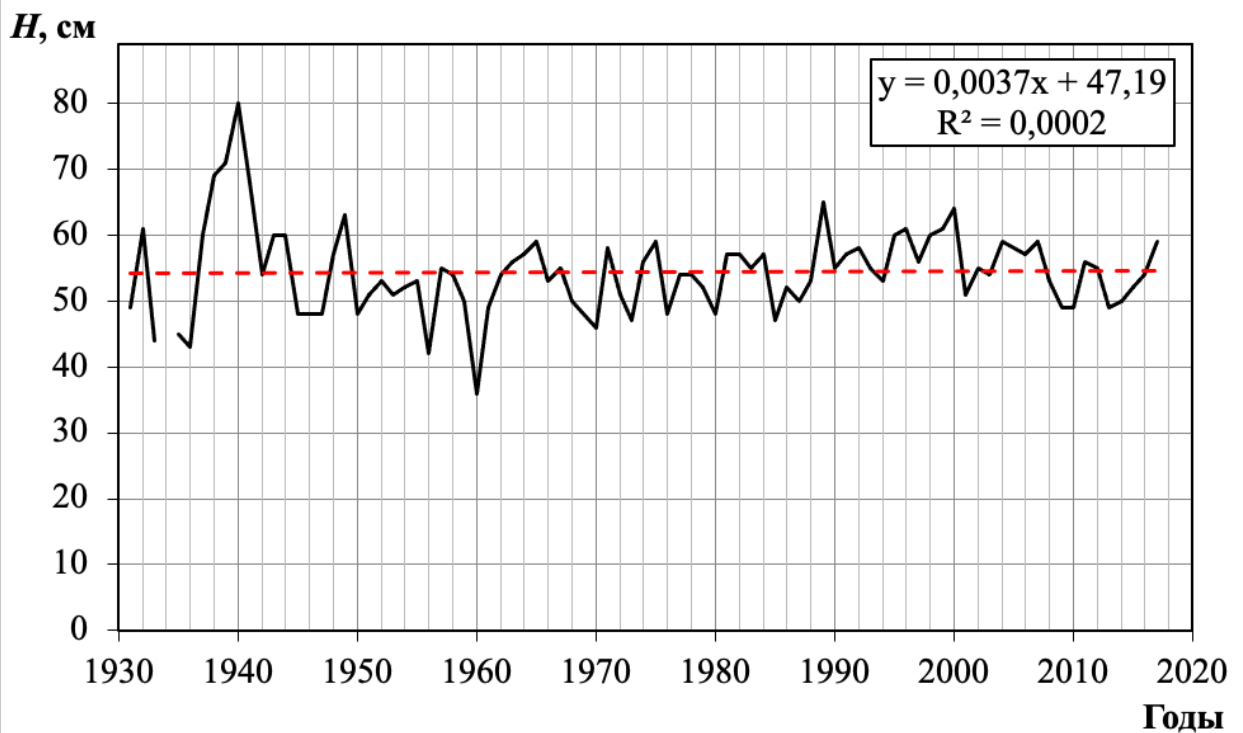


Рисунок В.36 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Пулозеро

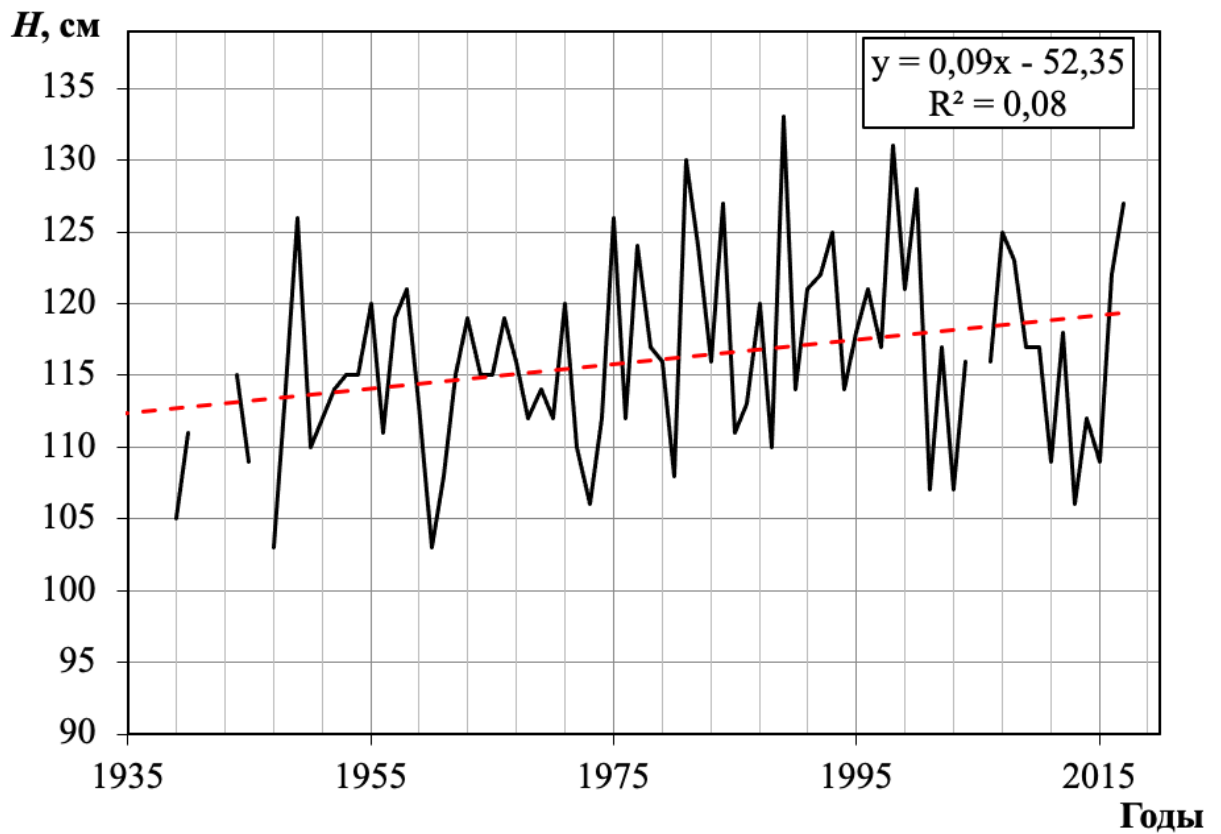


Рисунок В.37 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Ловозеро

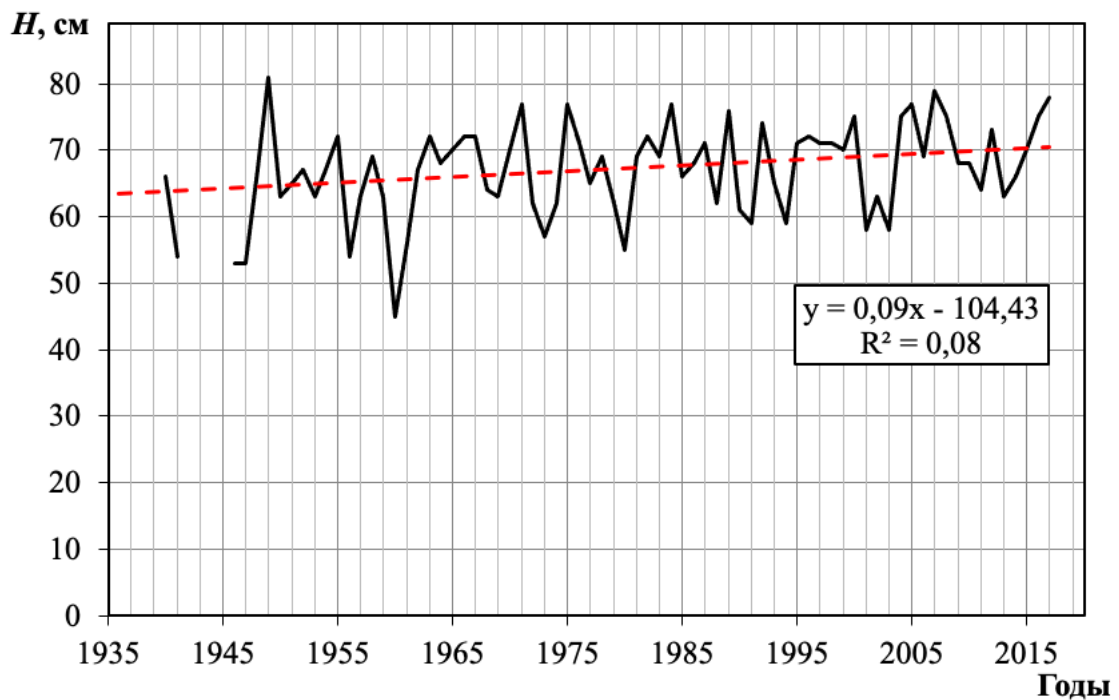


Рисунок В.38 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Умбозеро

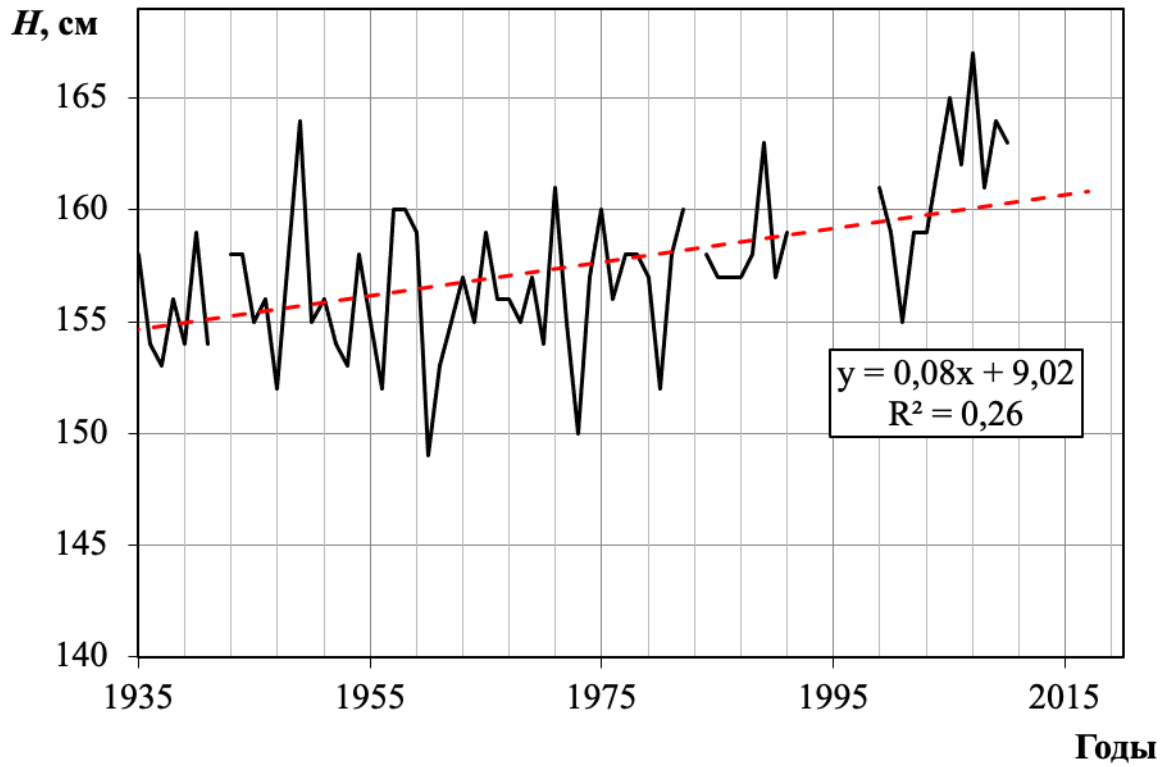


Рисунок В.39 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Пермусозеро

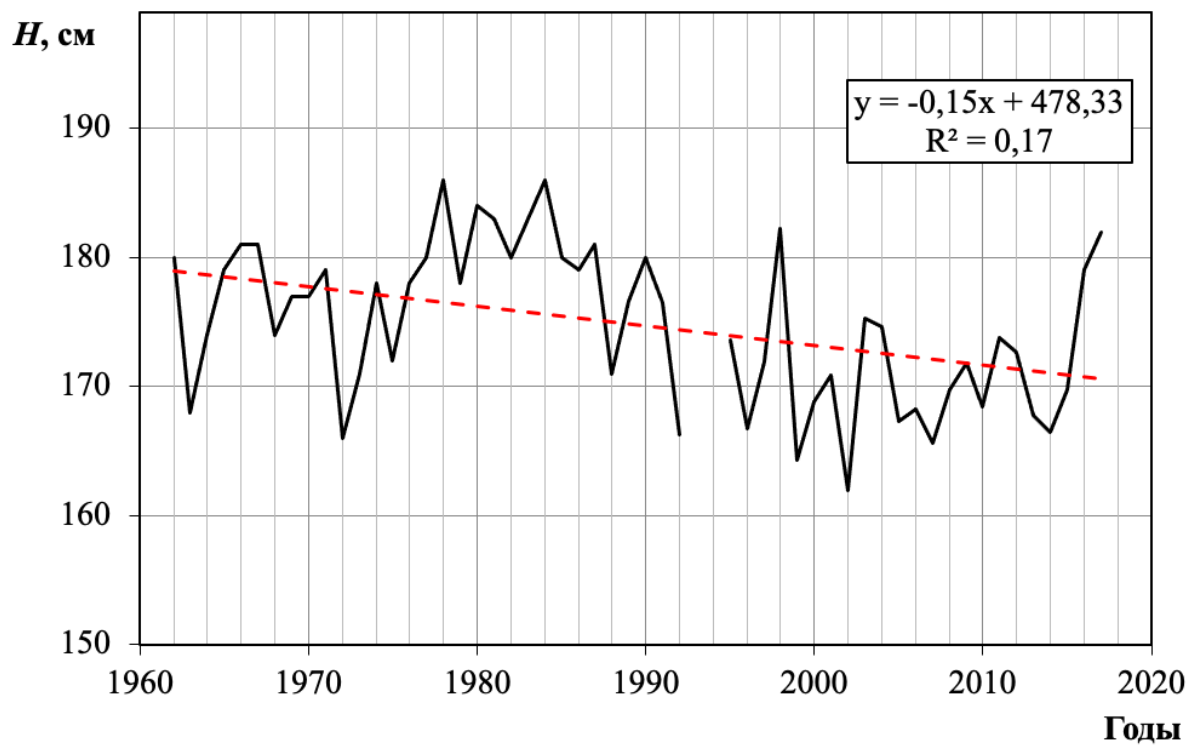


Рисунок В.40 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Пелено

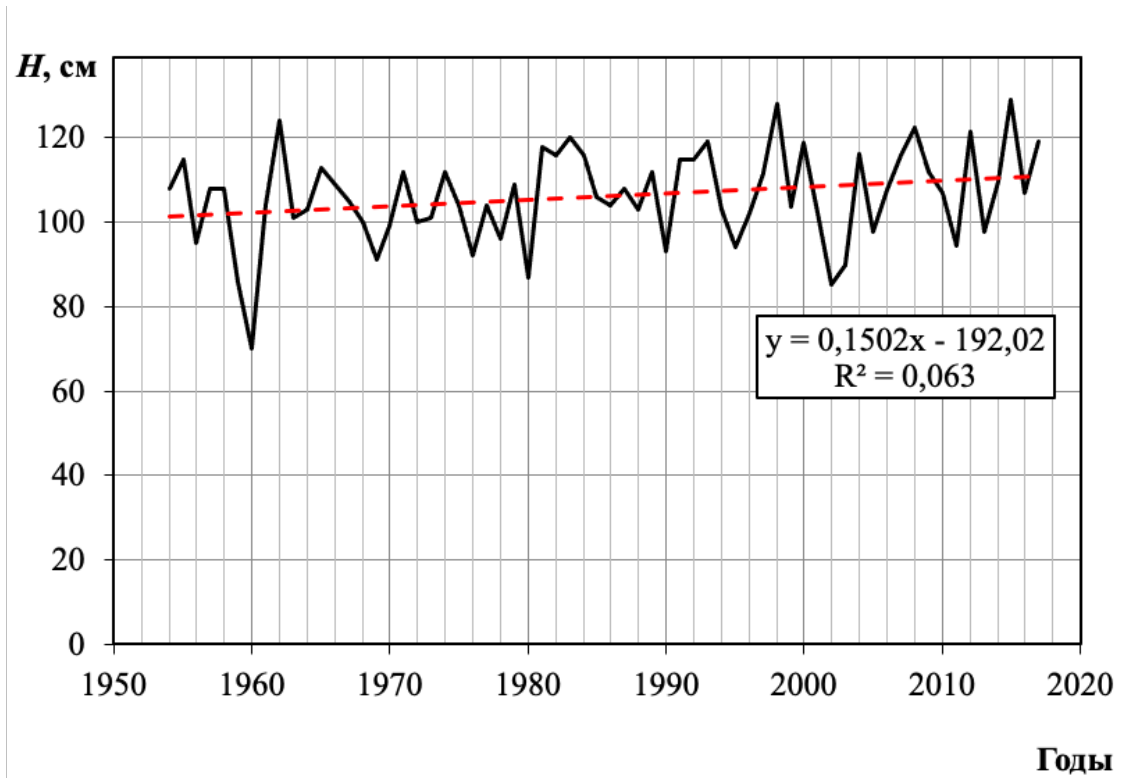


Рисунок В.41 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Верхнее Куйто

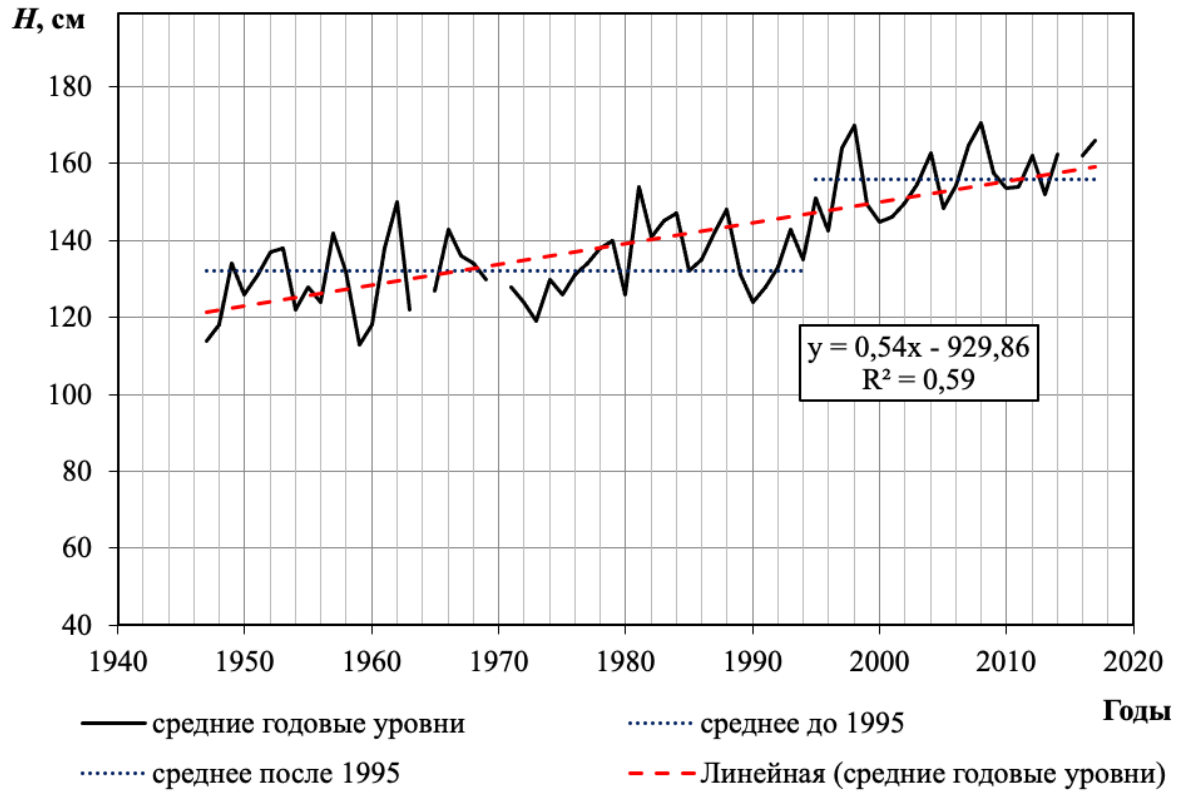


Рисунок В.42 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера
Ругозеро

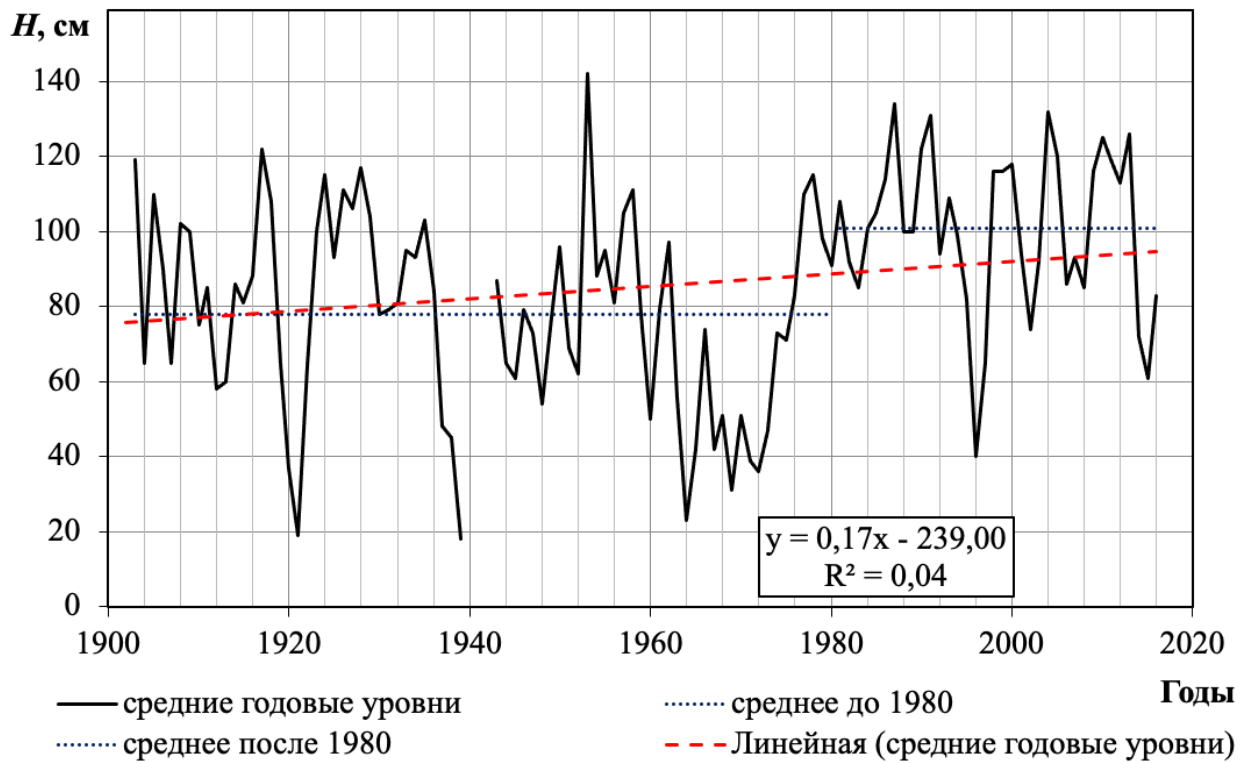


Рисунок В.43 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Селигер

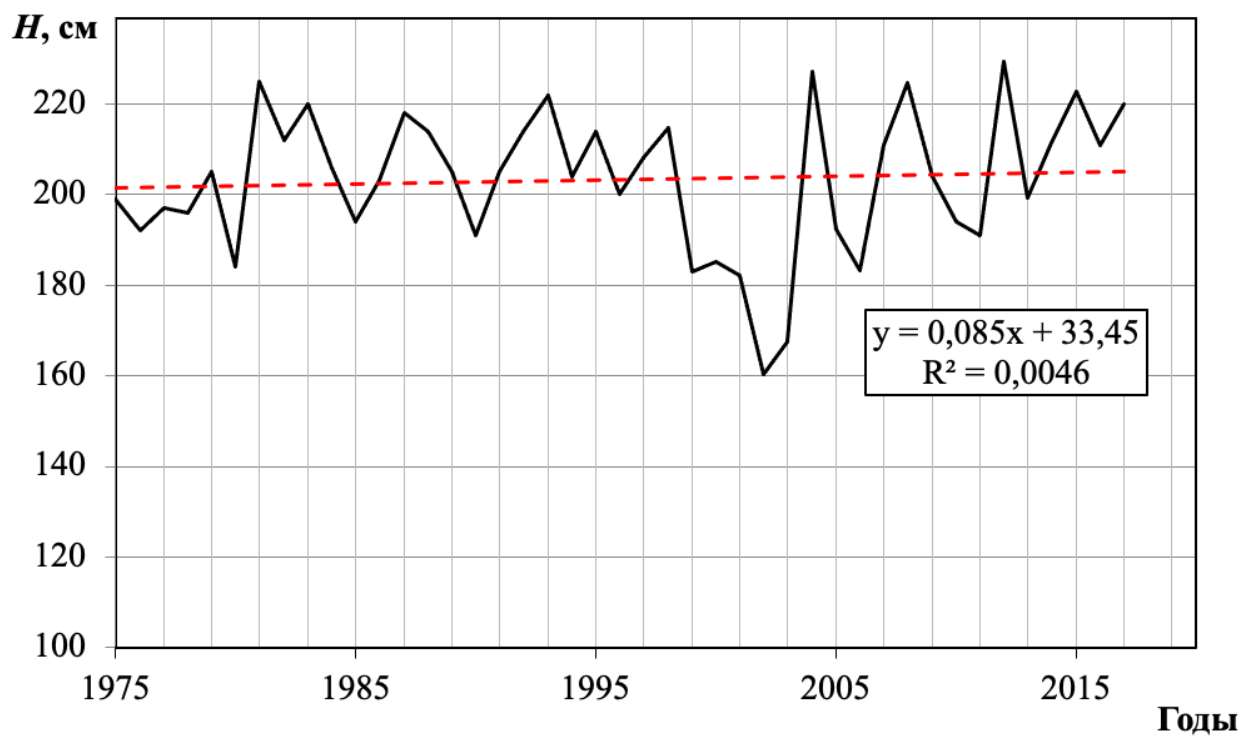


Рисунок В.44 – Хронологический график средних годовых уровней воды озера Лендерское

Приложение Г – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды исследуемых озер

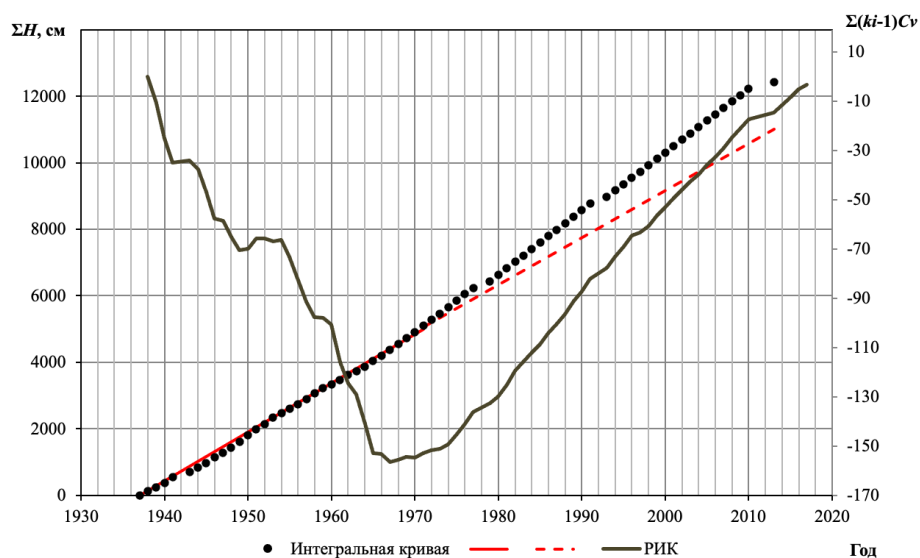


Рисунок Г.1 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Валдайское.

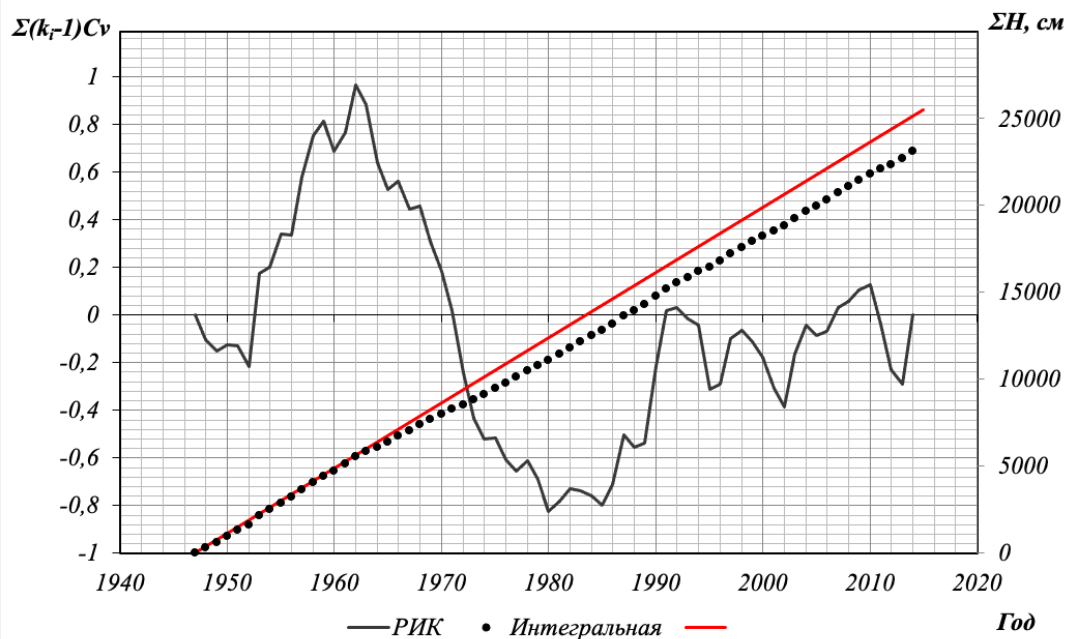


Рисунок Г.2 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Ильмень.

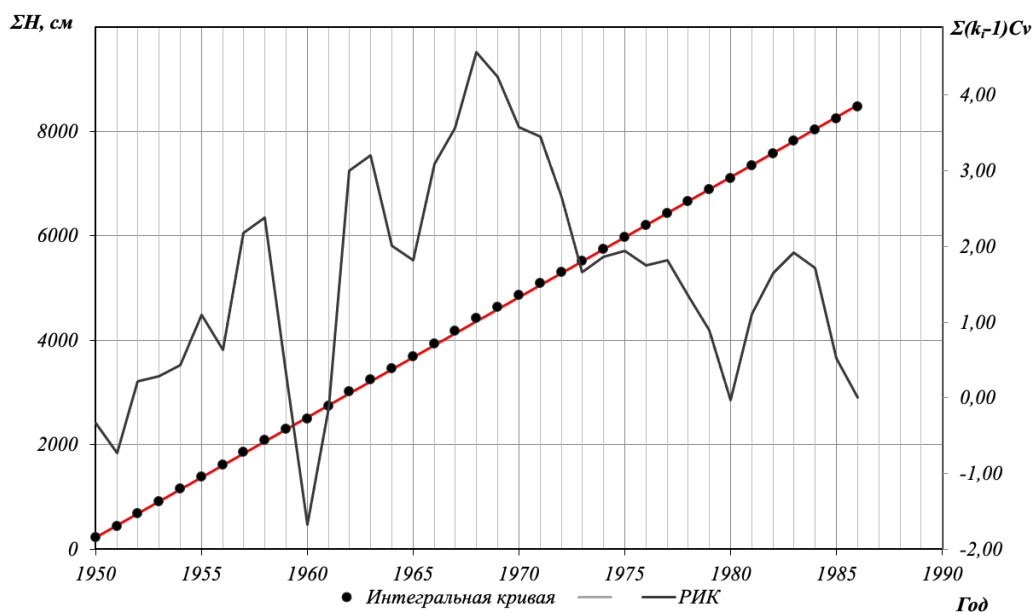


Рисунок Г.3 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Гимольское.

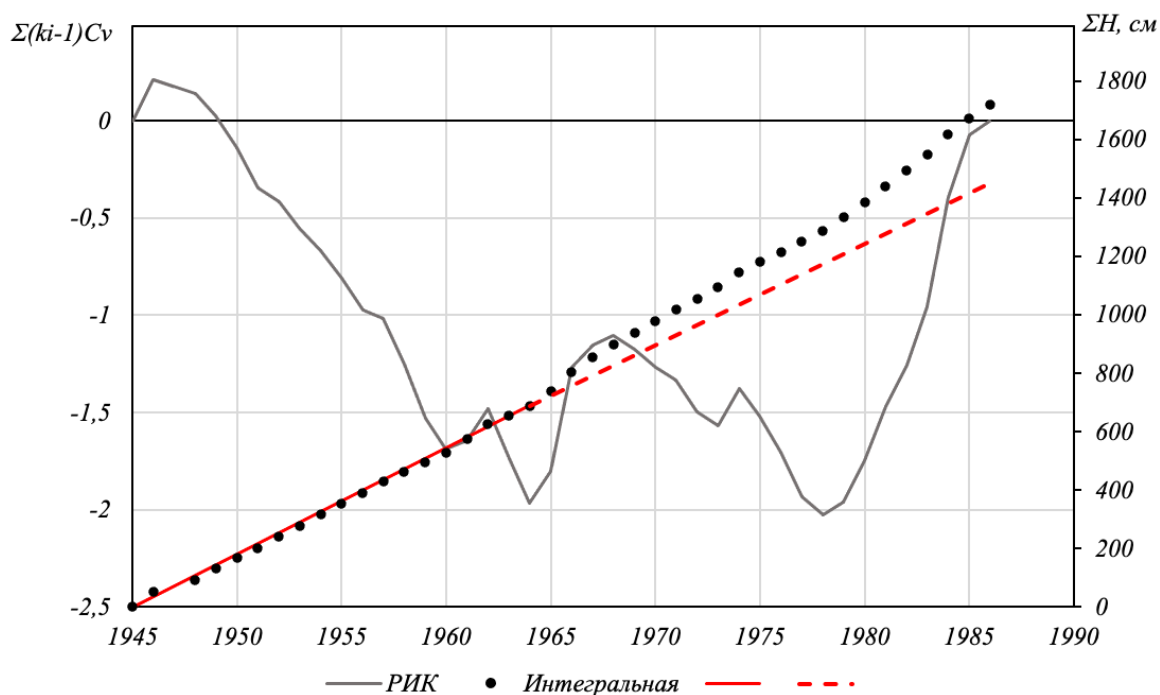


Рисунок Г.4 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Глубокое.

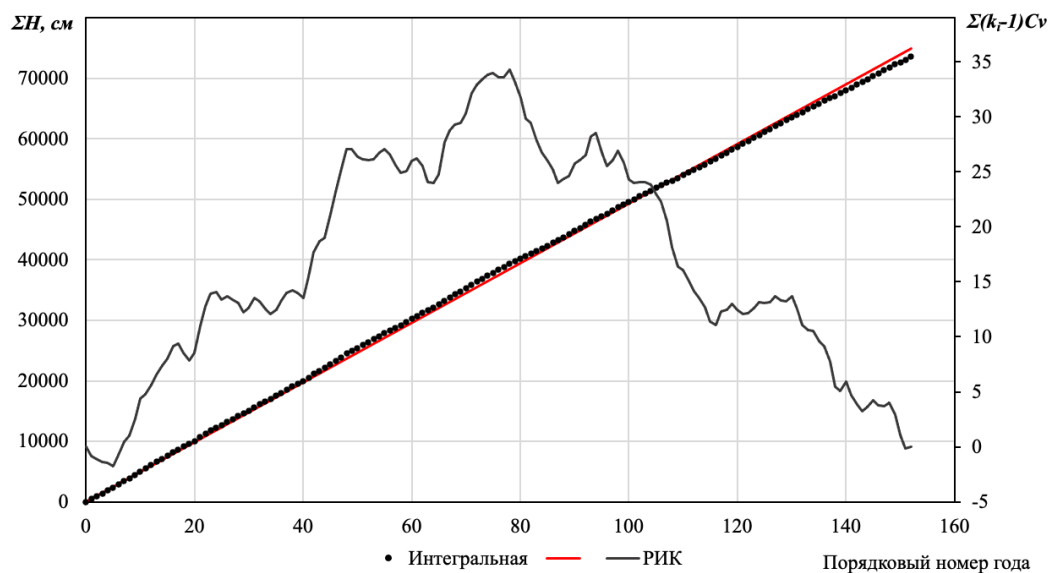


Рисунок Г.5 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Ладожское.

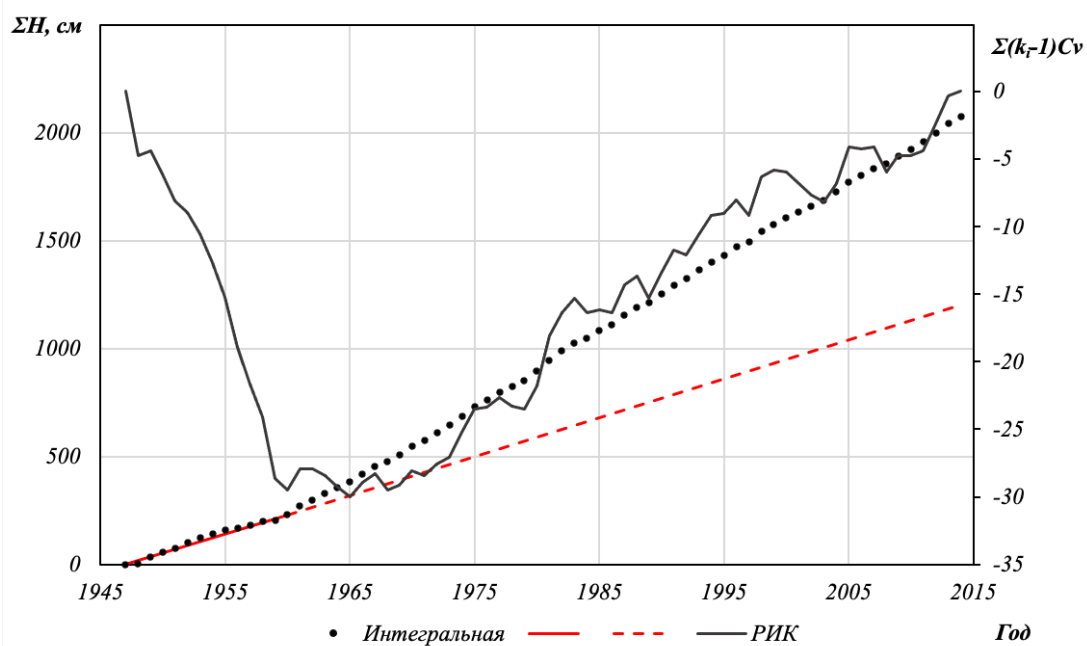


Рисунок Г.6 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Лексозеро.

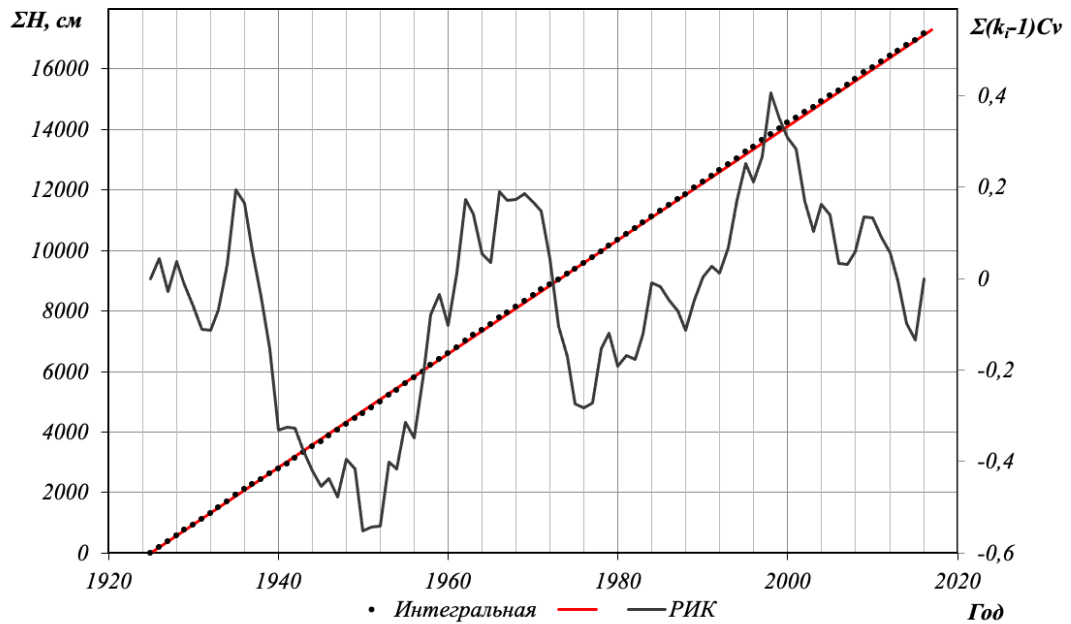


Рисунок Г.7 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Лача.

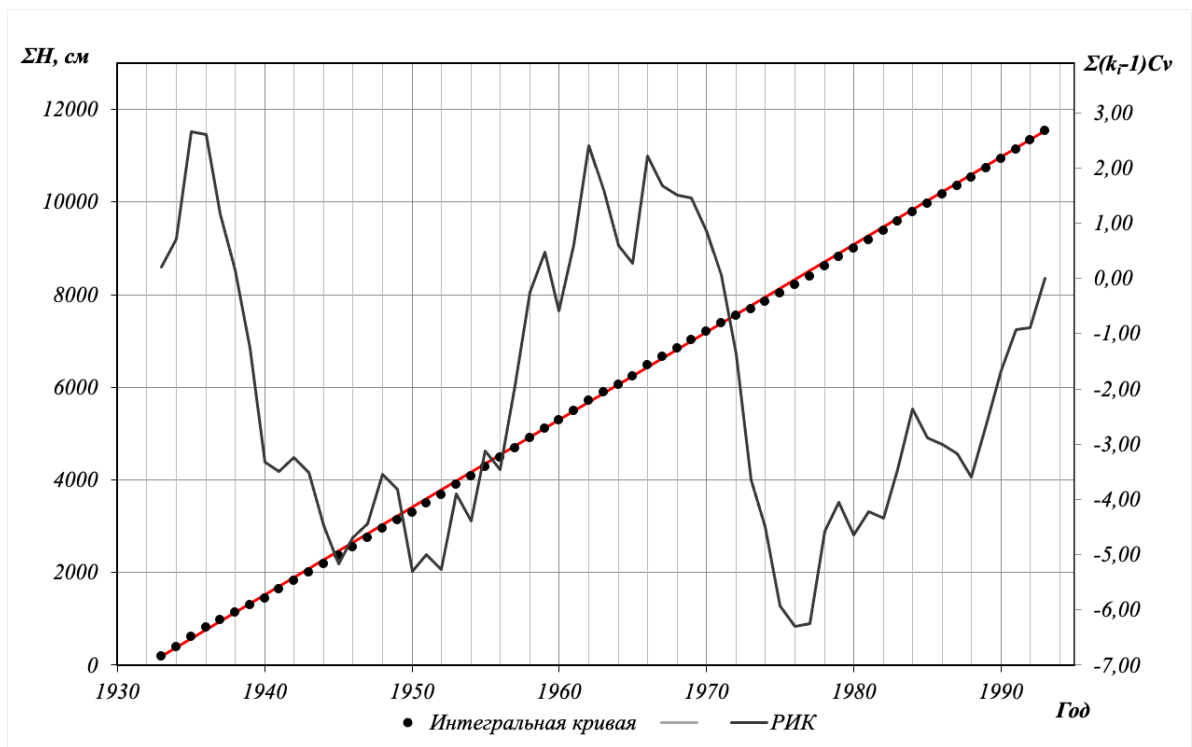


Рисунок Г. 8 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Воже.

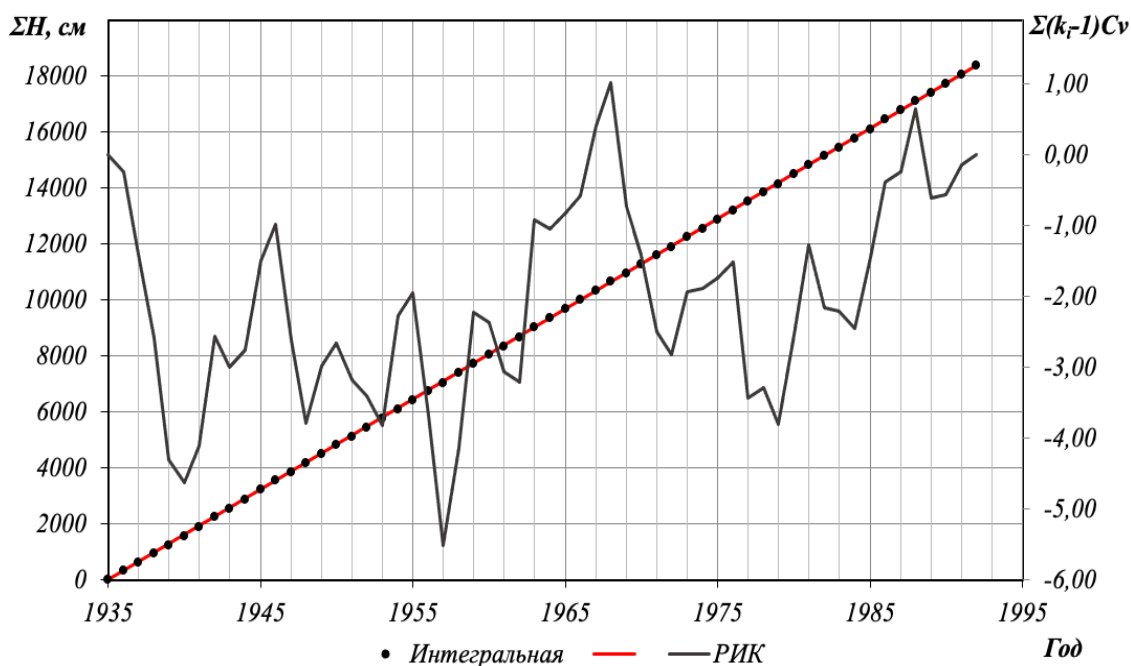


Рисунок Г.9 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Кен-озеро.

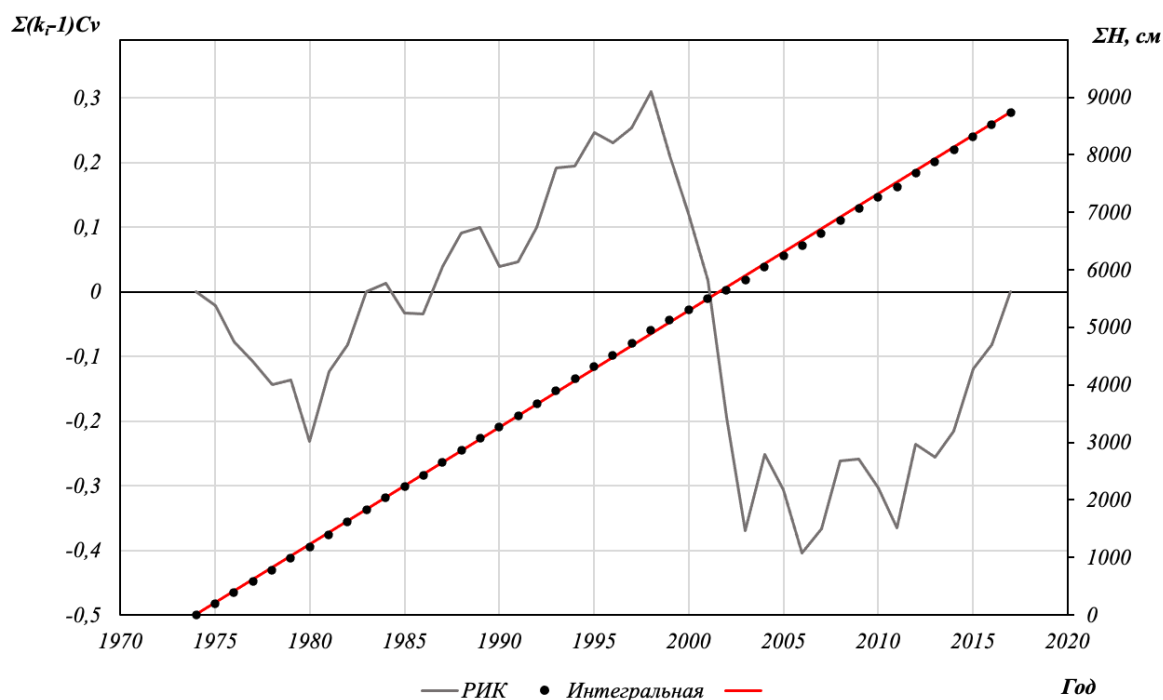


Рисунок Г.10 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Лендерское.

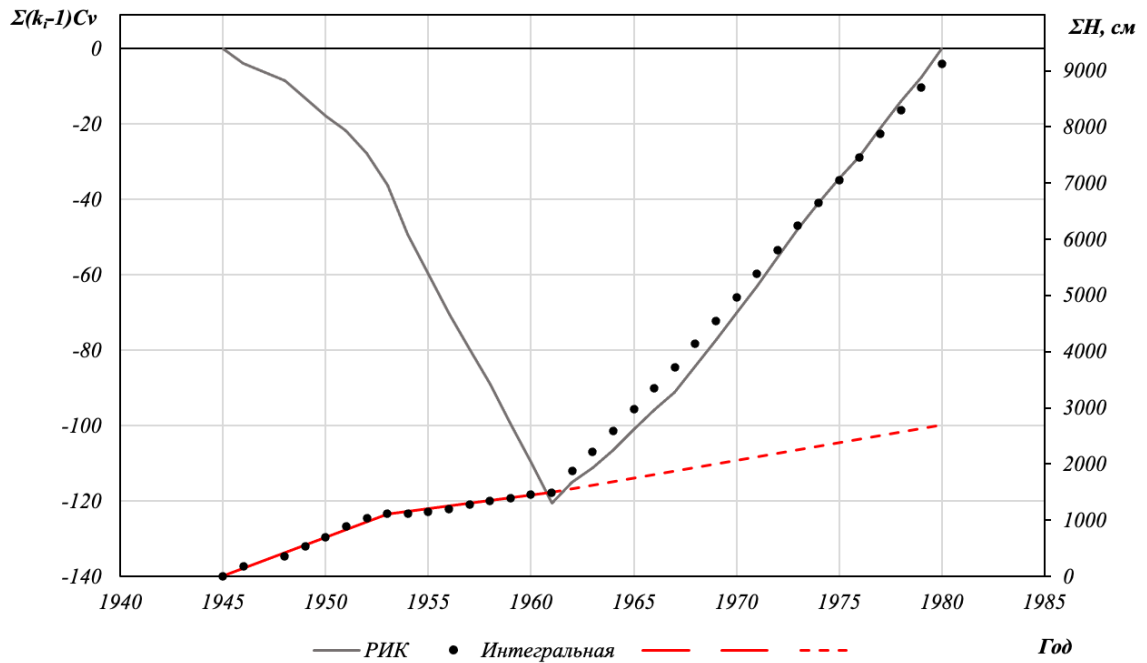


Рисунок Г.11 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Лиелайс-Лудза.

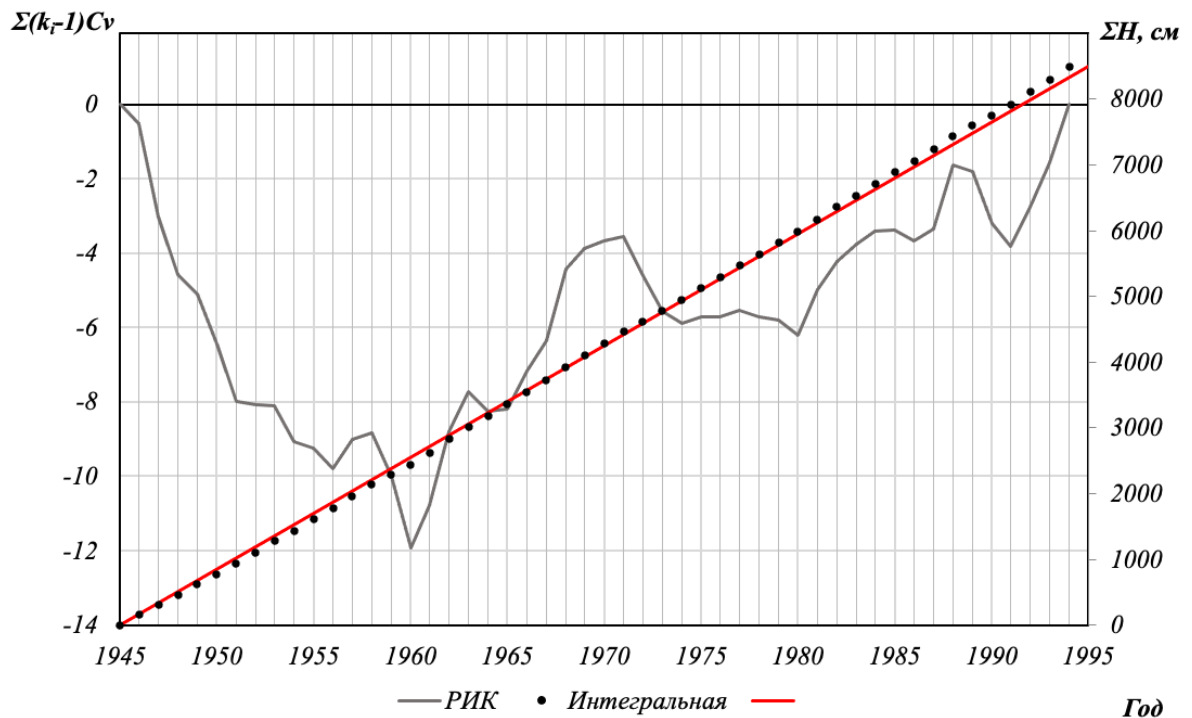


Рисунок Г.12 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Лижмозеро.

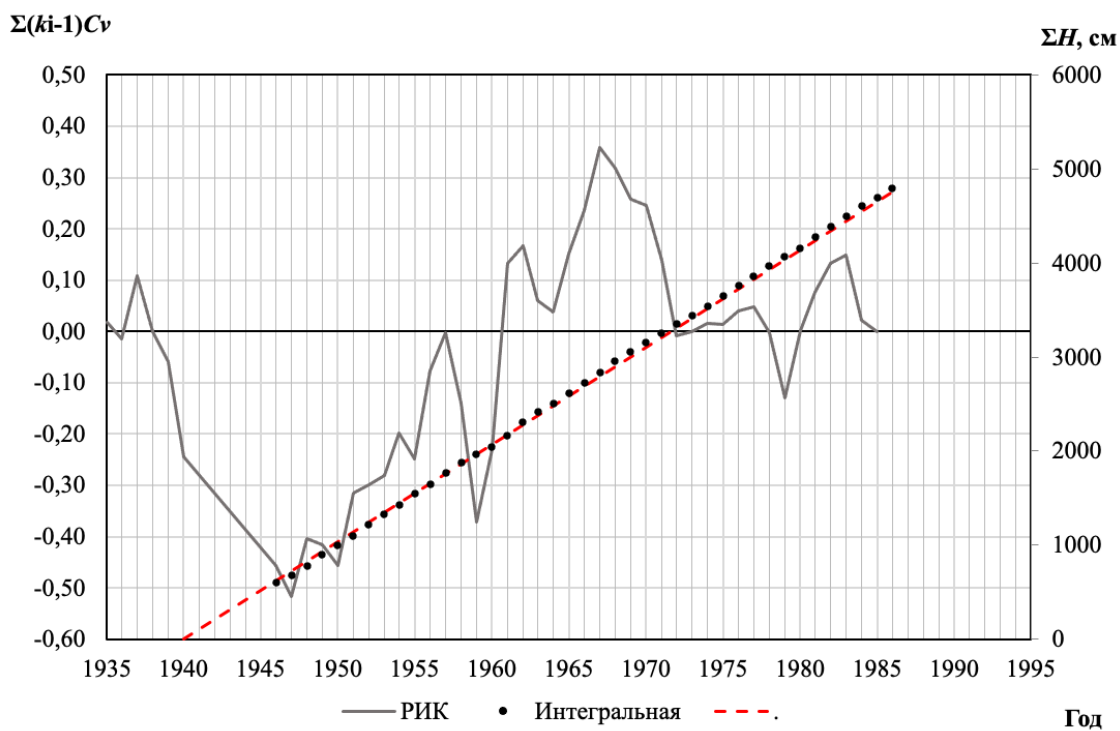


Рисунок Г.13 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Линдозеро.

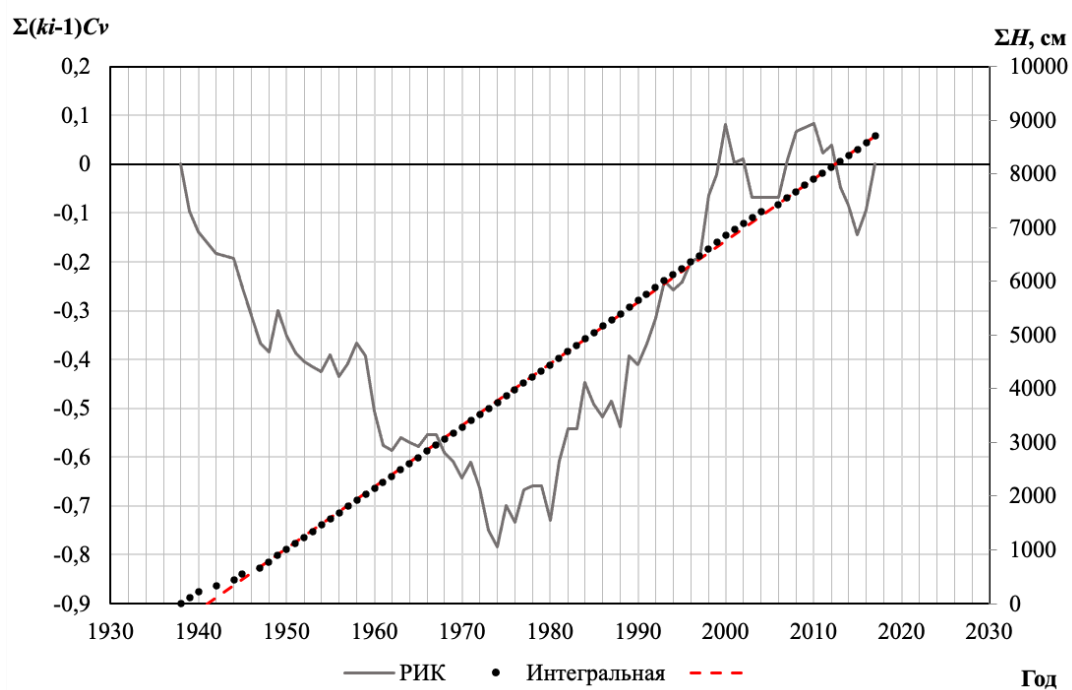


Рисунок Г.14 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Ловозеро.

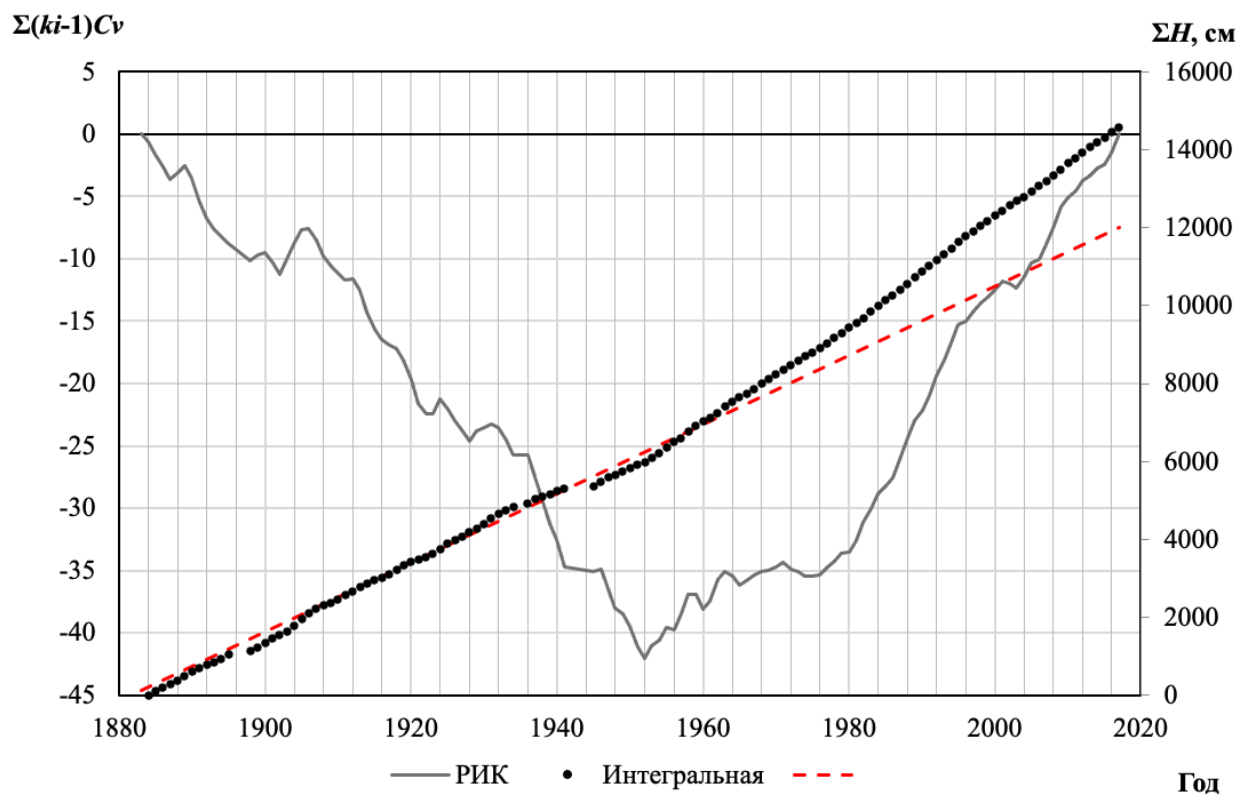


Рисунок Г.15 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Онежское.

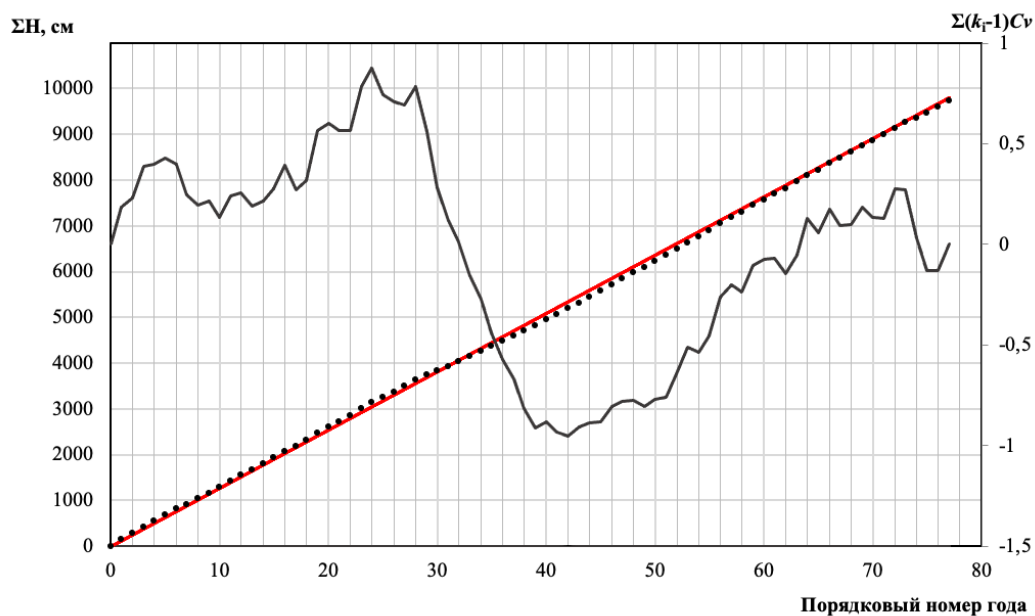


Рисунок Г.16 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Охват.

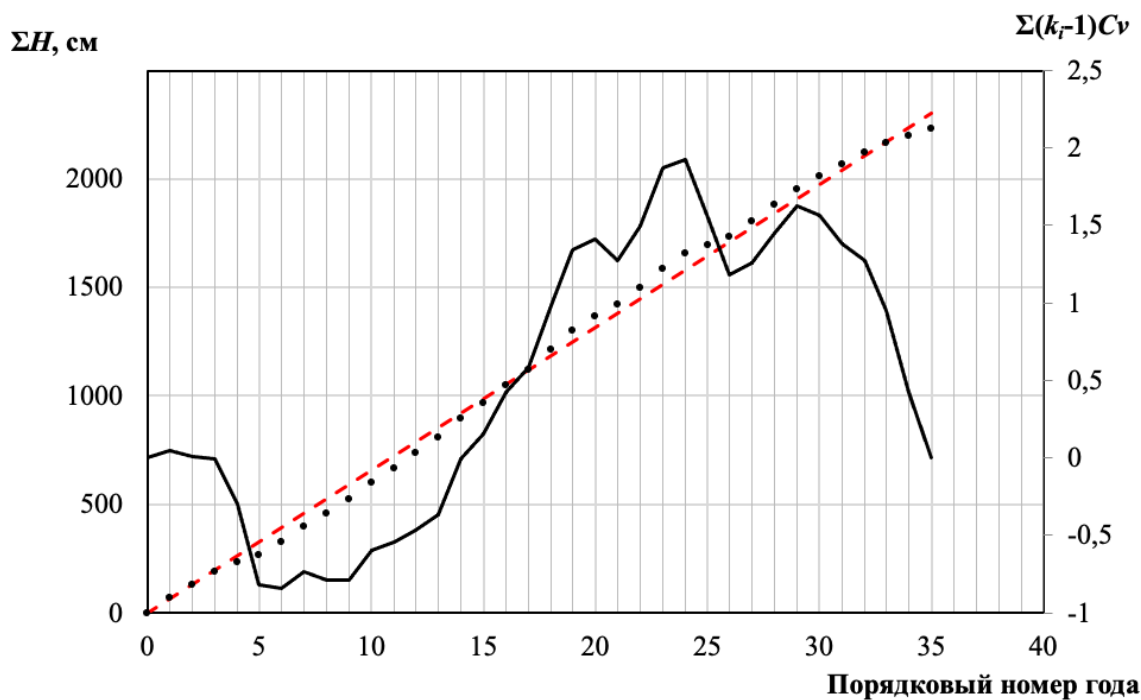


Рисунок Г.17 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Самро.

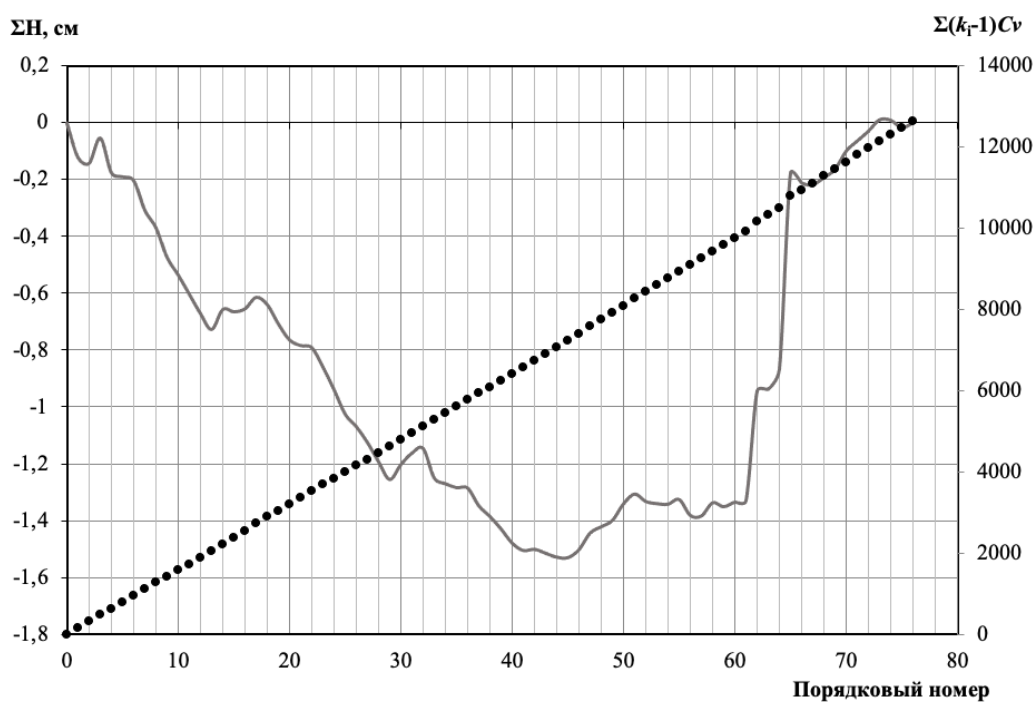


Рисунок Г.18 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Сяберо.

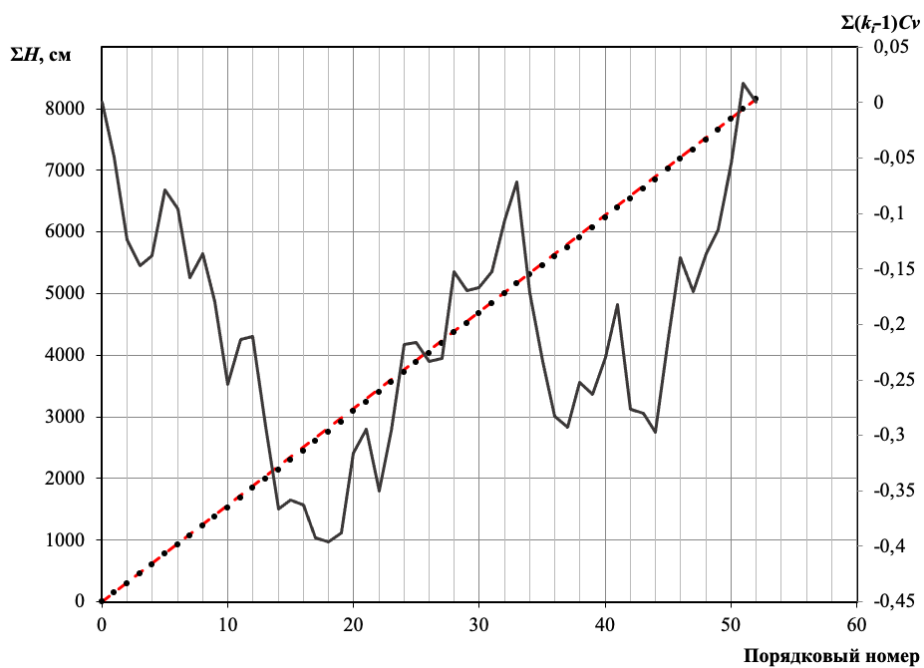


Рисунок Г.19 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Унд-озеро.

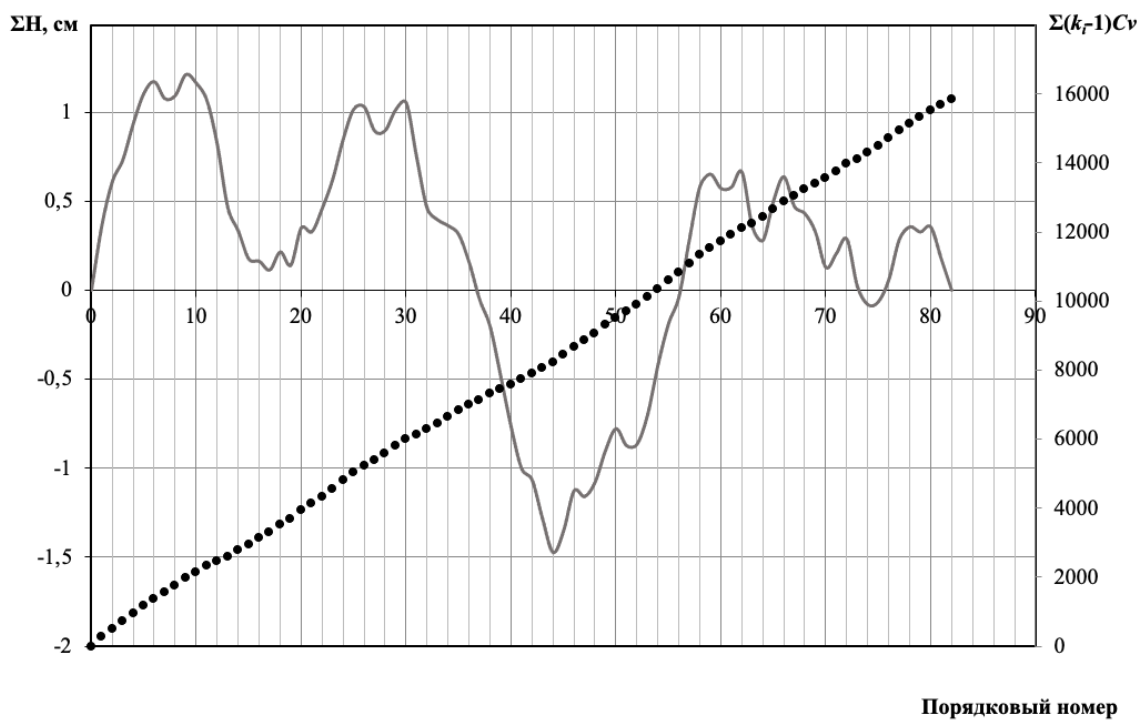


Рисунок Г.20 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Чудское.

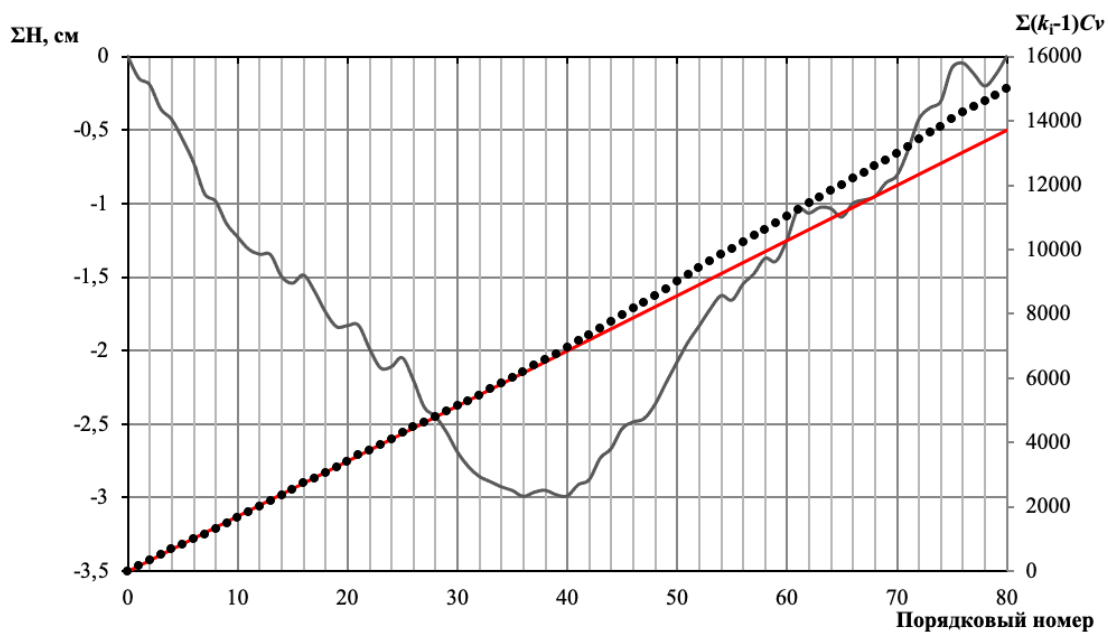


Рисунок Г.21 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Щучье.



Рисунок Г.22 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Янисьярви.

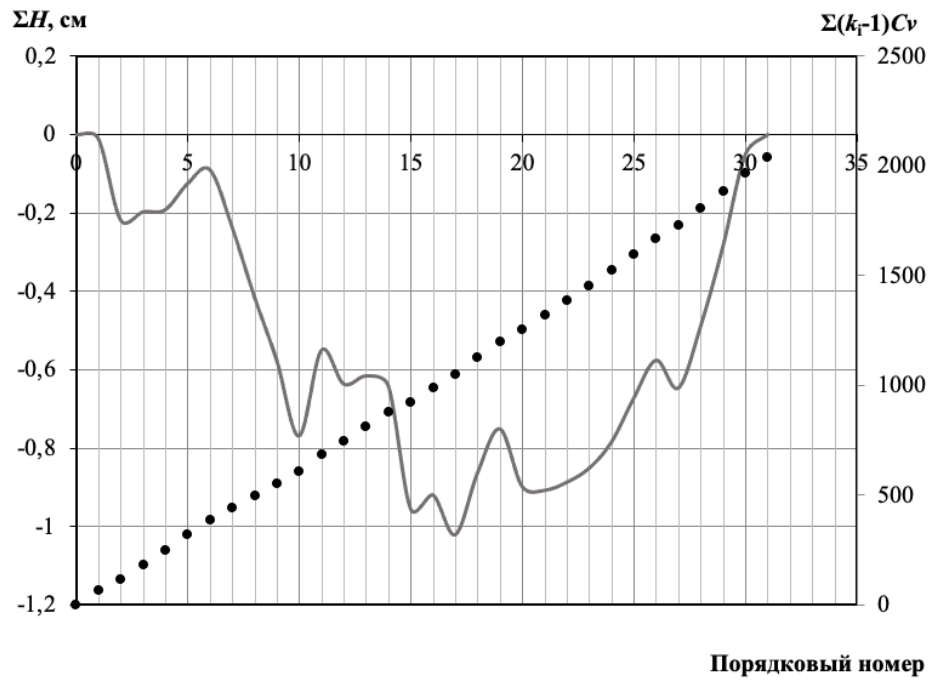


Рисунок Г.23 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Большое Михайловское.

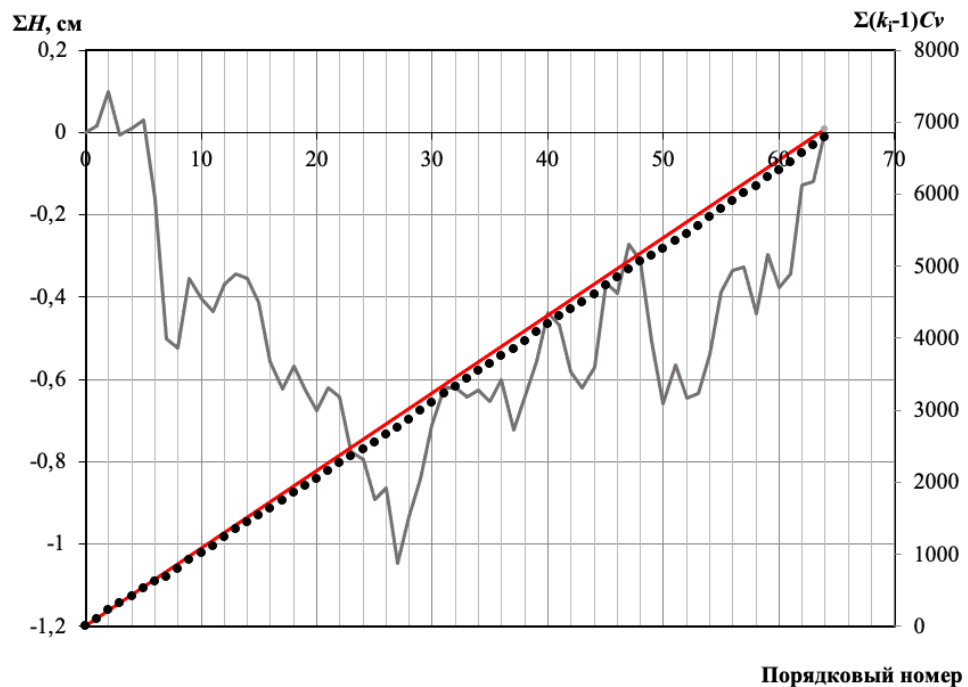


Рисунок Г.24 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Верхнее Куйто.

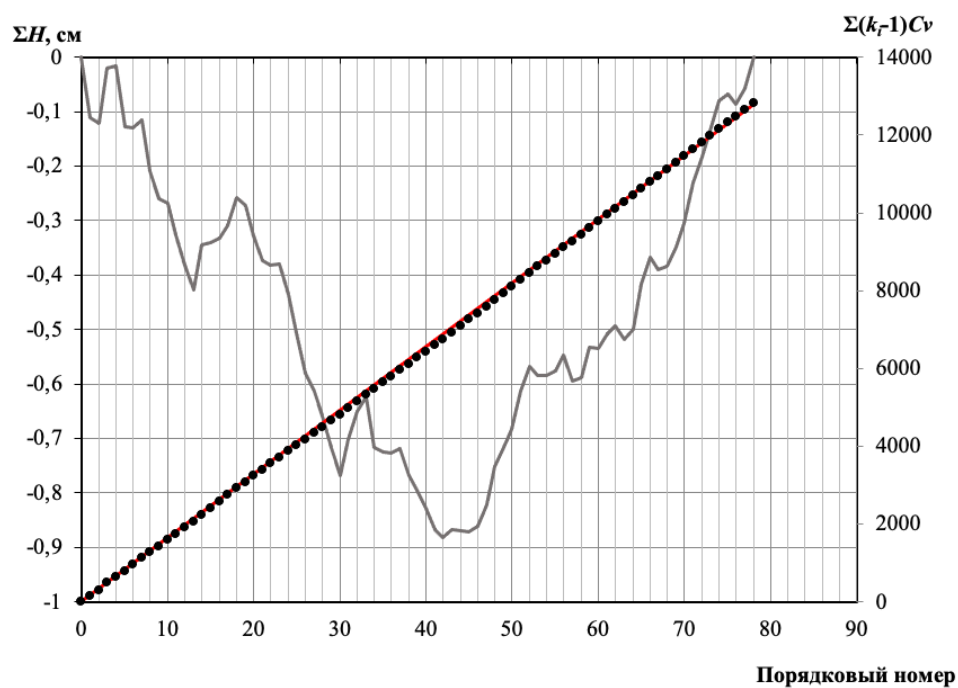


Рисунок Г.25 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Долгое.

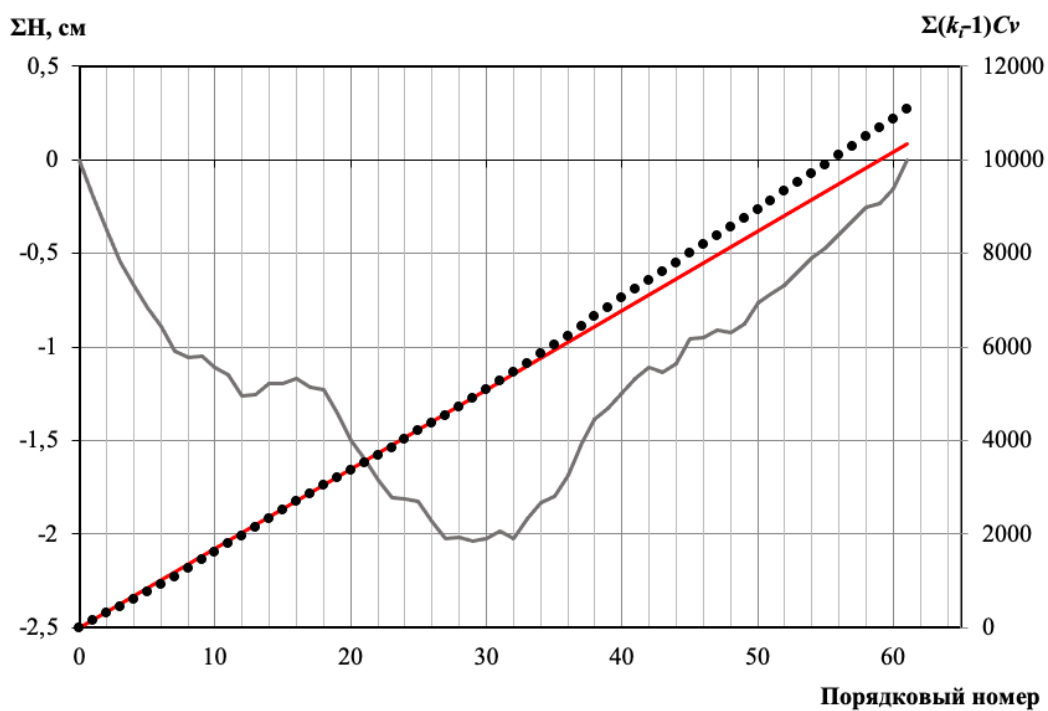


Рисунок Г.26 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Коробожа.

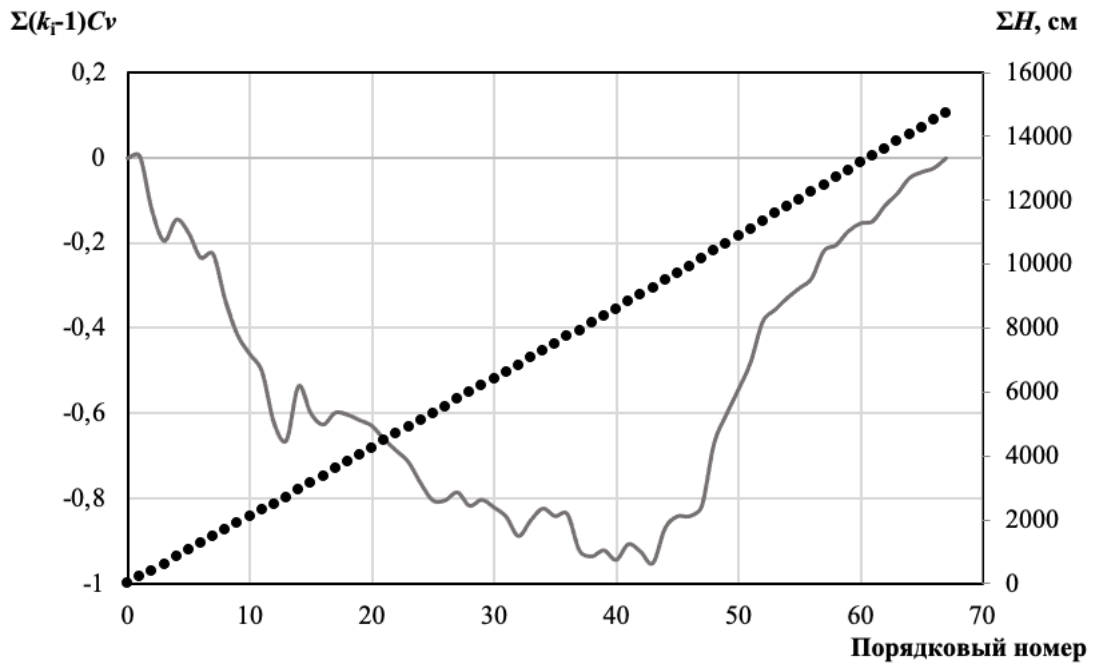


Рисунок Г.27 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Куэтсь-ярви.

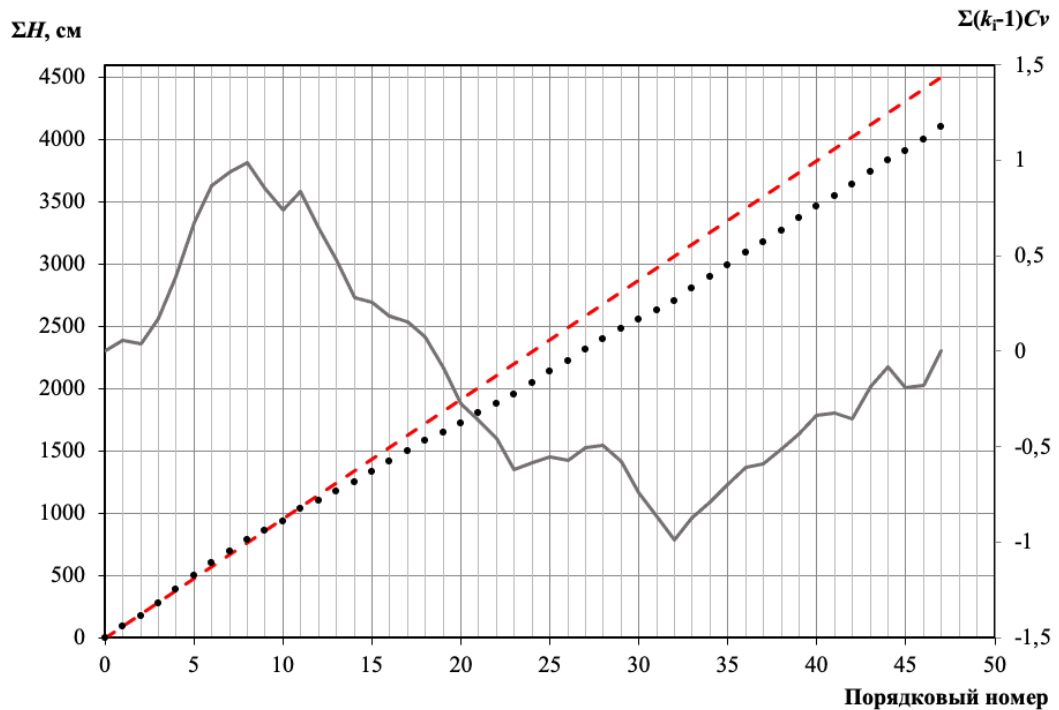


Рисунок Г.28 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Лекшм-озеро.

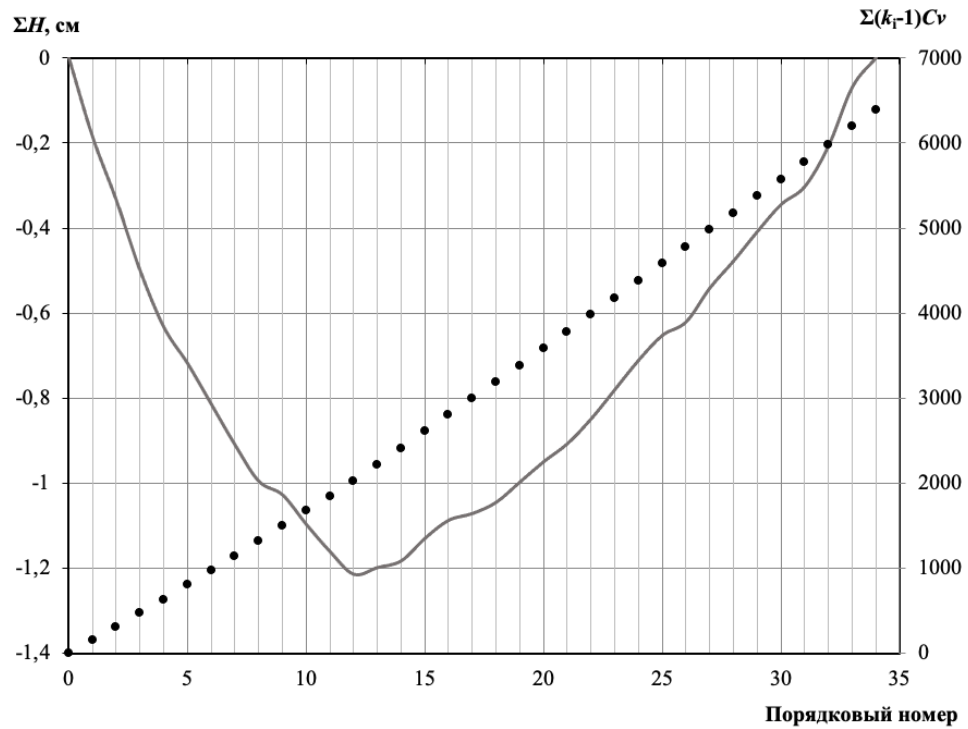


Рисунок Г.29 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Остречье.



Рисунок Г.30 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Пелено.

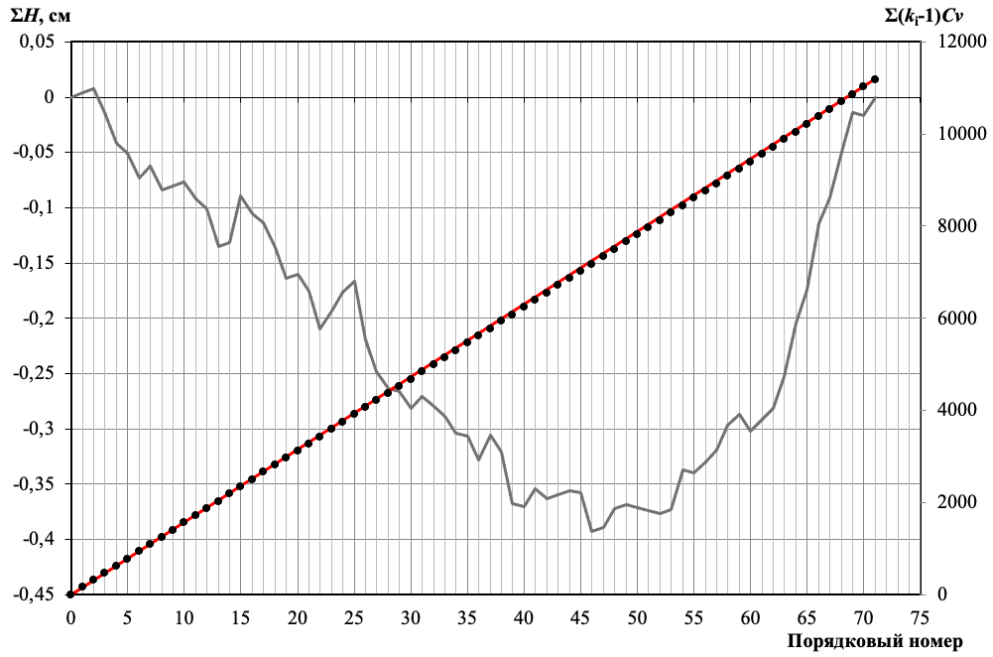


Рисунок Г.31 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Пермус-озеро.

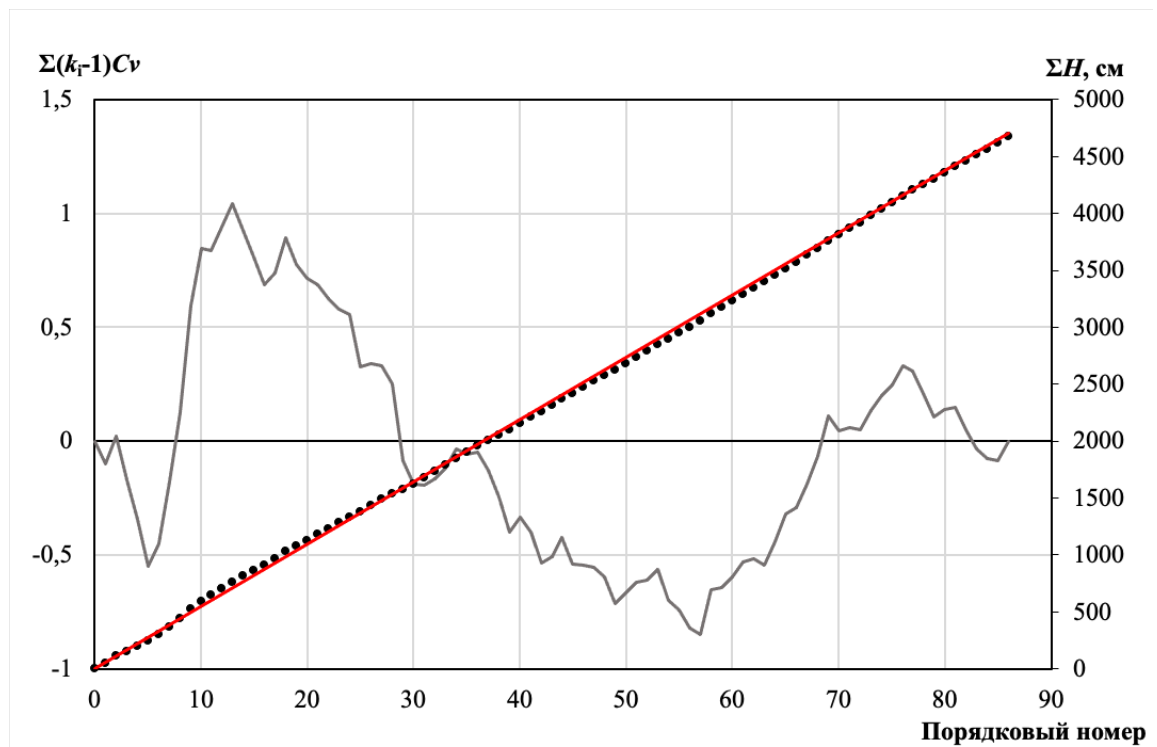


Рисунок Г.32 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Пулозеро.

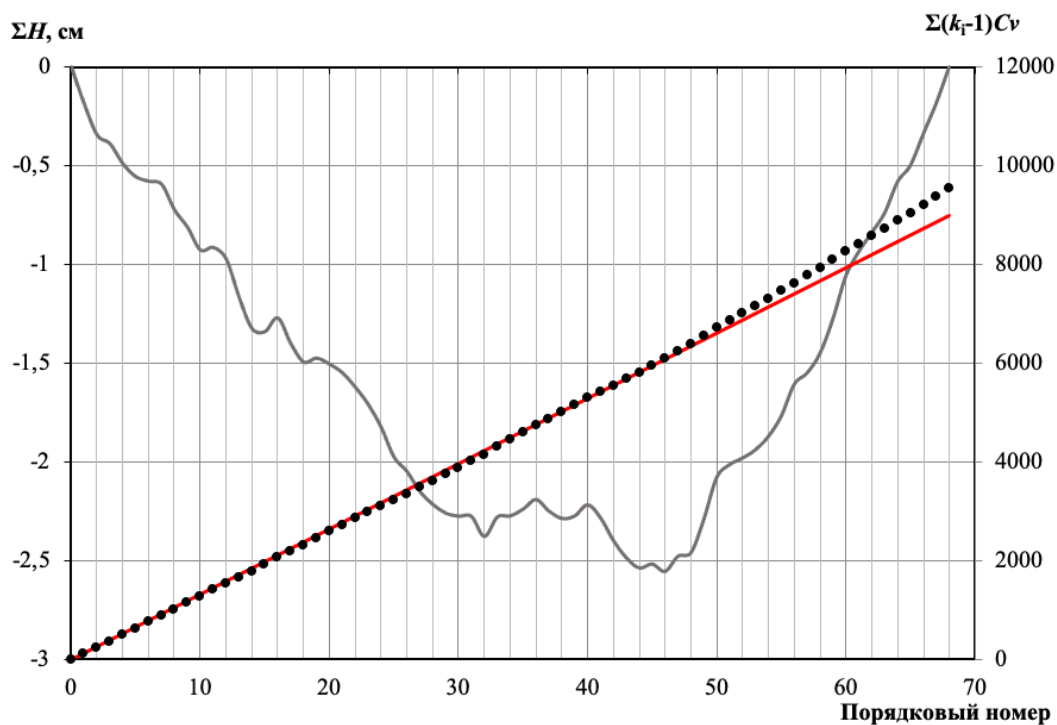


Рисунок Г.33 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Ругозеро.

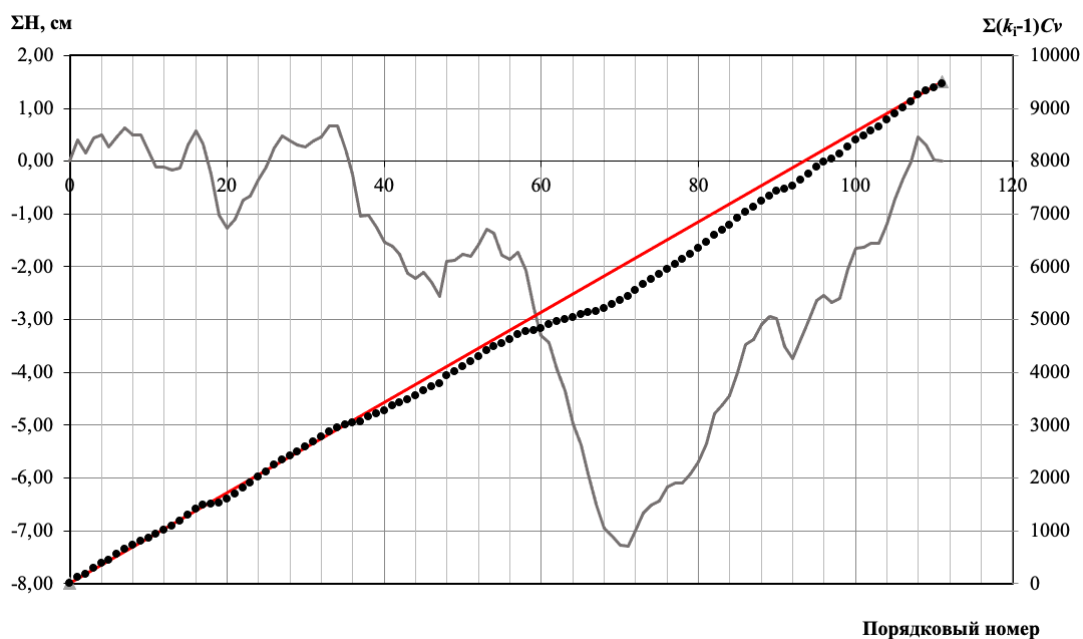


Рисунок Г.34 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Селигер.

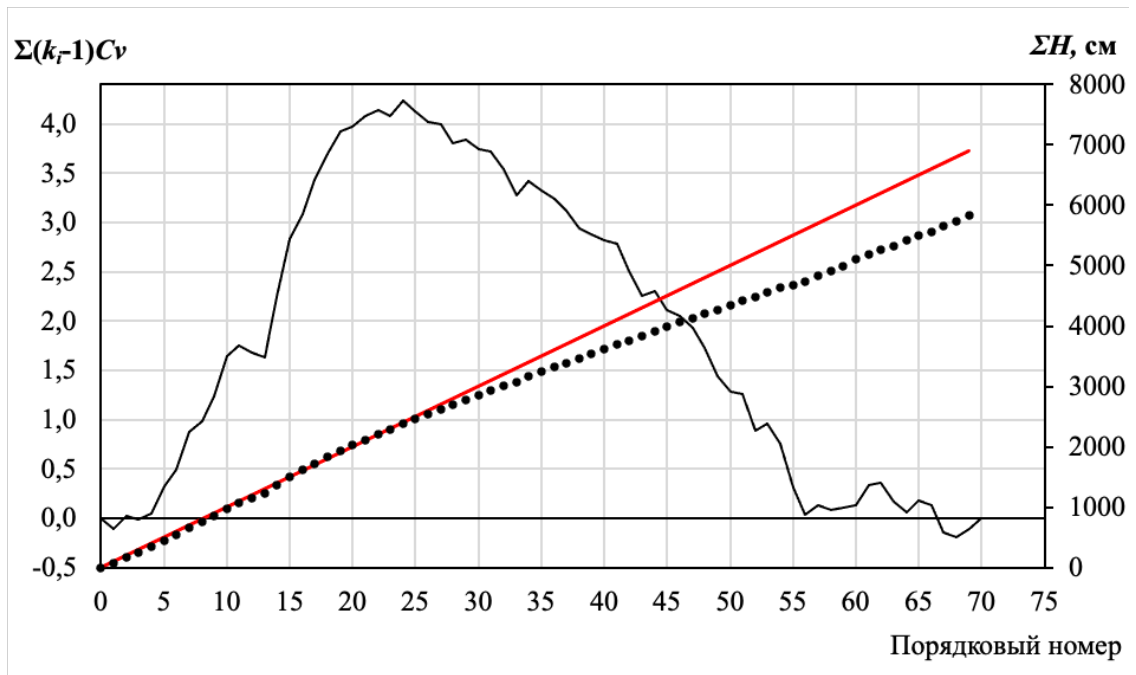


Рисунок Г.35 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Тулмозеро.

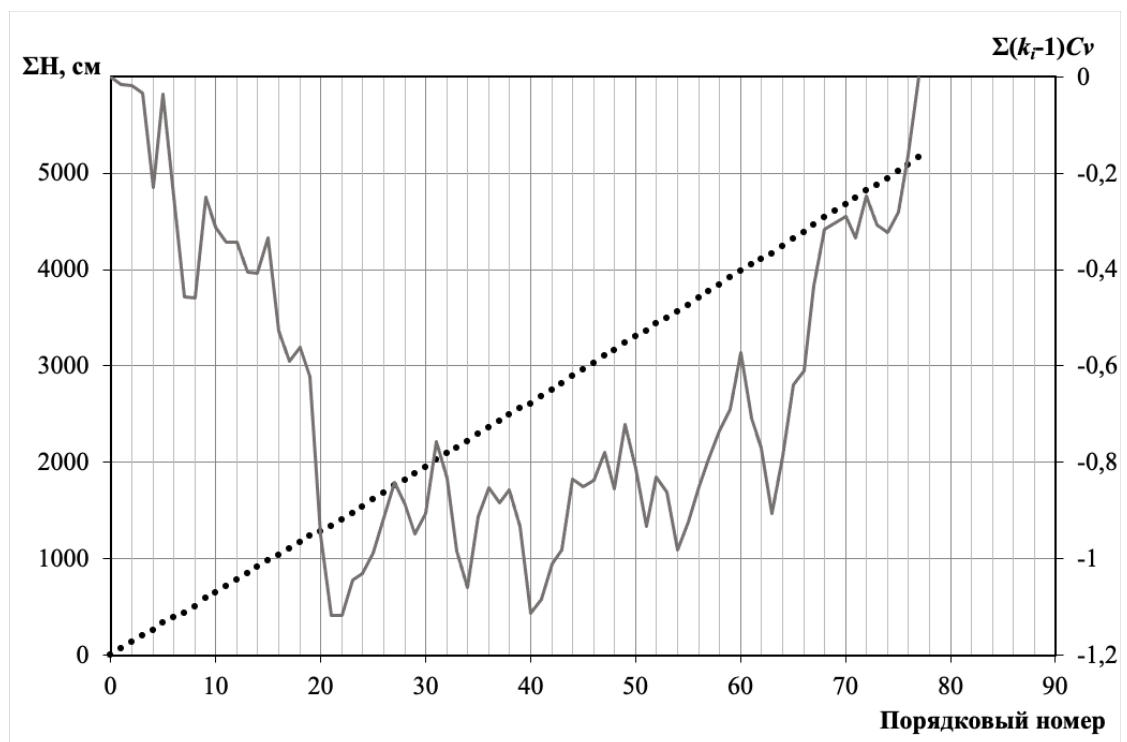


Рисунок Г.36 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Тулмозеро.

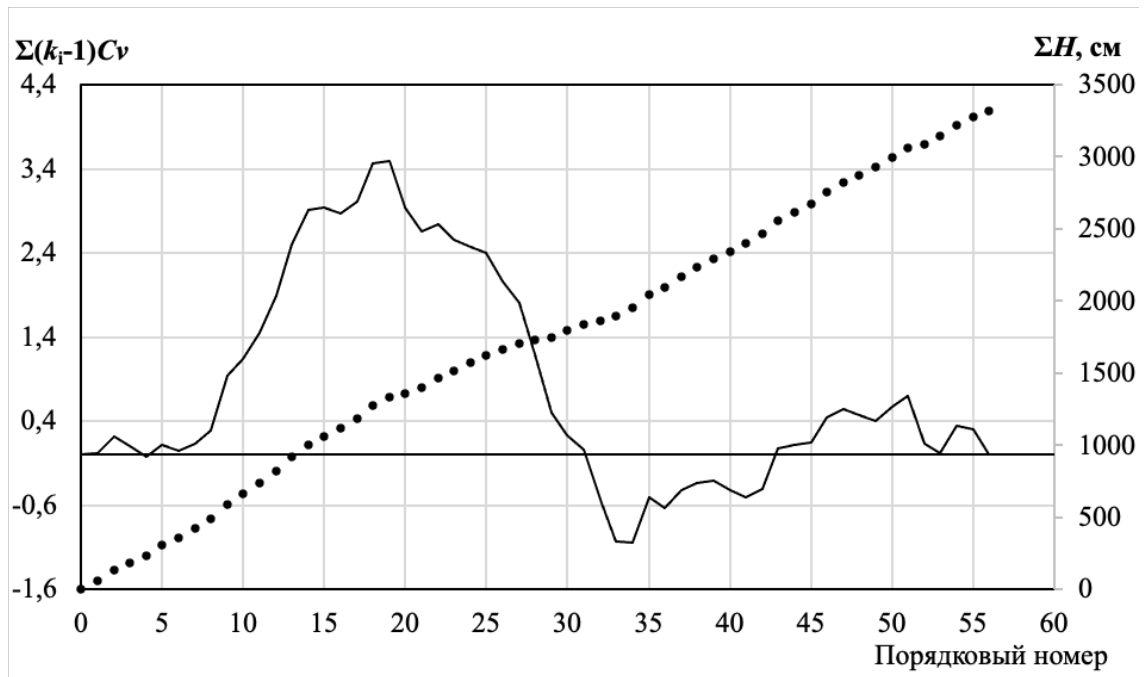


Рисунок Г.37 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Черемнецкое.

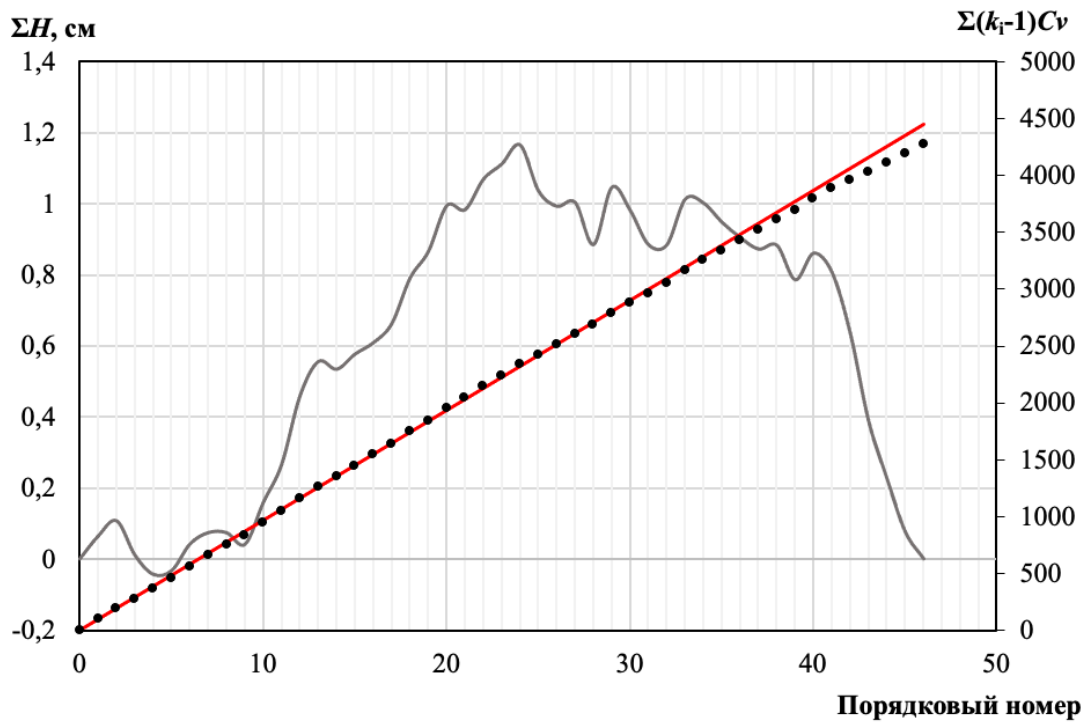


Рисунок Г.38 – Интегральные и нормированные разностно-интегральные кривые (РИК) модульных коэффициентов средних годовых уровней воды оз. Шугозеро.

Приложение Д – Результаты спектрального анализа средних годовых уровней озер

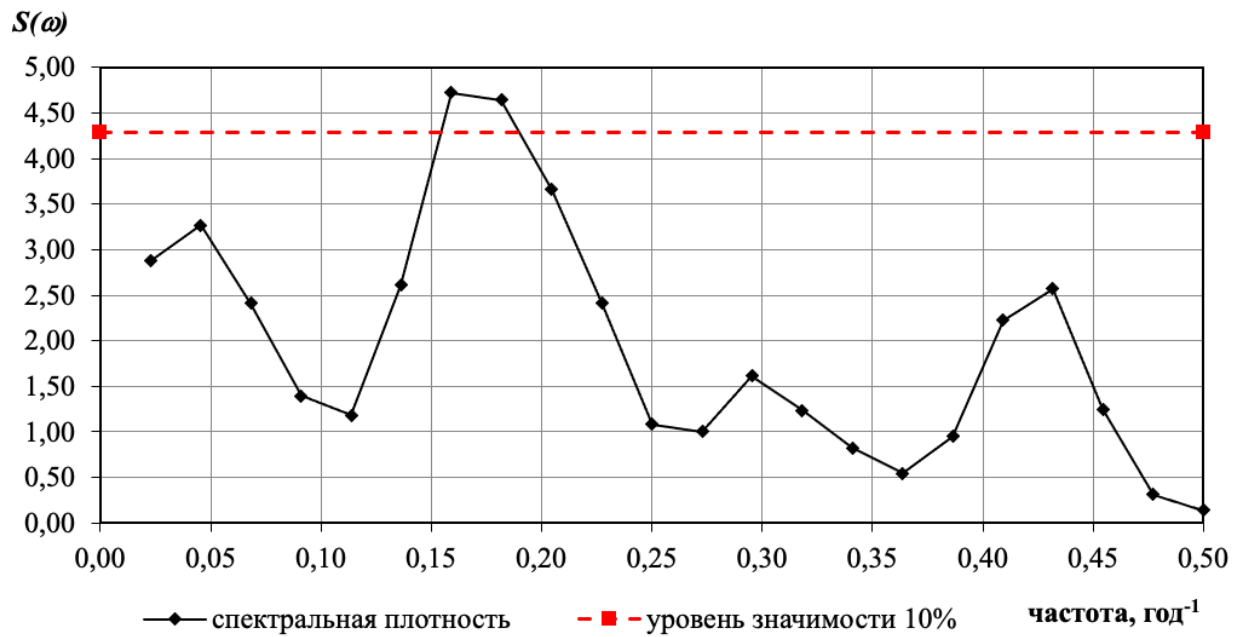


Рисунок Д.1 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Валдайское.

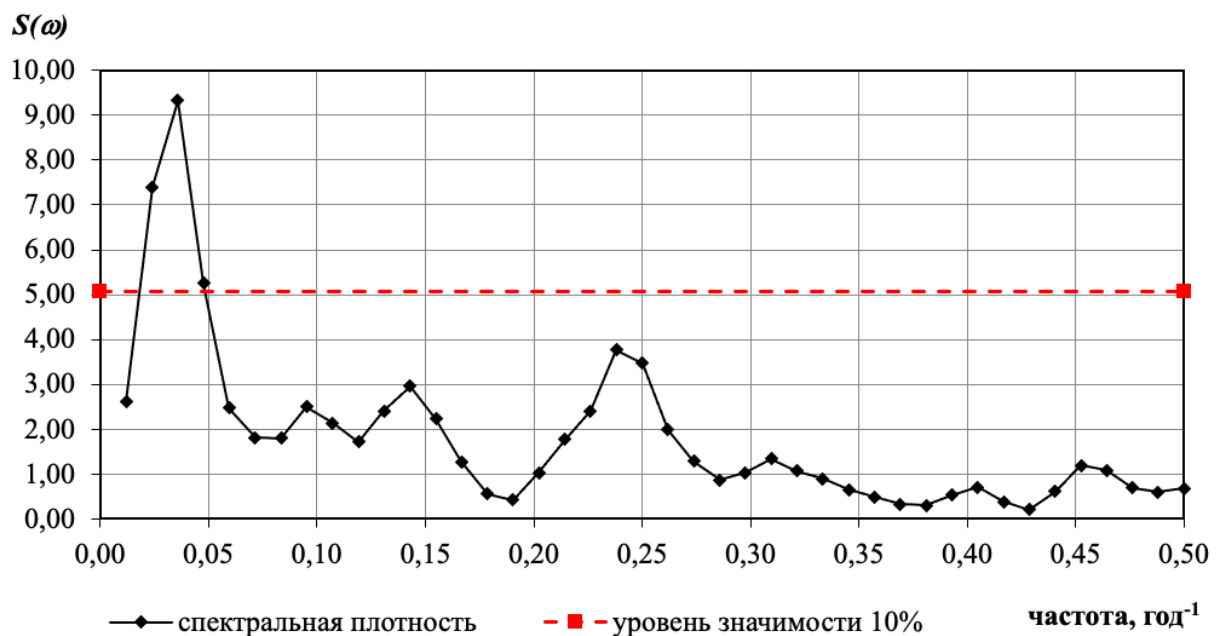


Рисунок Д.2 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Ильмень.

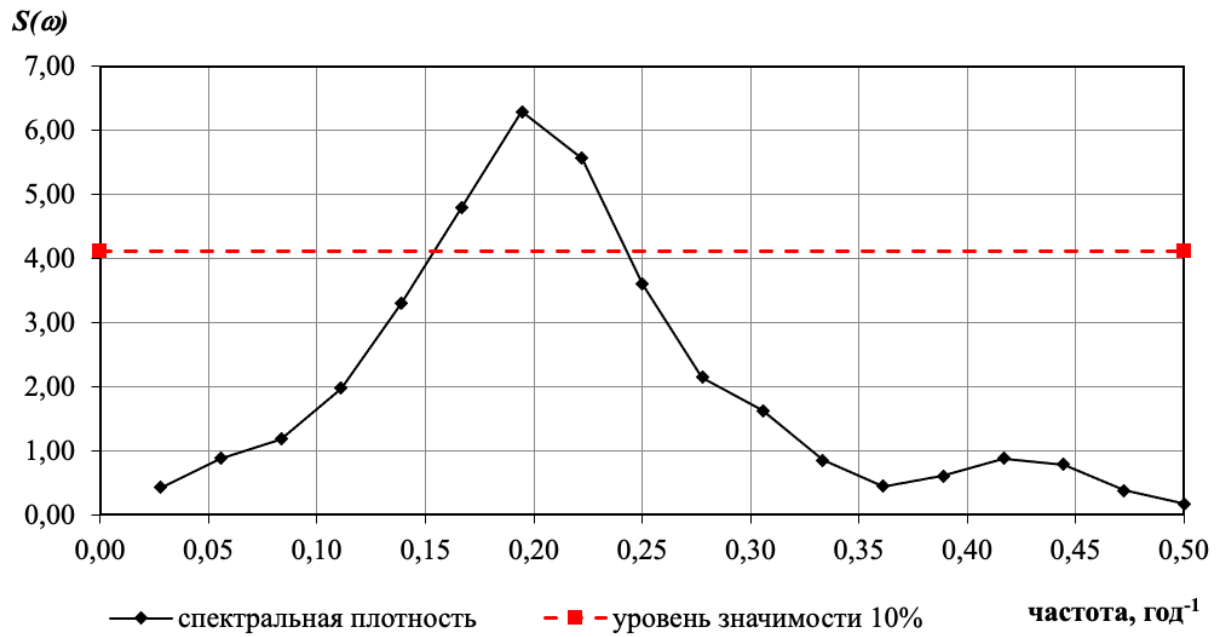


Рисунок Д.3 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Гимольское.

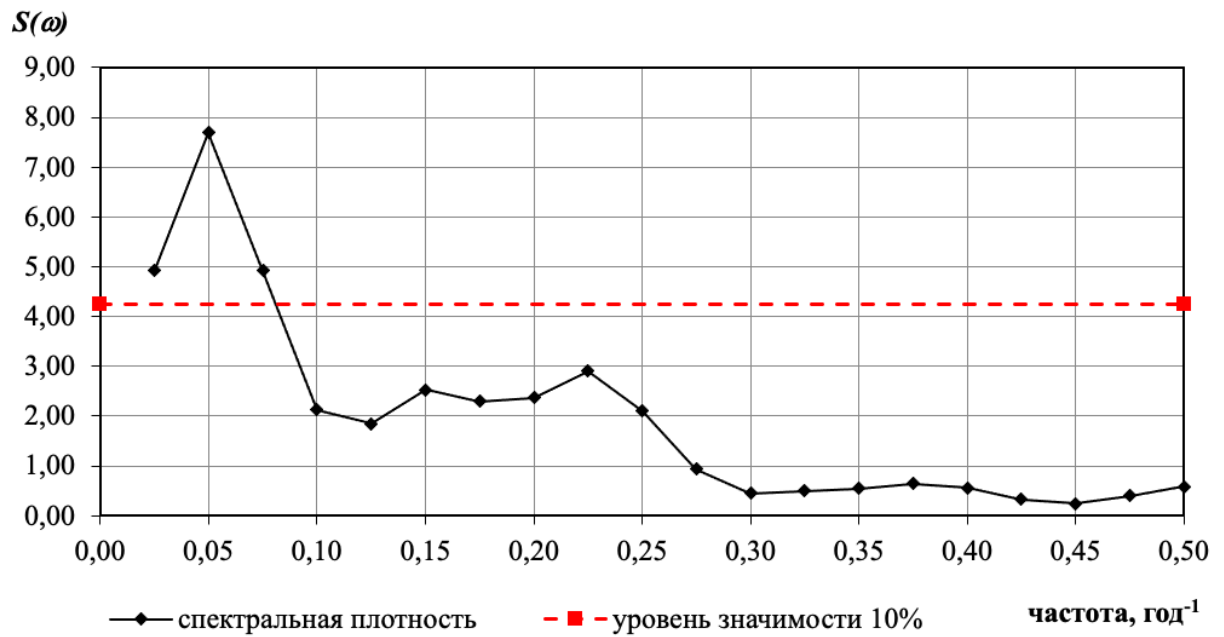


Рисунок Д.4 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Глубокое.

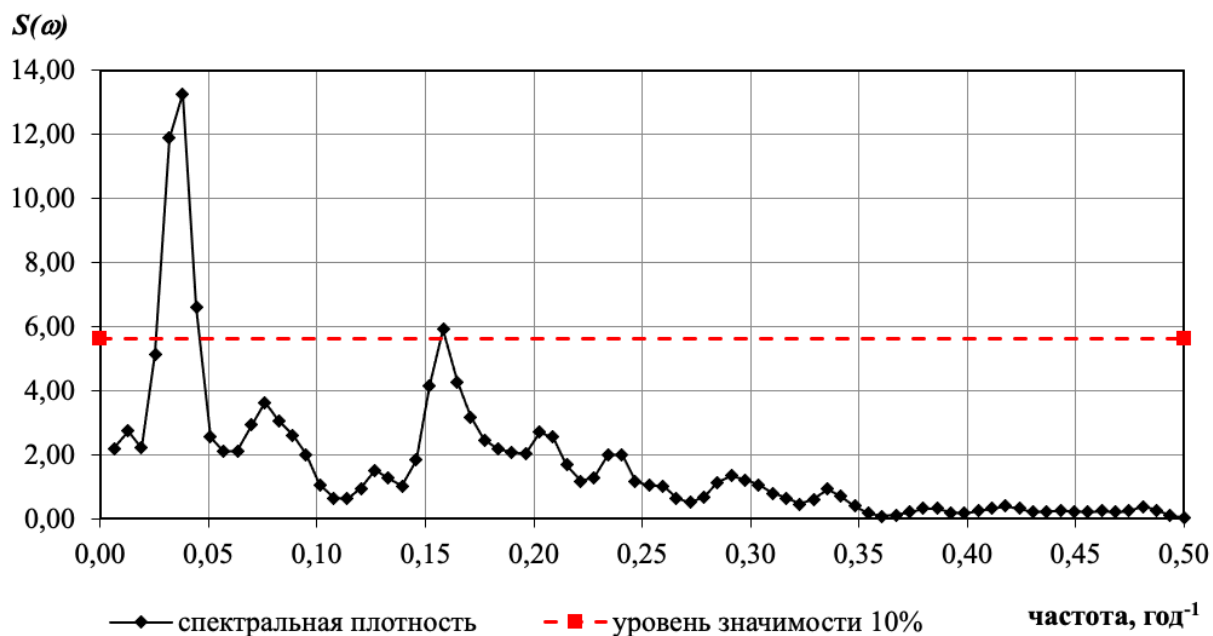


Рисунок Д.5 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Ладожское.

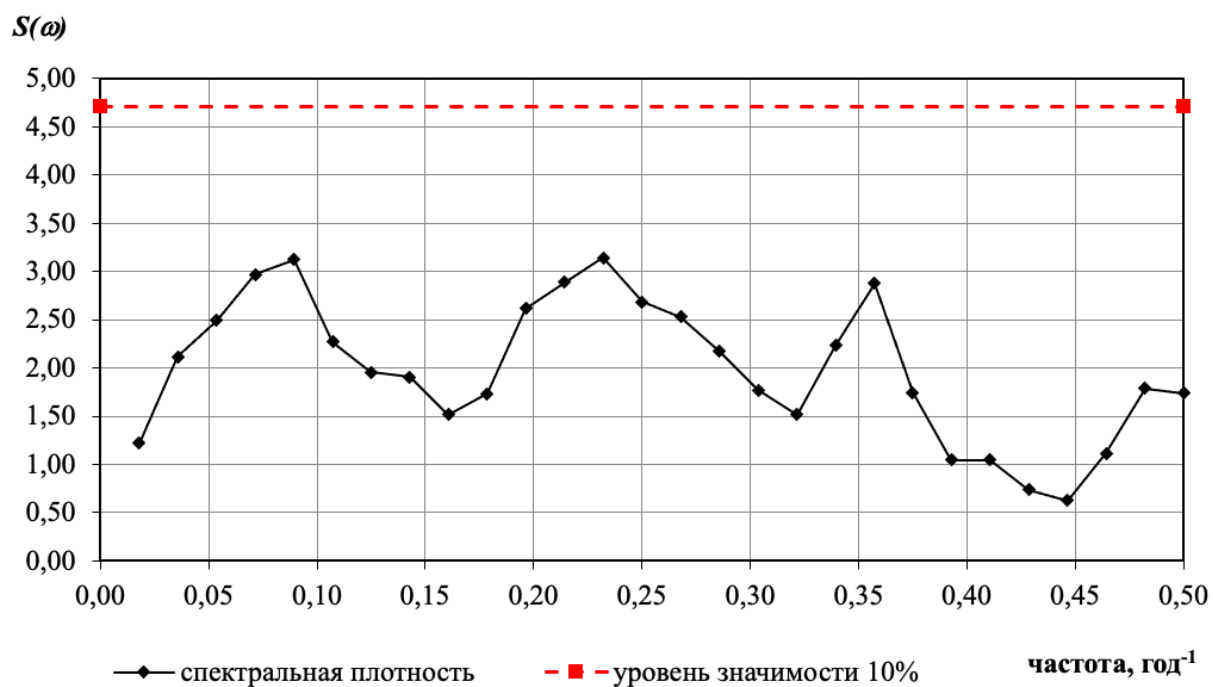


Рисунок Д.6 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Лексозеро.

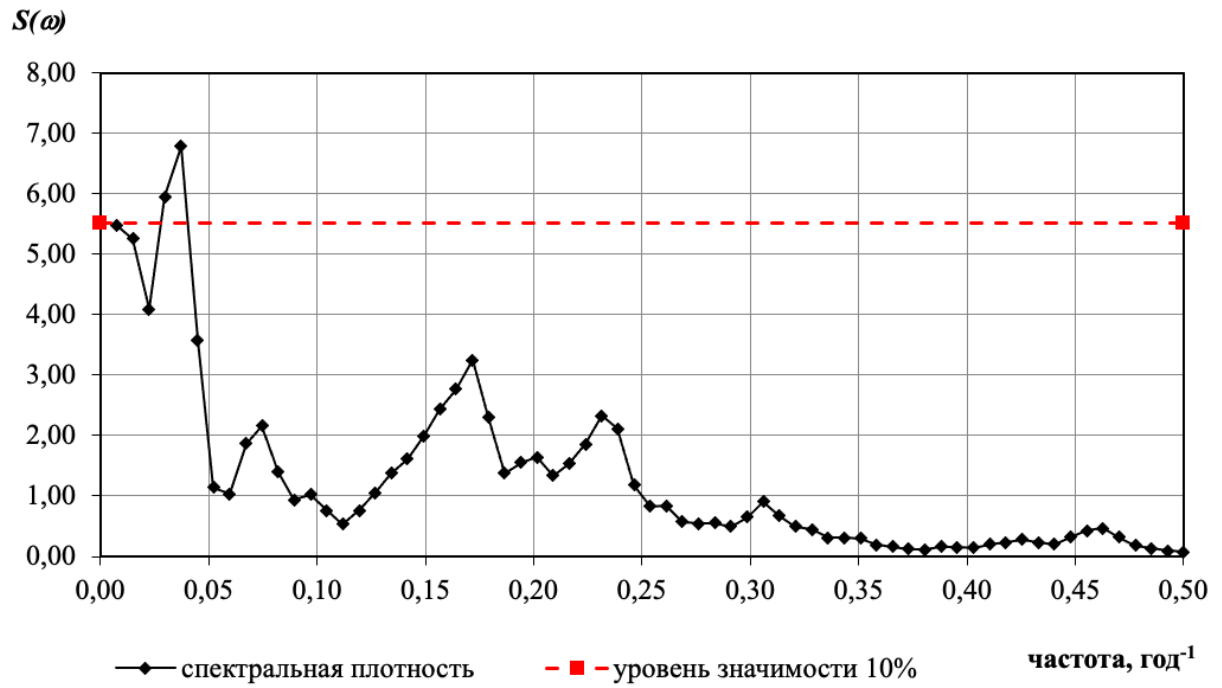


Рисунок Д.7 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Онежское.

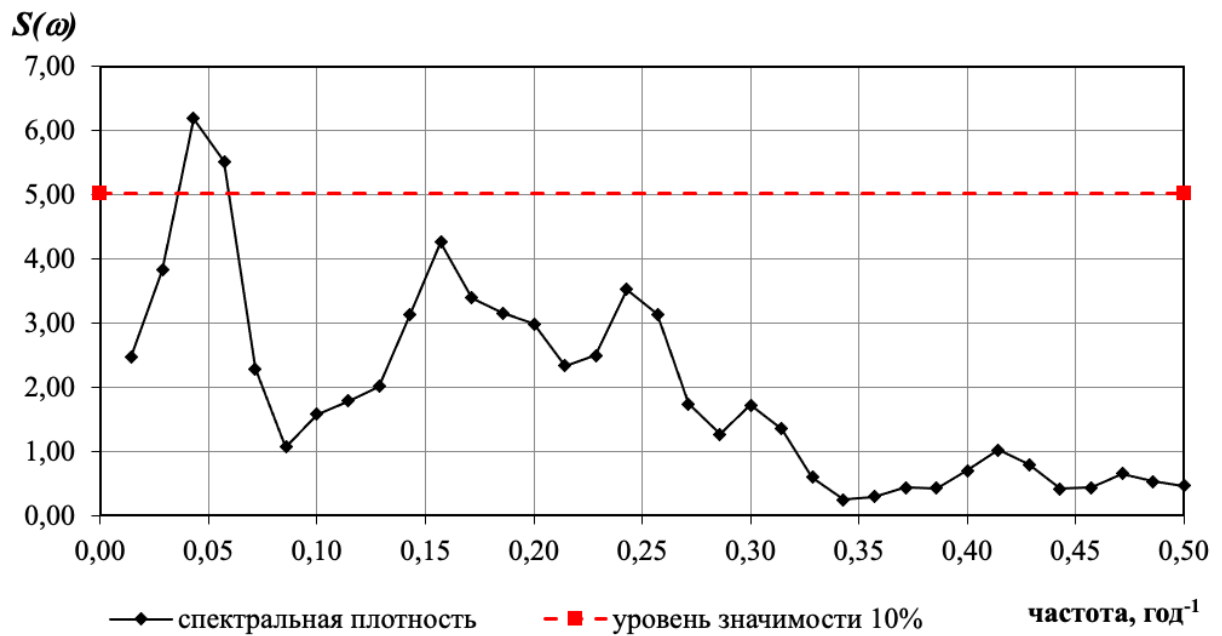


Рисунок Д.8 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Суоярви.



Рисунок Д.9 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Сяберо.



Рисунок Д.10 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Сямозеро.

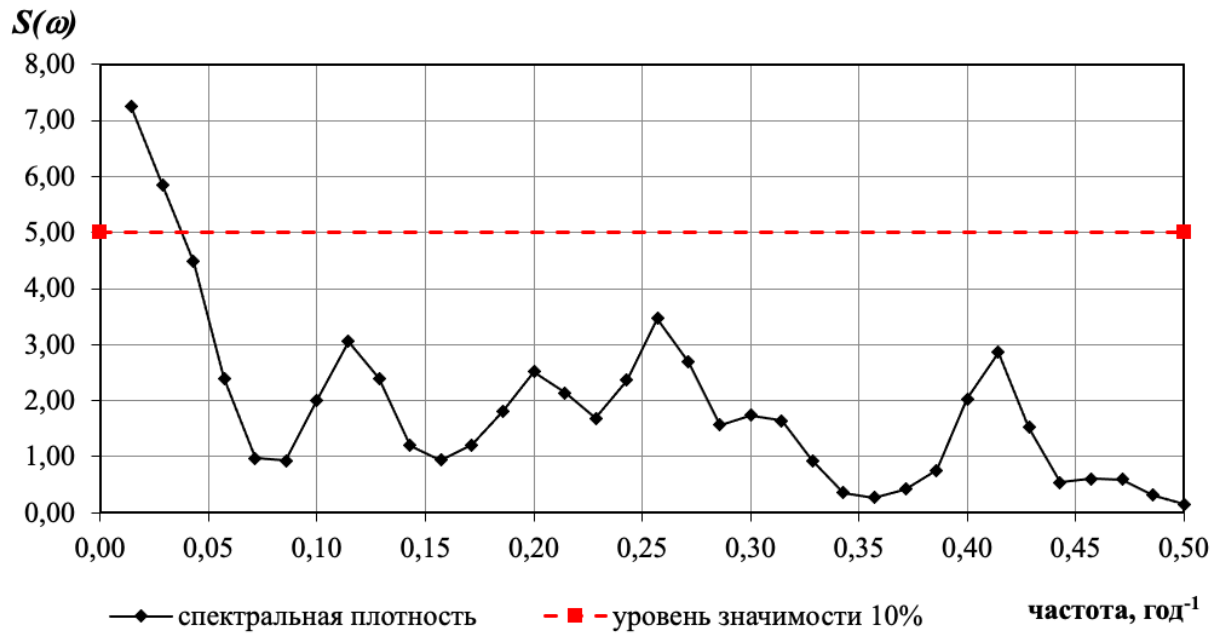


Рисунок Д.11 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Тулмозеро.

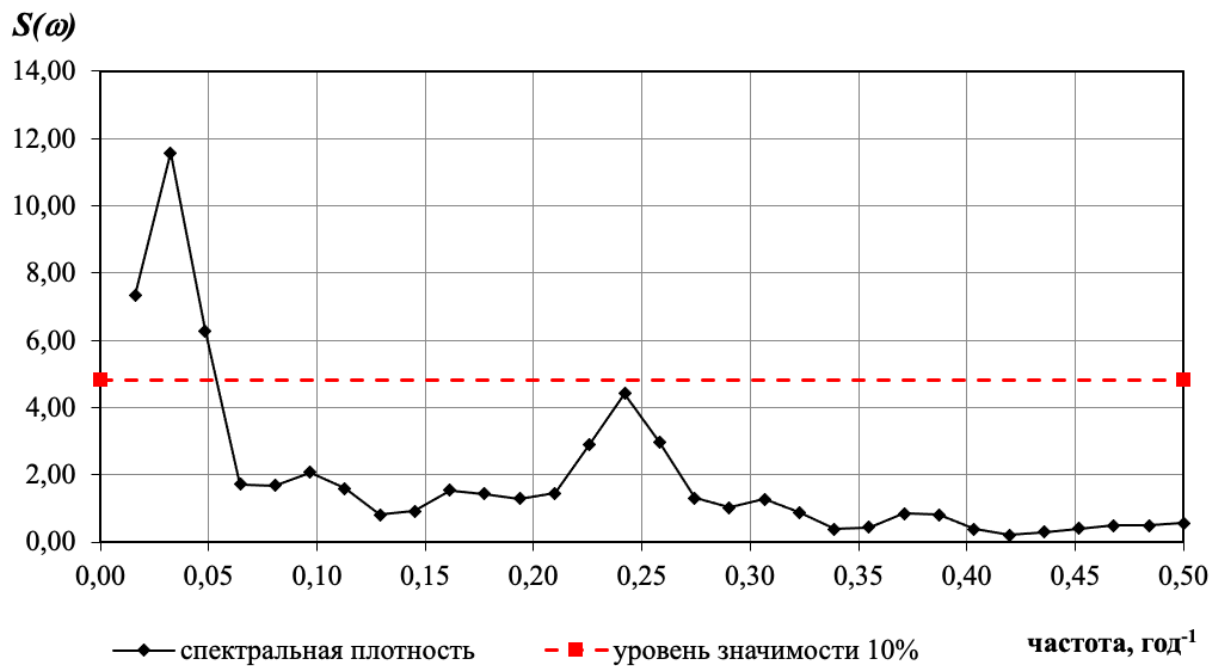


Рисунок Д.12 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Черемнецкое.

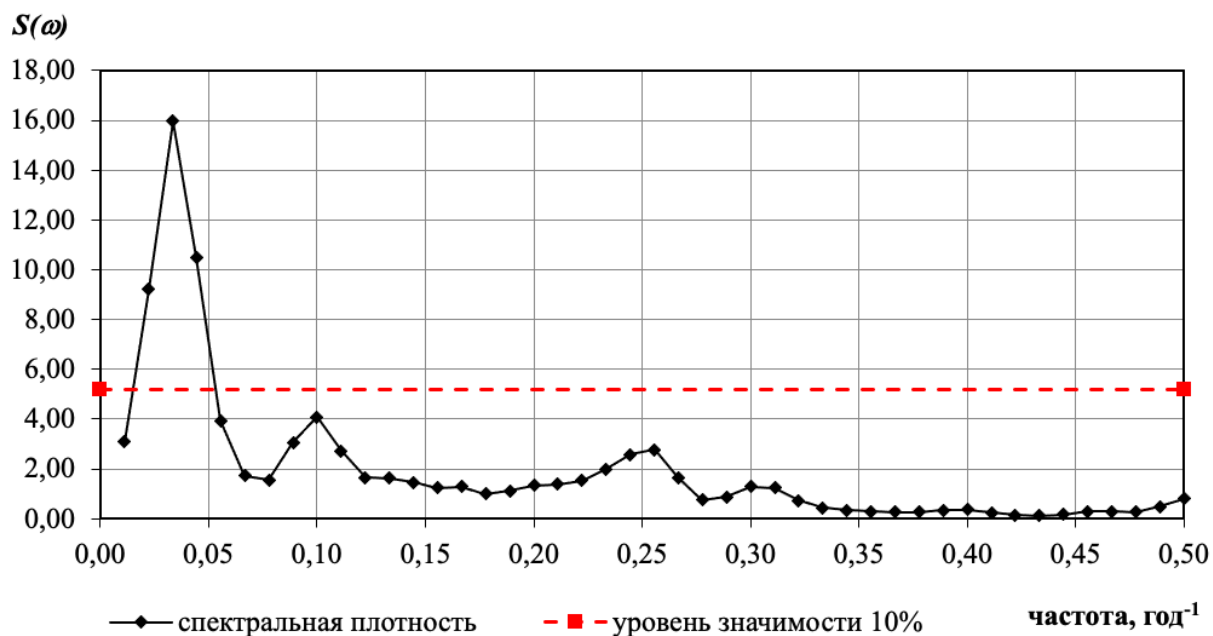


Рисунок Д.13 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Чудское.

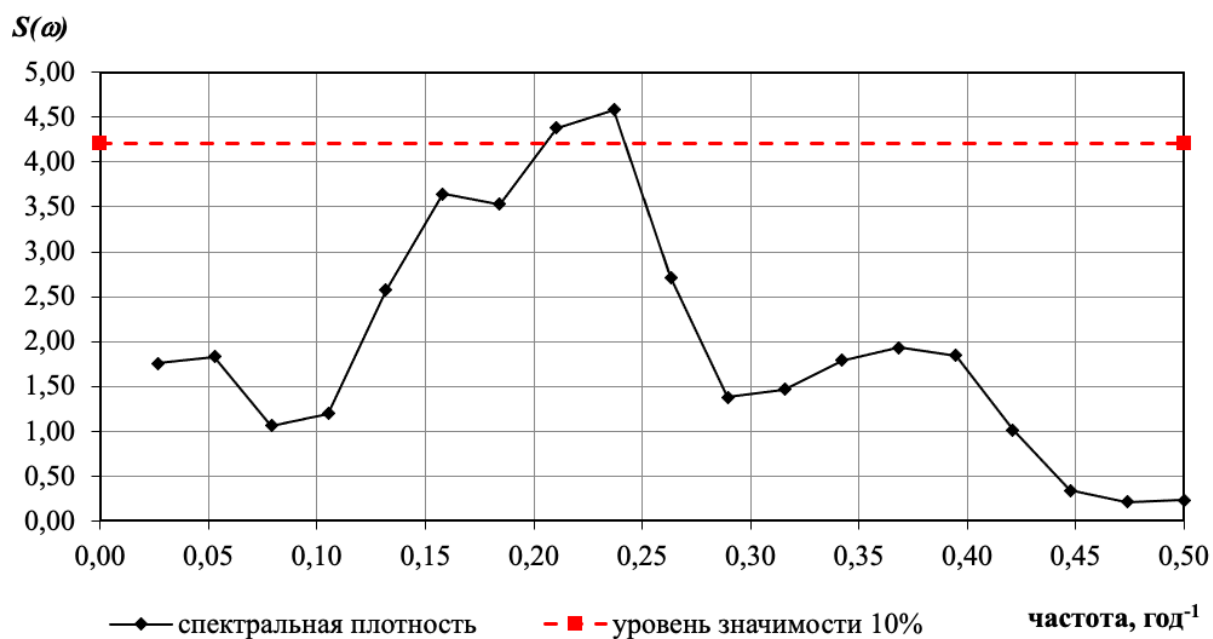


Рисунок Д.14 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Янисъярви.

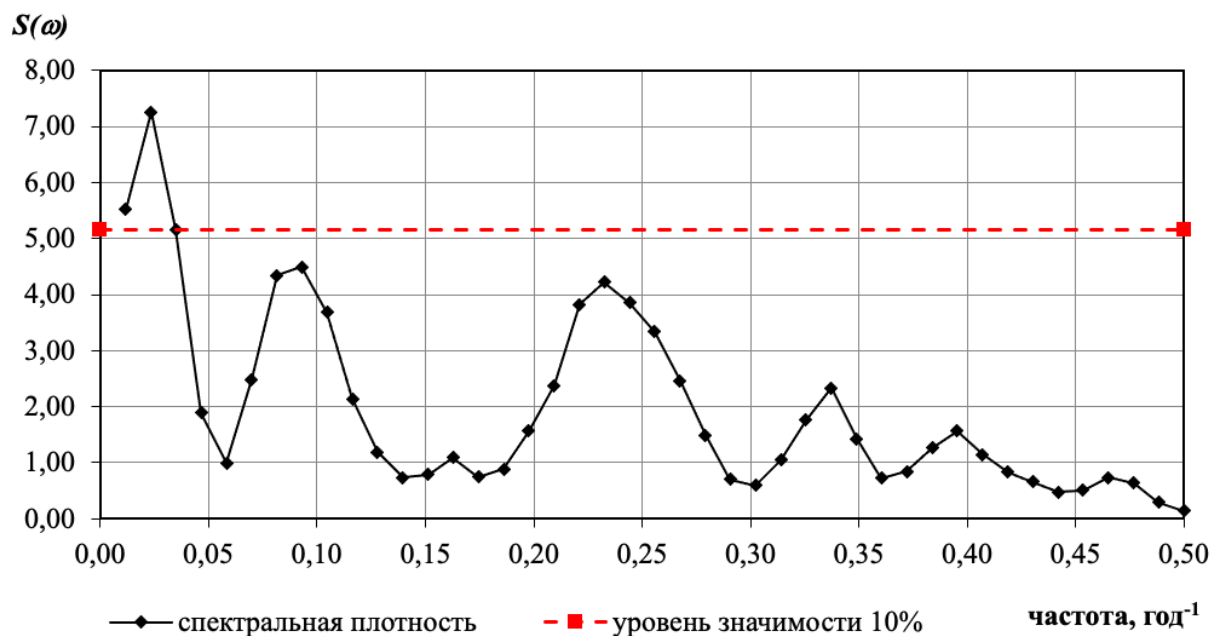


Рисунок Д.15 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Щучье.

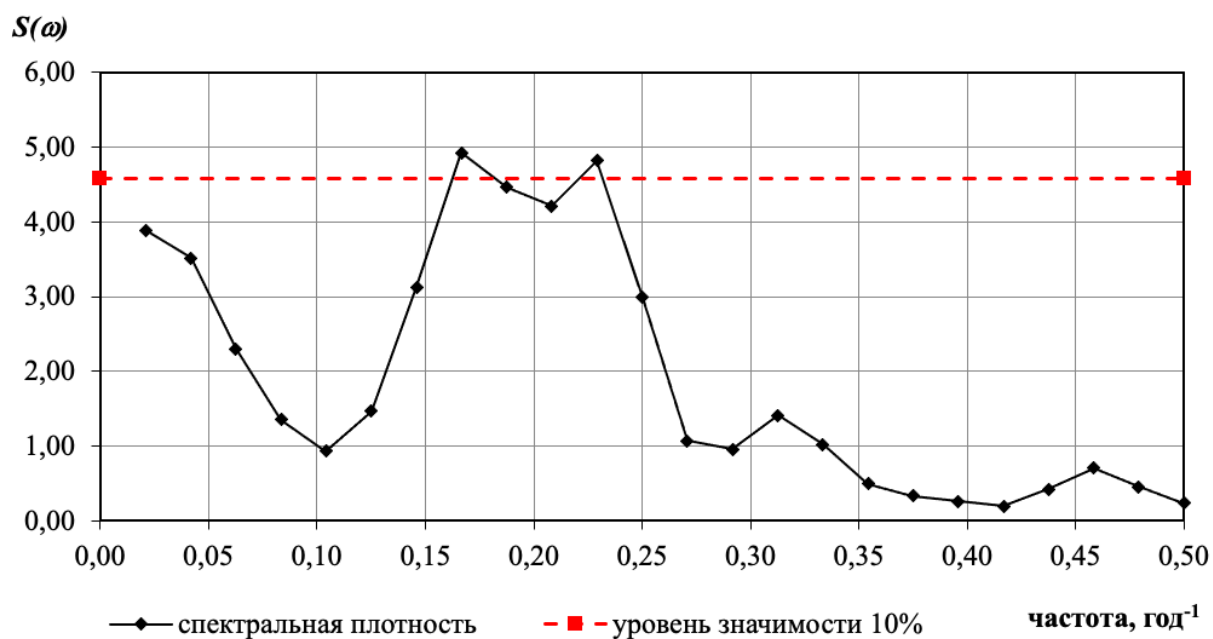


Рисунок Д.16 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Лижмозеро.

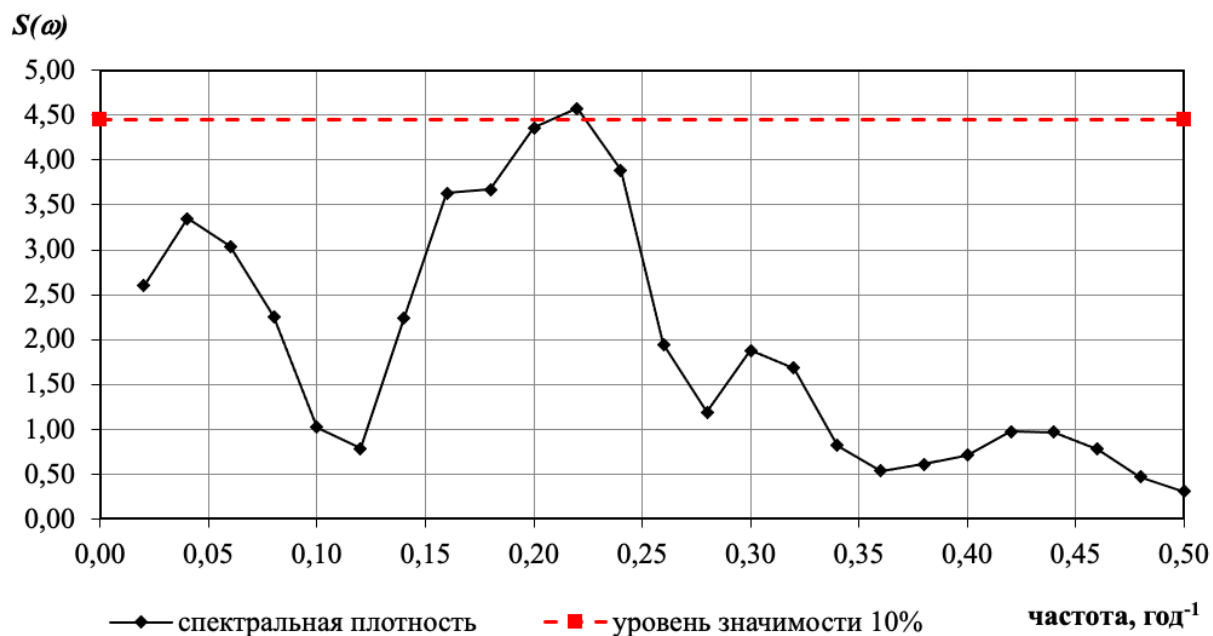


Рисунок Д.17 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Линдозеро.

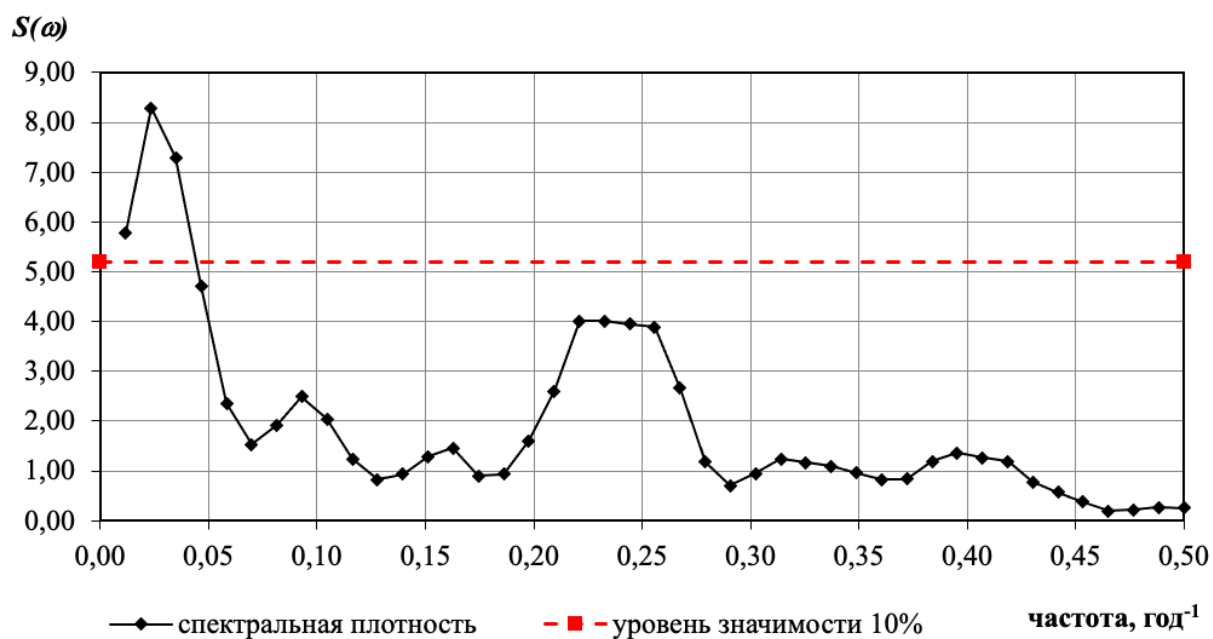


Рисунок Д.18 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Охват.

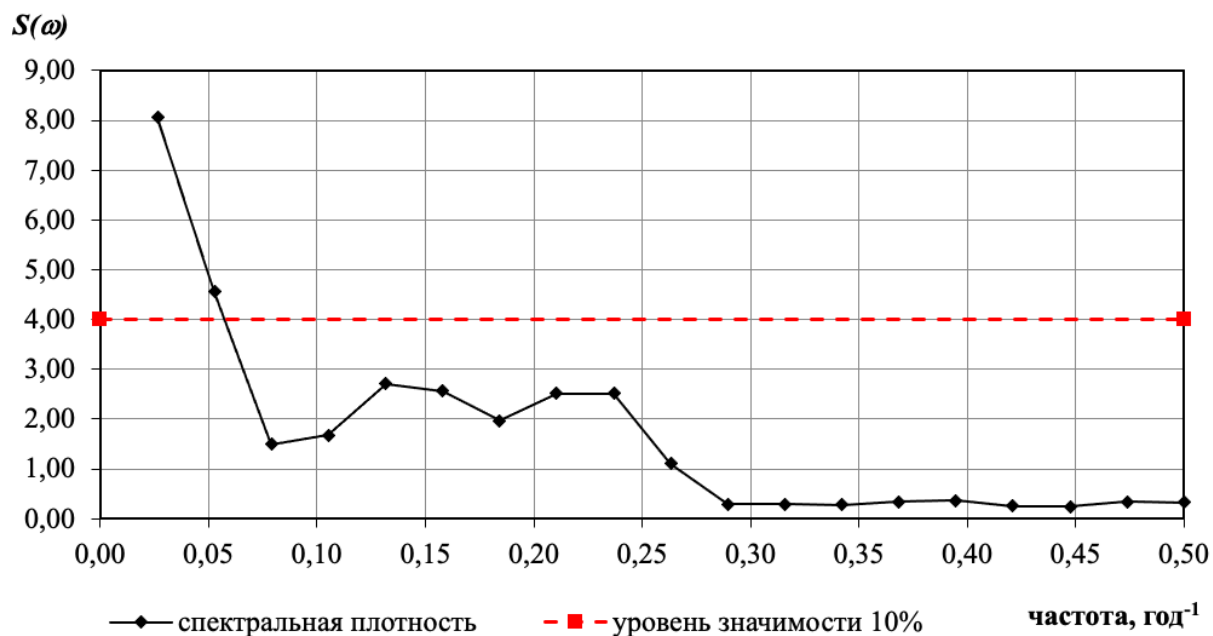


Рисунок Д.19 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Самро.

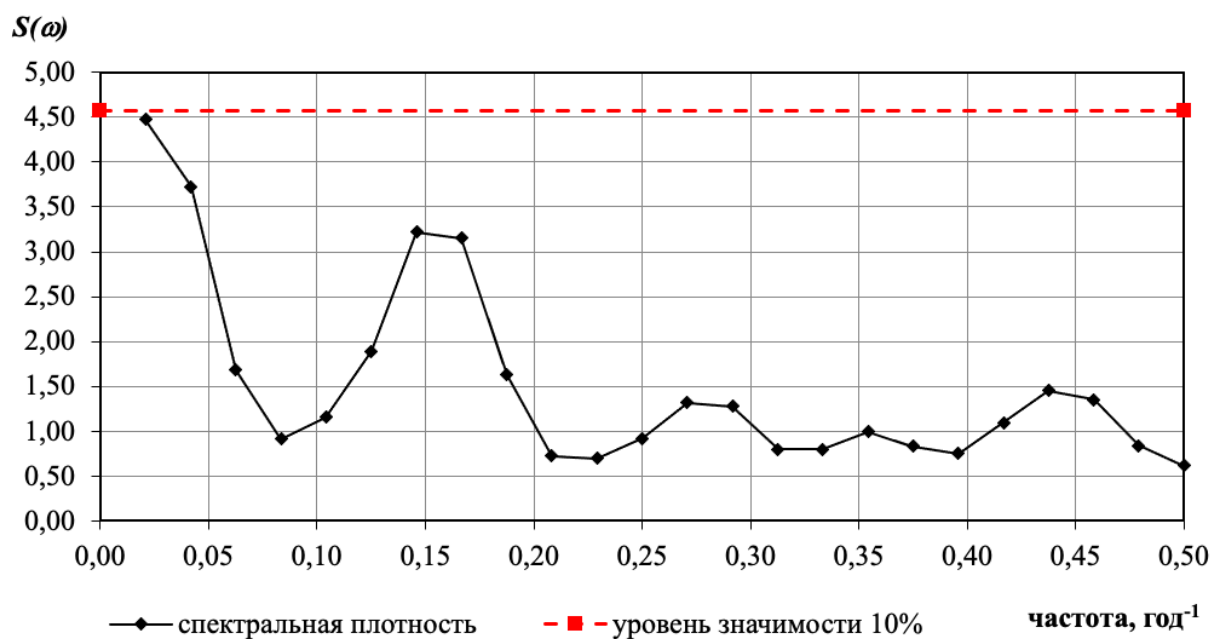


Рисунок Д.20 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Шугозеро.

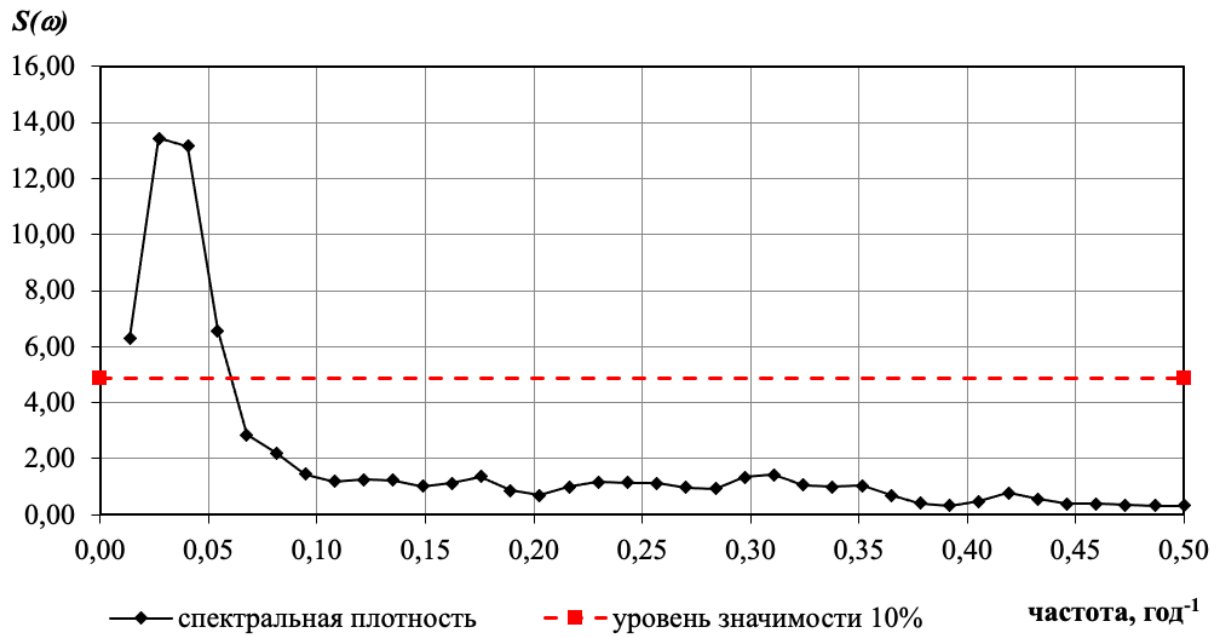


Рисунок Д.21 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Коробжа.

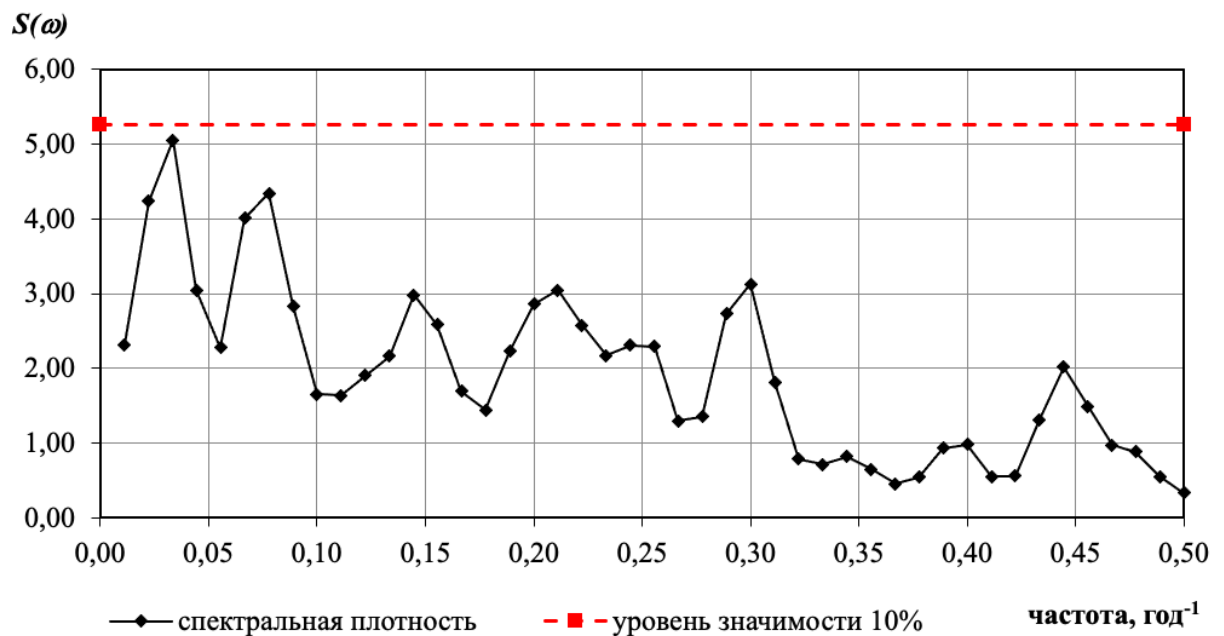


Рисунок Д.22 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Лача.



Рисунок Д.23 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Воже.

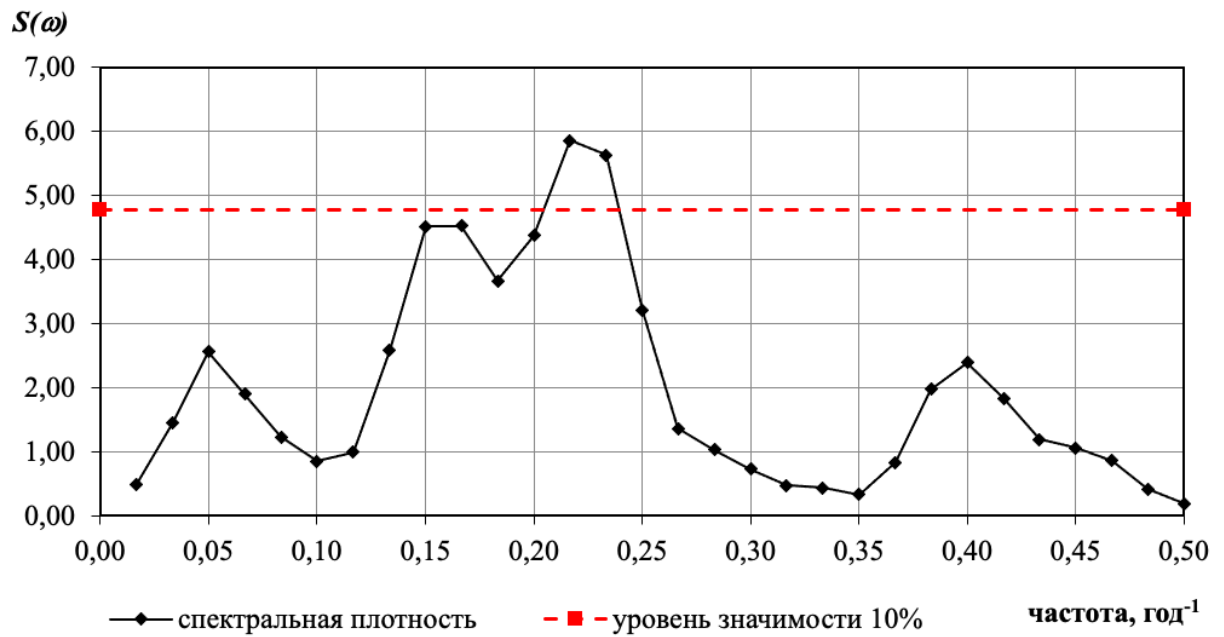


Рисунок Д.24 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Кен-озеро.

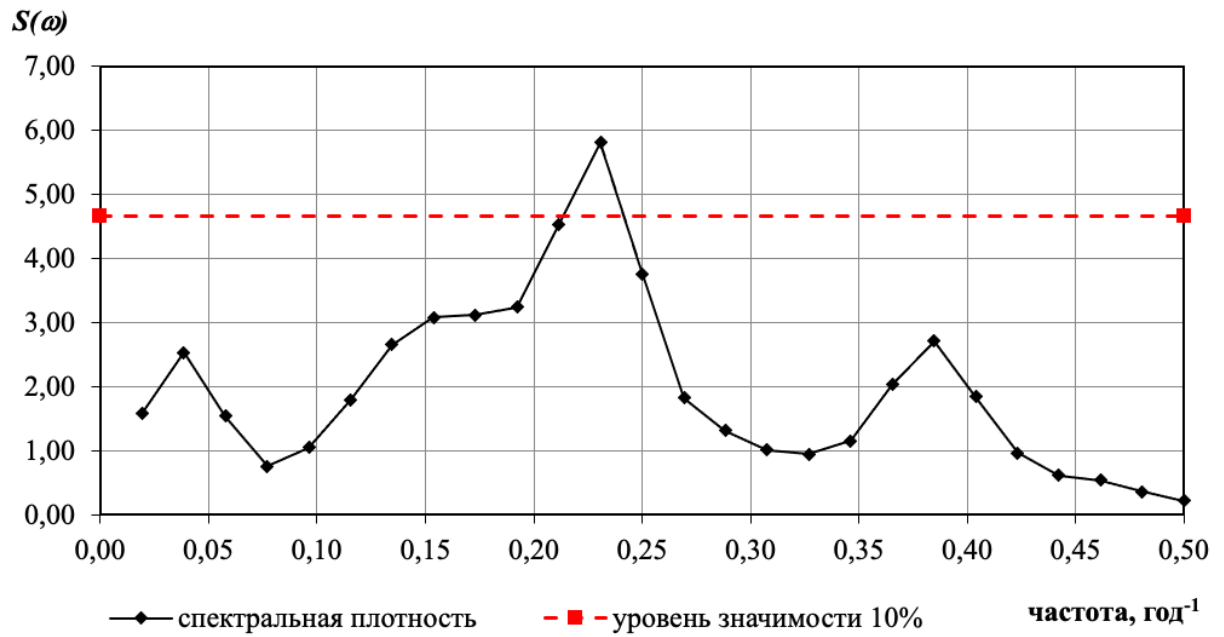


Рисунок Д.25 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Унд-озеро.

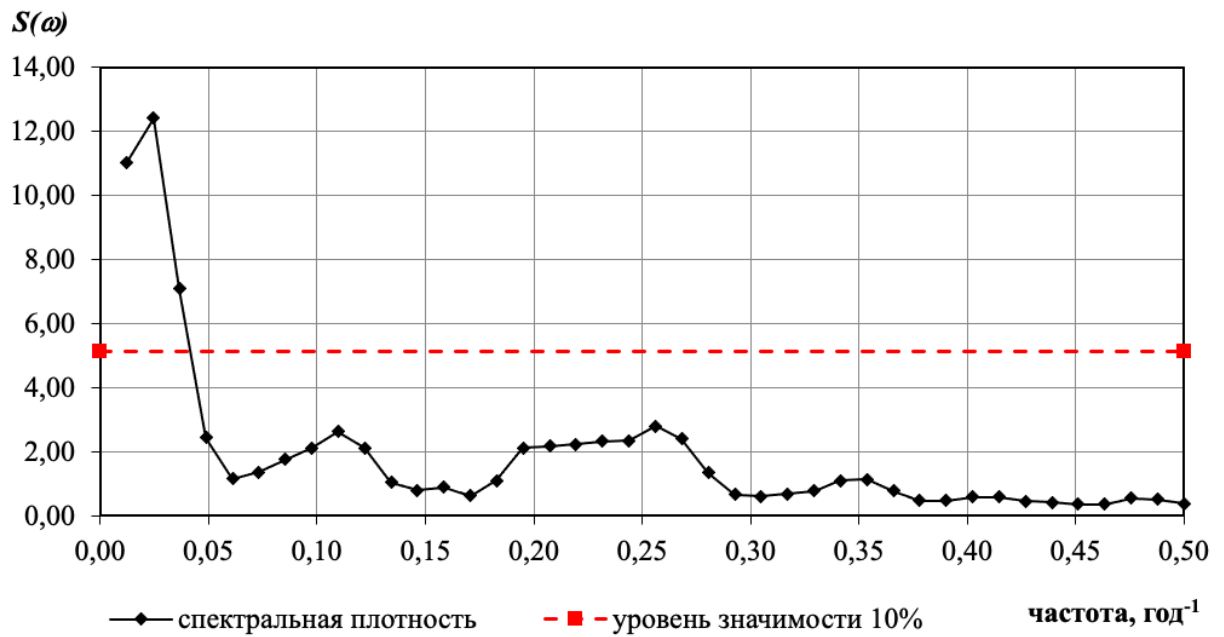


Рисунок Д.26 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Кубенское.

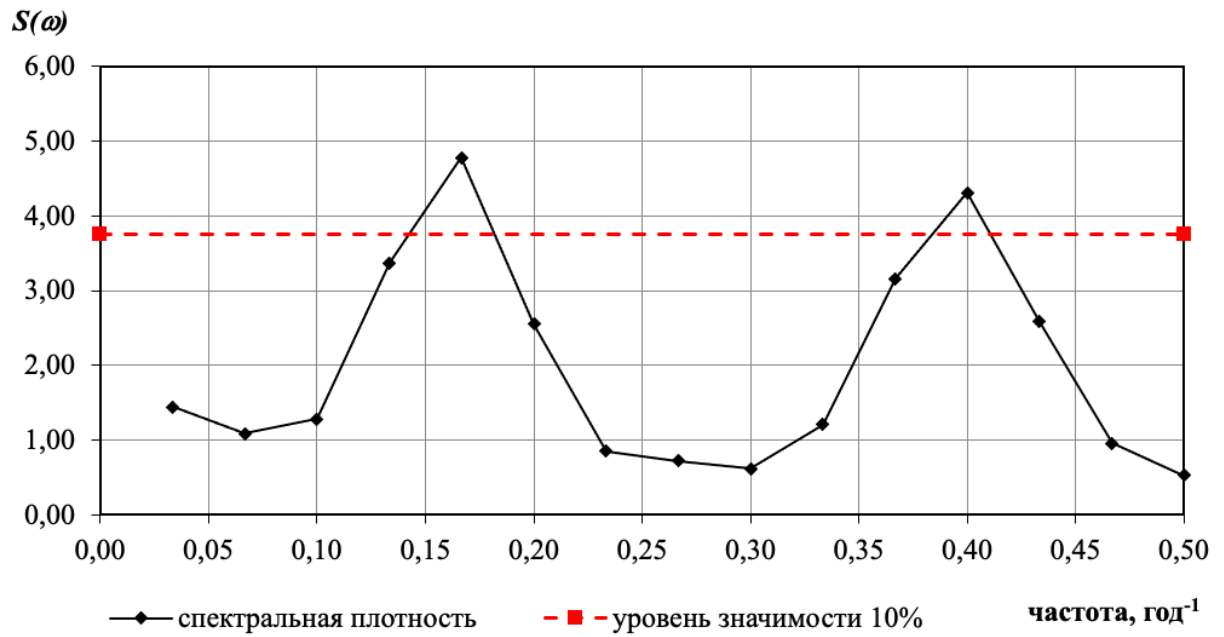


Рисунок Д.27 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Большое Михайловское.

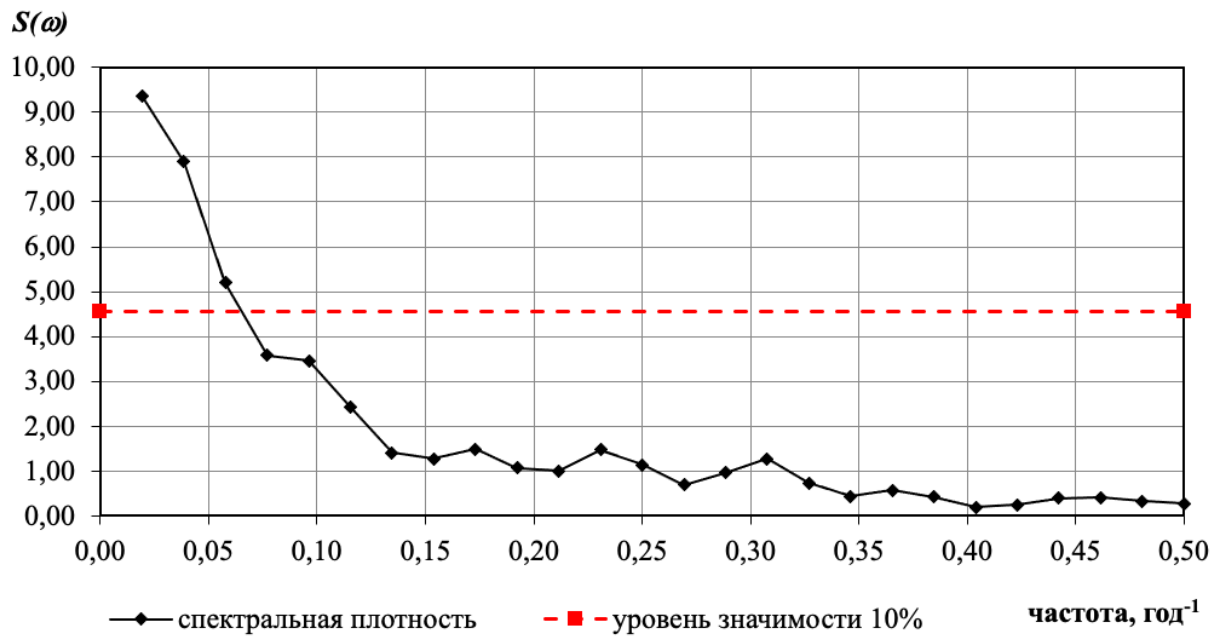


Рисунок Д.28 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Лекшм-озеро.



Рисунок Д.29 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Куэцсь-ярви.

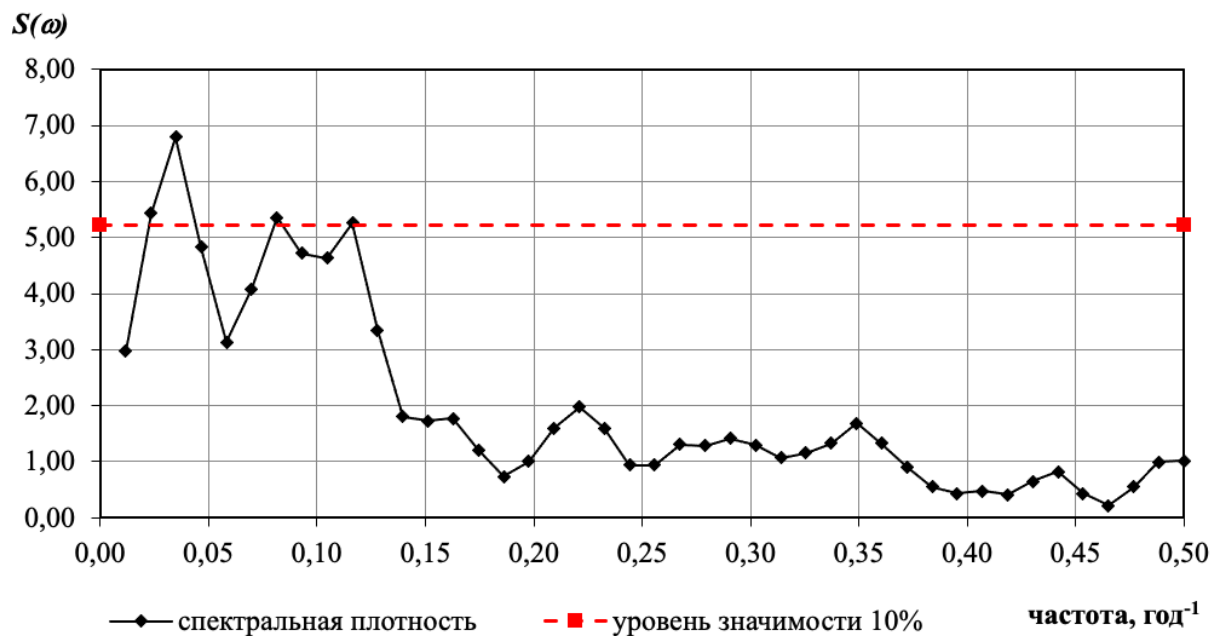


Рисунок Д.30 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Пулозеро.



Рисунок Д.31 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Ловозеро.

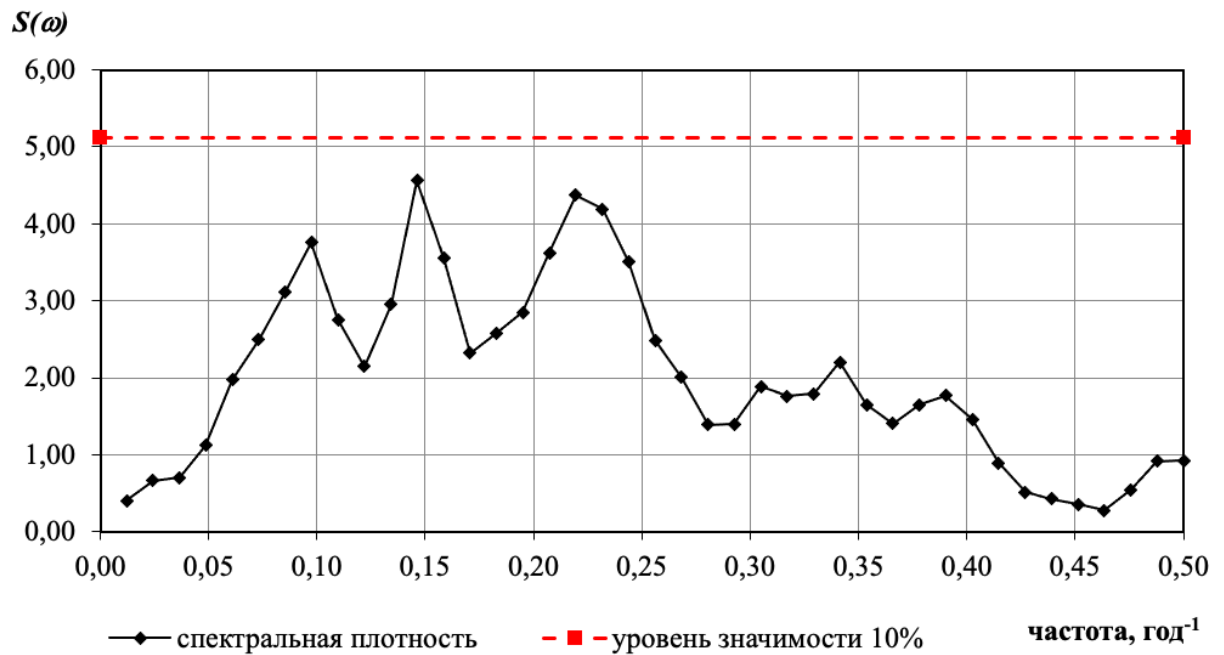


Рисунок Д.32 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Умбозеро.



Рисунок Д.33 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Пермус-озеро.

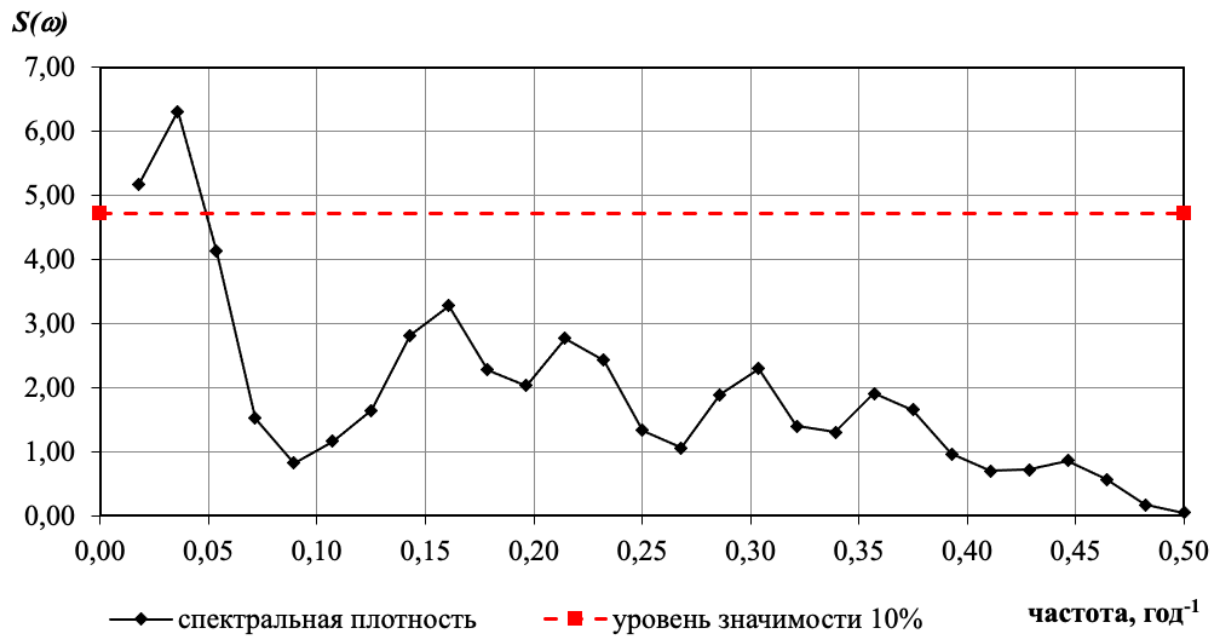


Рисунок Д.34 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Пелено.



Рисунок Д.35 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Верхнее Куйто.



Рисунок Д.36 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Ругозеро.

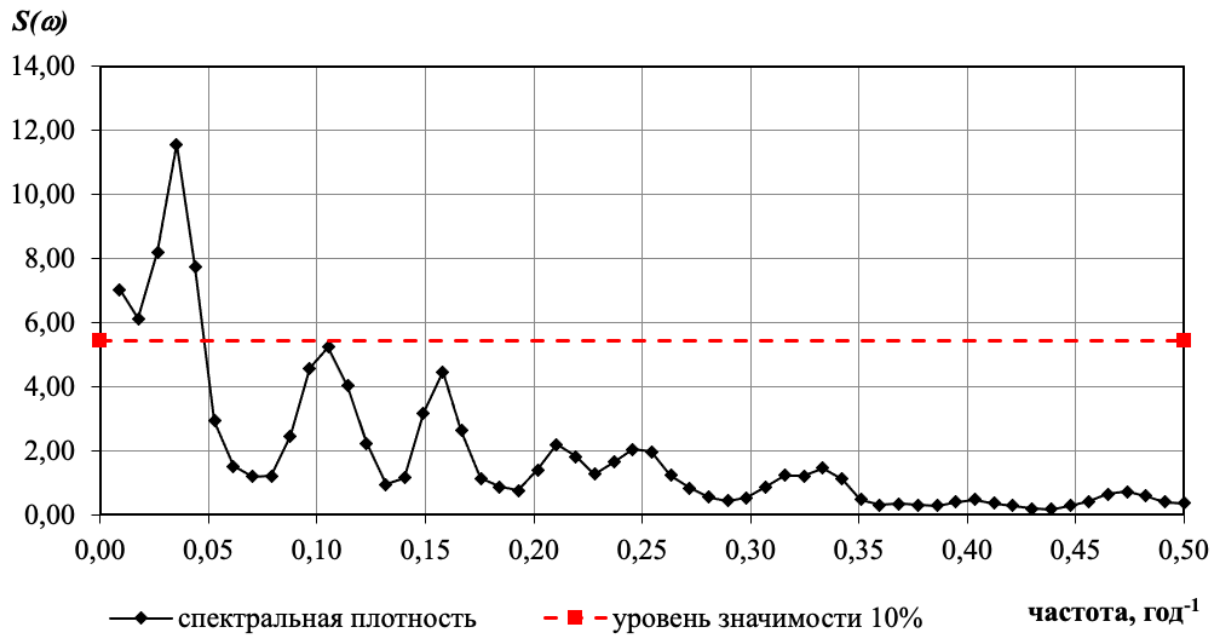


Рисунок Д.37 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Селлигер.

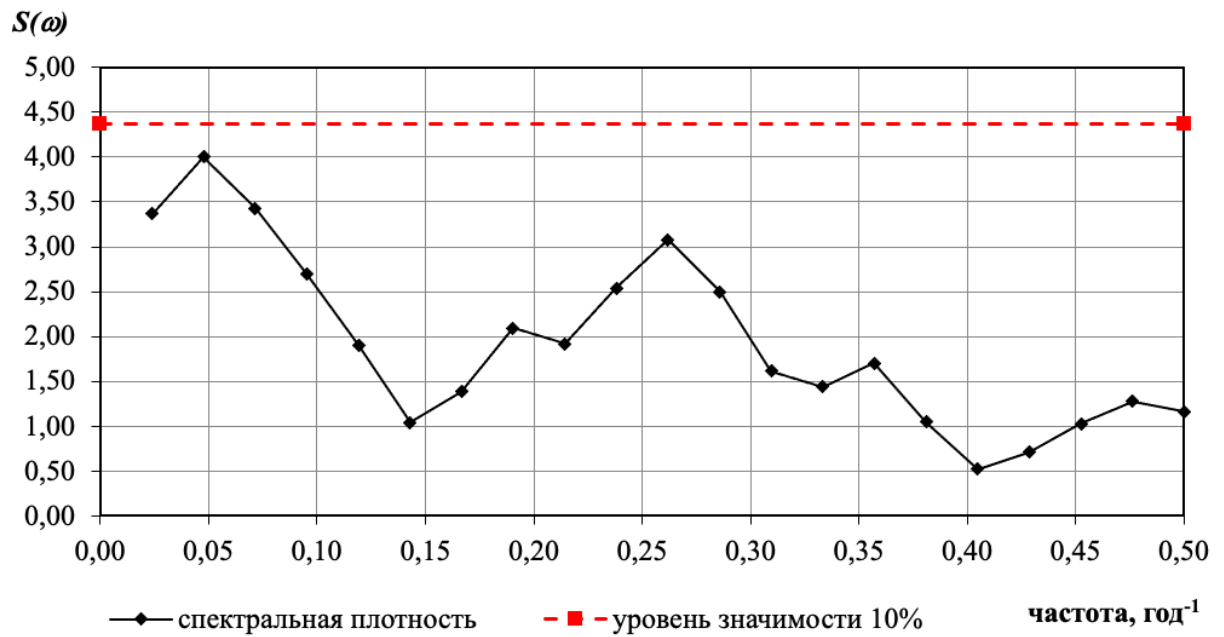


Рисунок Д.38 – График спектральной плотности средних годовых уровней оз. Лендерское.

Приложение Е – Хронологические графики минимальных уровней воды исследуемых озер

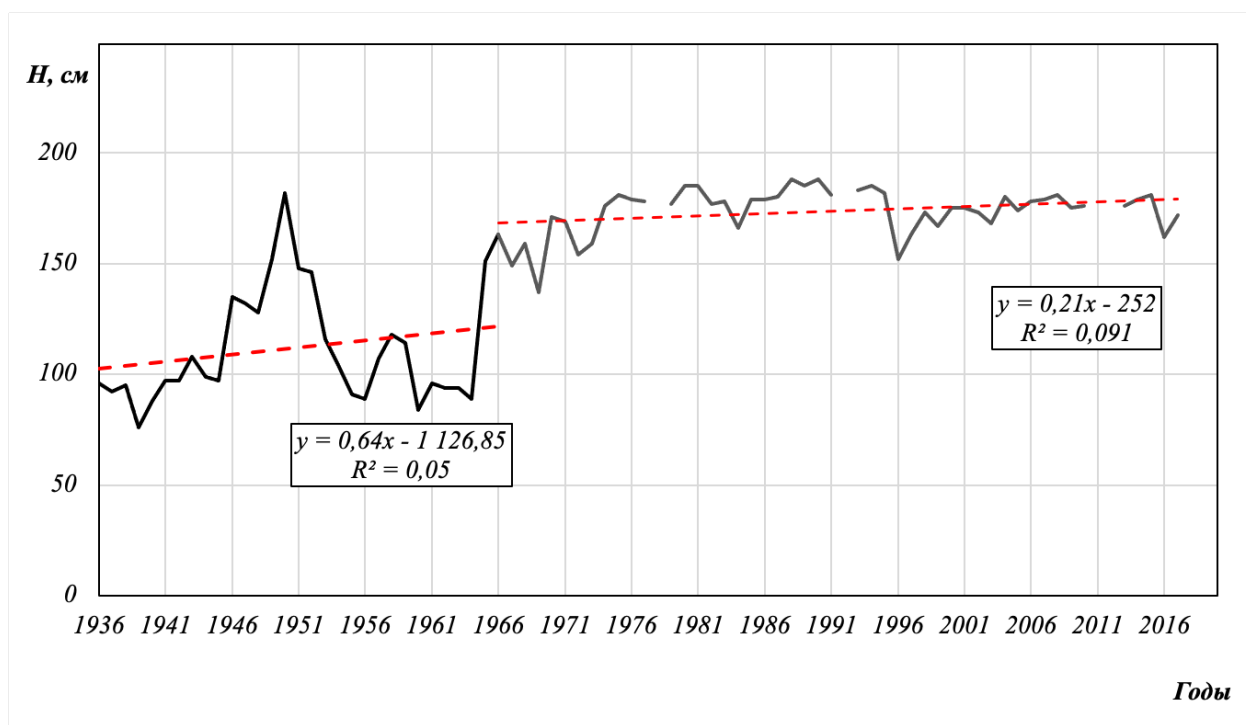


Рисунок Е.1 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Валдайское.

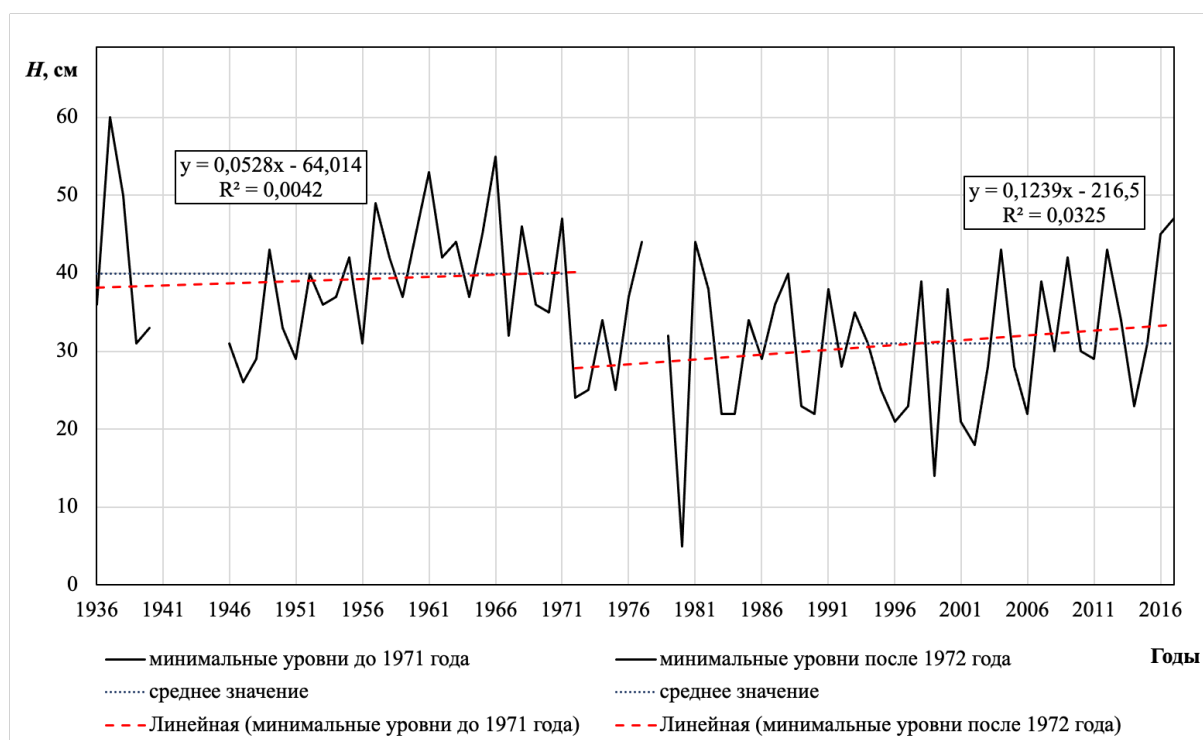


Рисунок Е.2 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Ведлозеро.

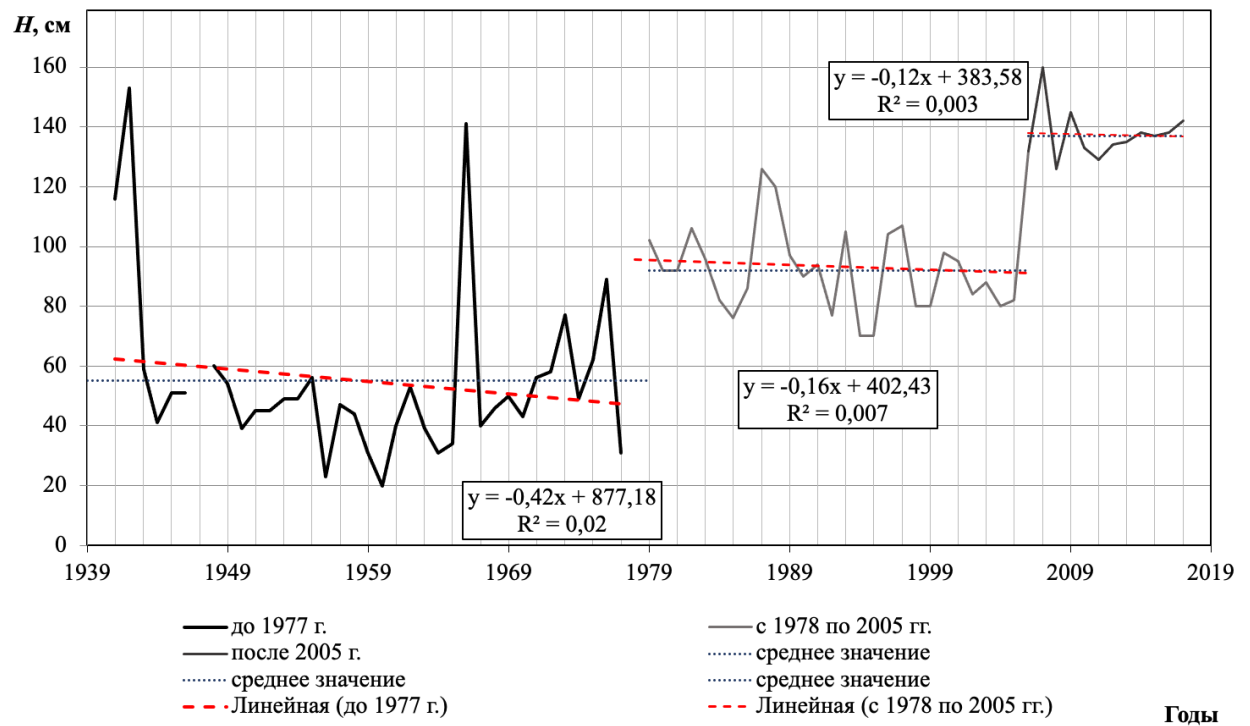


Рисунок Е.3 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Водлозеро.



Рисунок Е.4 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Ильмень.

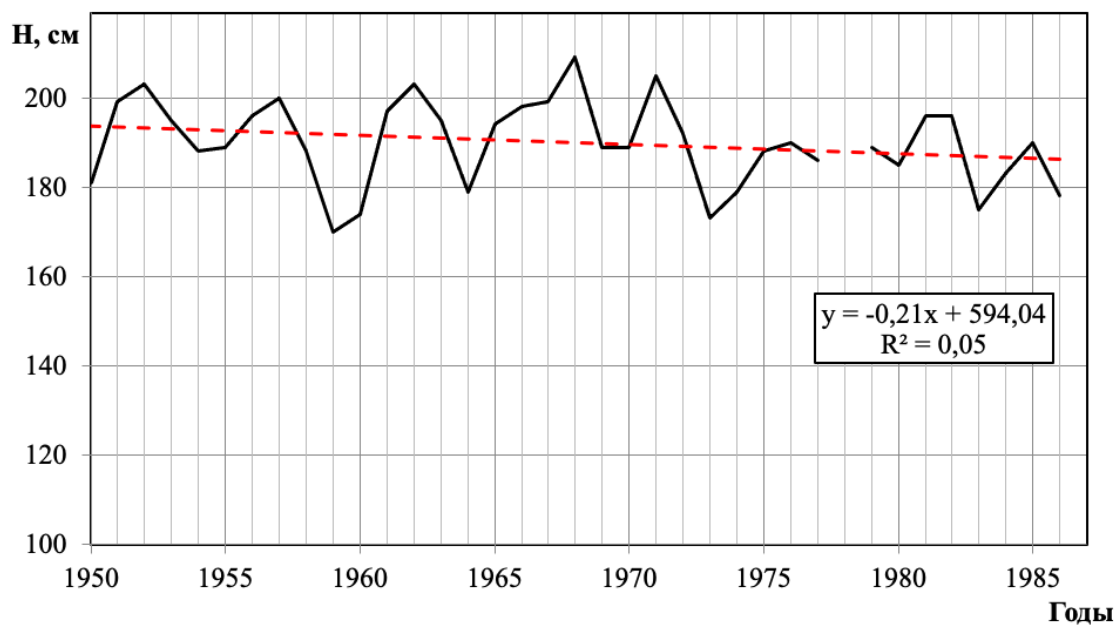


Рисунок Е.5 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Гимольское.

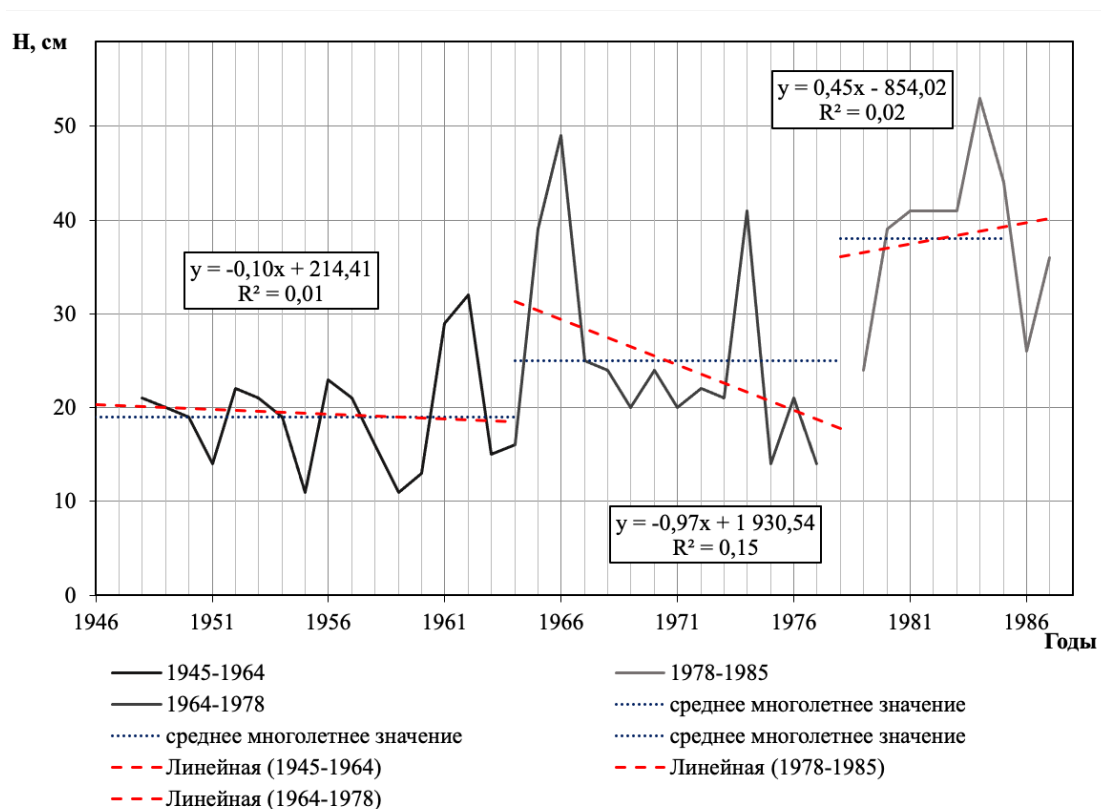


Рисунок Е.6 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Глубокое.

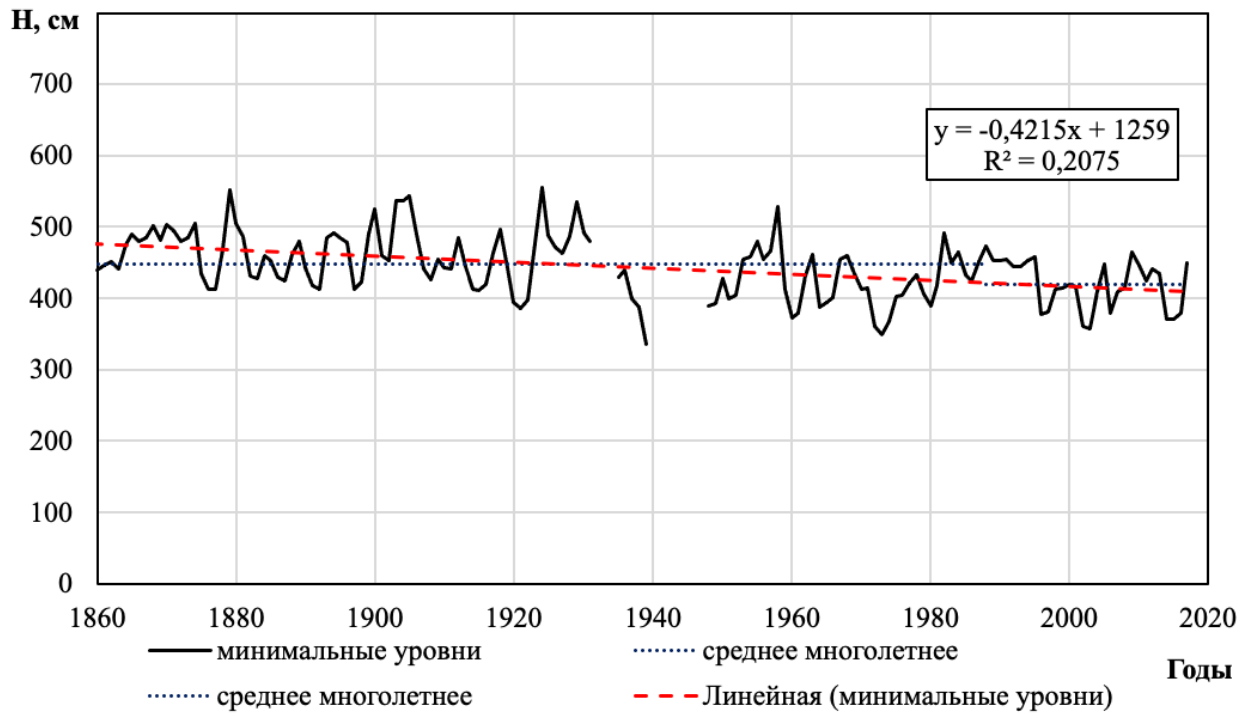


Рисунок Е.7 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Ладожское.

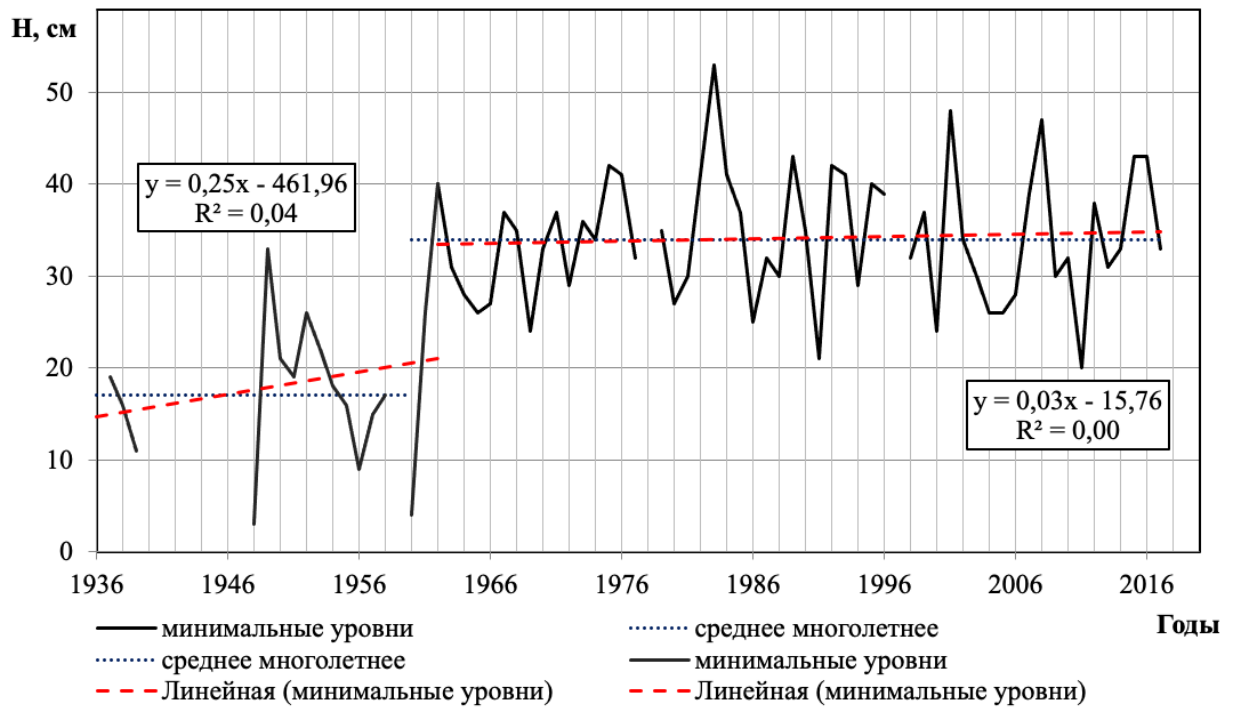


Рисунок Е.8 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Лексозеро.

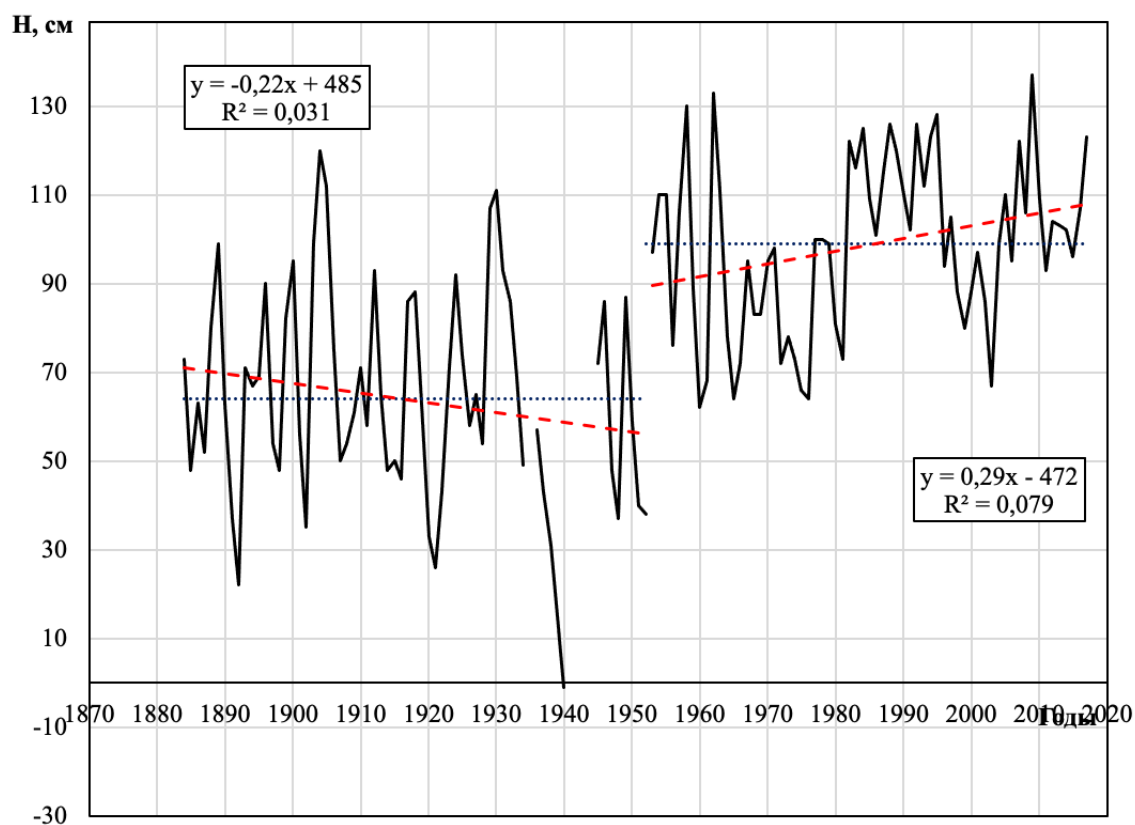


Рисунок Е.9 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Онежское.

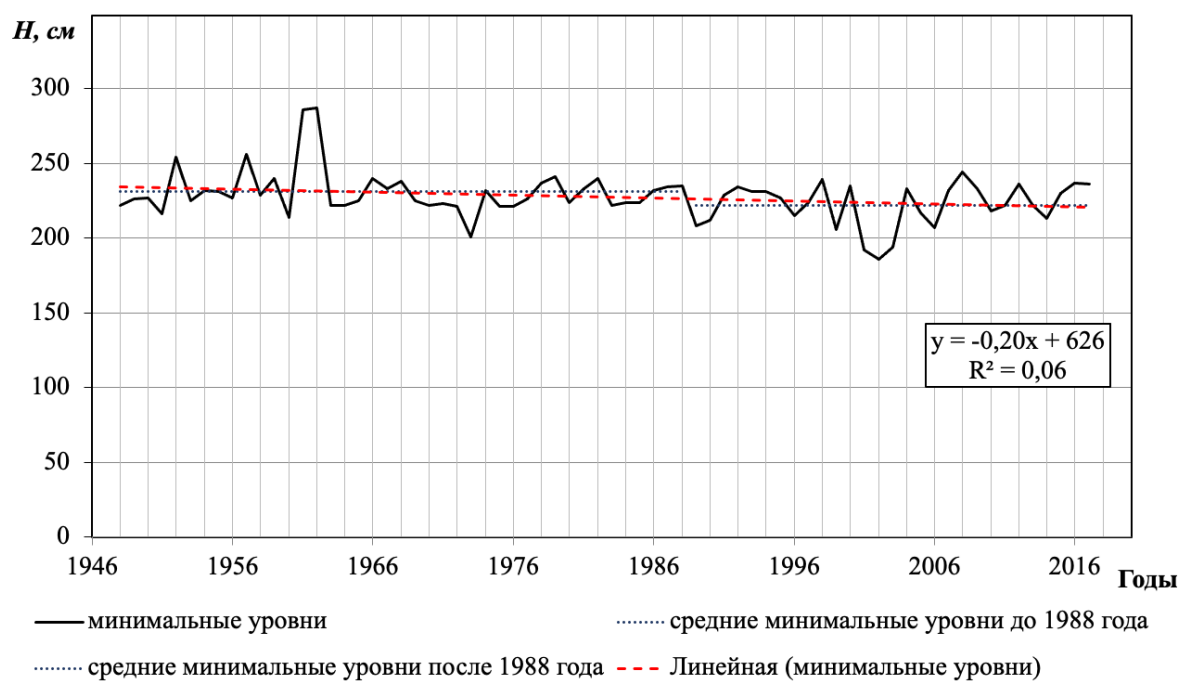


Рисунок Е.10 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Суоярви.

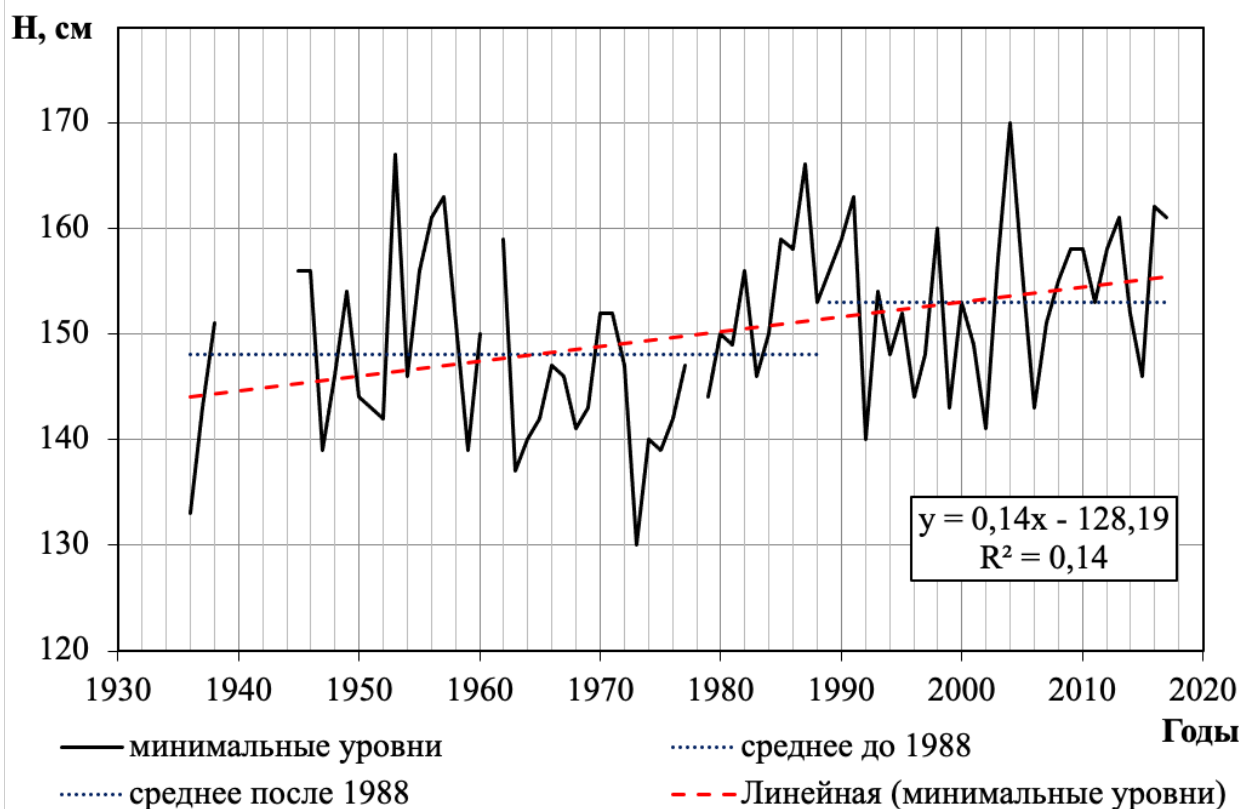


Рисунок Е.11 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Сяберо.



Рисунок Е.12 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Сямозеро.



Рисунок Е.13 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Тулмо-зеро.

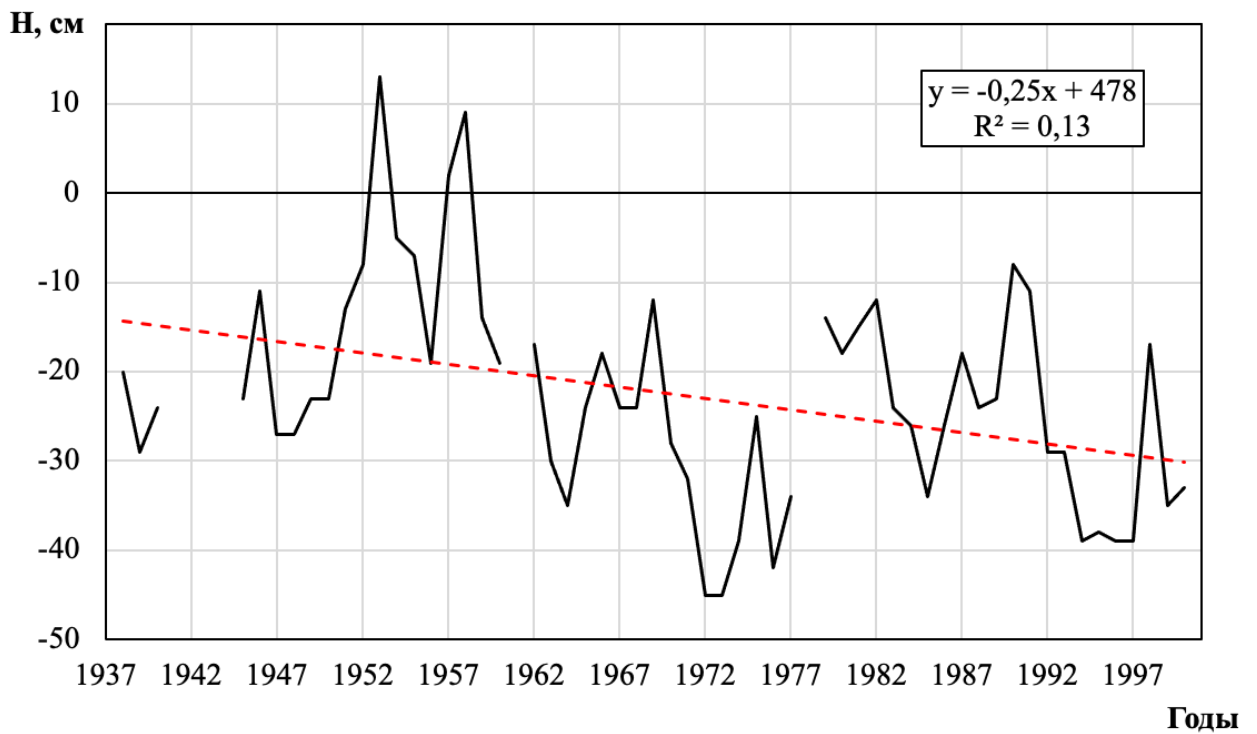


Рисунок Е.14 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Черемнецкое.

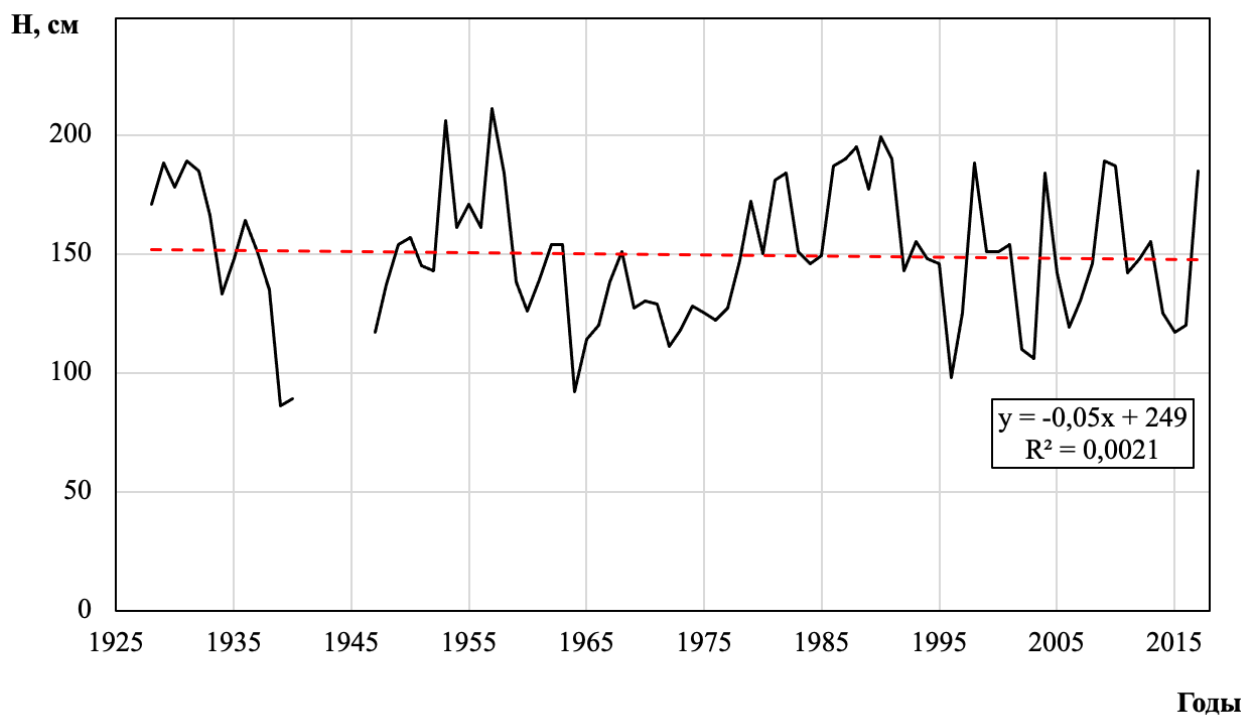


Рисунок Е.15 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Чудское.

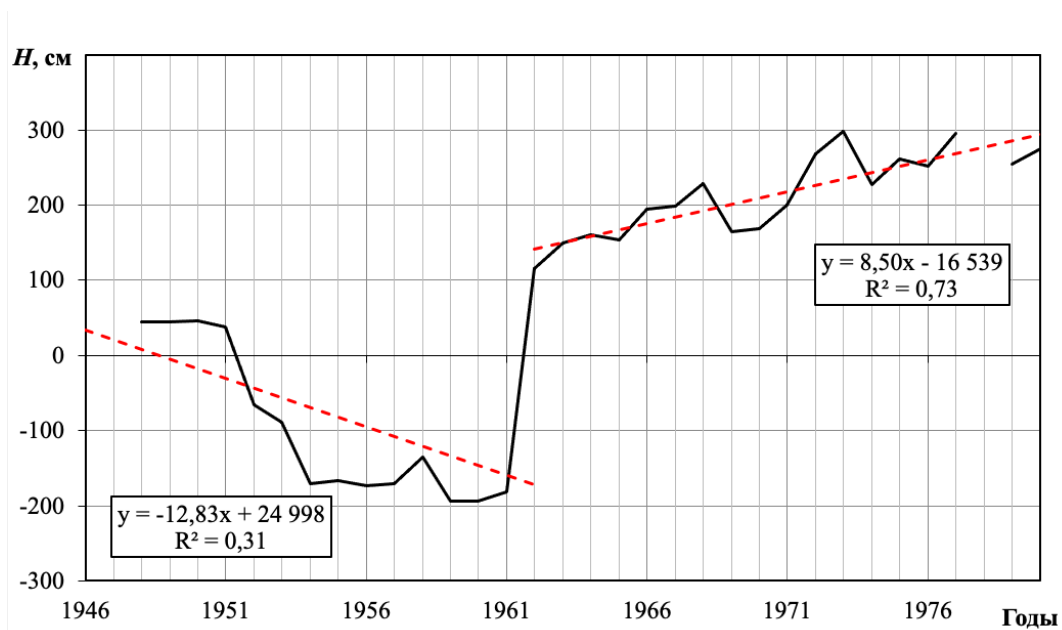


Рисунок Е.16 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Лие-
лайс-Лудза.

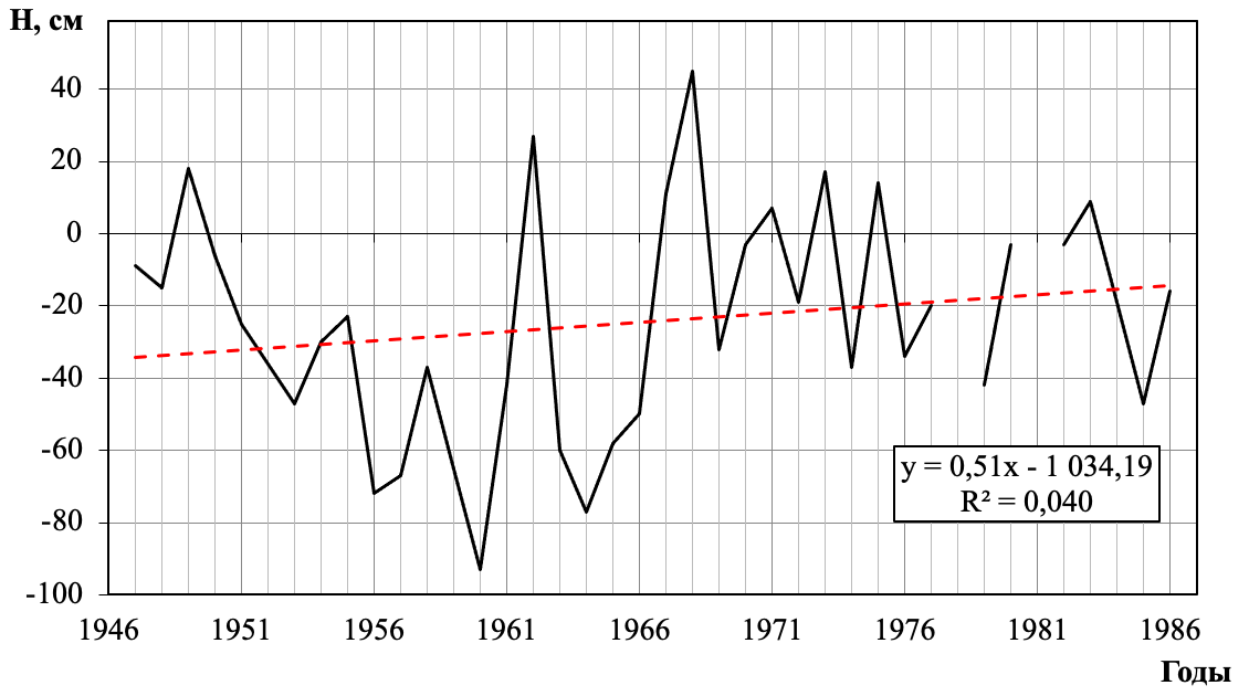


Рисунок Е.17 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Янисъярви.

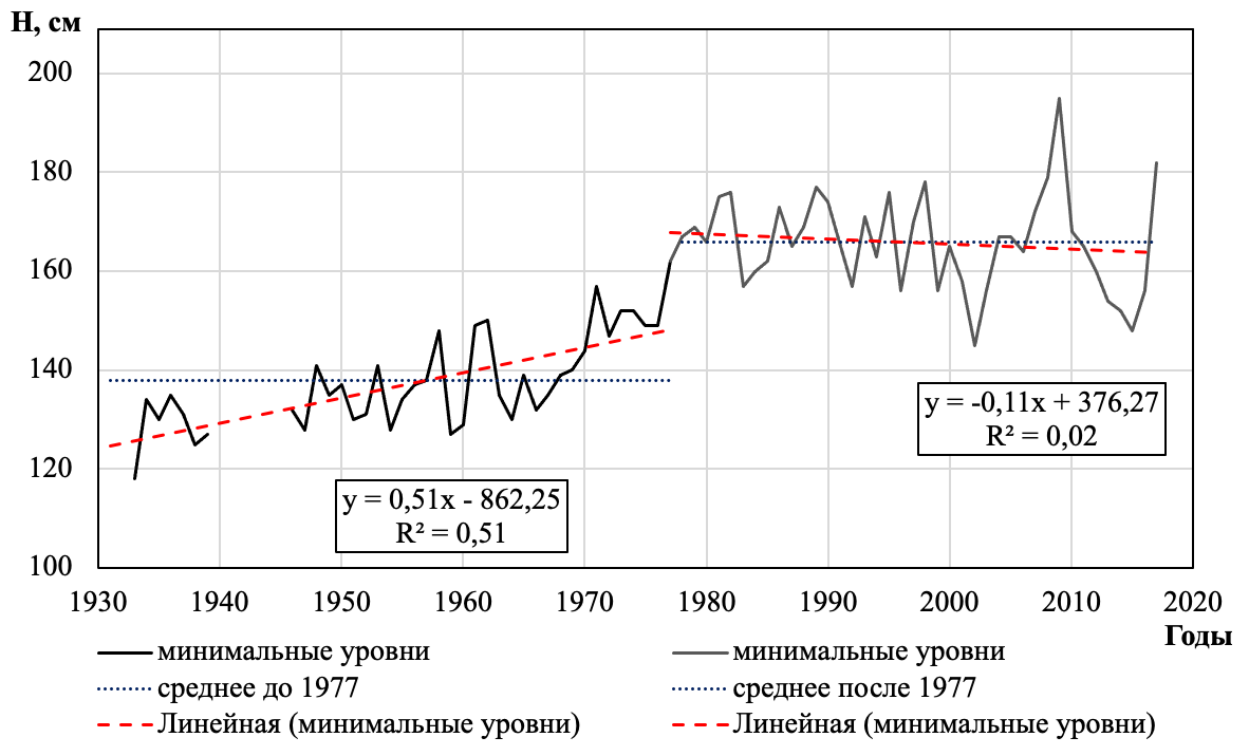


Рисунок Е.18 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Щучье.

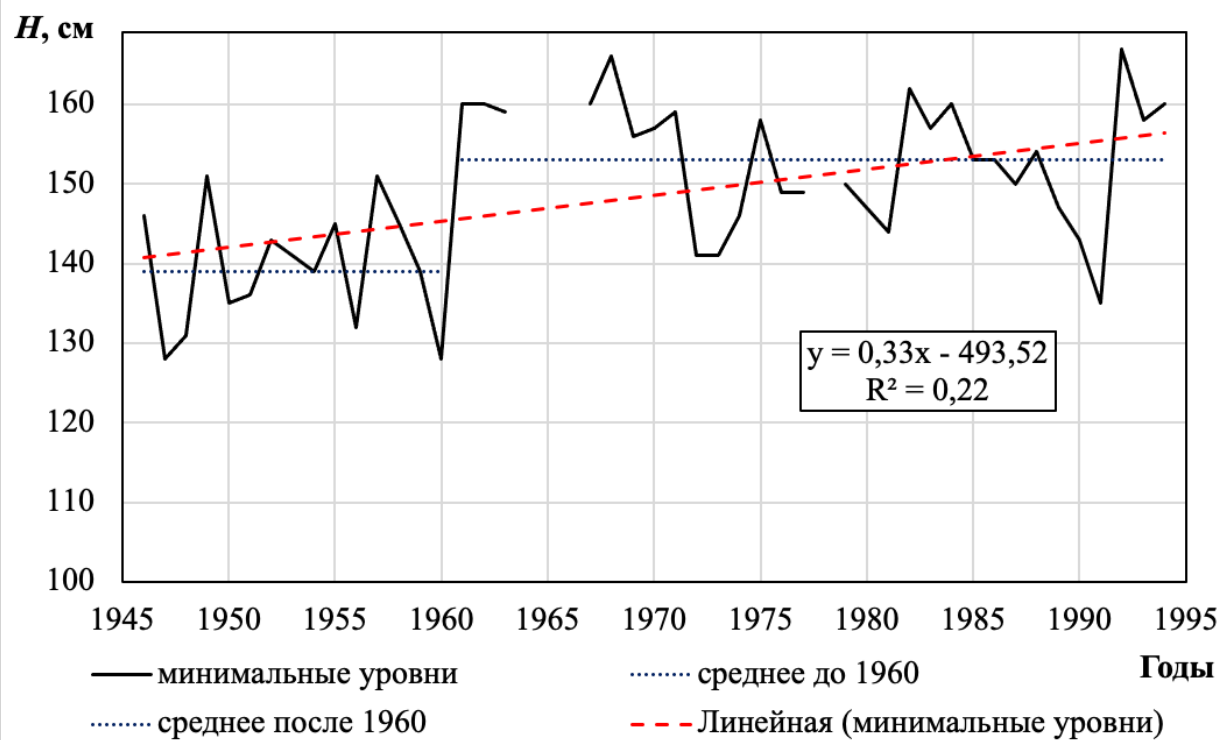


Рисунок Е.19 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Лижмо-зеро.

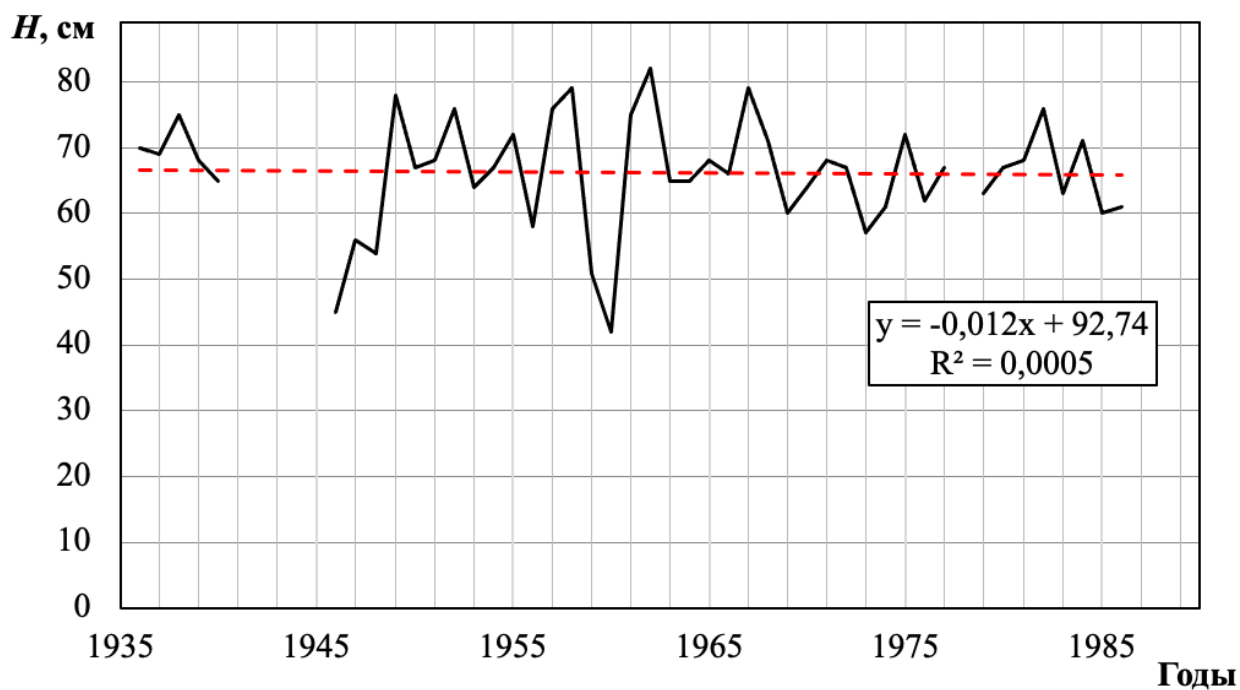


Рисунок Е.20 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Линдо-зеро.

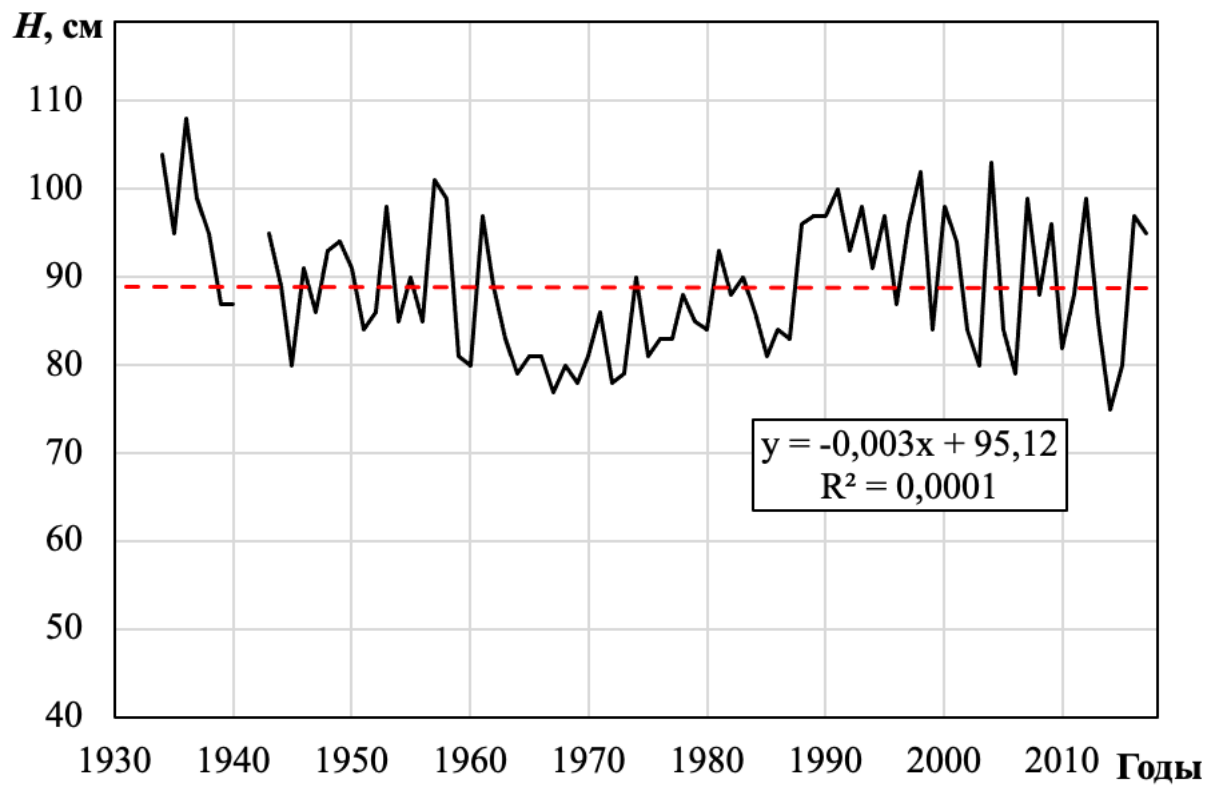


Рисунок Е.21 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Охват.

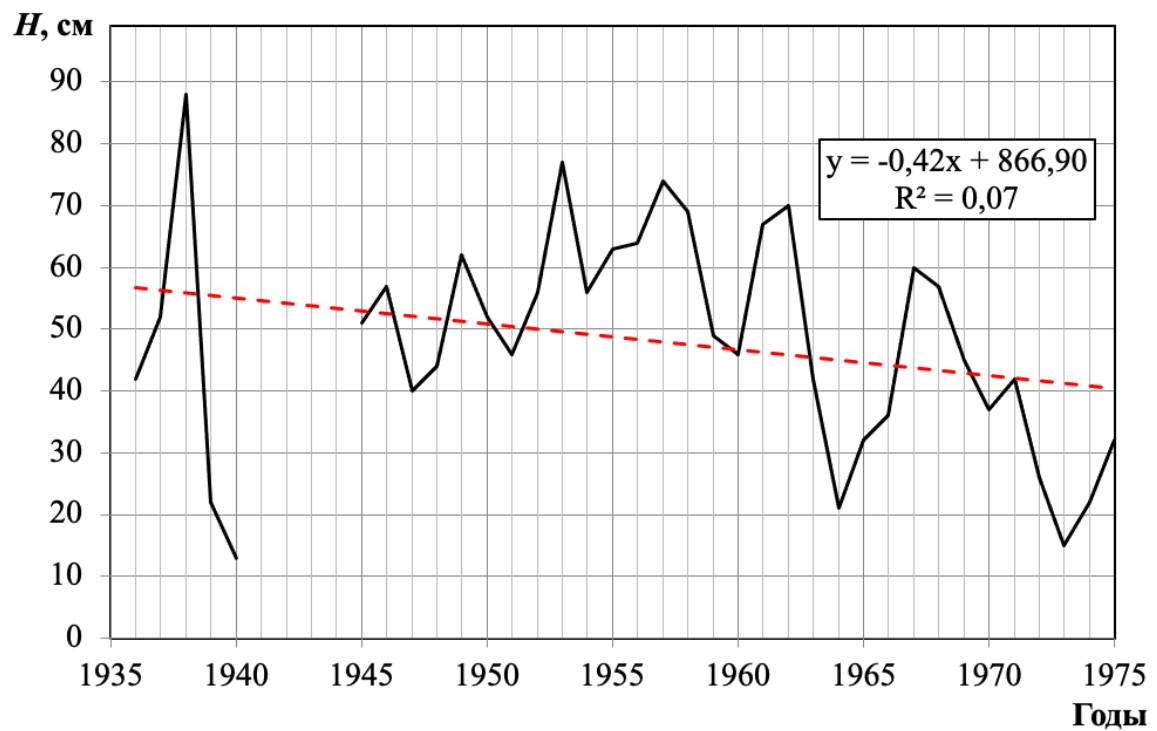


Рисунок Е.22 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Самро.

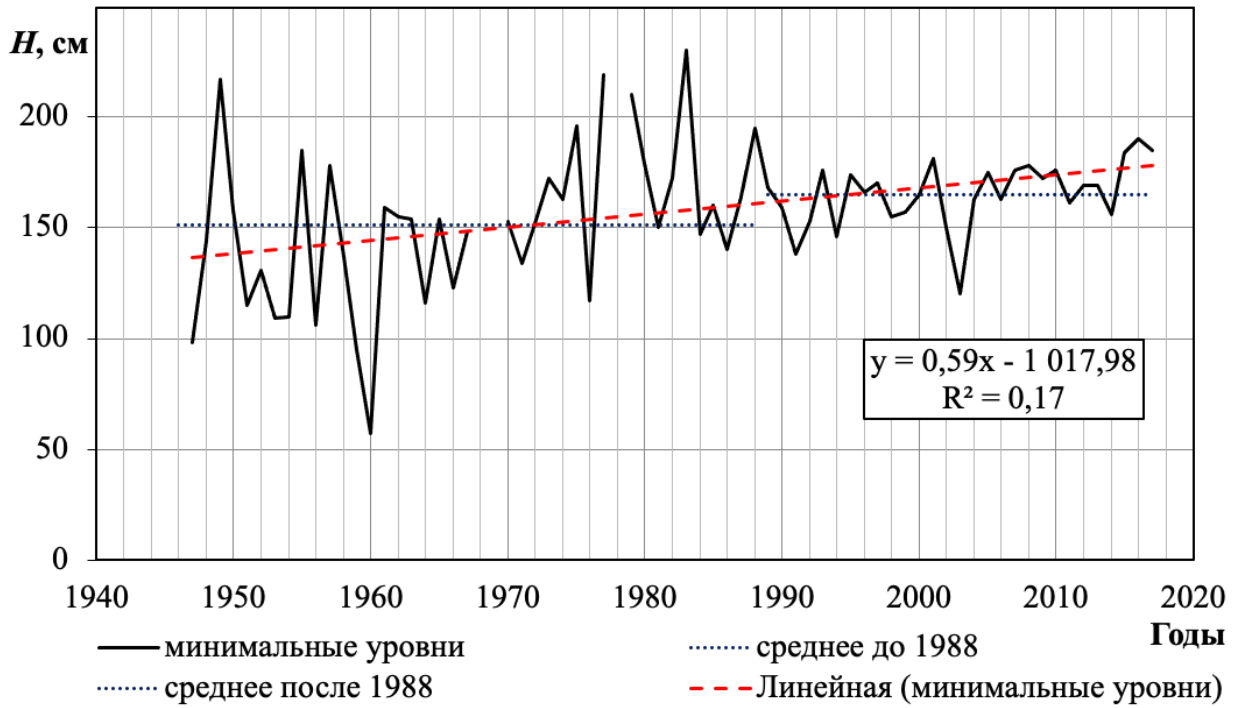


Рисунок Е.23 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. (водохранилища) Сандал.

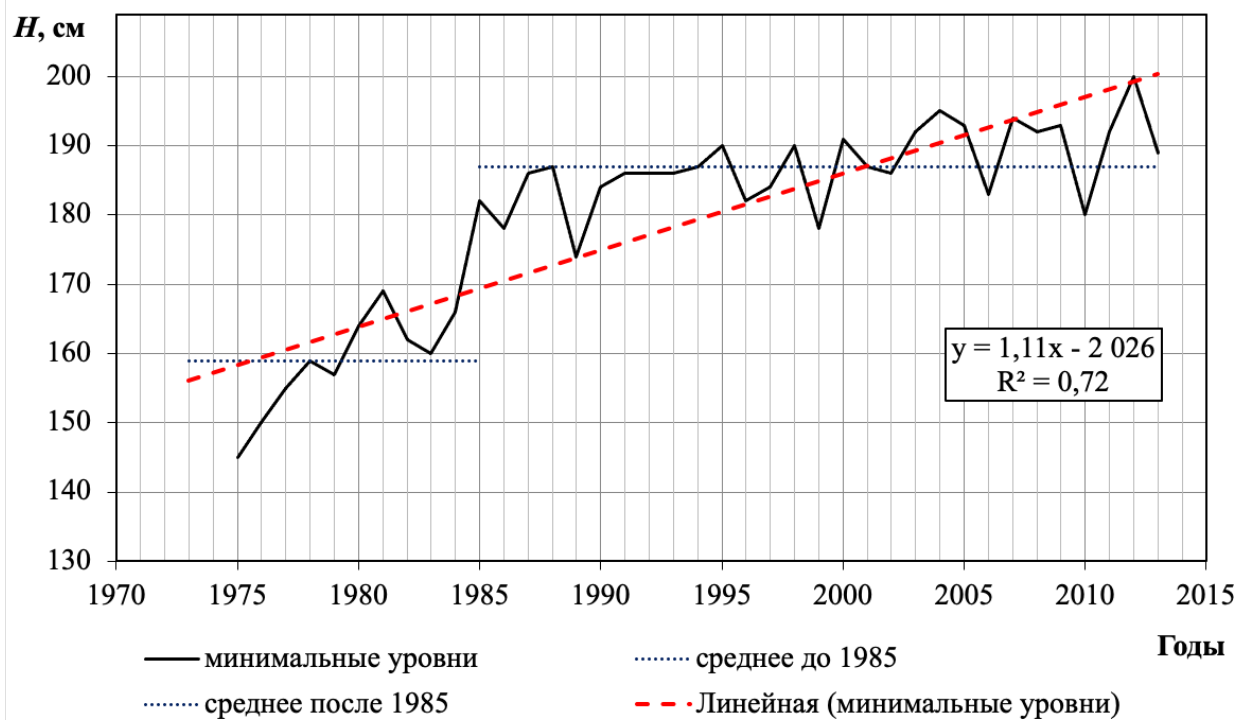


Рисунок Е.24 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Остречье.

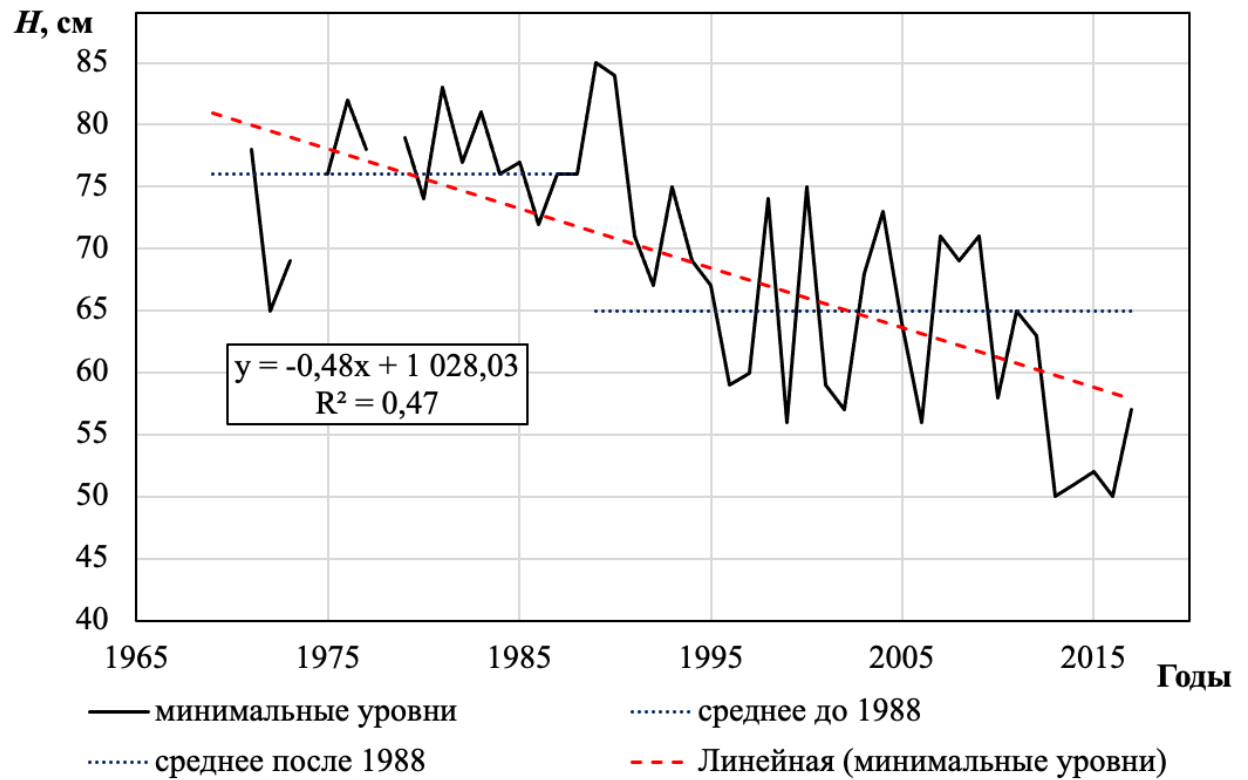


Рисунок Е.25 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Шугозеро.

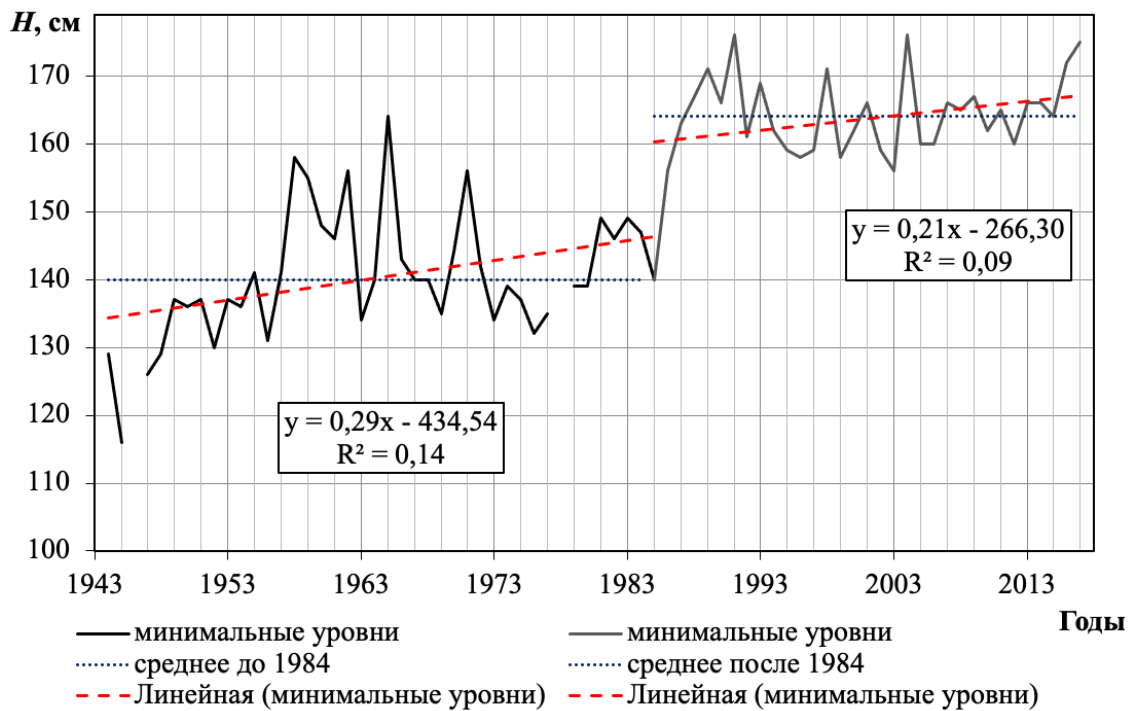


Рисунок Е.26 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Коробозера.

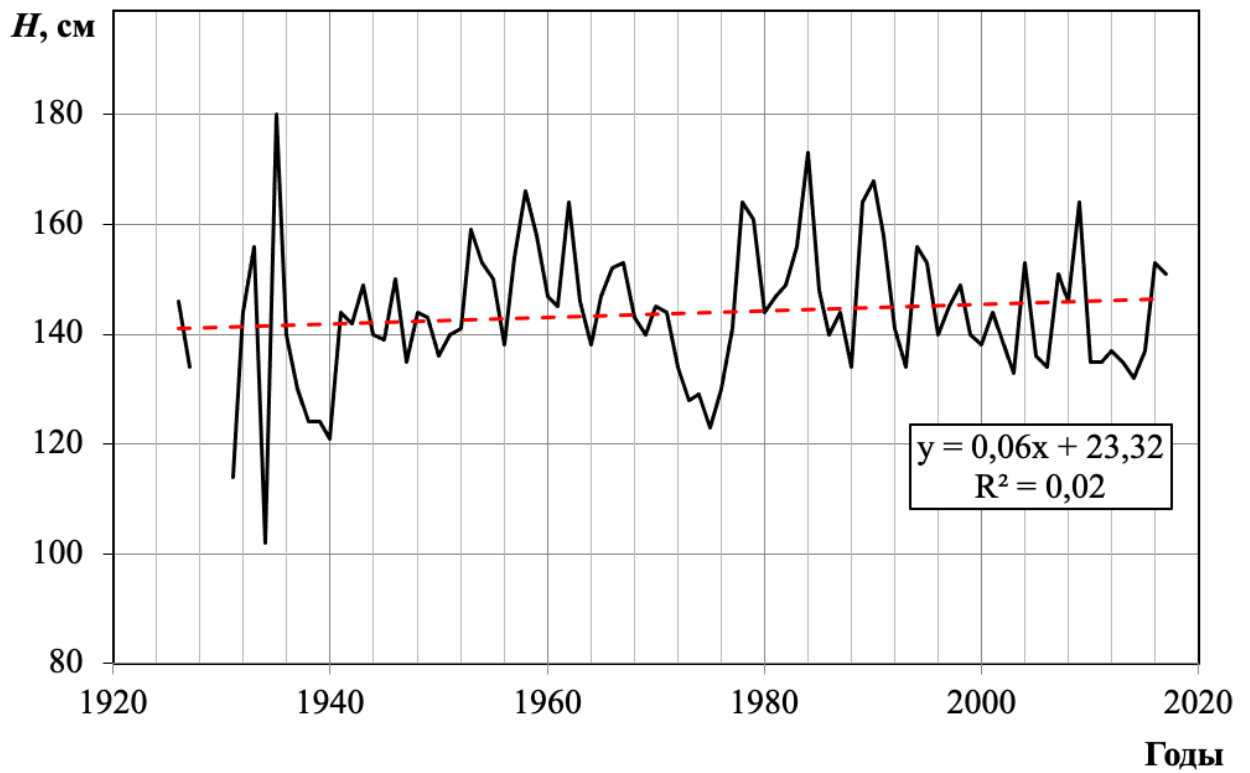


Рисунок Е.27 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Лача.

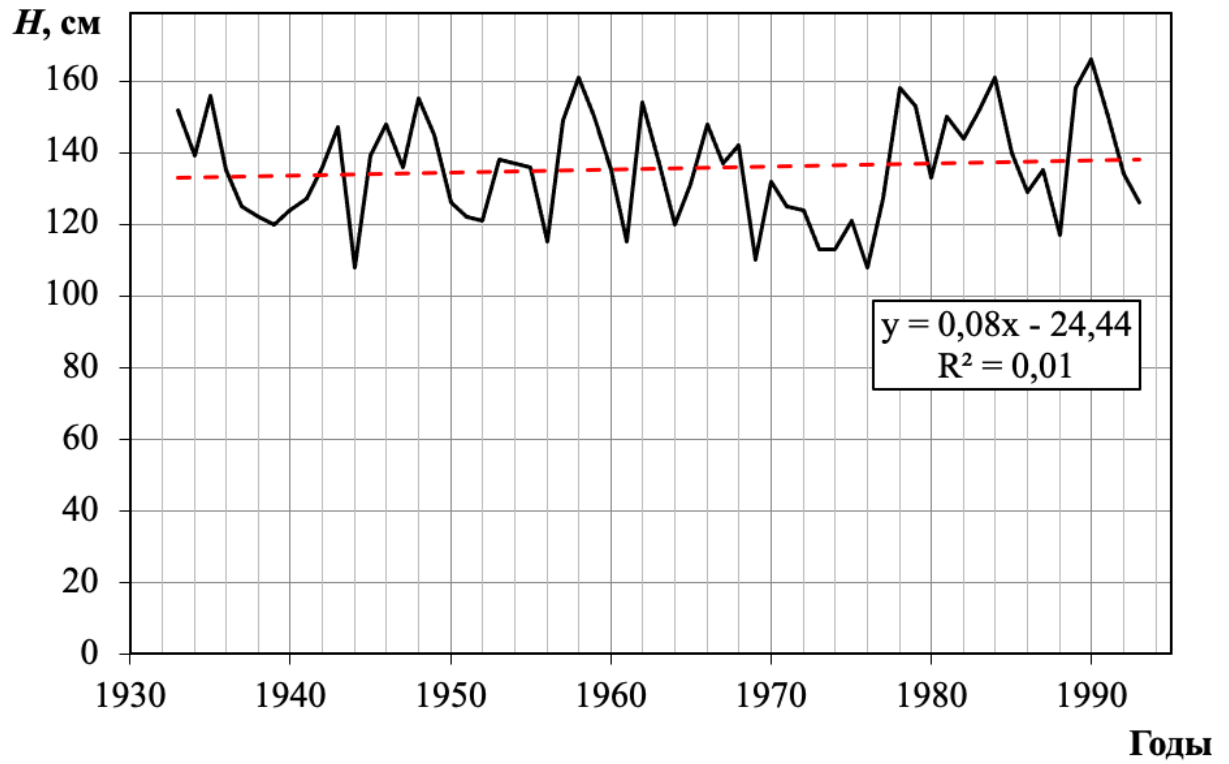


Рисунок Е.28 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Воже.

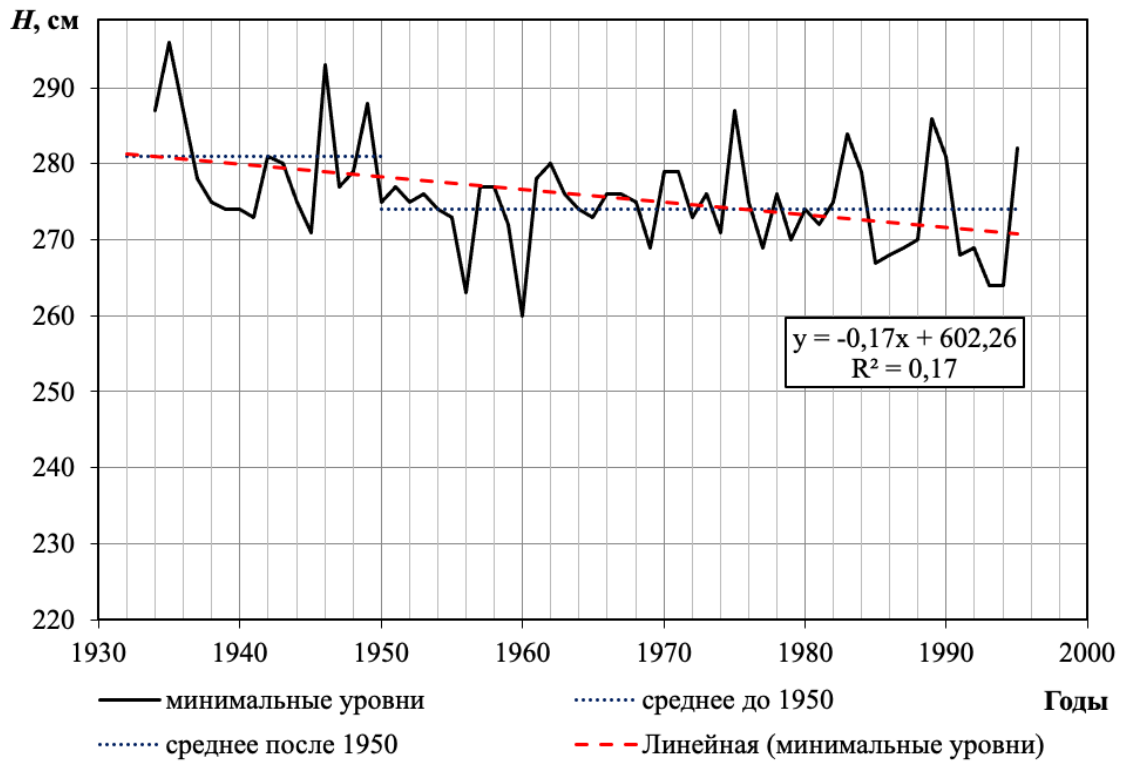


Рисунок Е.29 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Кен-озеро.

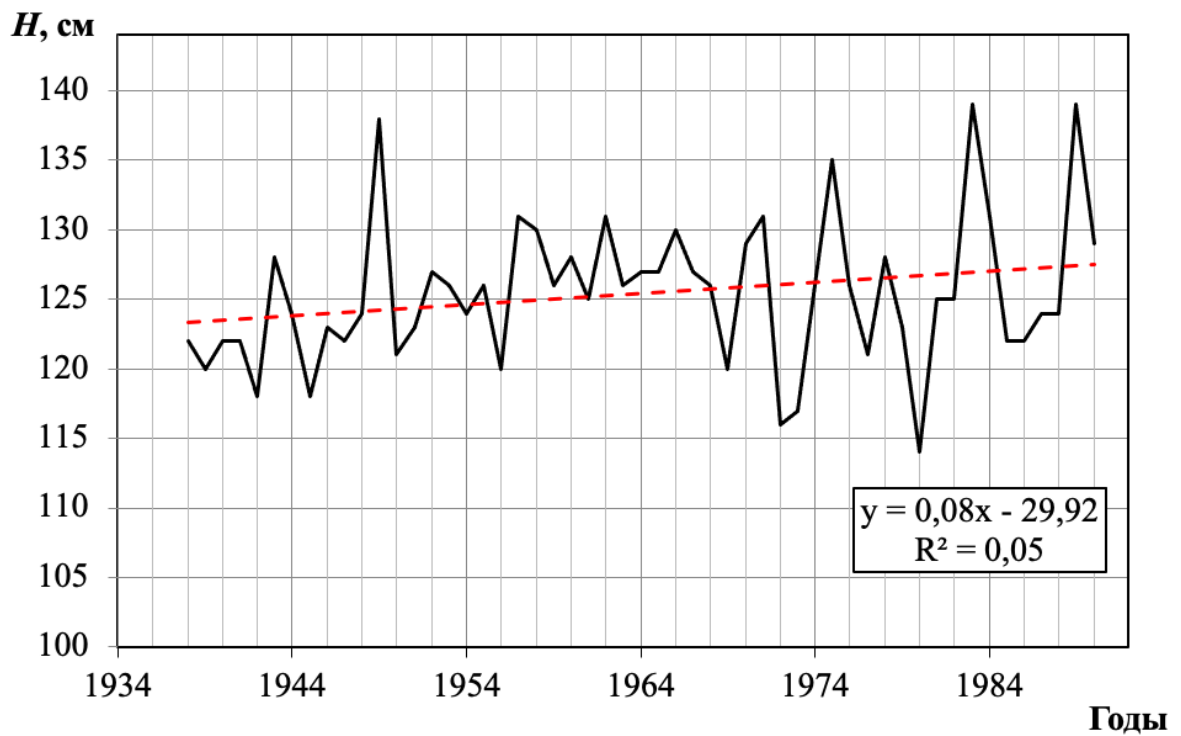


Рисунок Е.30 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Унд-озеро.

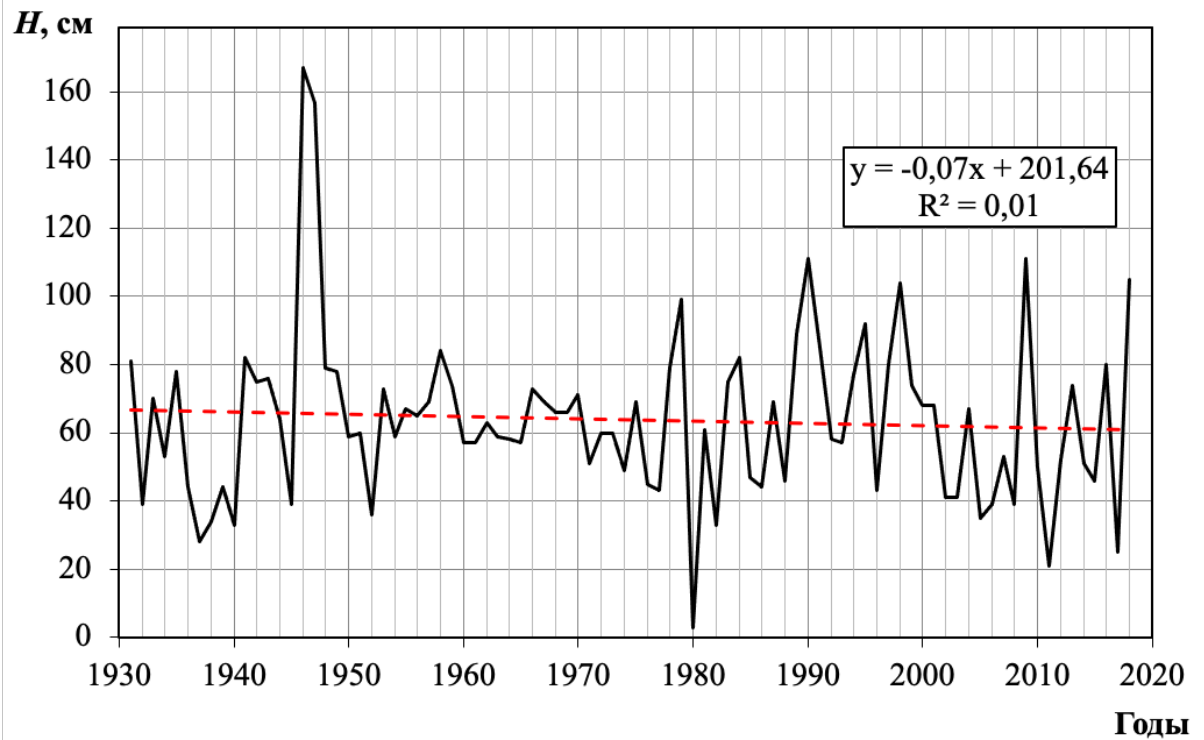


Рисунок Е.31 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Кубенское.

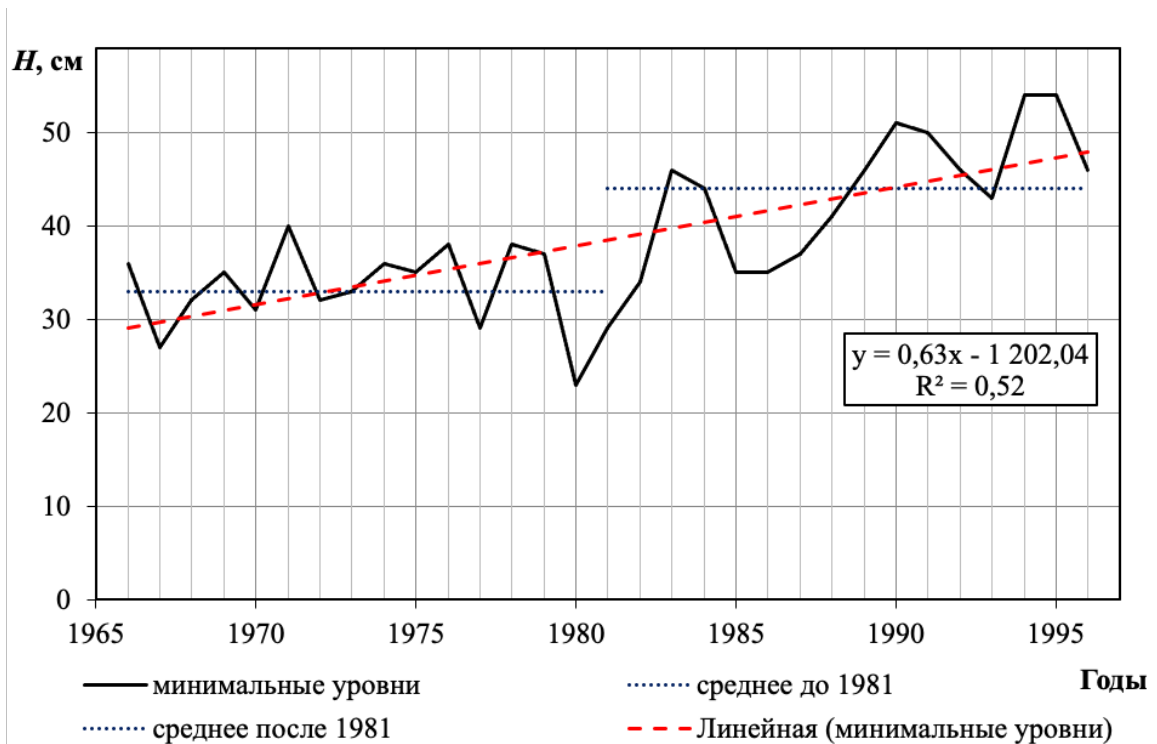


Рисунок Е.32 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Большое Михайловское.

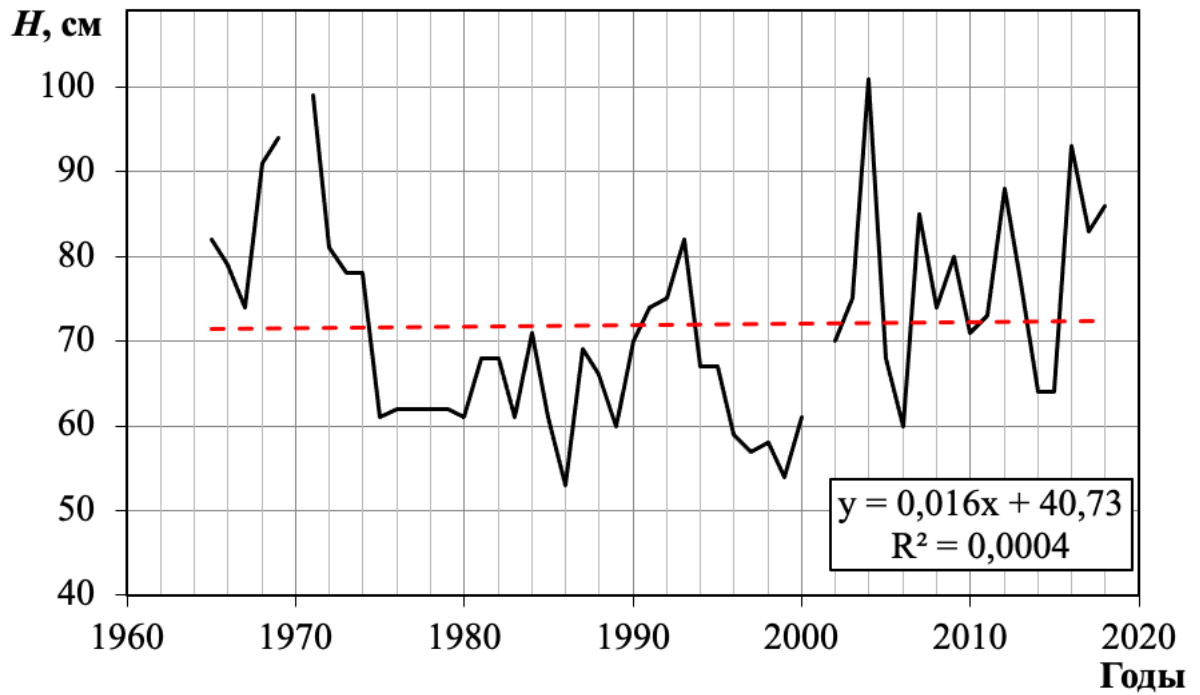


Рисунок Е.33 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Лекшм-озеро.



Рисунок Е.34 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Долгое.

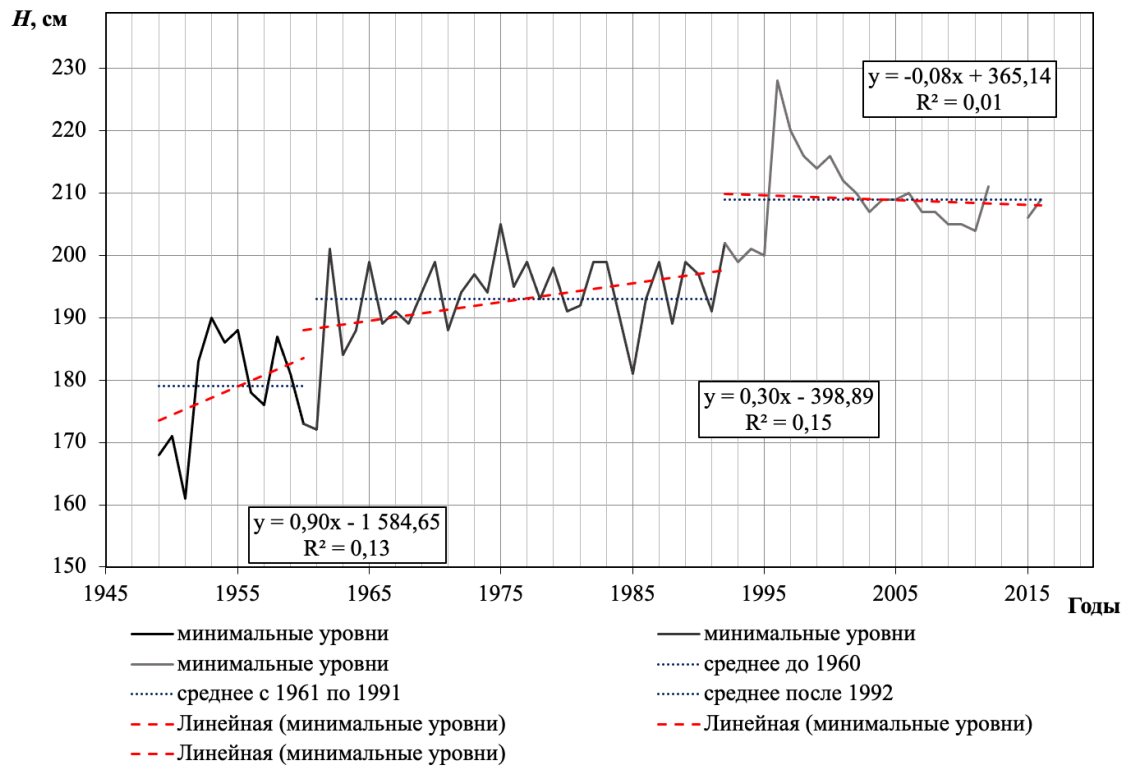


Рисунок Е.35 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Куэ́тс-Ярви.

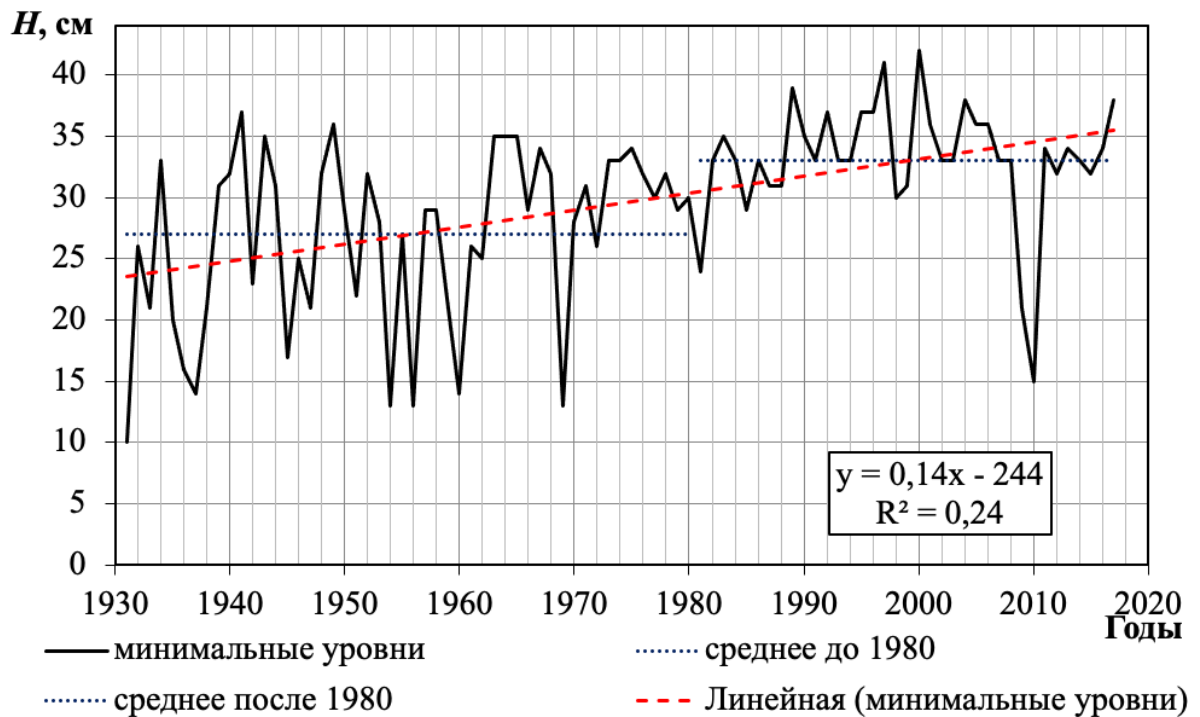


Рисунок Е.36 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Пуло-зеро.

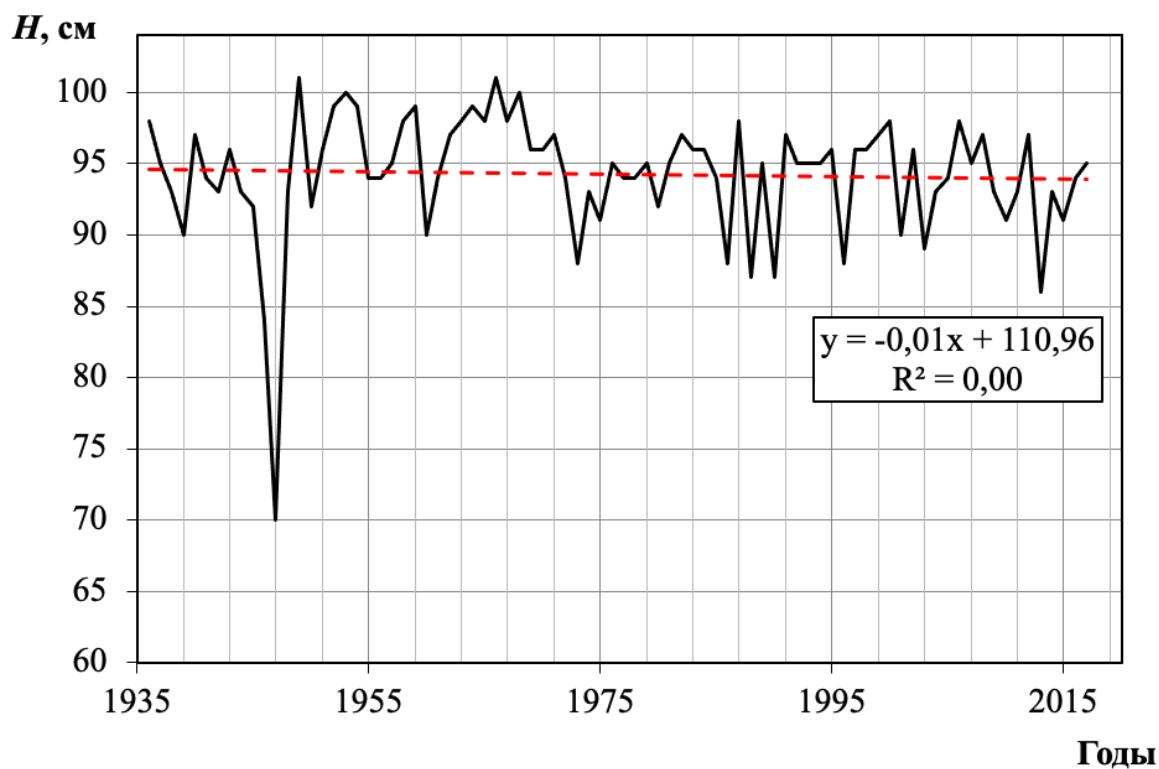


Рисунок Е.37 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Ловозеро.

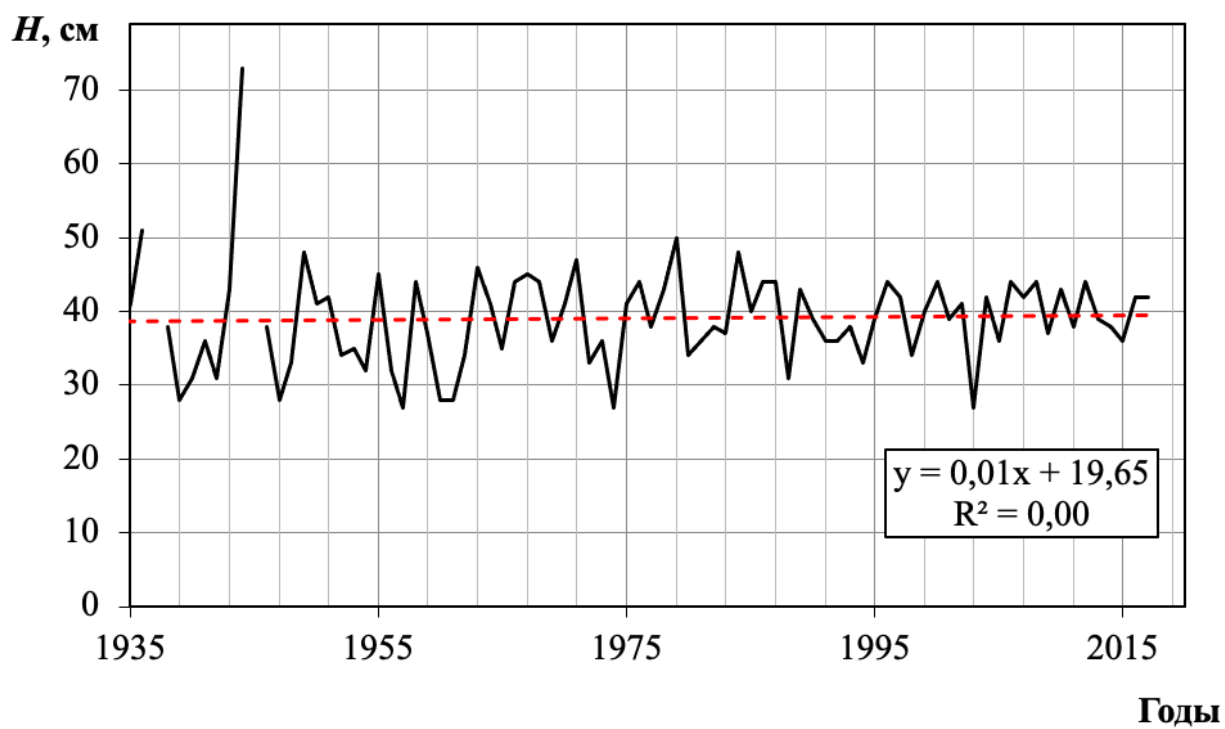


Рисунок Е.38 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Умба-озеро.

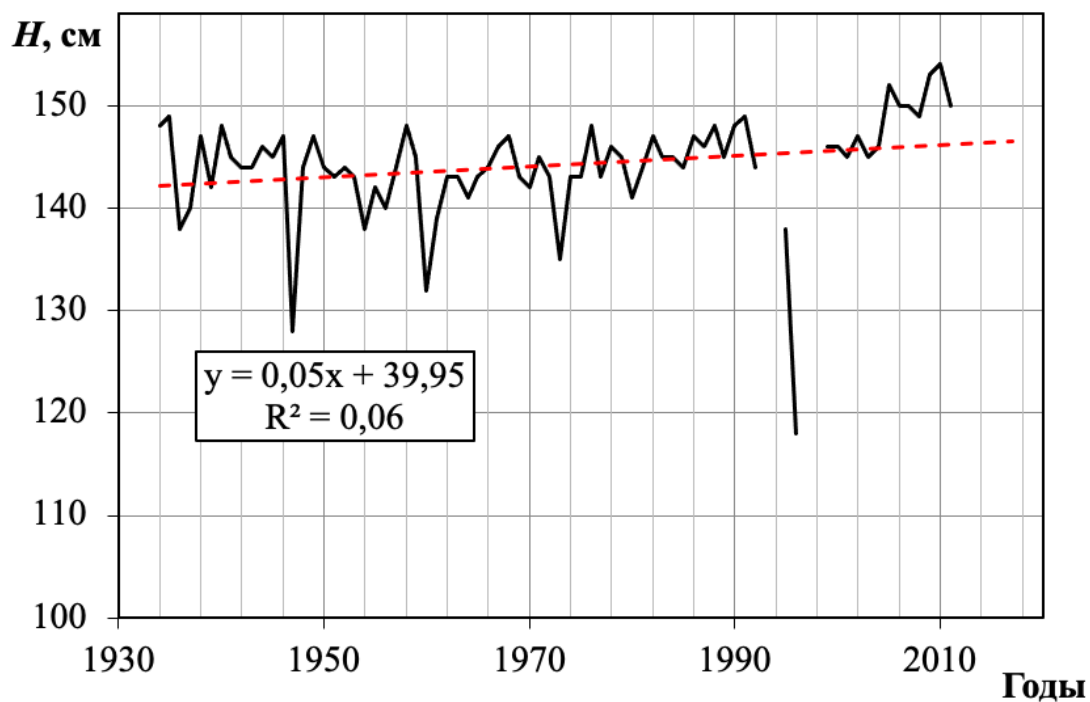


Рисунок Е.39 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Перму-созеро.

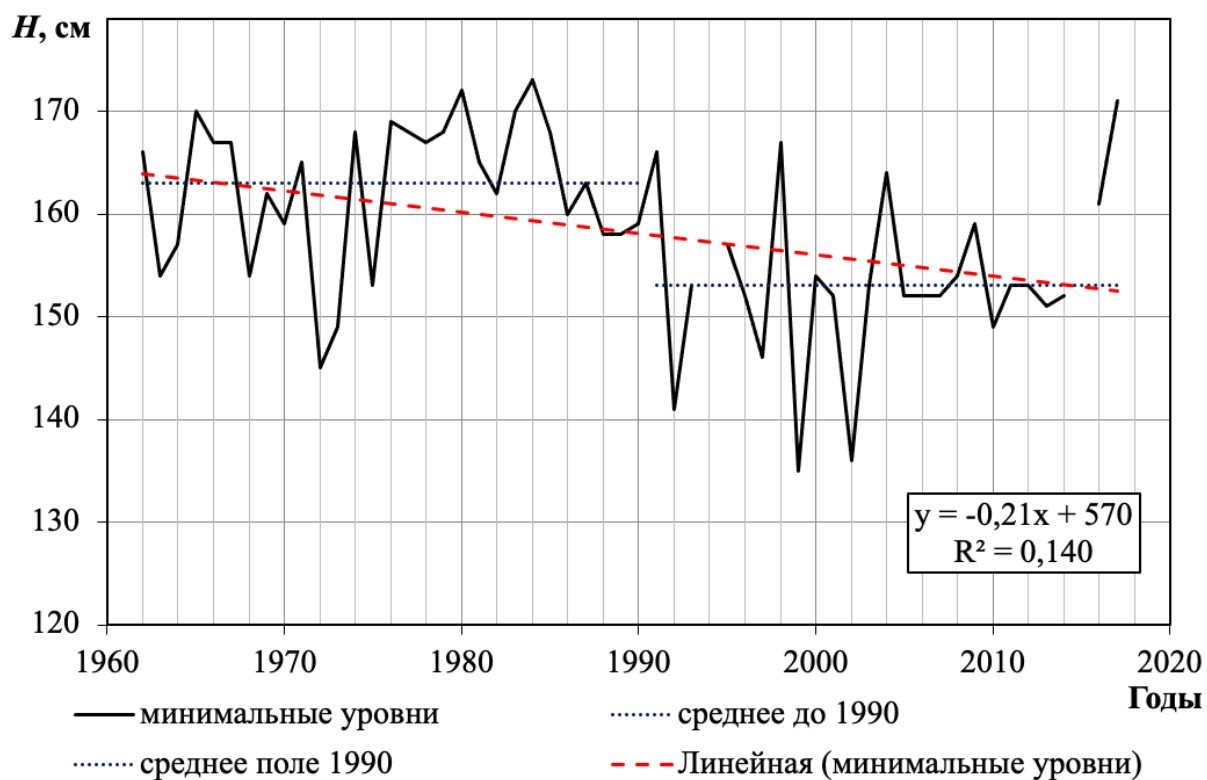


Рисунок Е.40 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Пелено.

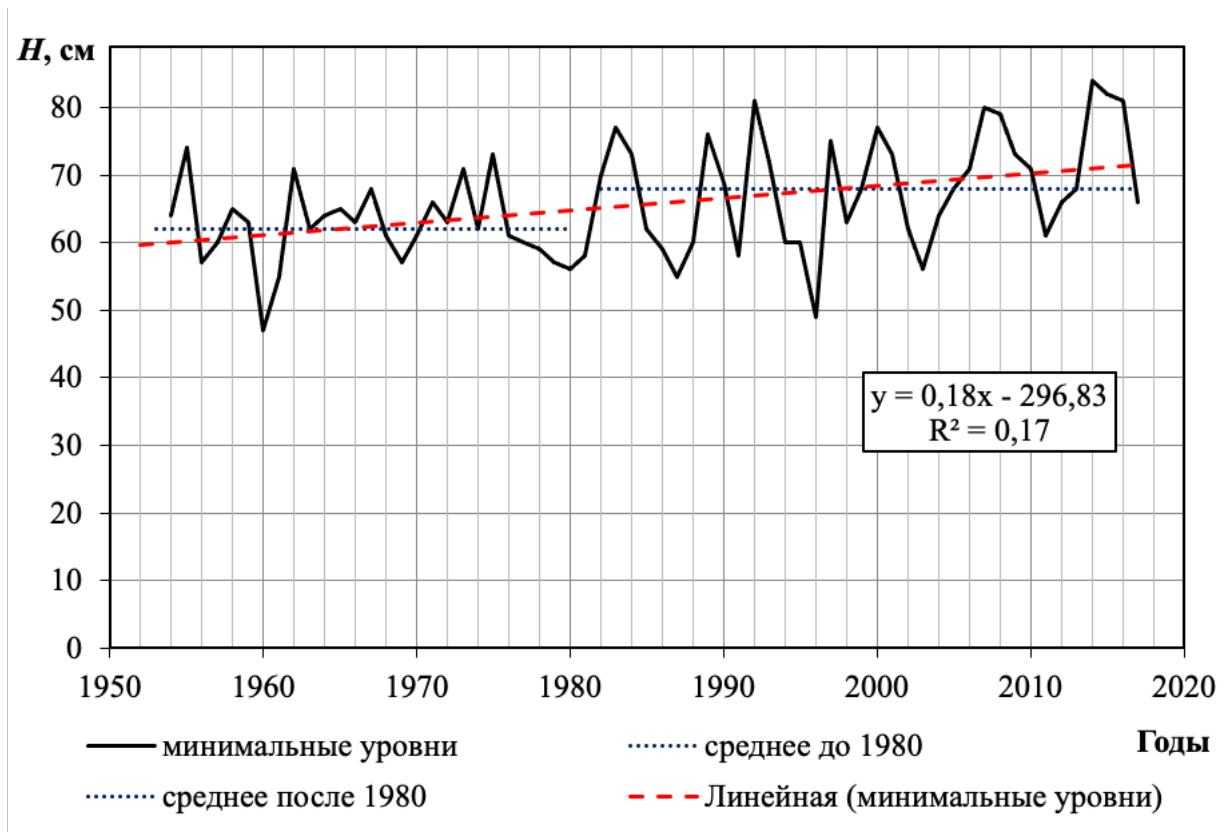


Рисунок Е.41 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Верхнее Куйто.

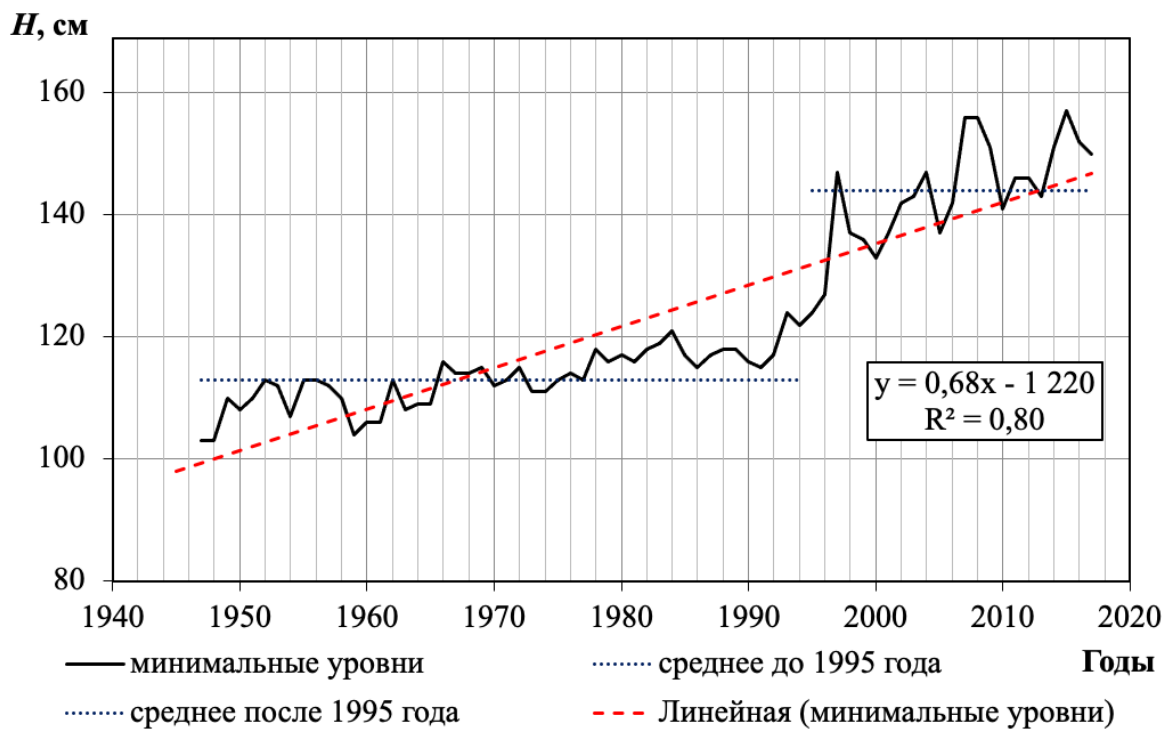


Рисунок Е.42 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Ругозеро.

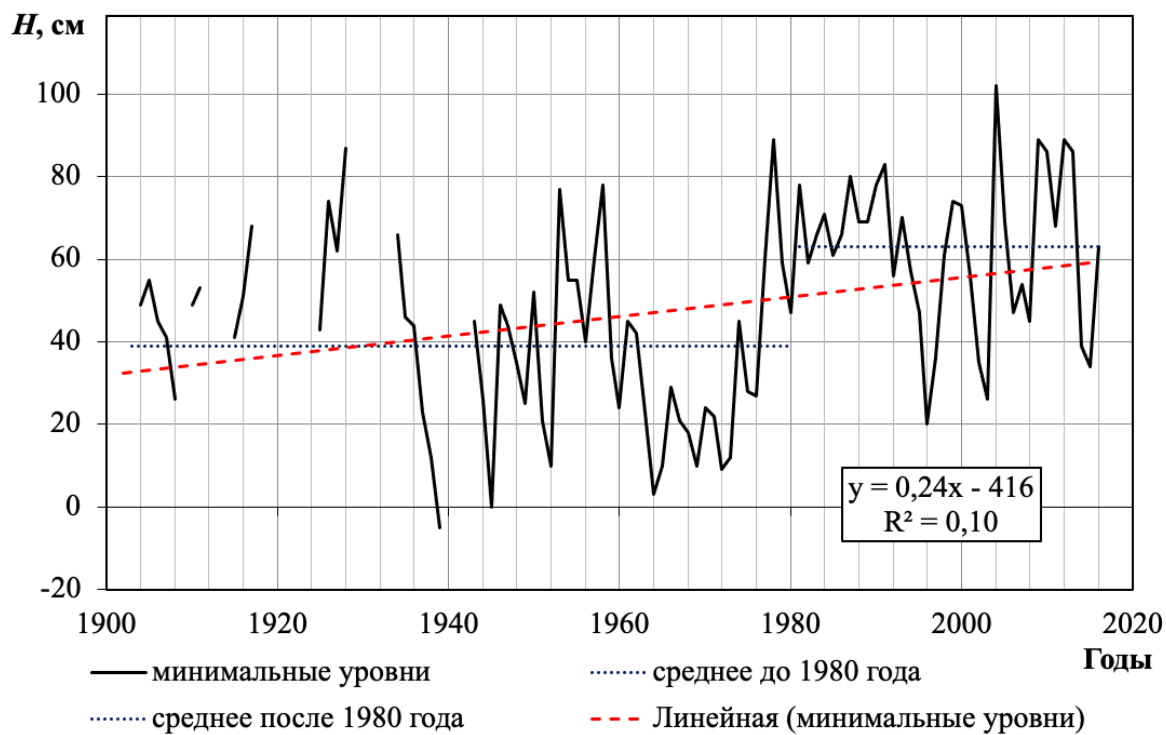


Рисунок Е.43 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Селигер.

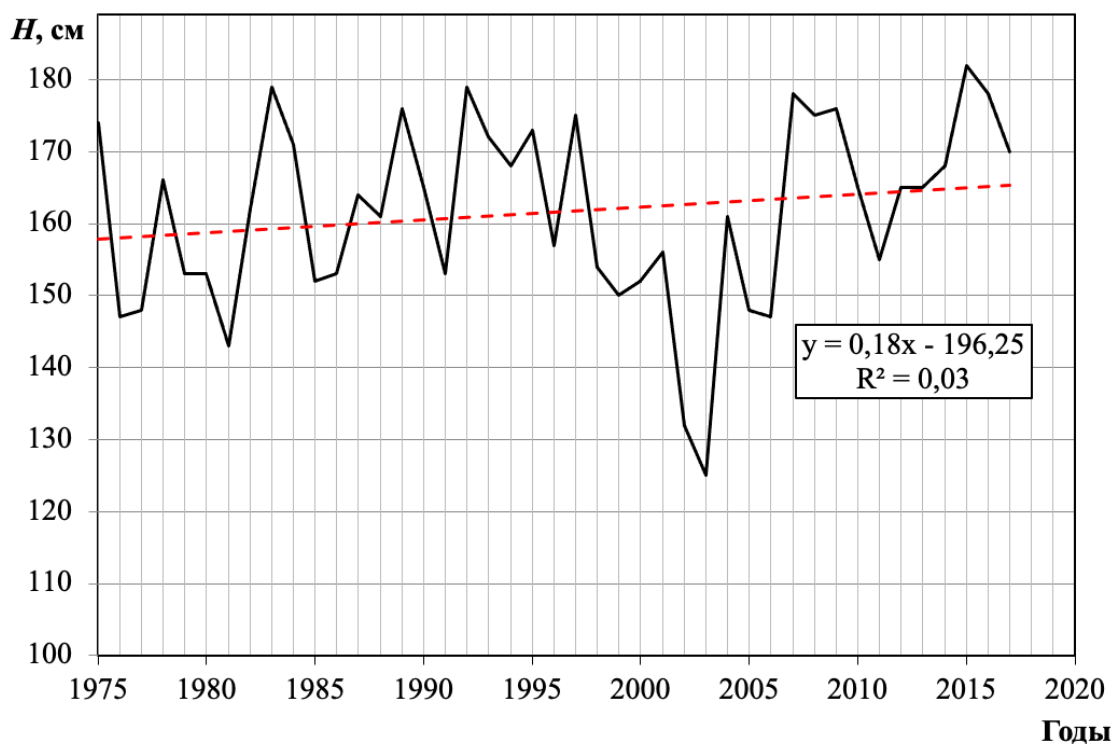


Рисунок Е.44 – Хронологический график минимальных уровней воды оз. Лендерское.

Приложение Ж – Хронологические графики максимальных уровней озёр

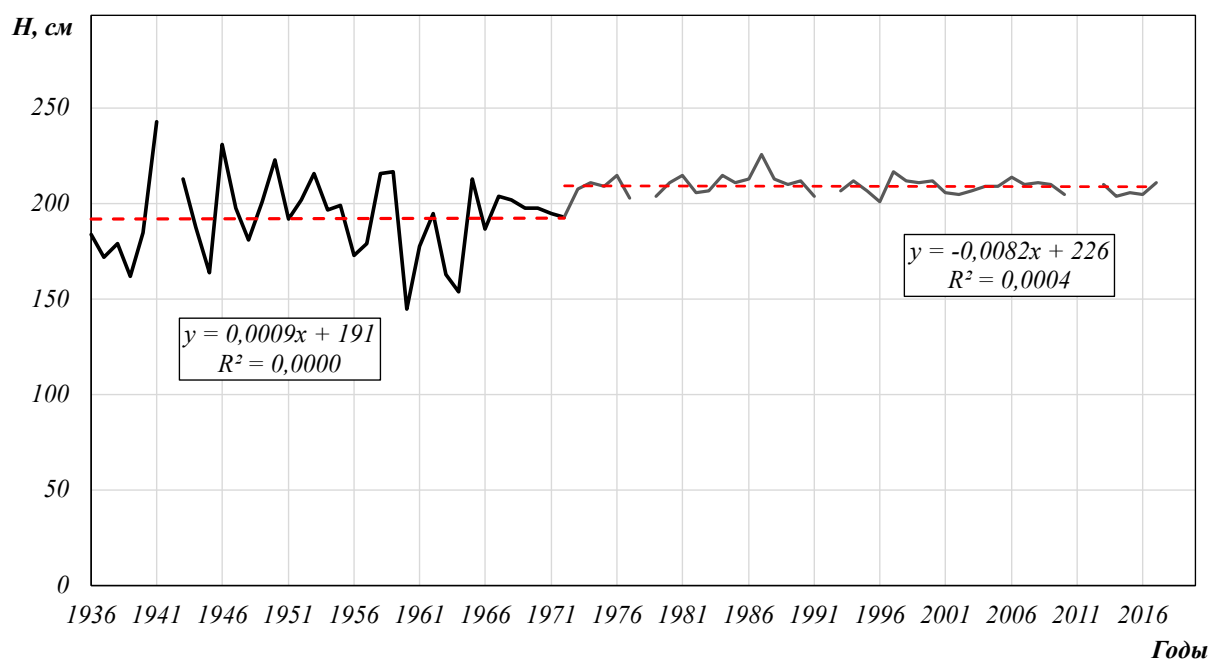


Рисунок Ж.1 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Валдайское.

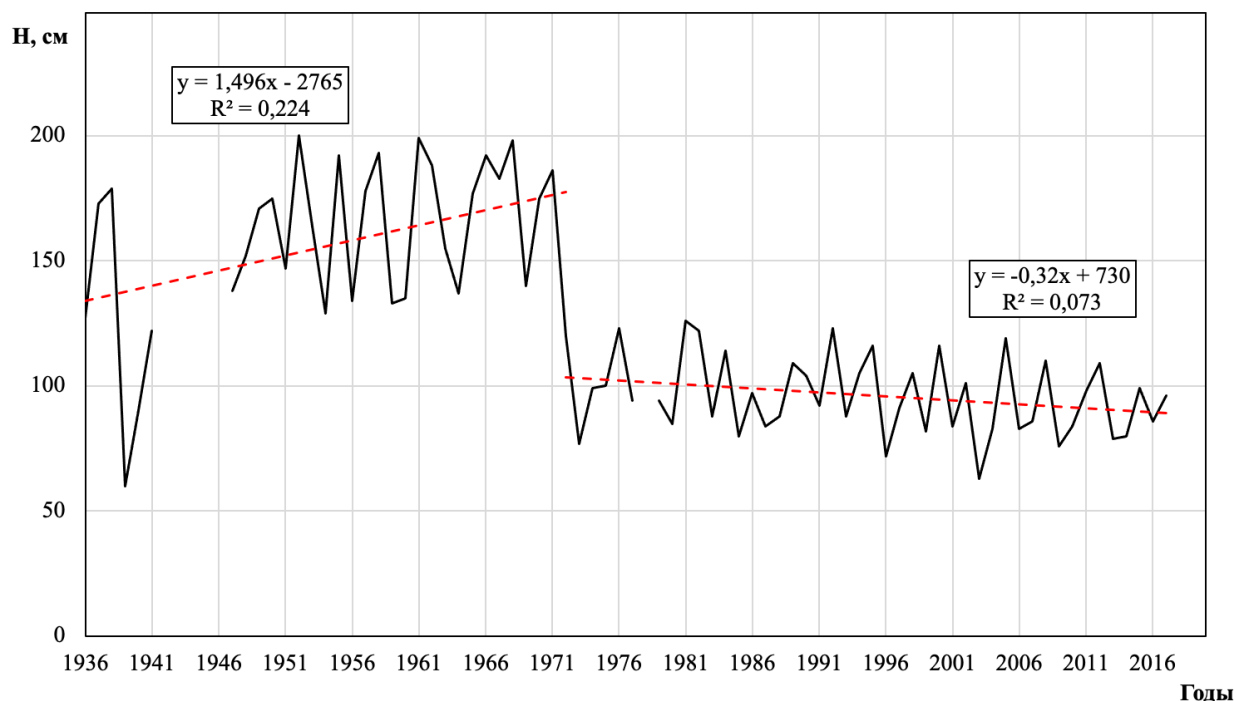


Рисунок Ж.2 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Ведлозеро.

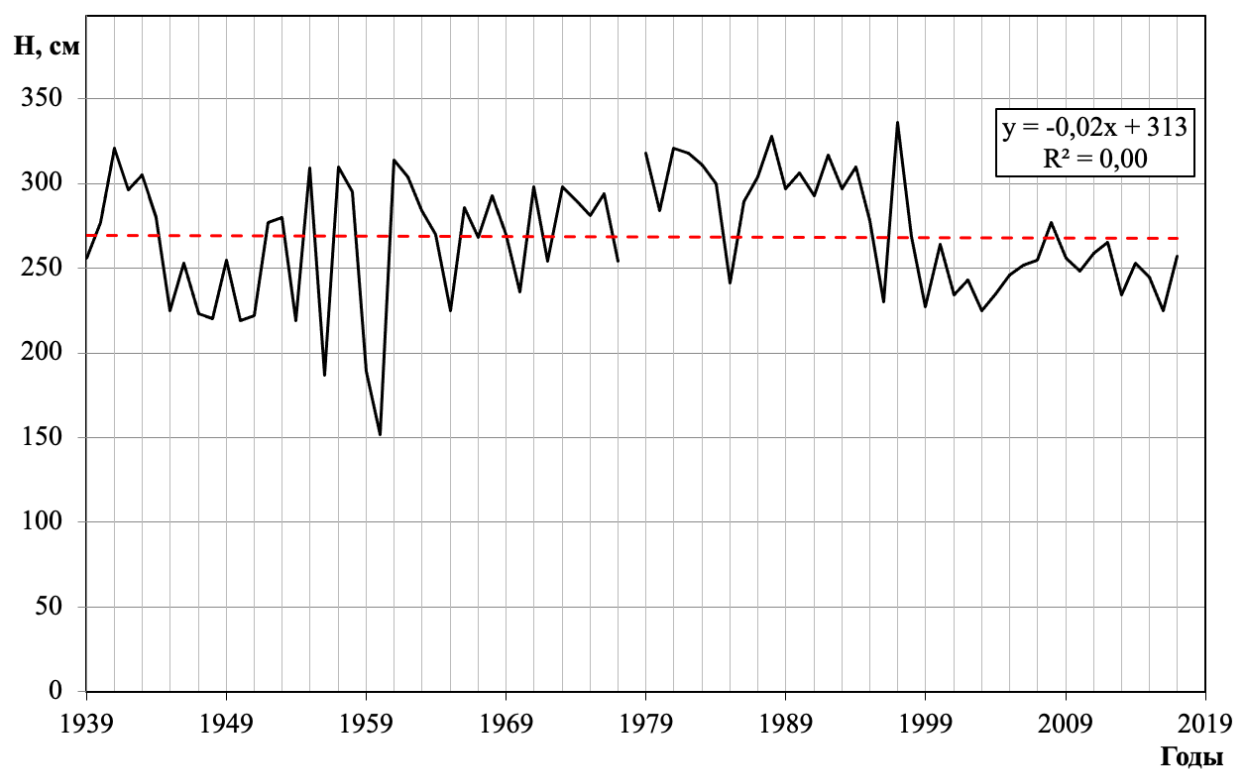


Рисунок Ж.3 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Водлозеро.

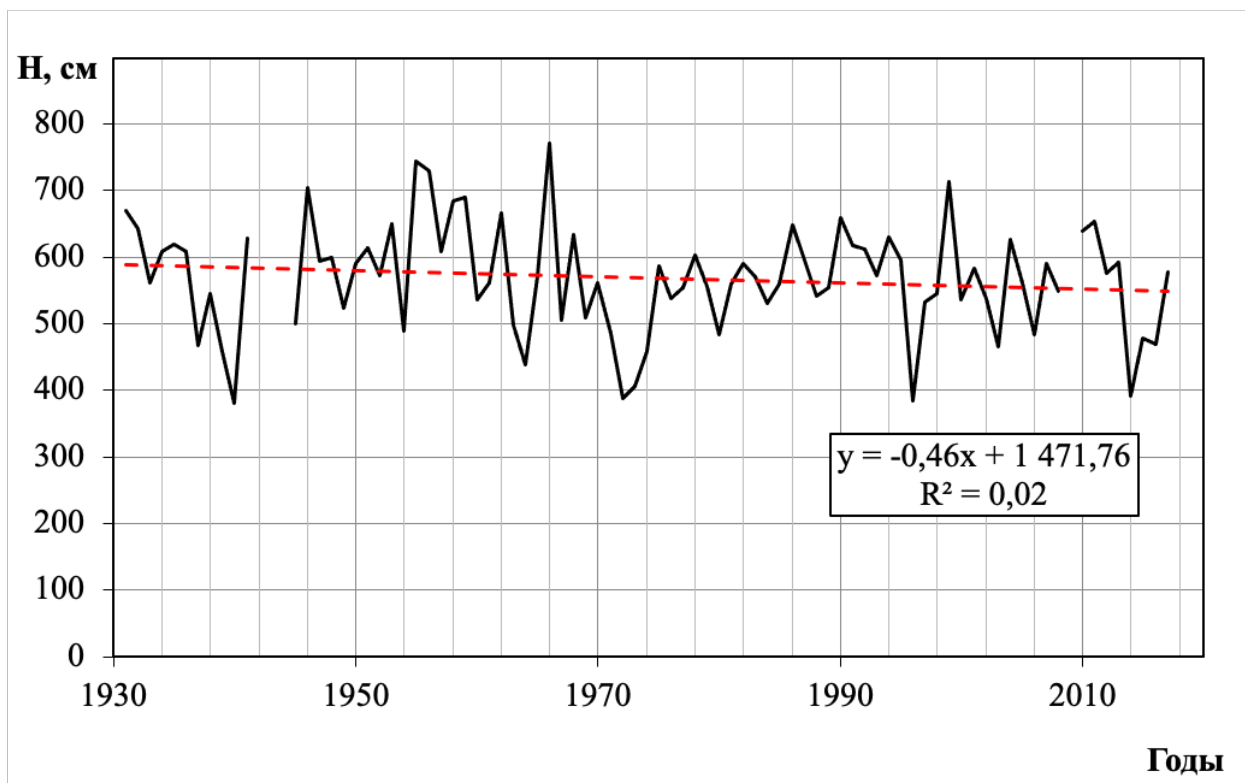


Рисунок Ж.4 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Ильмень.

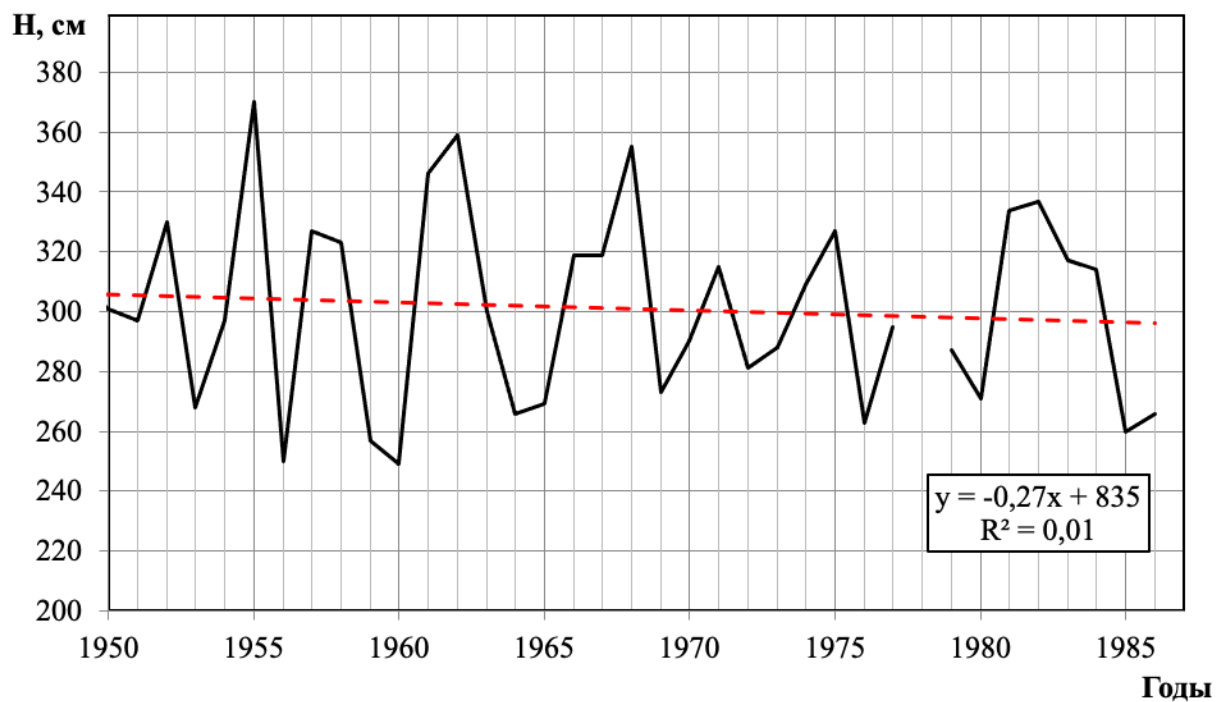


Рисунок Ж.5 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Гимольское.

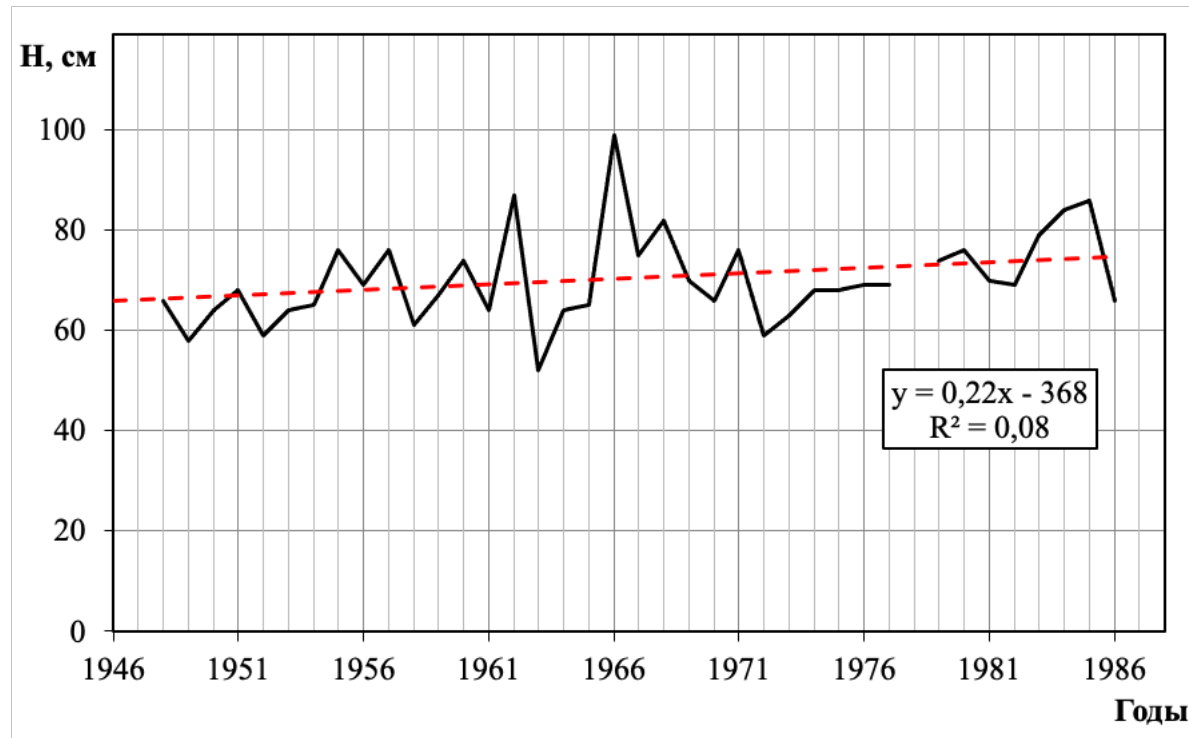


Рисунок Ж.6 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Глубокое.

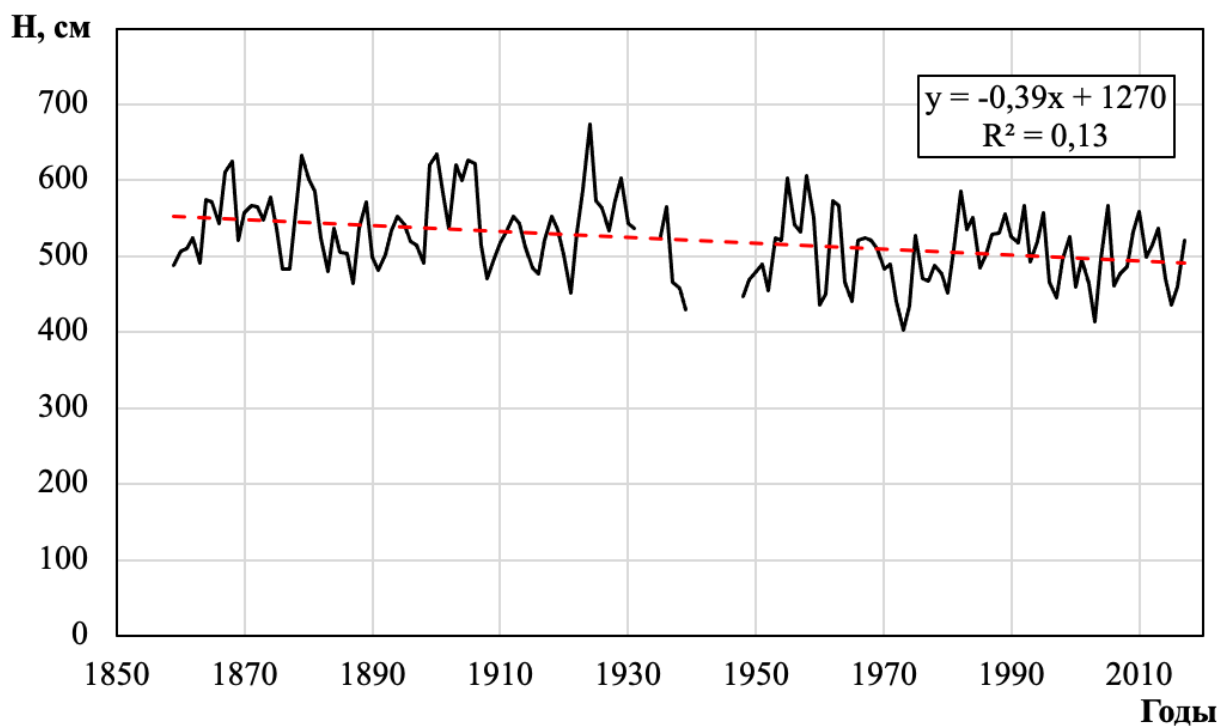


Рисунок Ж.7 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Ладожское.

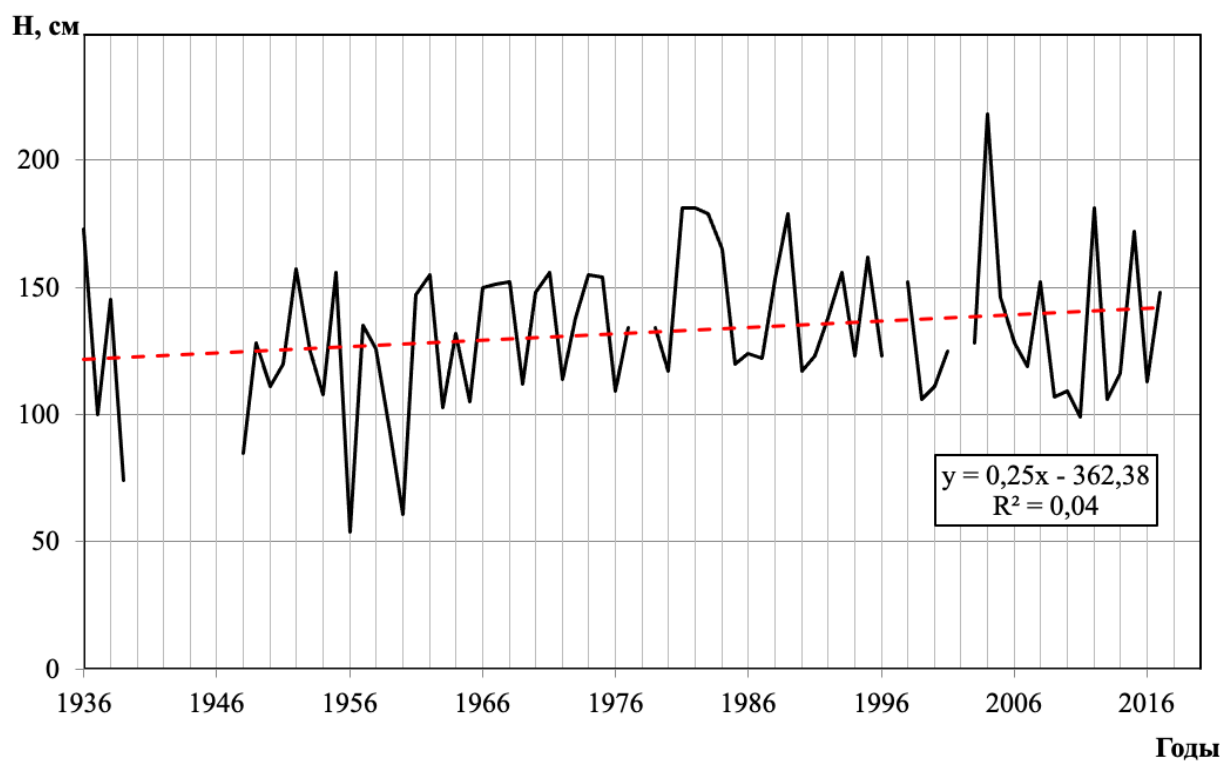


Рисунок Ж.8 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Лексозеро.



Рисунок Ж.9 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Онежское.

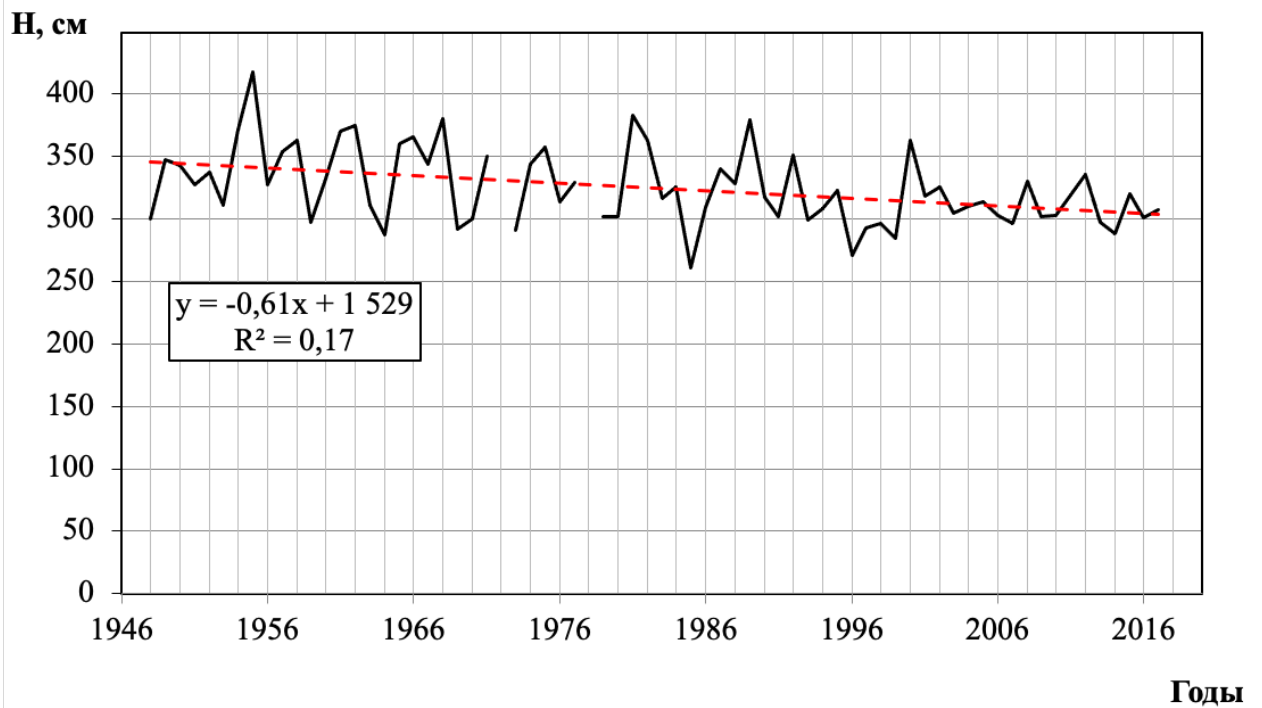


Рисунок Ж.10 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Суоярви.



Рисунок Ж.11 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Сяберо.



Рисунок Ж.12 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Сямозеро.

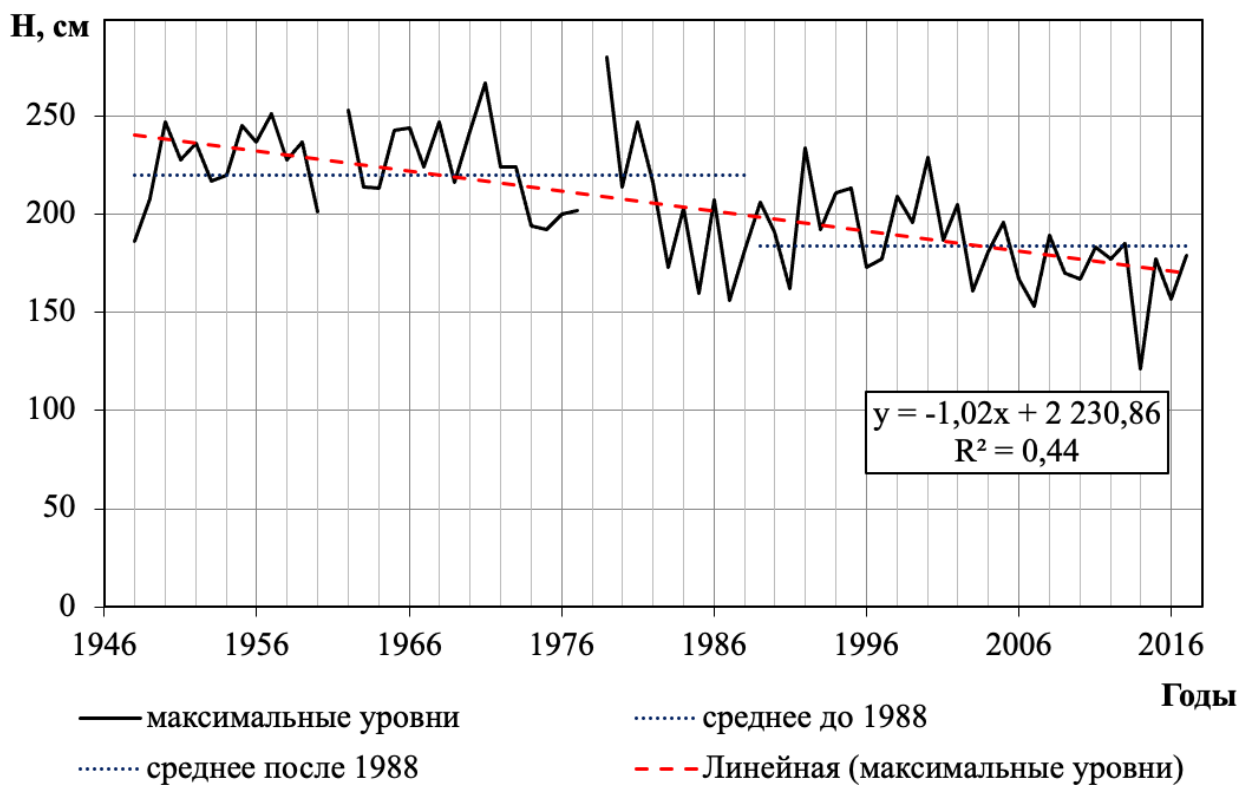


Рисунок Ж.13 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Тулмо-зеро.

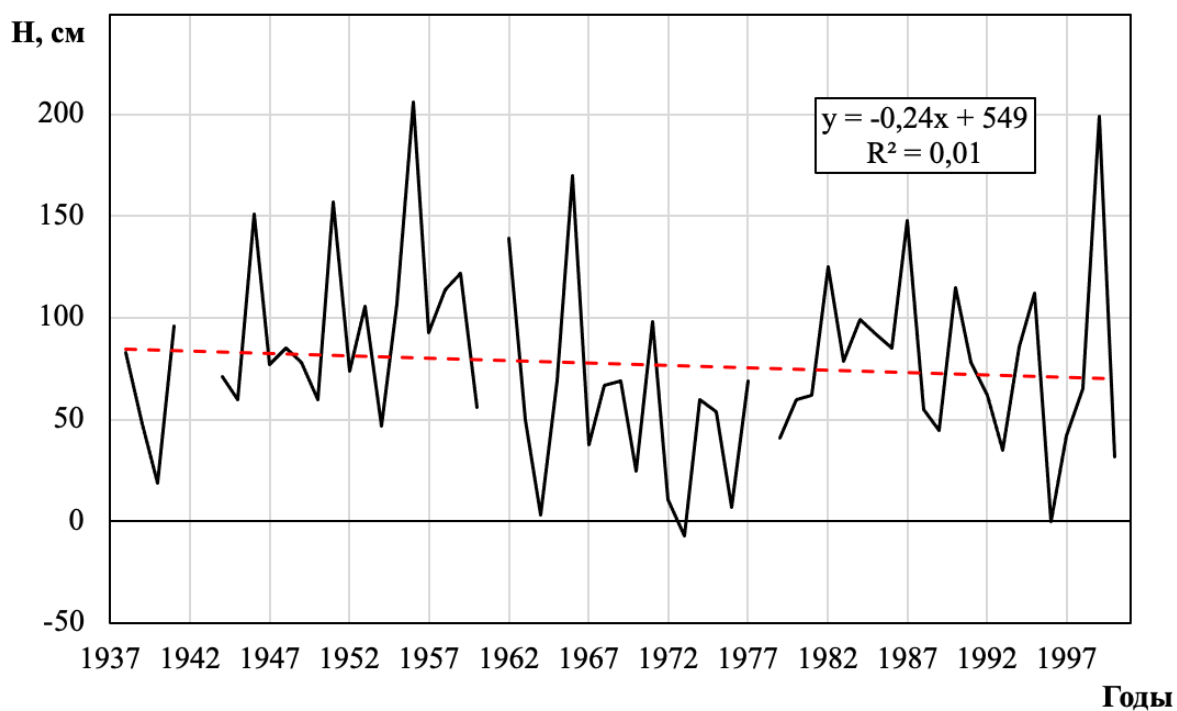


Рисунок Ж.14 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Череменицкое.

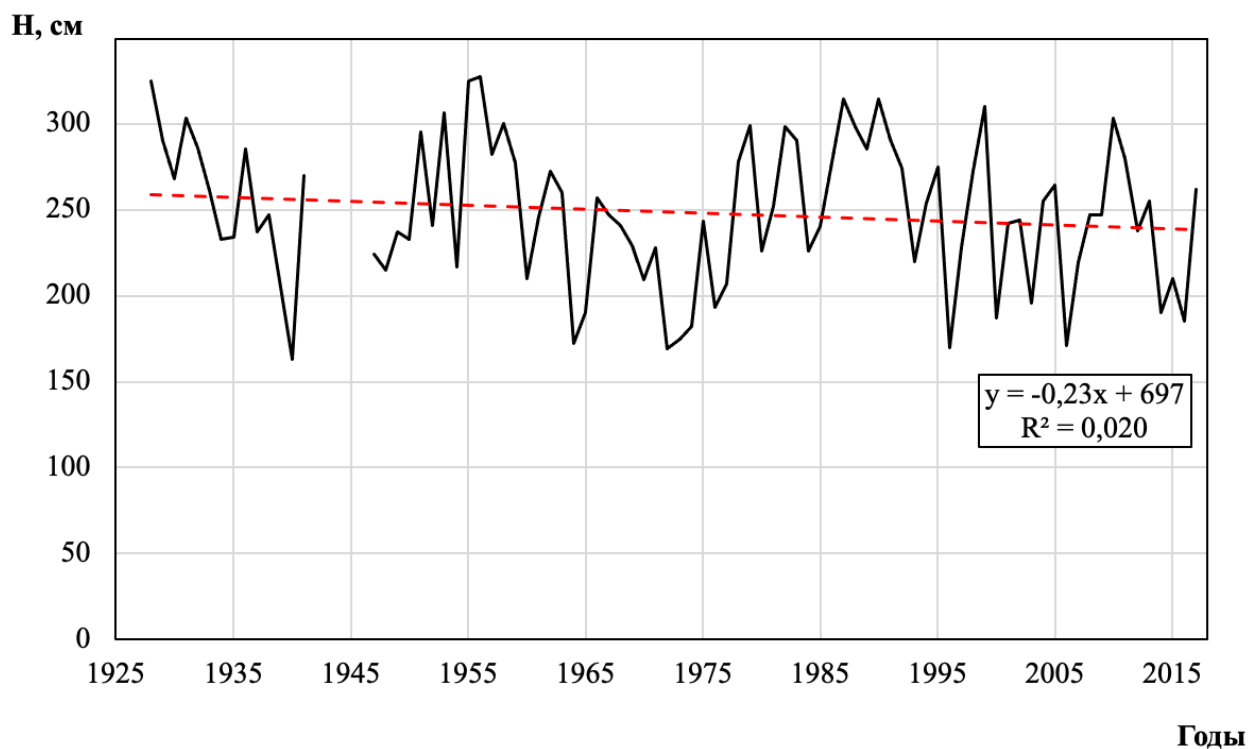


Рисунок Ж.15 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Чудское.

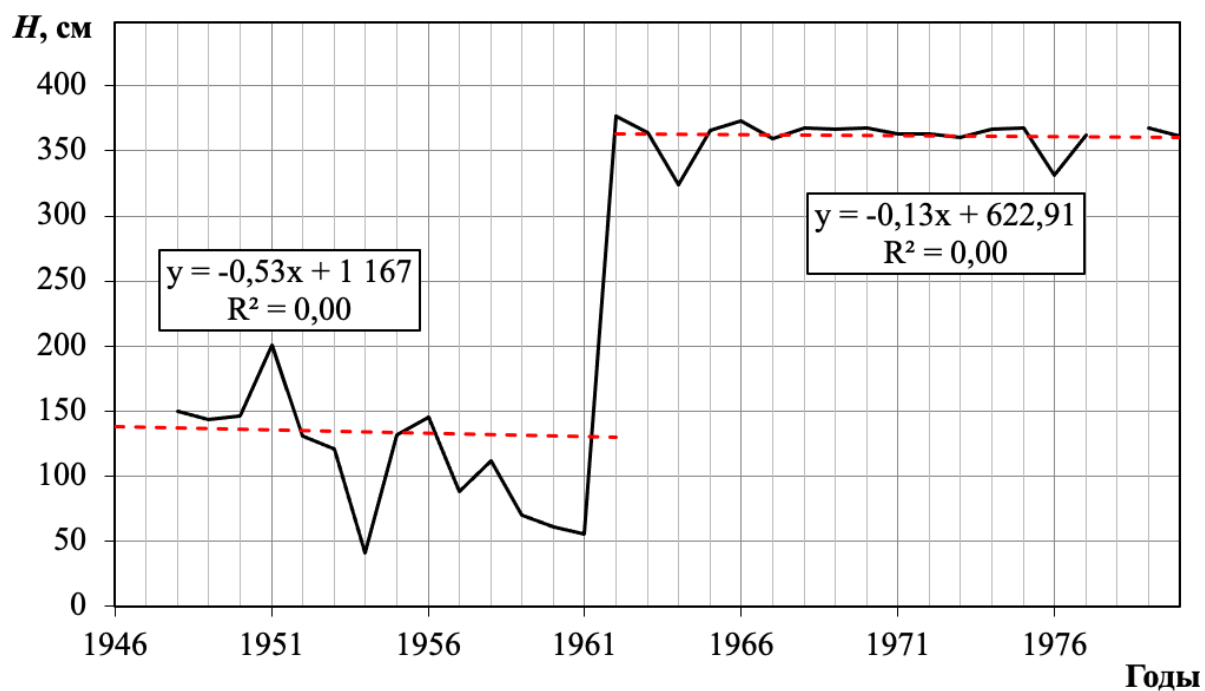


Рисунок Ж.16 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Лие-
лайс-Лудза.

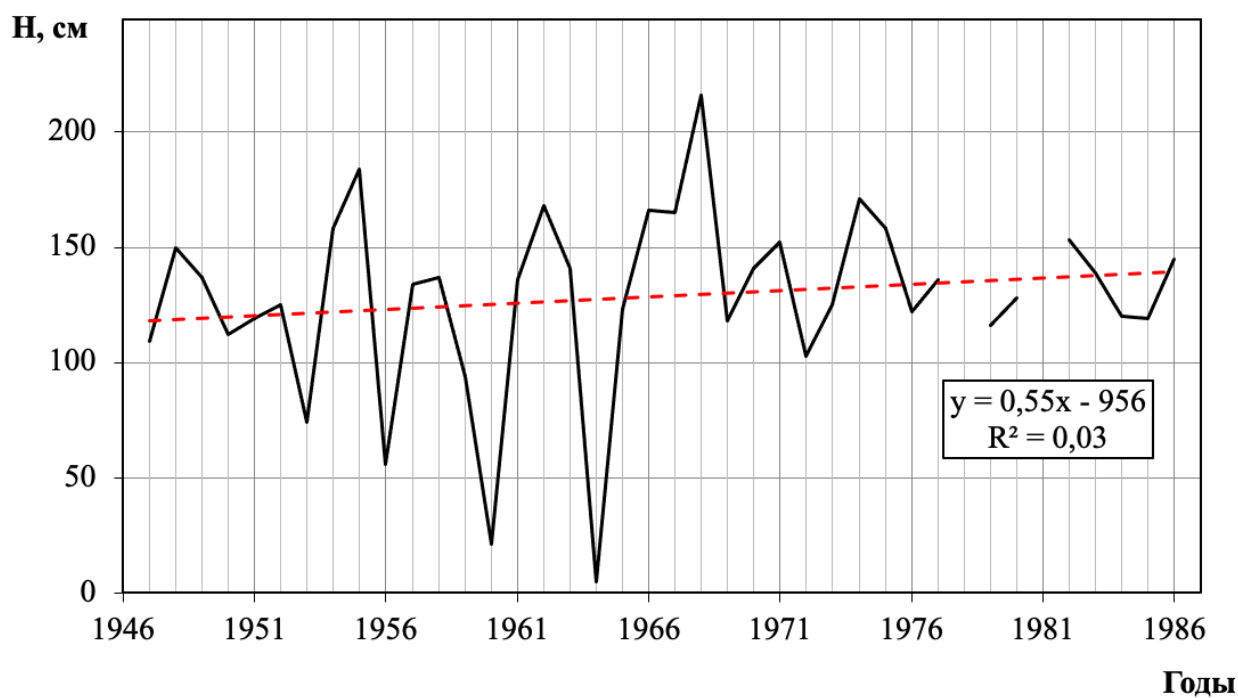


Рисунок Ж.17 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Янис-Ярви.

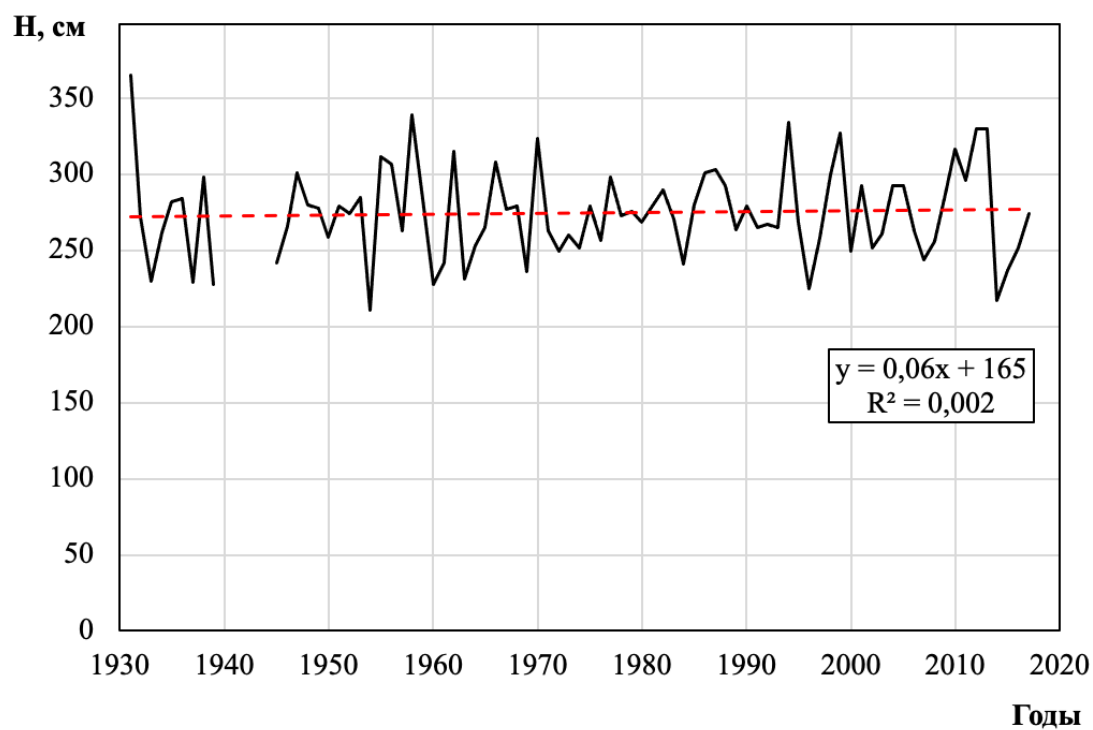


Рисунок Ж.18 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Щучье.

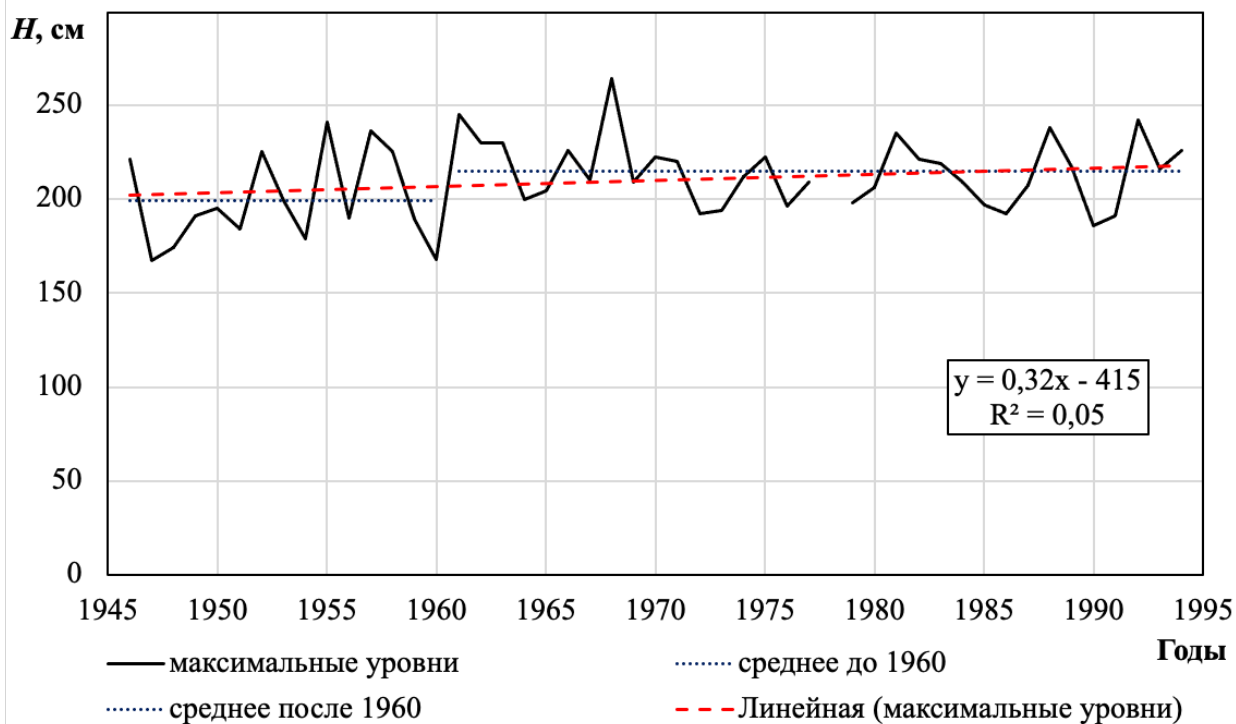


Рисунок Ж.19 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Лиж-
мозеро.

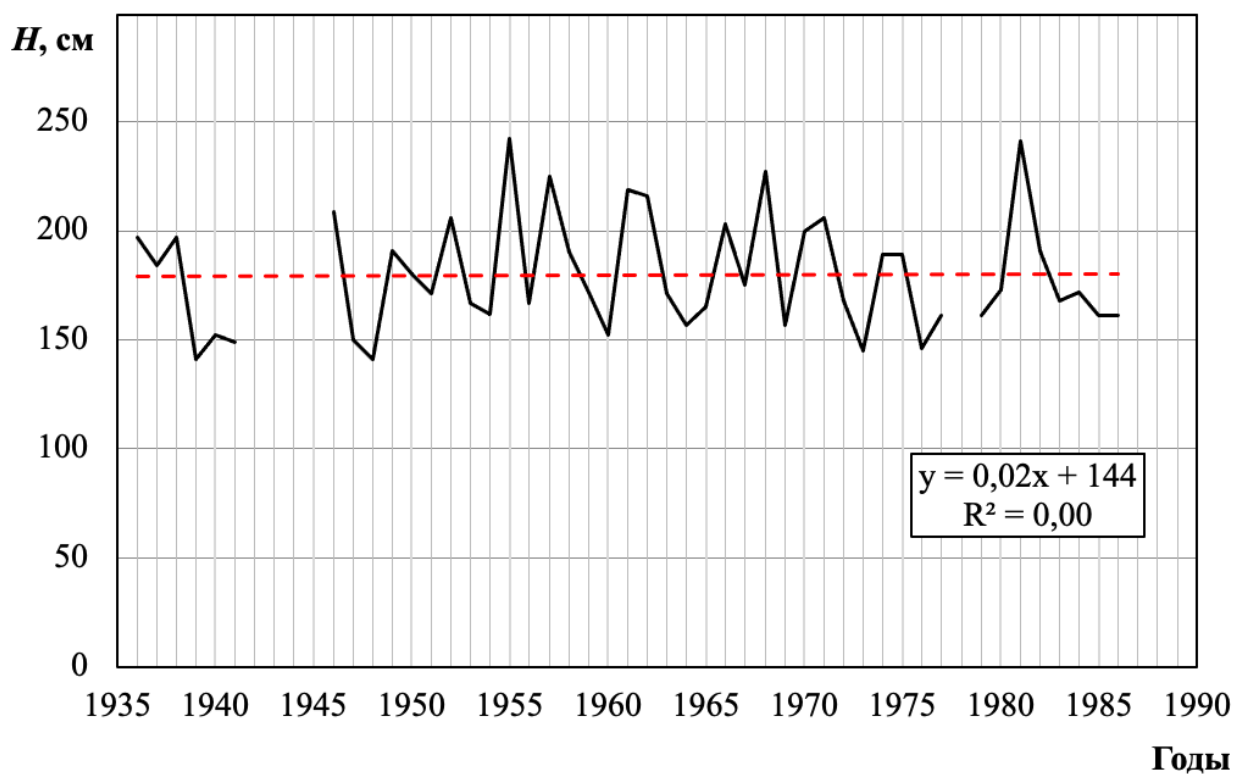


Рисунок Ж.20 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Линдо-
зеро.

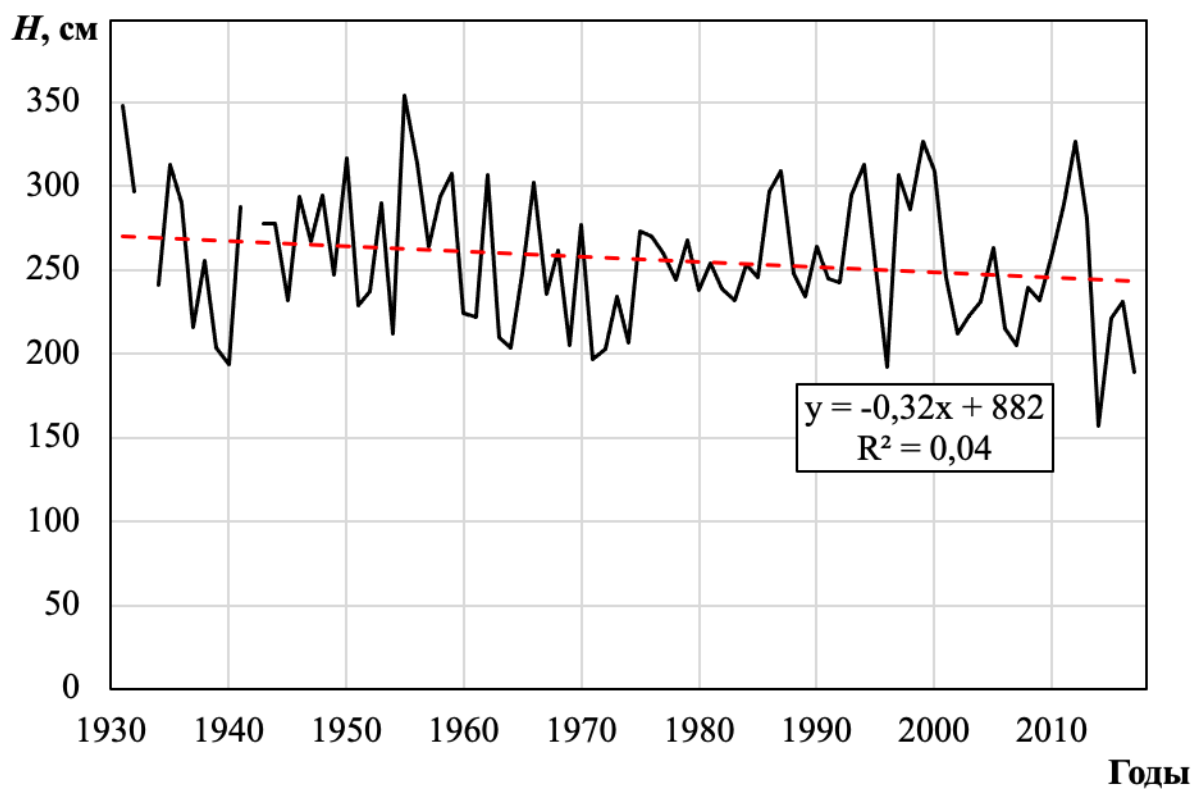


Рисунок Ж.21 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Охват.

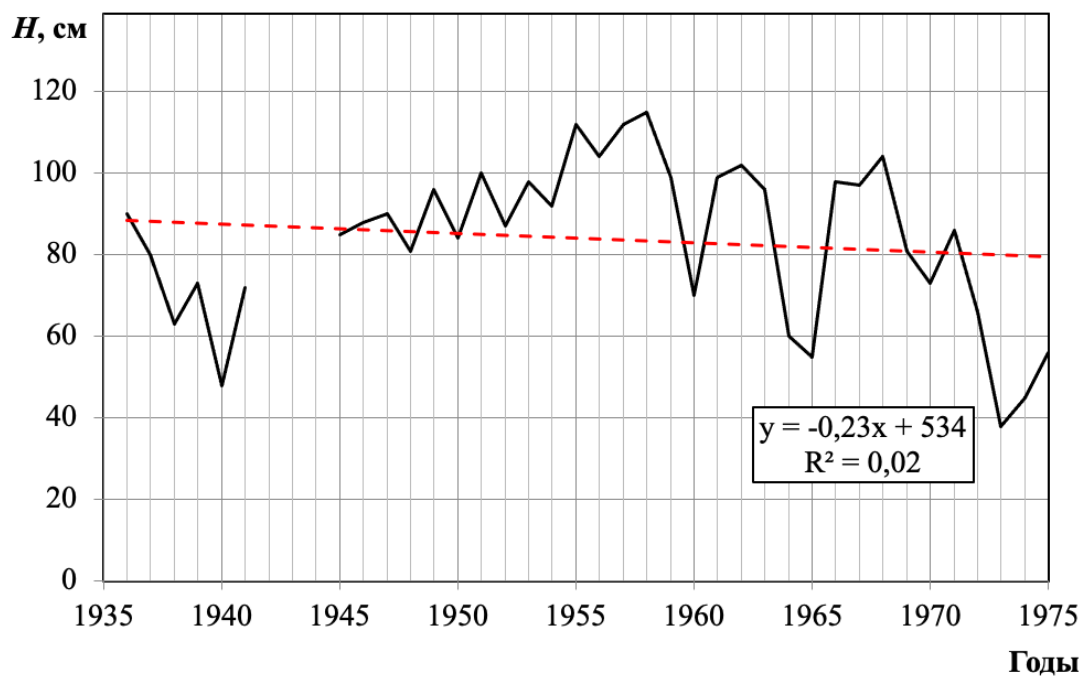


Рисунок Ж.22 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Самро.

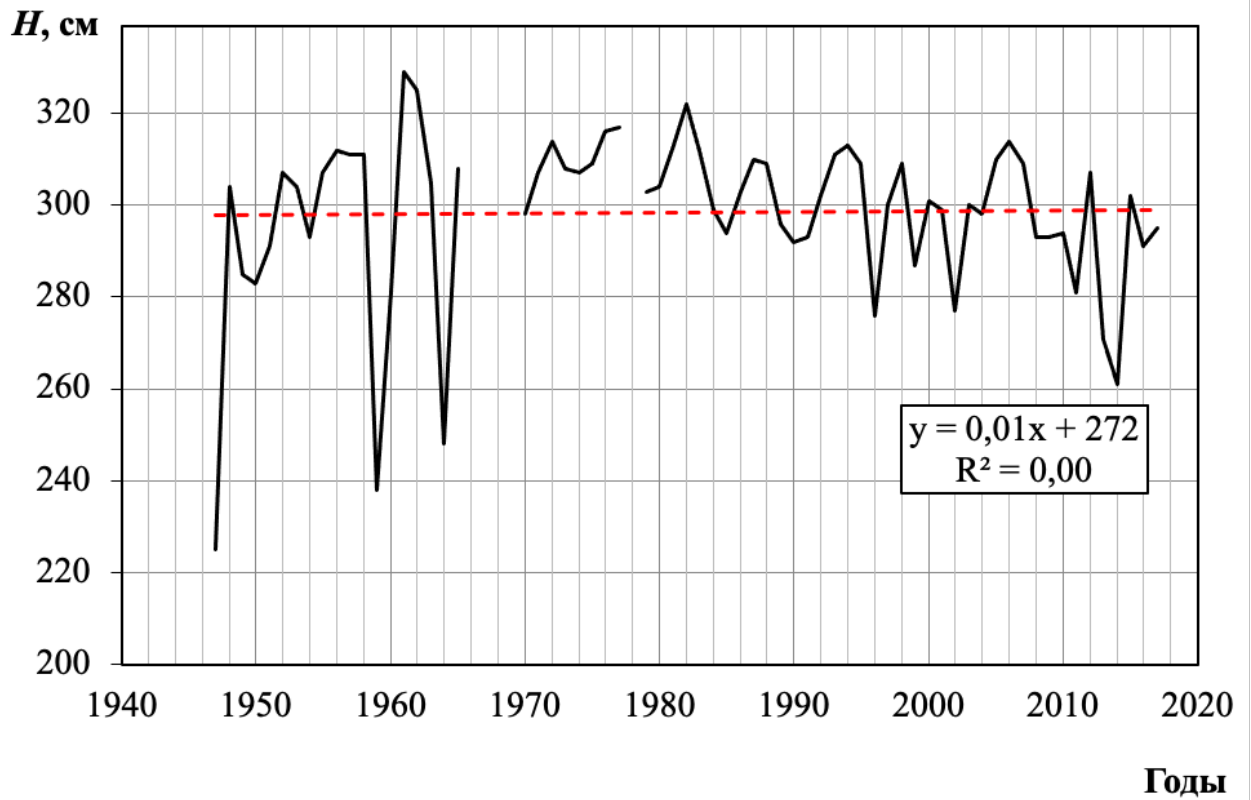


Рисунок Ж.23 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Сандал.



Рисунок Ж.24 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Остречье.

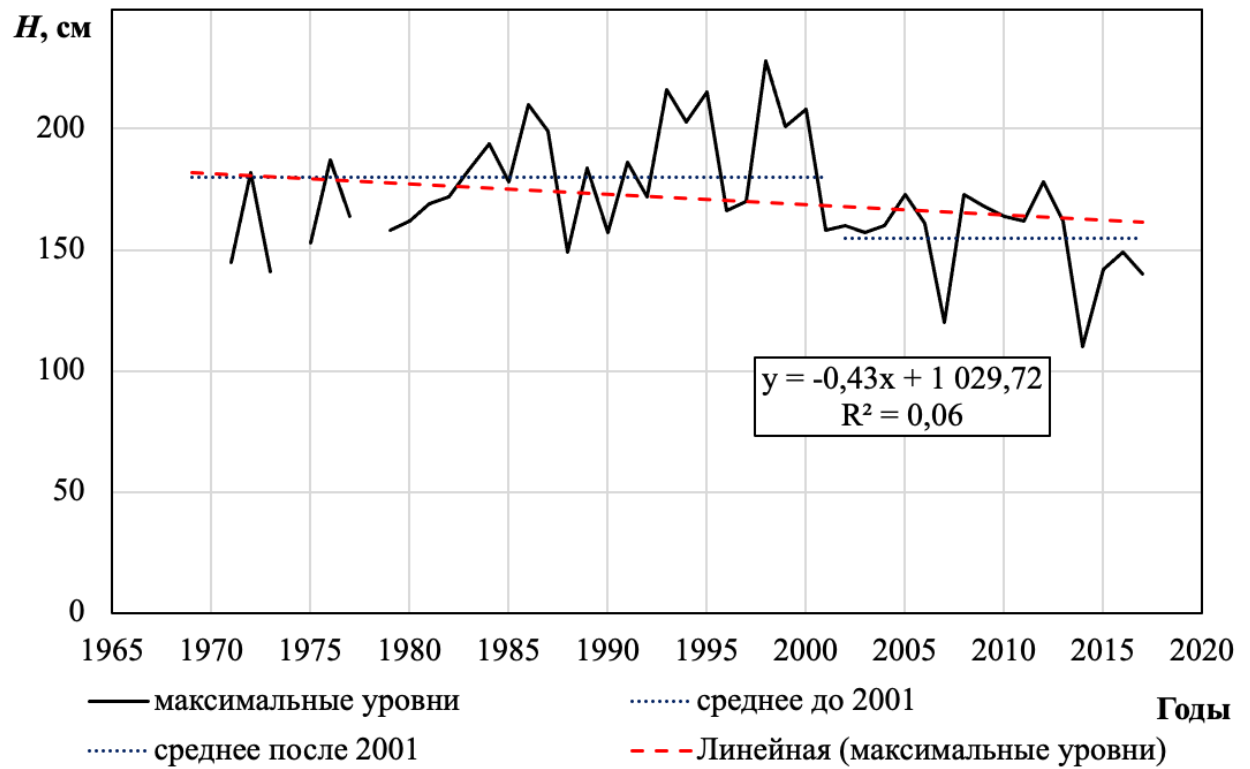


Рисунок Ж.25 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Шугозеро.

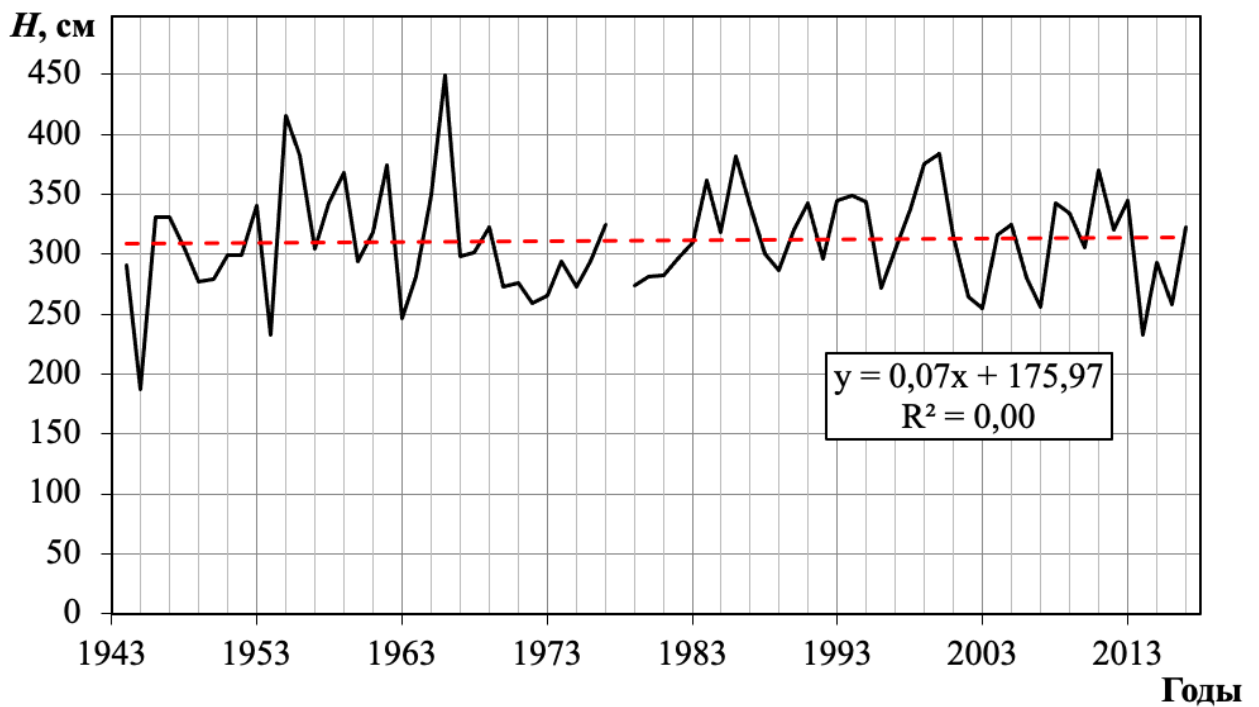


Рисунок Ж.26 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Коробжа.

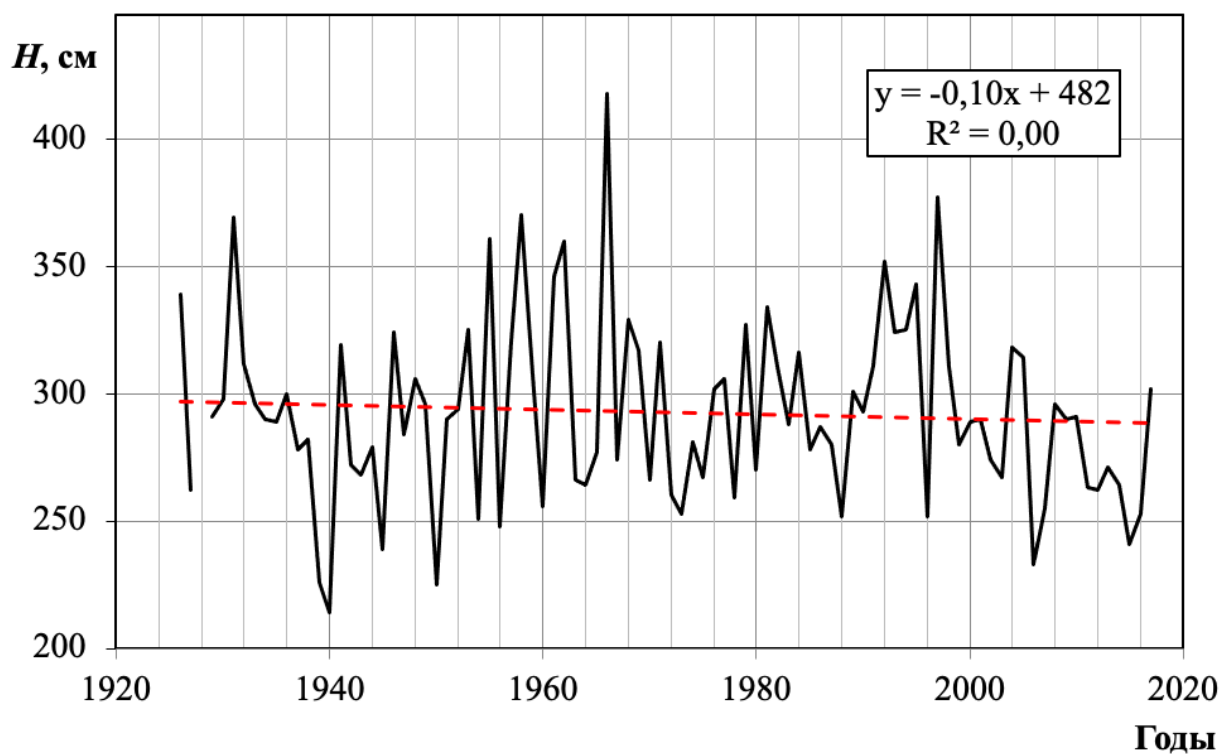


Рисунок Ж.27 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Лача.

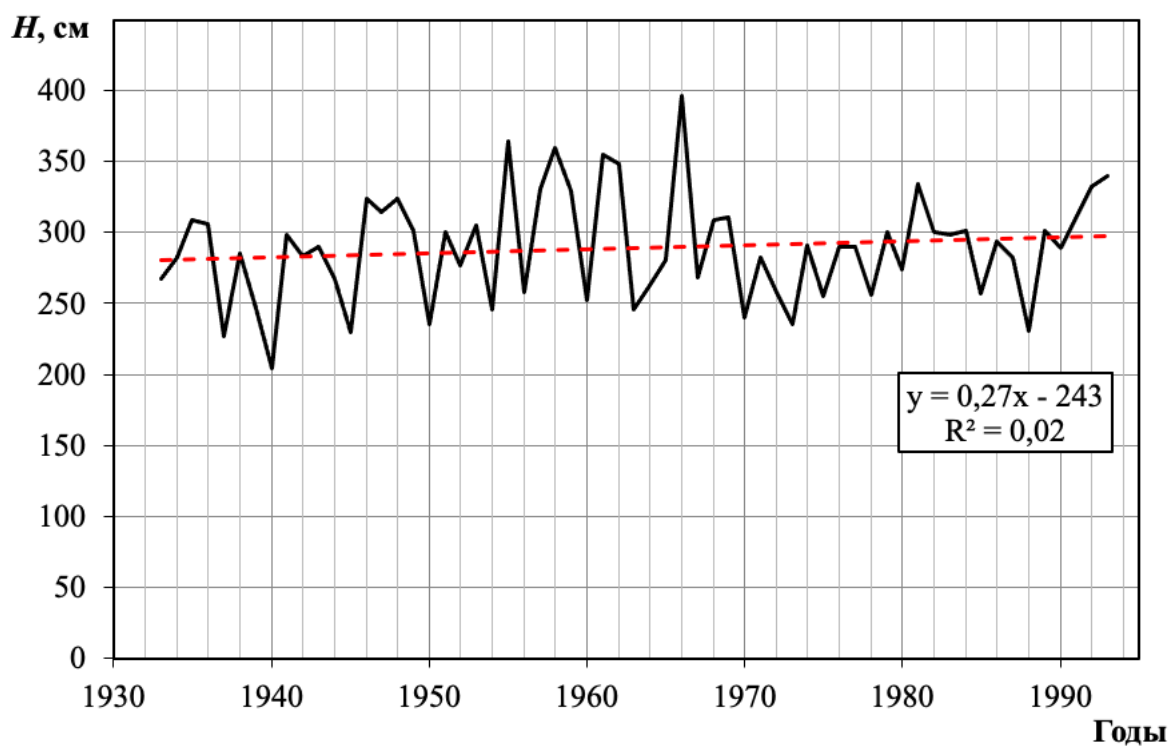


Рисунок Ж.28 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Воже.

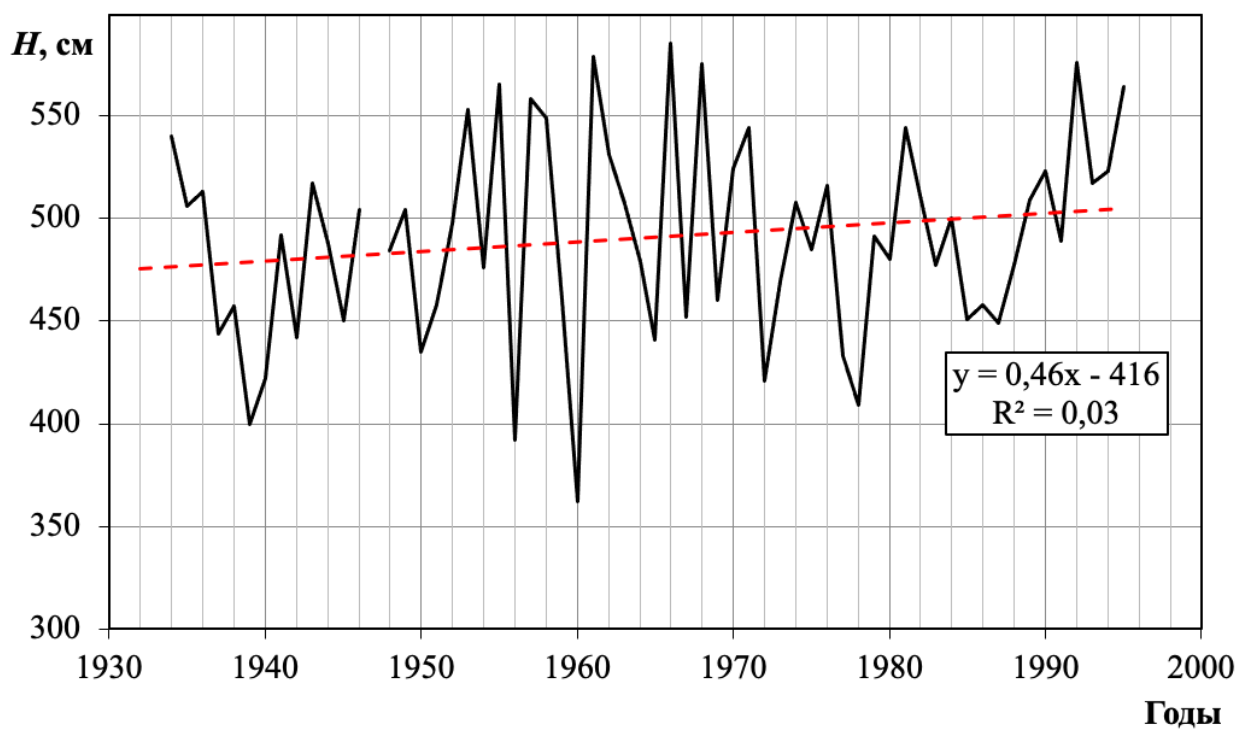


Рисунок Ж.29 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Кенз-озеро.

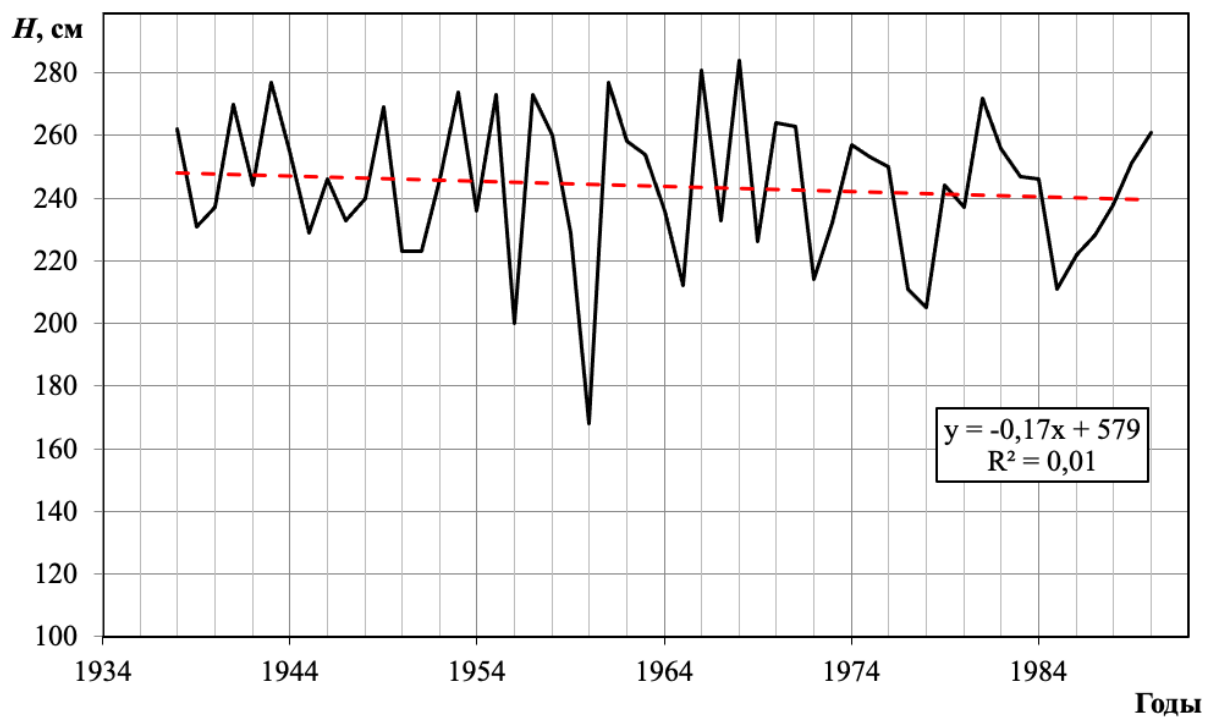


Рисунок Ж.30 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Унд-озеро.

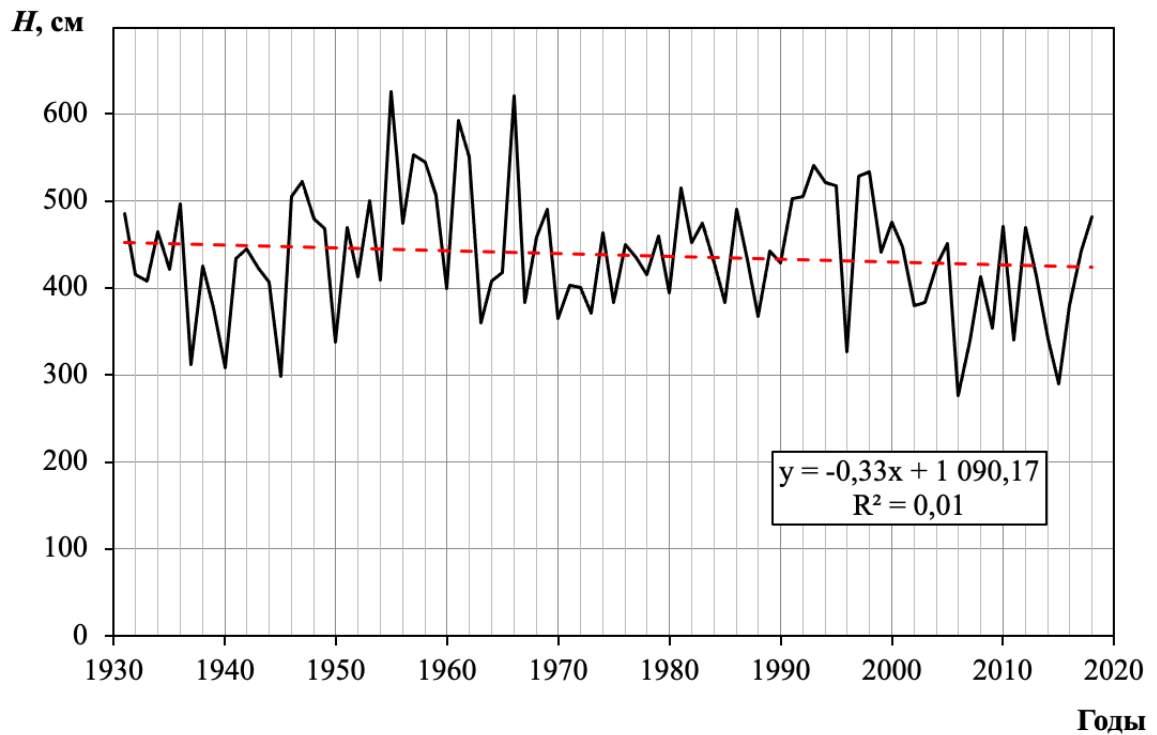


Рисунок Ж.31 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Кубенское.

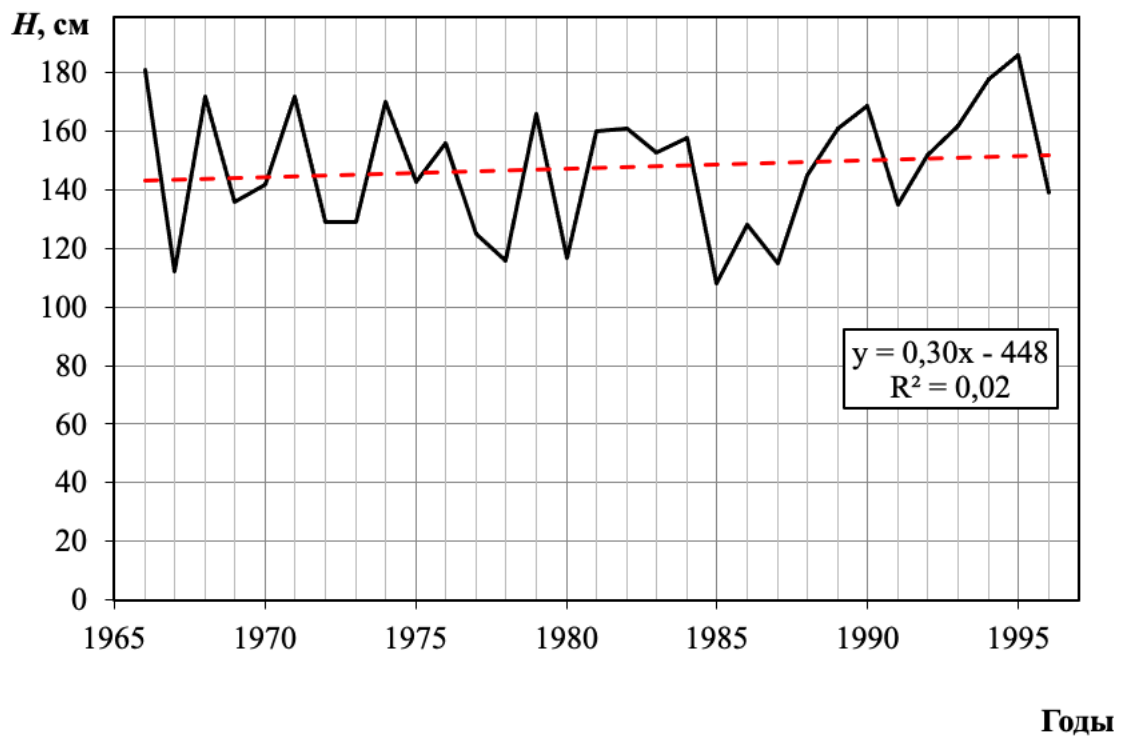


Рисунок Ж.32 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Большое Михайловское.

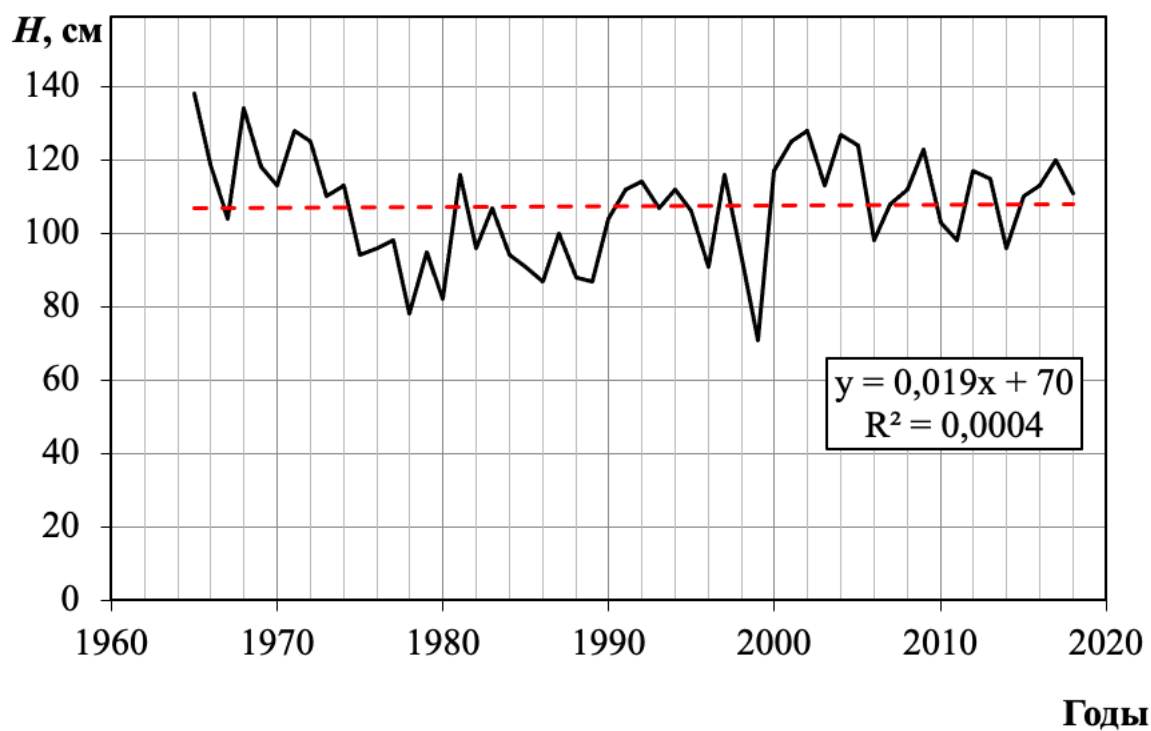


Рисунок Ж.33 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Лекшм-озеро.

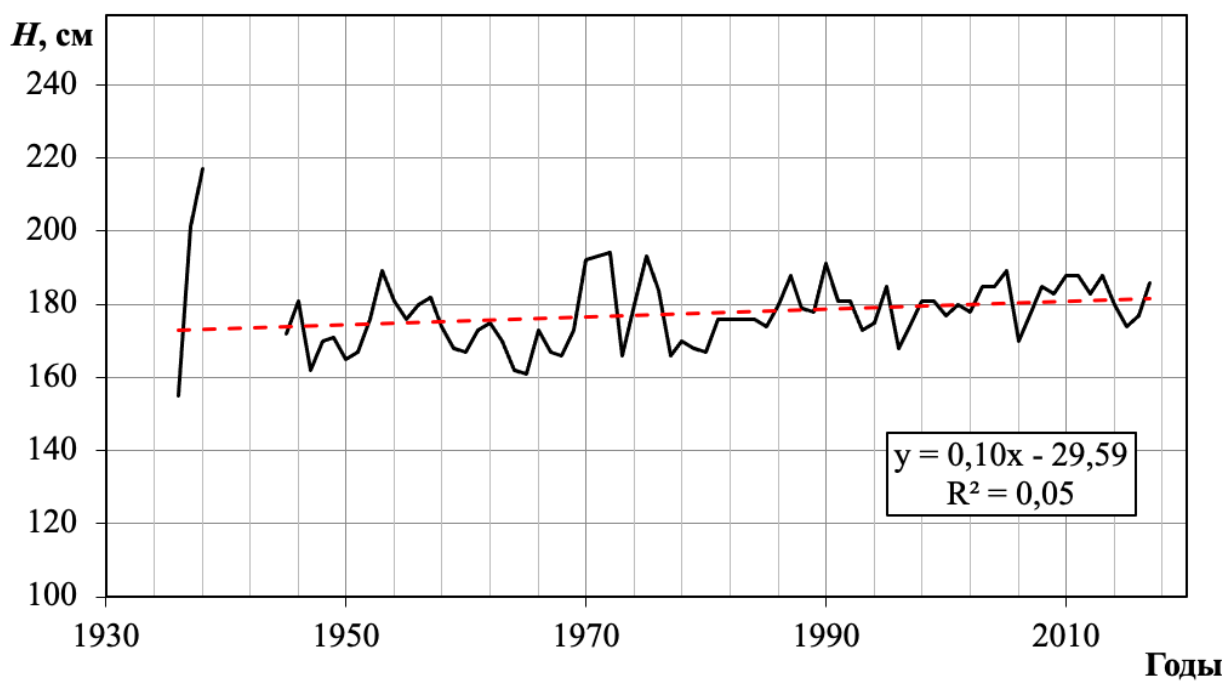


Рисунок Ж.34 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Долгое.

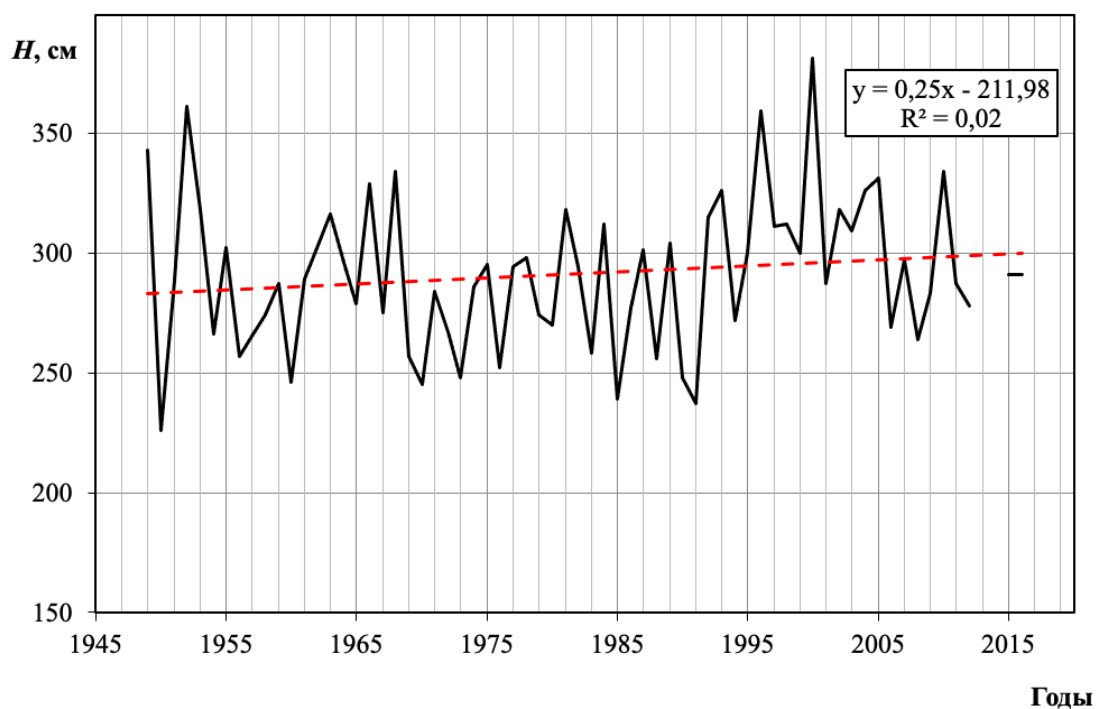


Рисунок Ж.35 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Кузэсь-Ярви.

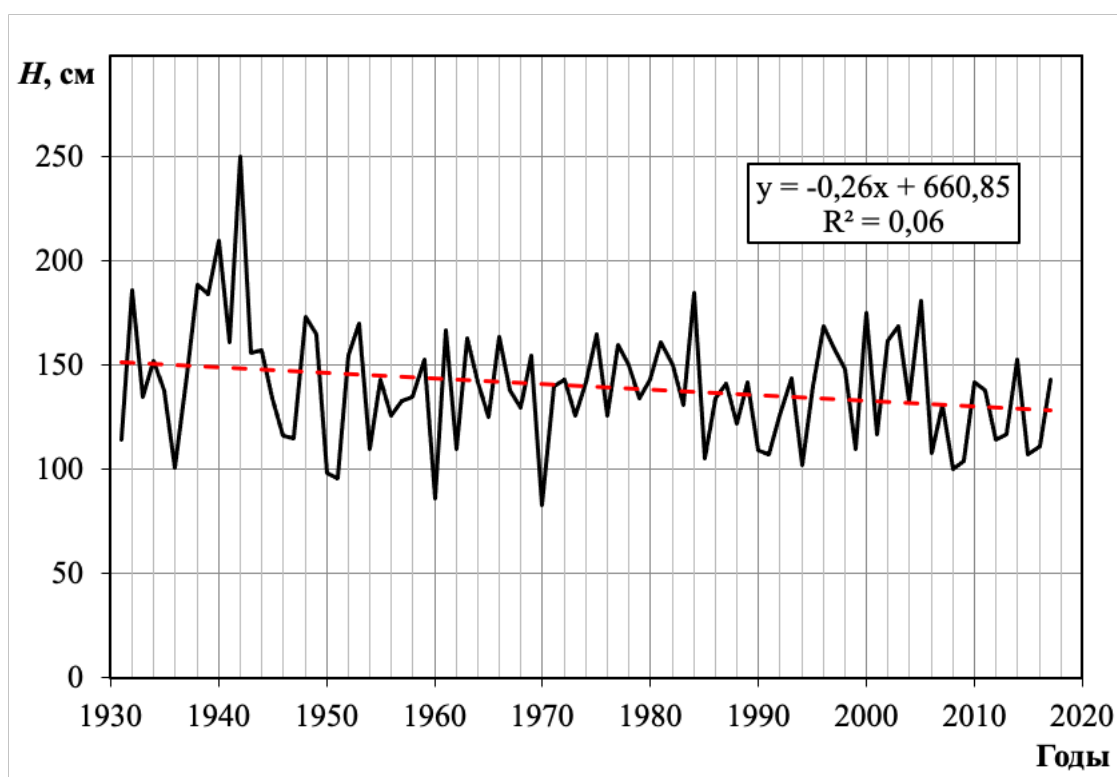


Рисунок Ж.36 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Пулозеро.

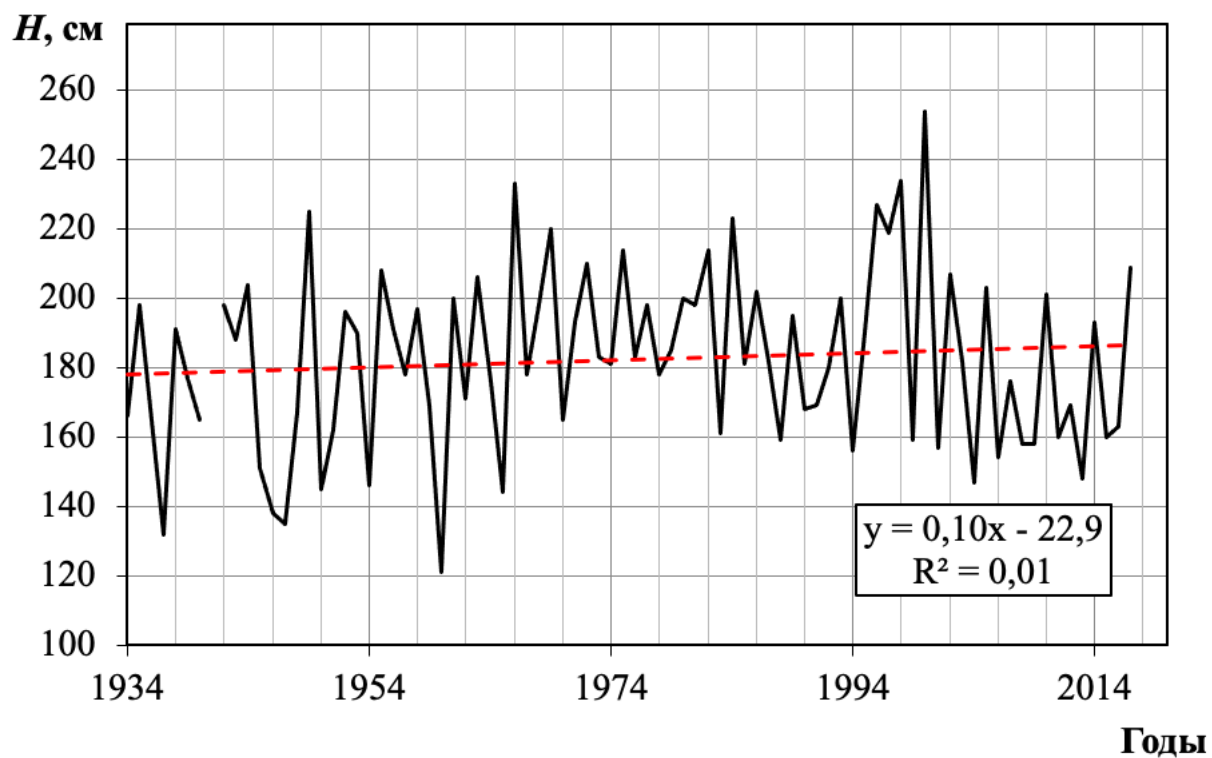


Рисунок Ж.37 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Ловозеро.

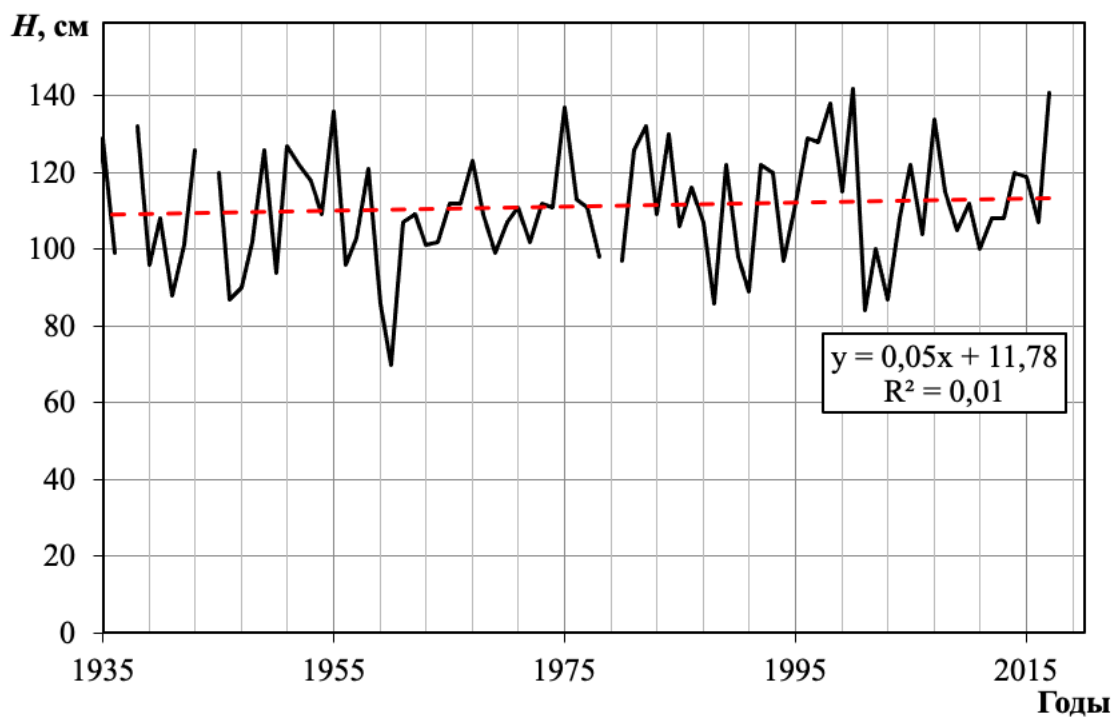


Рисунок Ж.38 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Умбозеро.

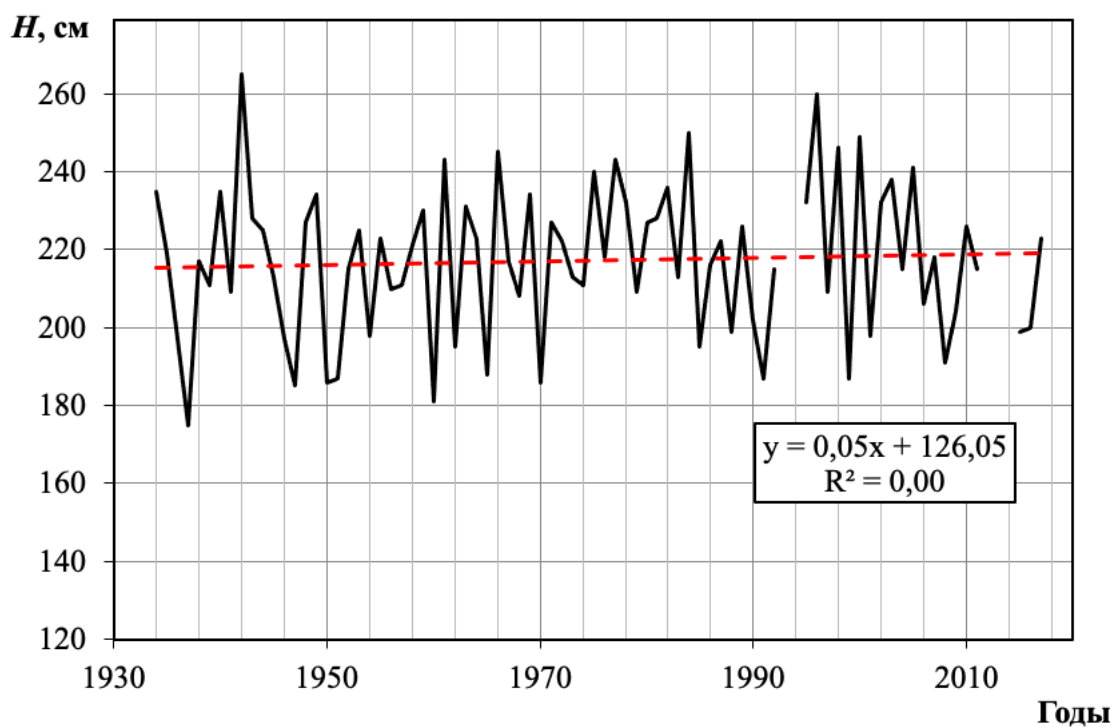


Рисунок Ж.39 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Перму-созеро.

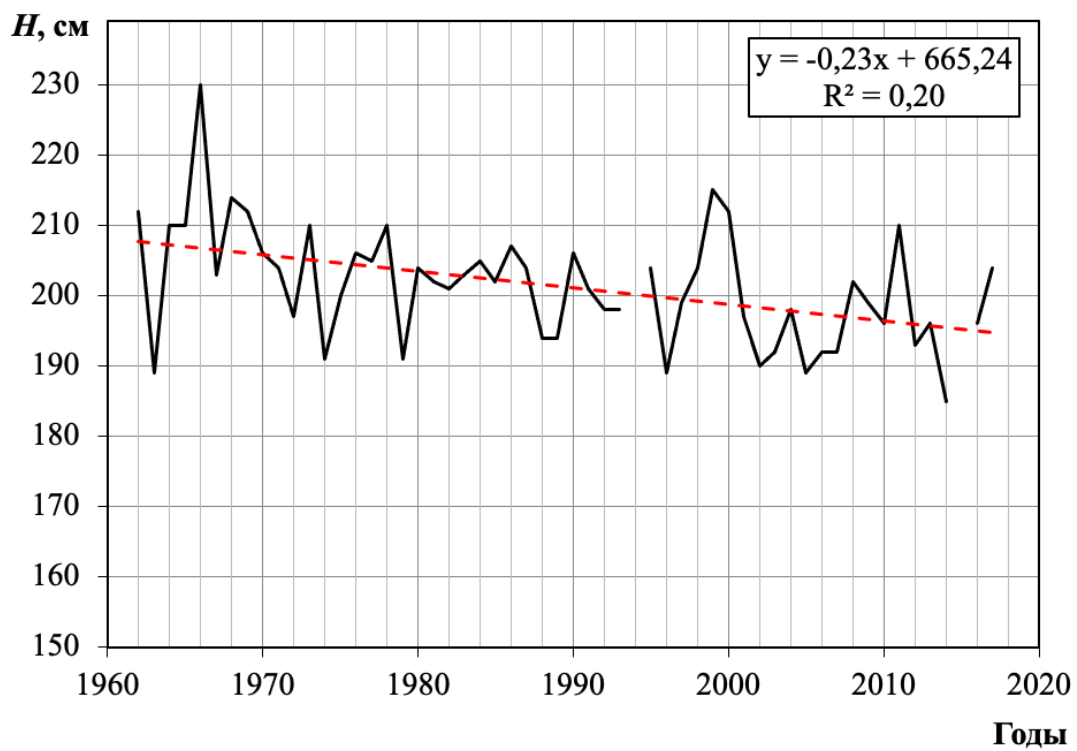


Рисунок Ж.40 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Пелено.

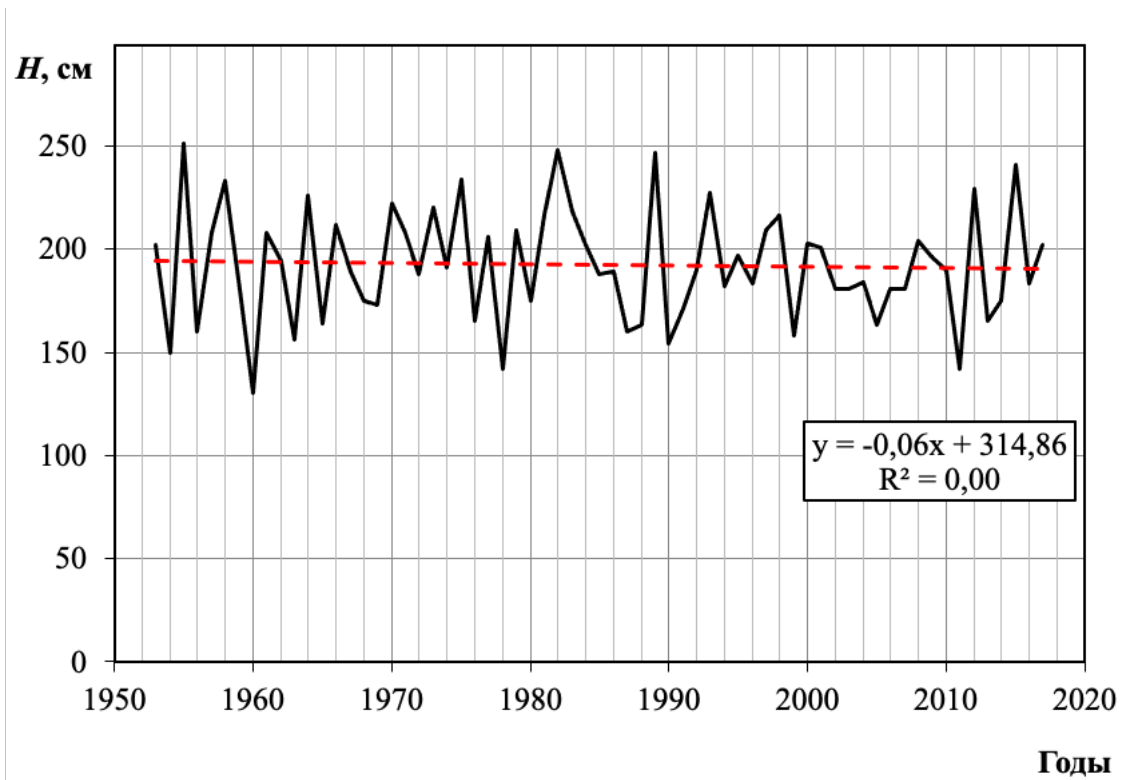


Рисунок Ж.41 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Верхнее Куйто.

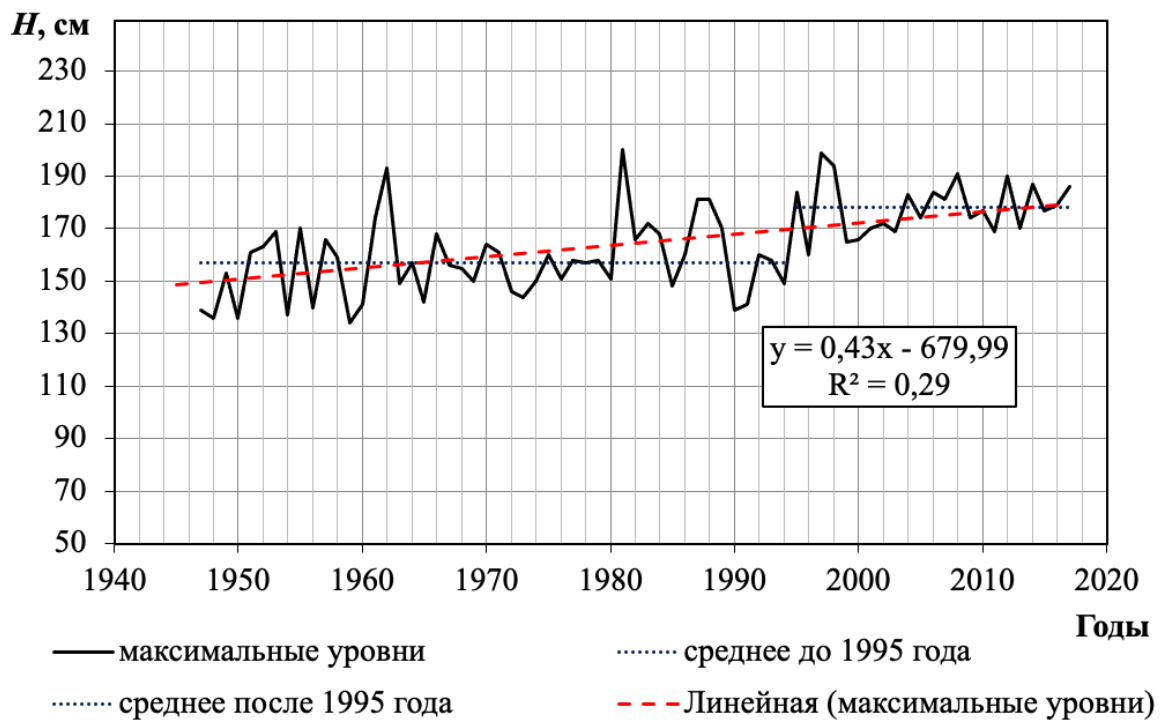


Рисунок Ж.42 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Ругозеро.

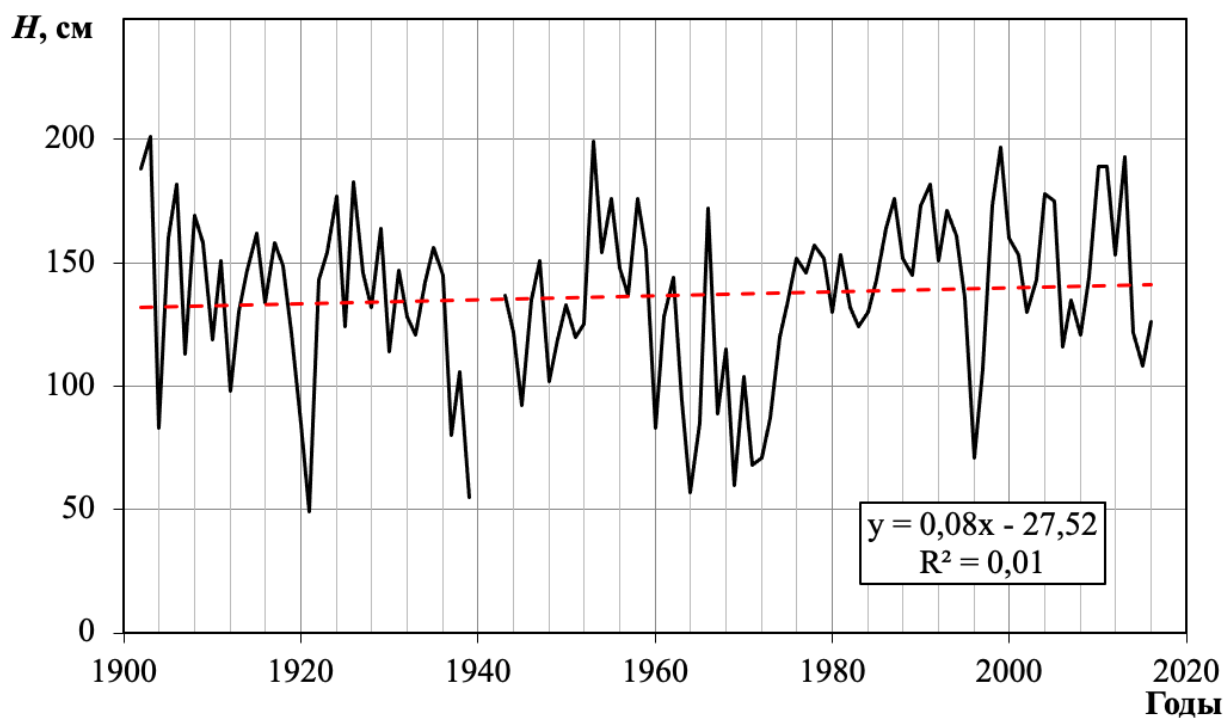


Рисунок Ж.43 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Селигер.

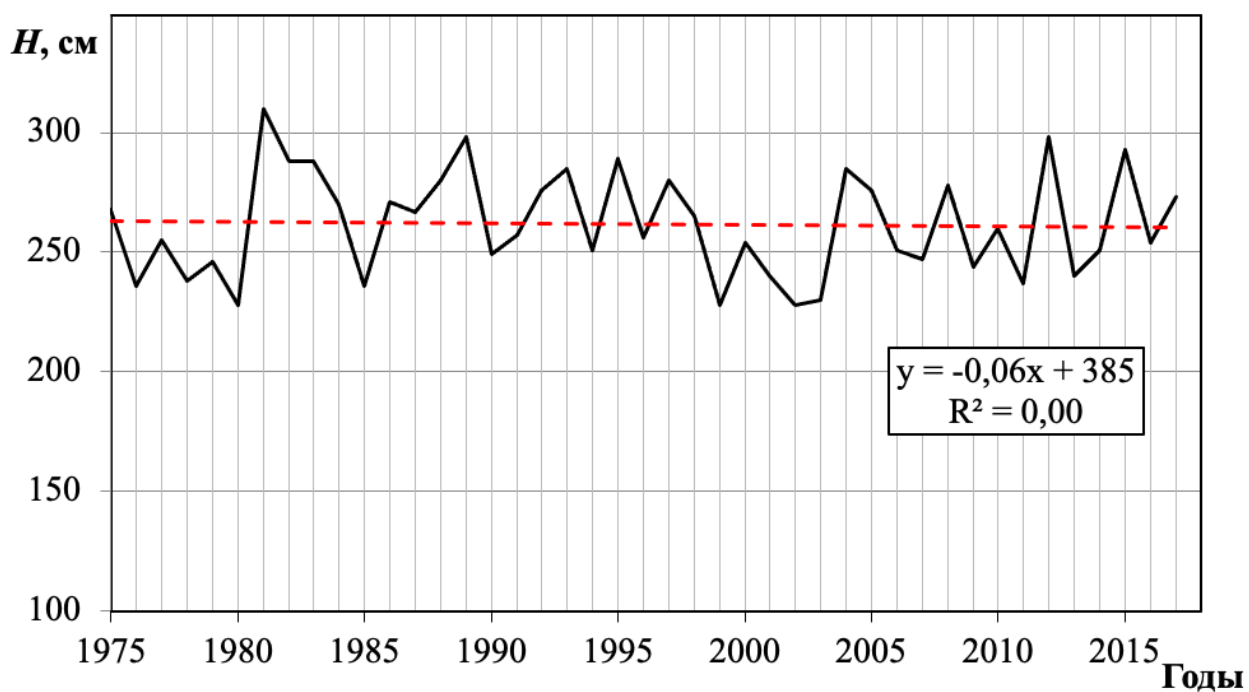


Рисунок Ж.44 – Хронологический график максимальных уровней воды оз. Лендерское.

Приложение И – Кривые обеспеченности Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа

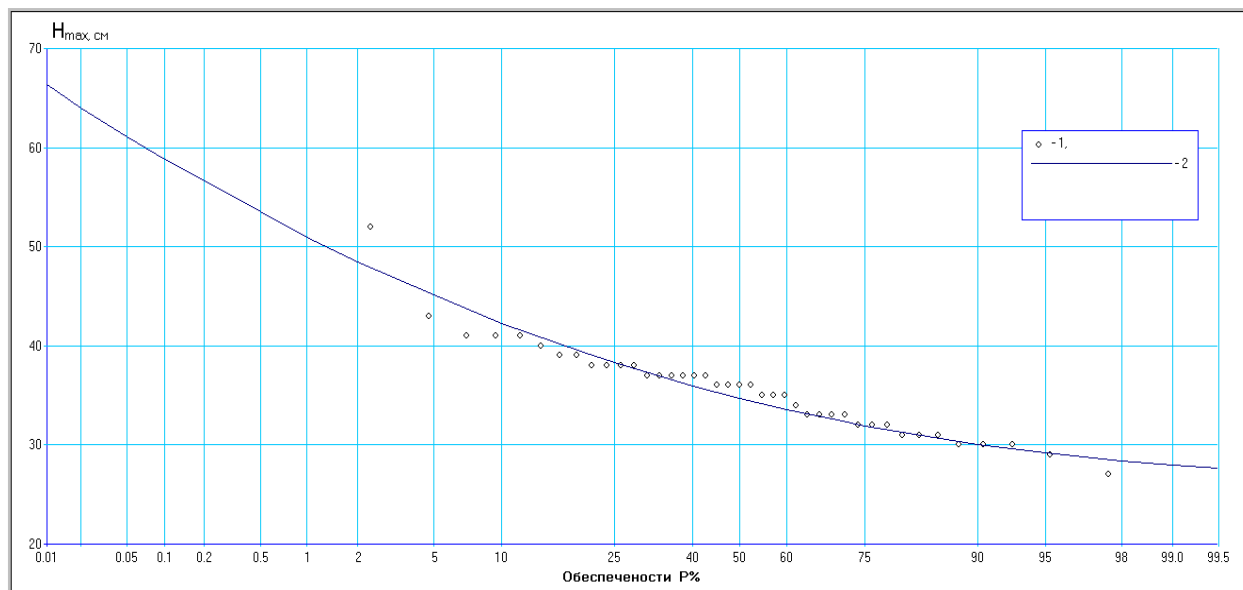


Рисунок И.1 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Валдайское.

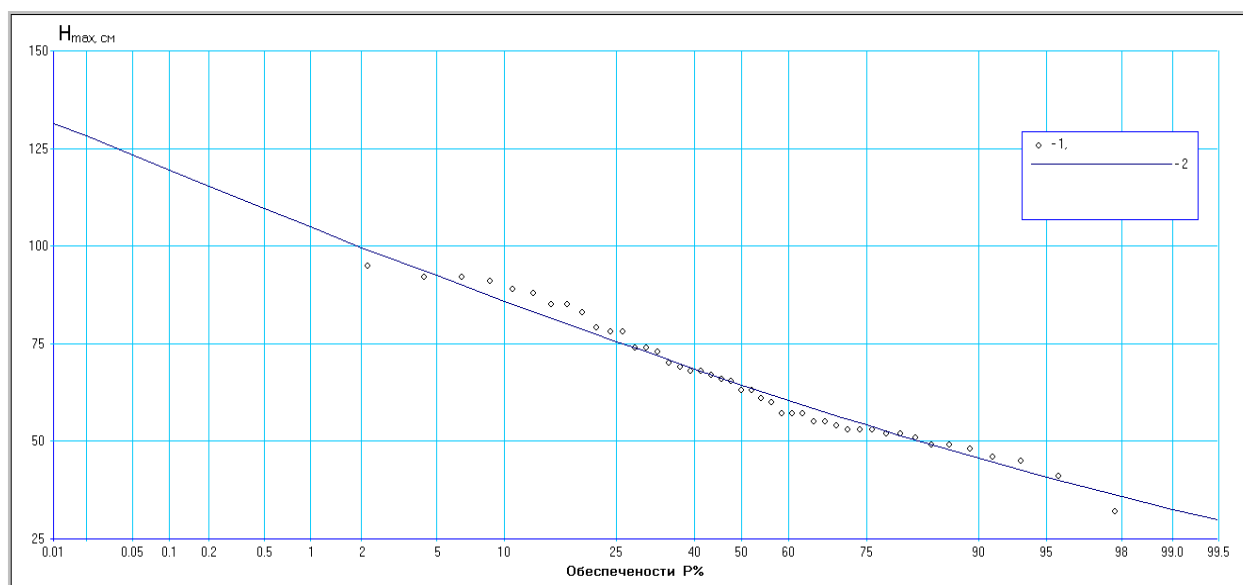


Рисунок И.2 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Ведлозеро.

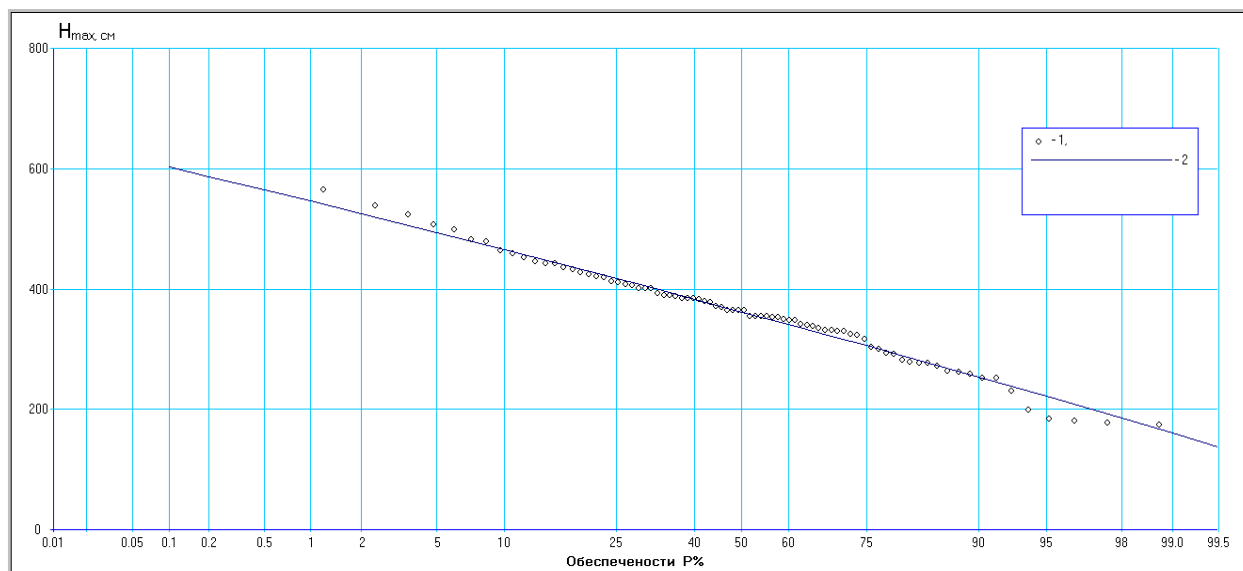


Рисунок И.3 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Ильмень.

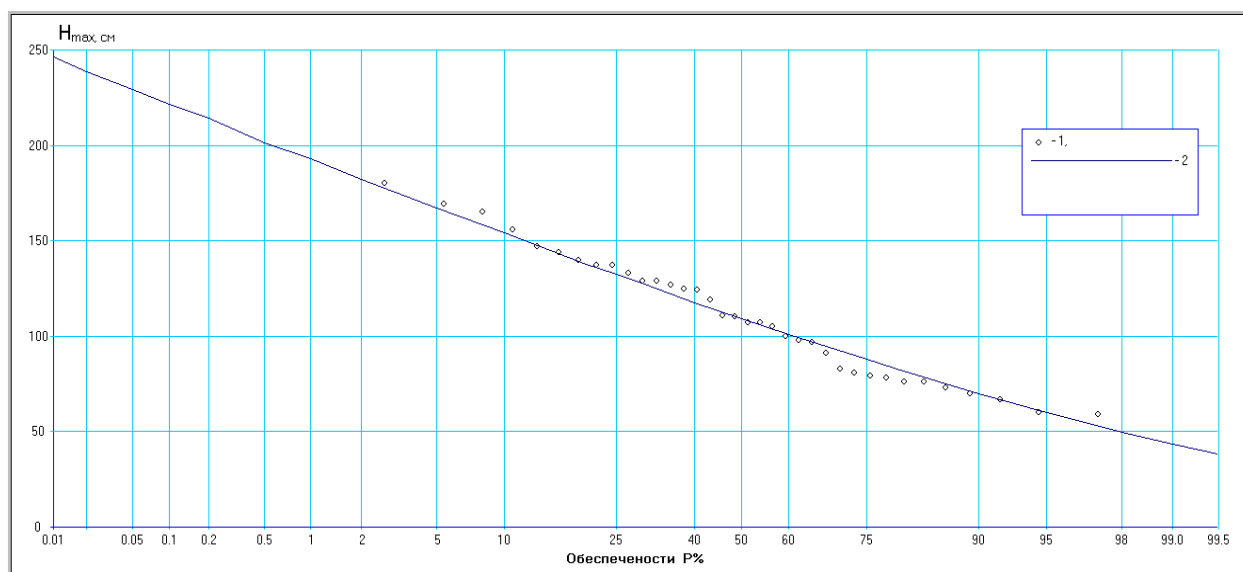


Рисунок И.4 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Гимольское.

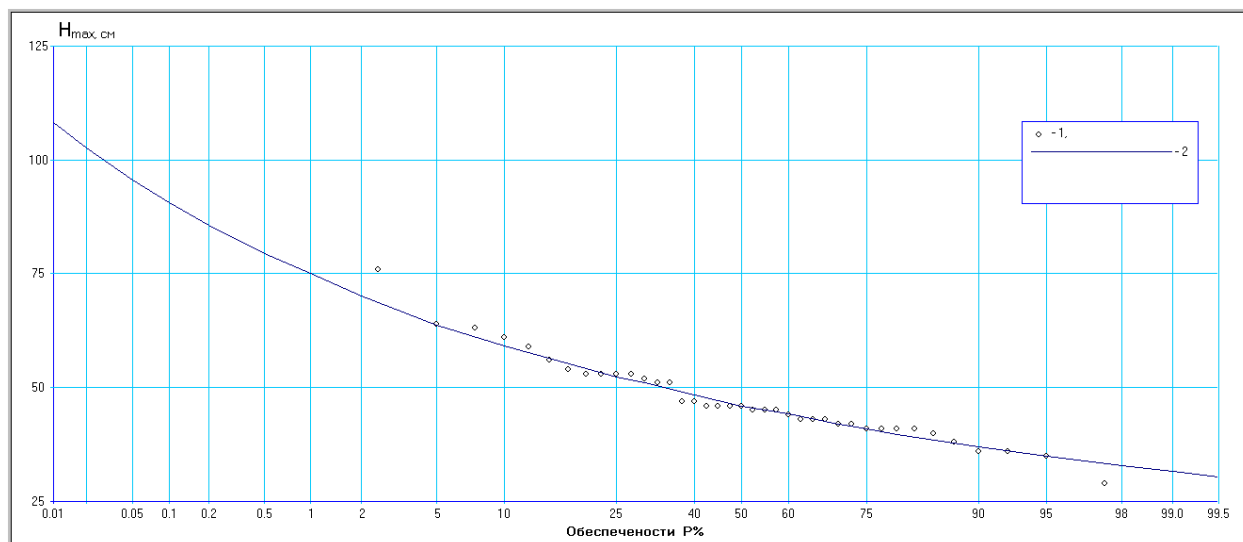


Рисунок И.5 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Глубокое.

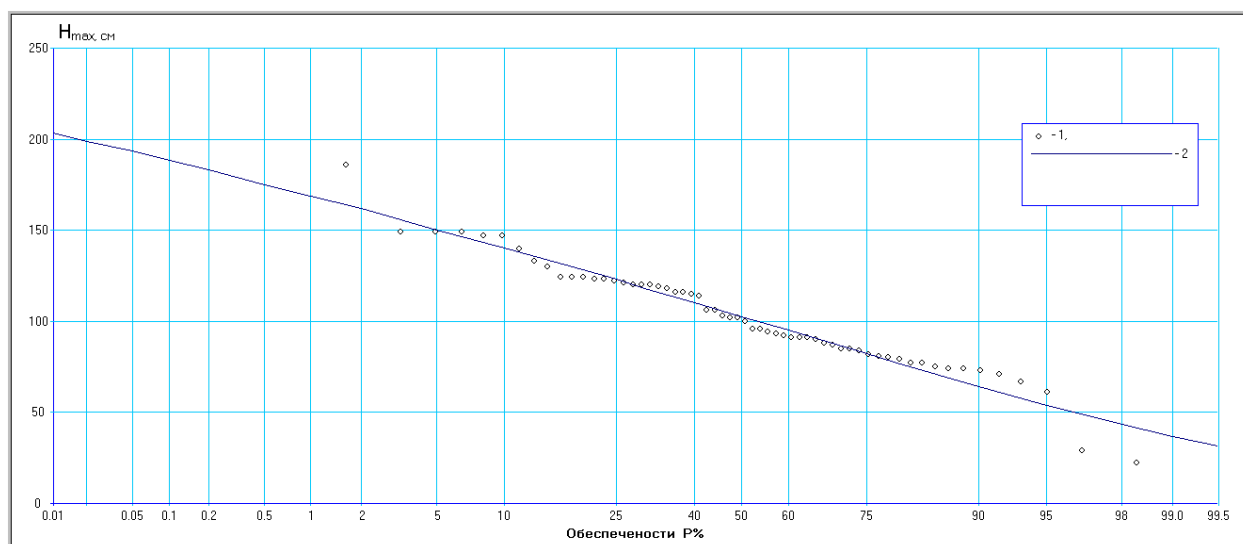


Рисунок И.6 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Лексозеро.

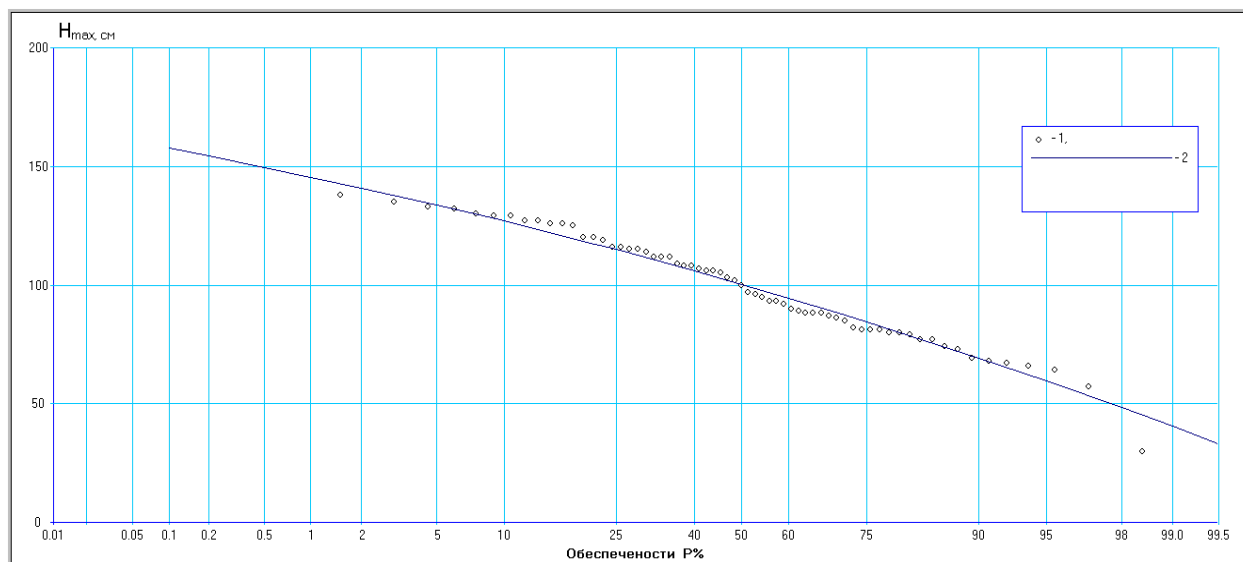


Рисунок И.7 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Онежское

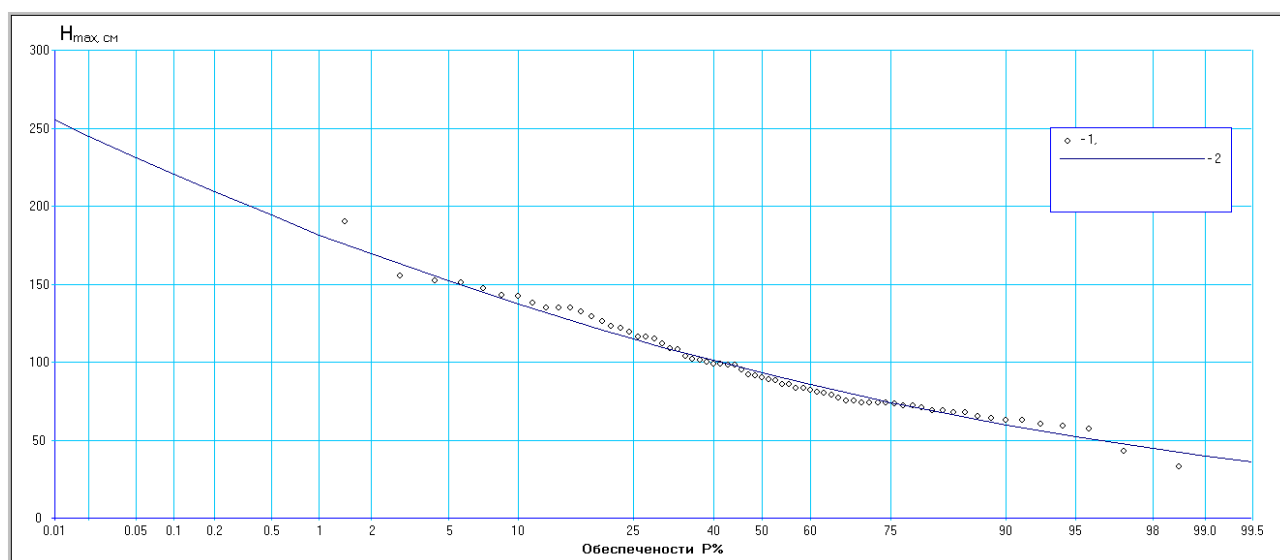


Рисунок И.8 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Суоярви.

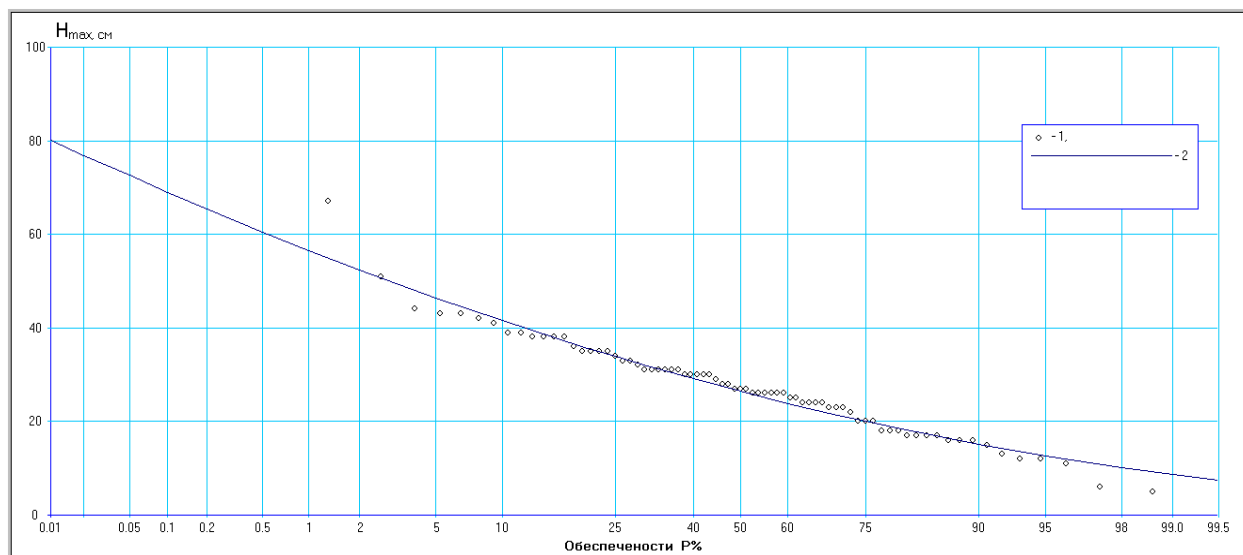


Рисунок И.9 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Сяберо.

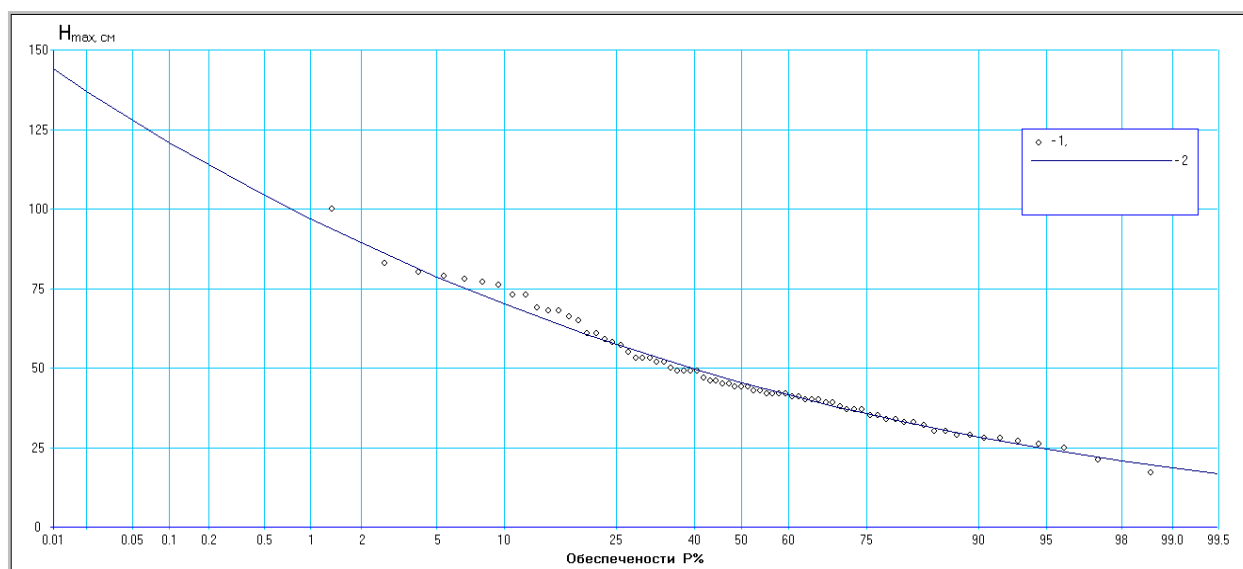


Рисунок И.10 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Сямозеро.

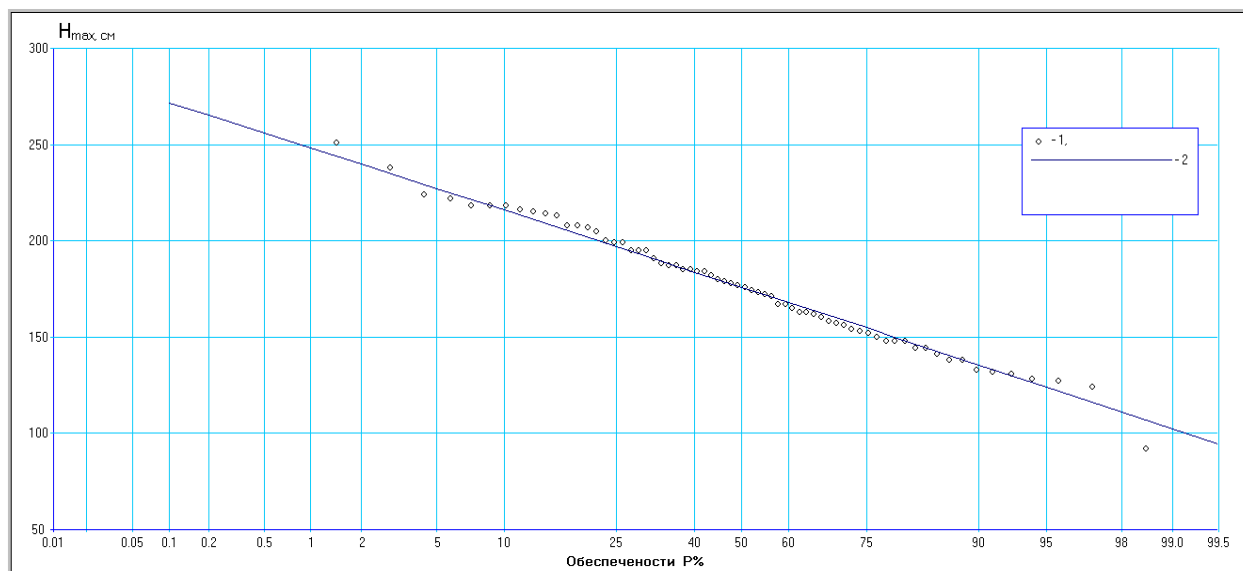


Рисунок И.11 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Тулмозеро.

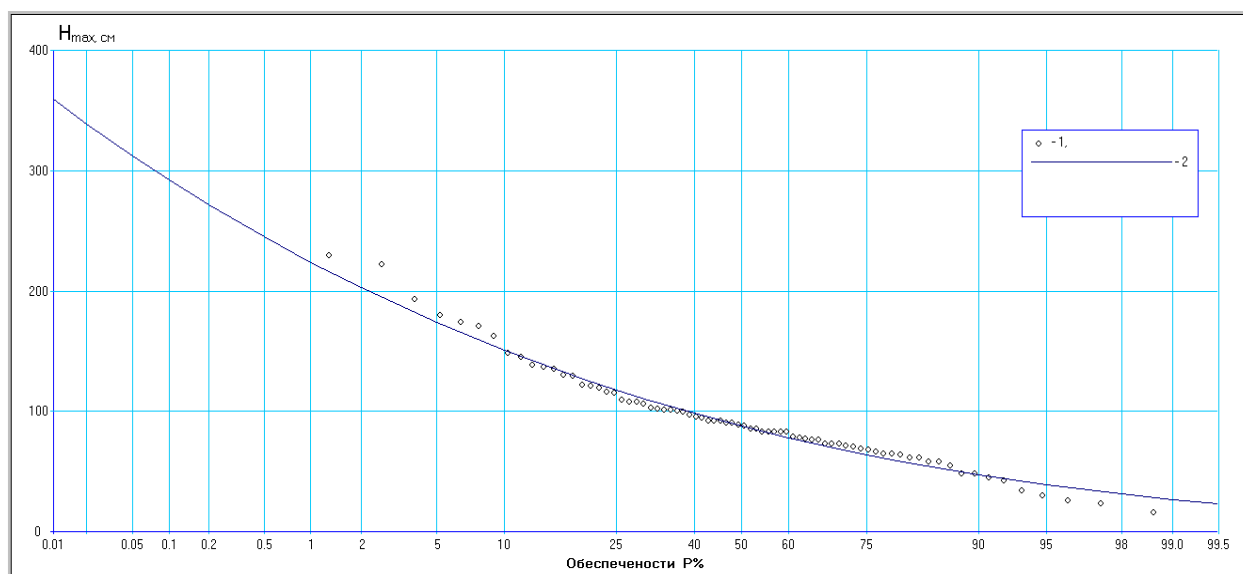


Рисунок И.12 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Черменецкое.

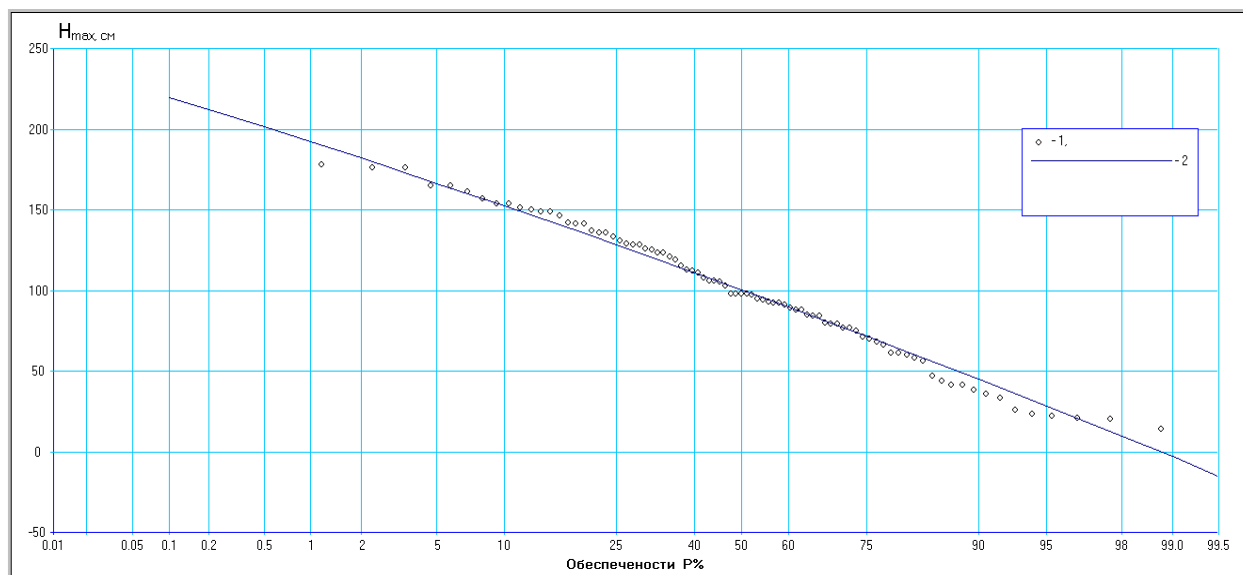


Рисунок И.13 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Чудское

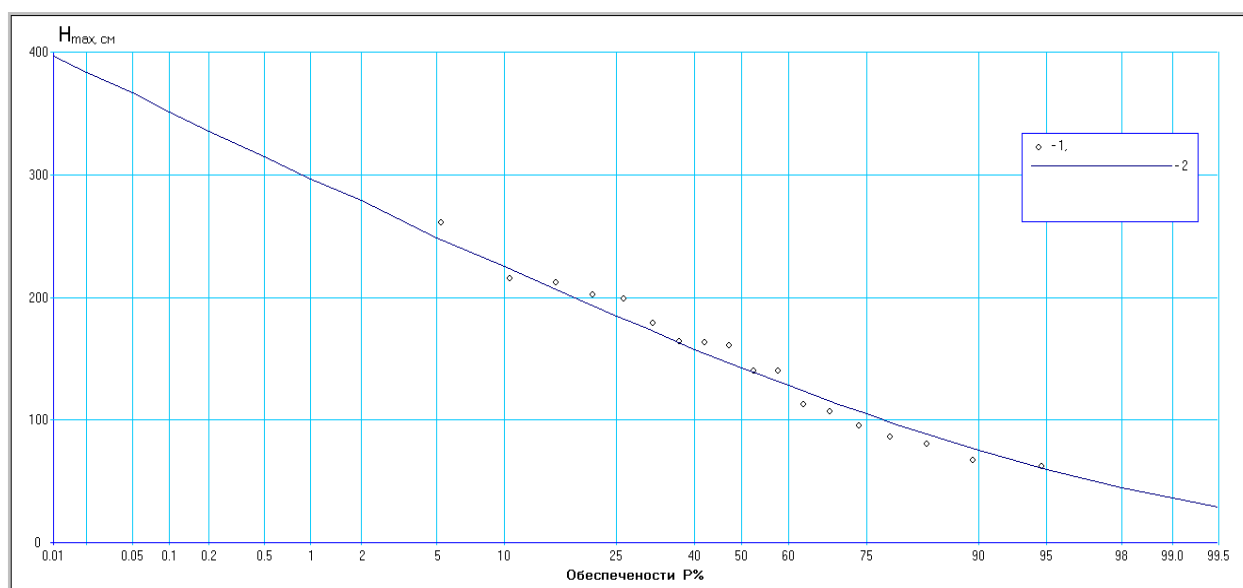


Рисунок И.14 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Лиелайс-Лудзас

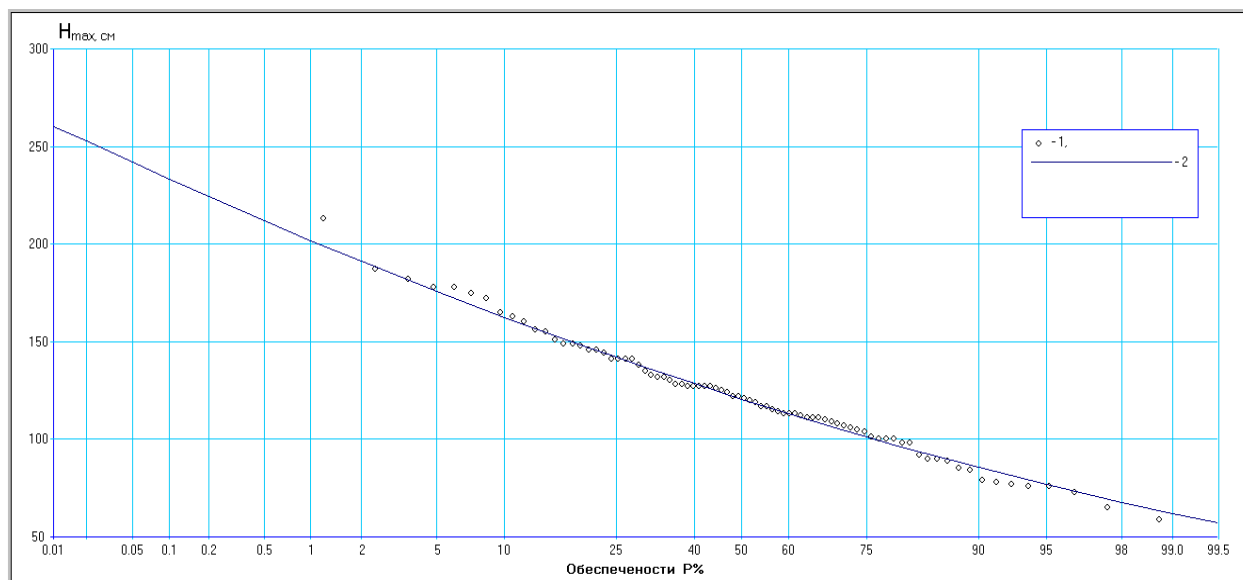


Рисунок И.15 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Щучье.

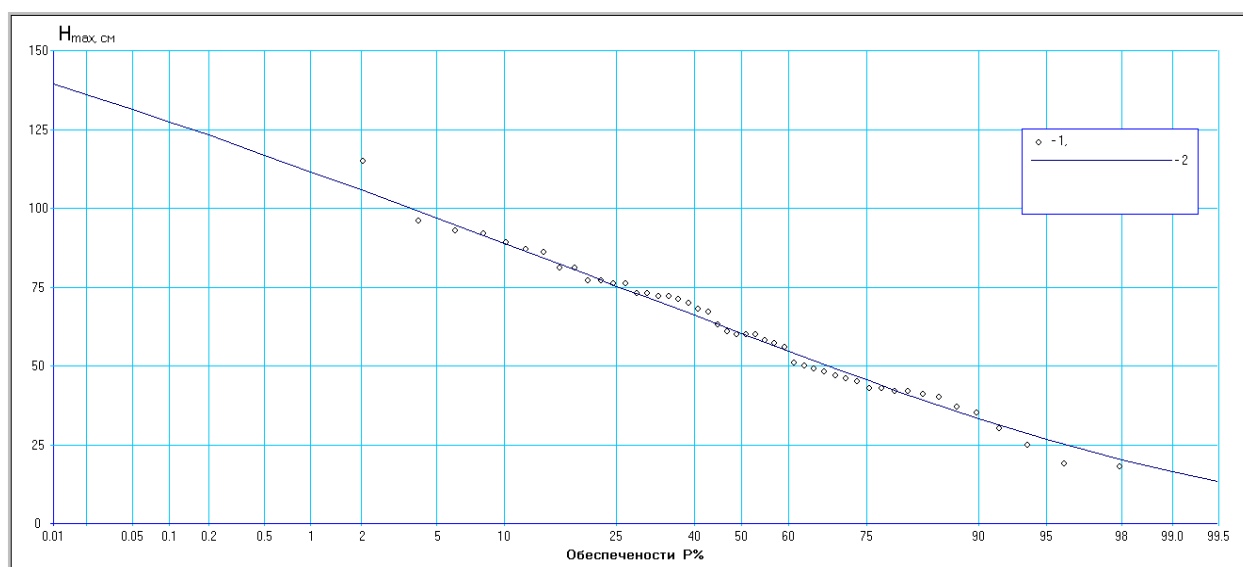


Рисунок И.16 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Лижмозеро.

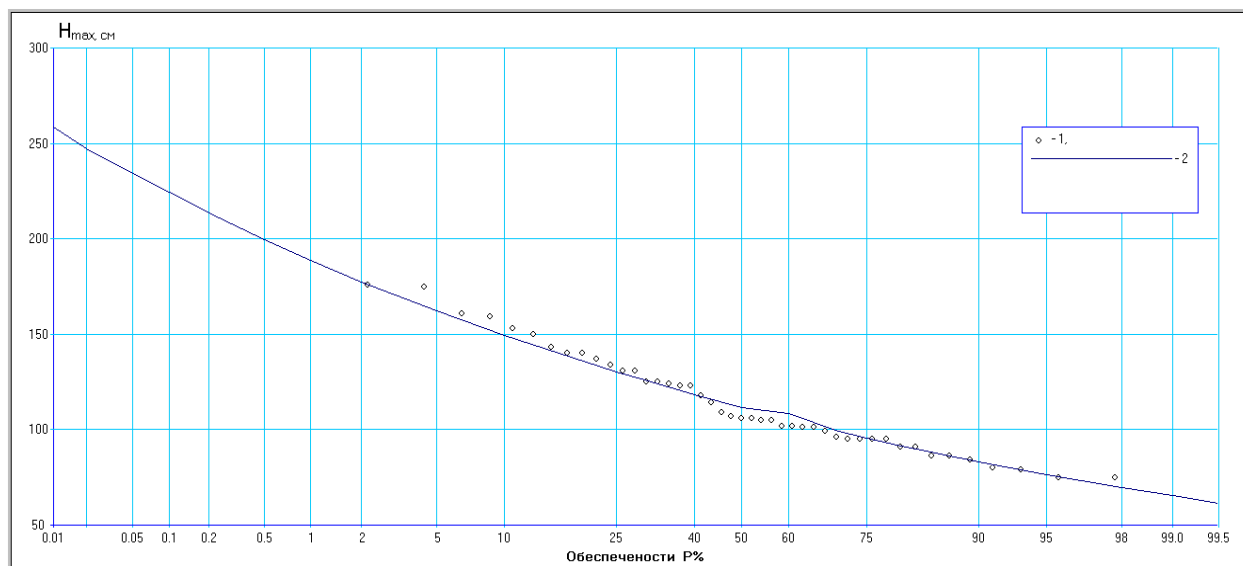


Рисунок И.17 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Линдозеро.

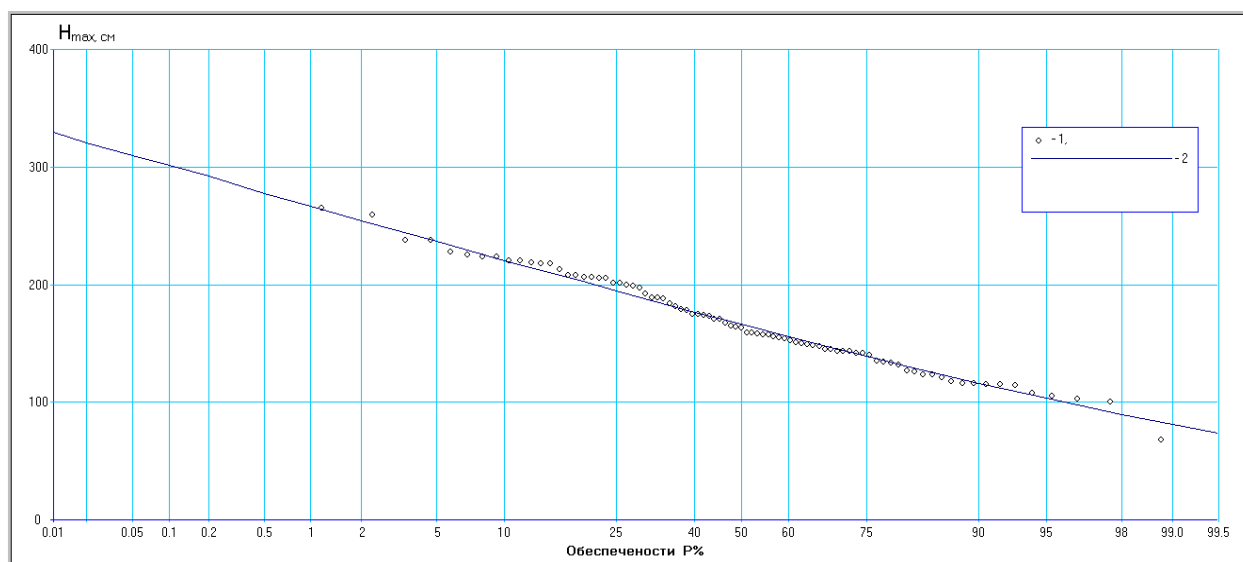


Рисунок И.18 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Охвот.

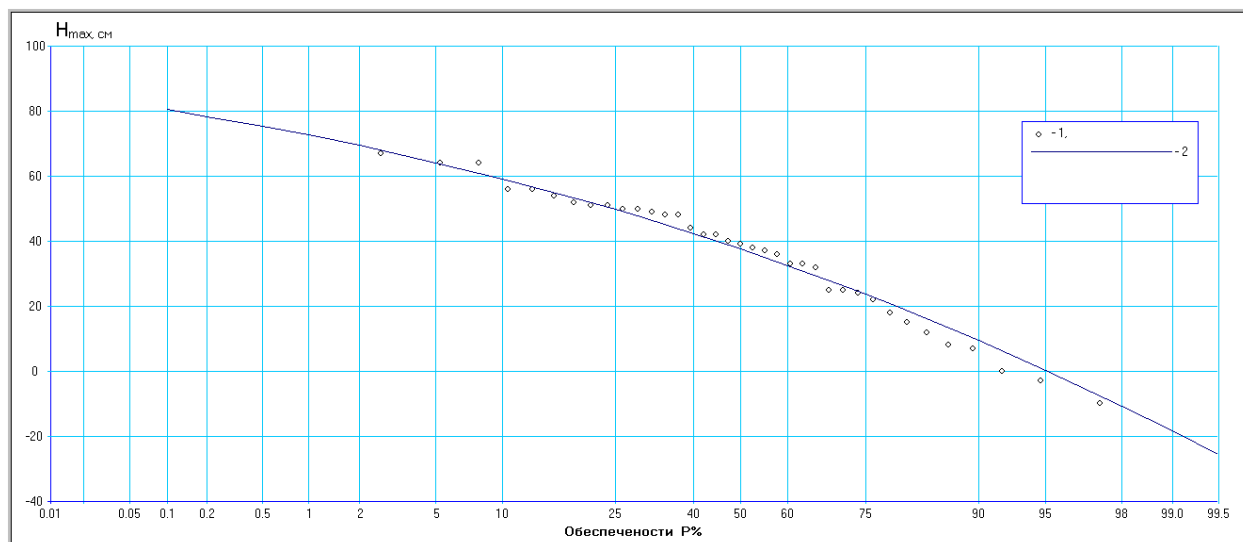


Рисунок И.19 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Самро

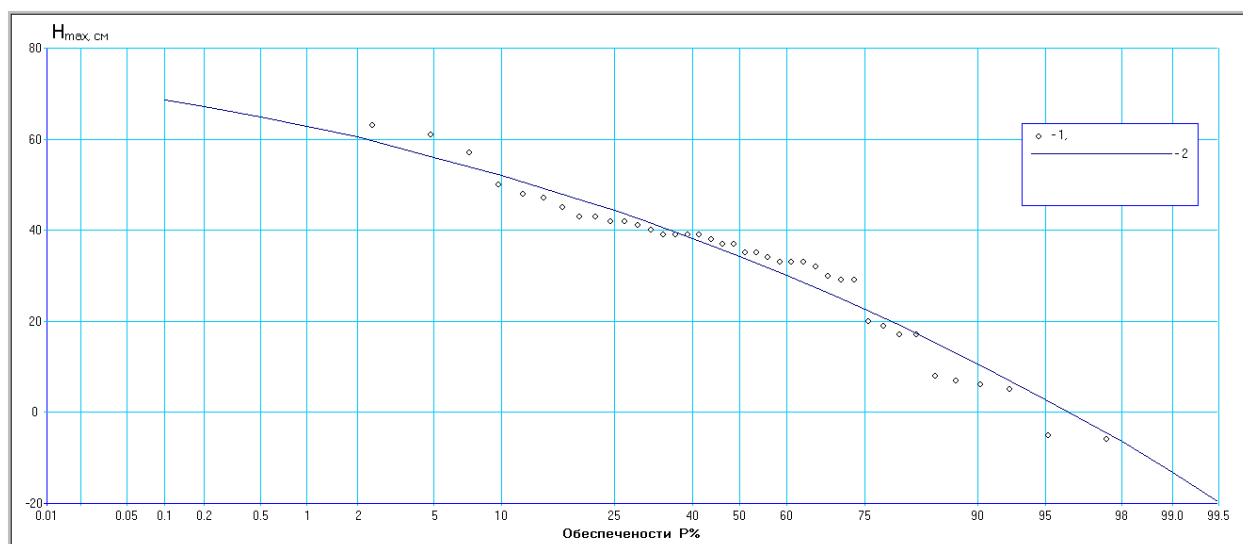


Рисунок И.20 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Остречье

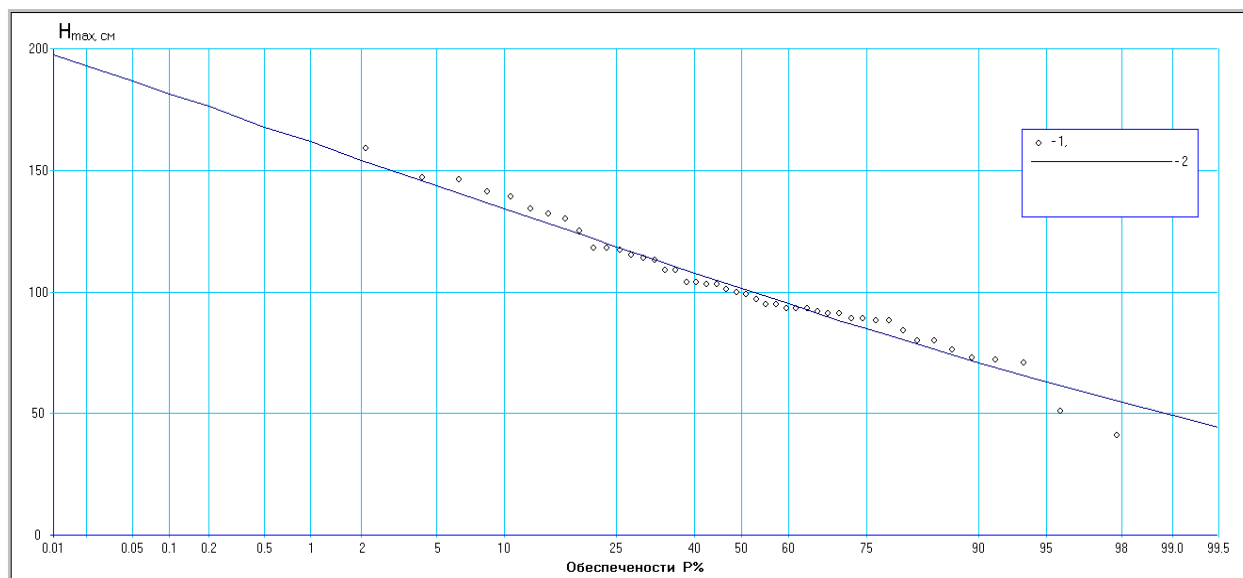


Рисунок И.21 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Шугозеро.

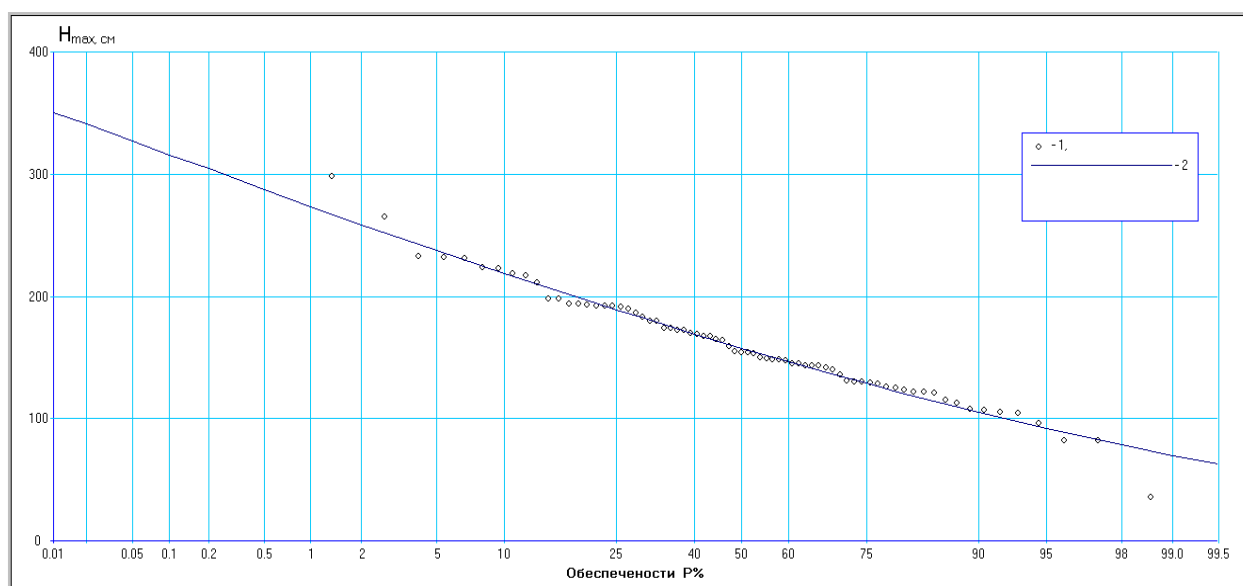


Рисунок И.22 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Коробожа.

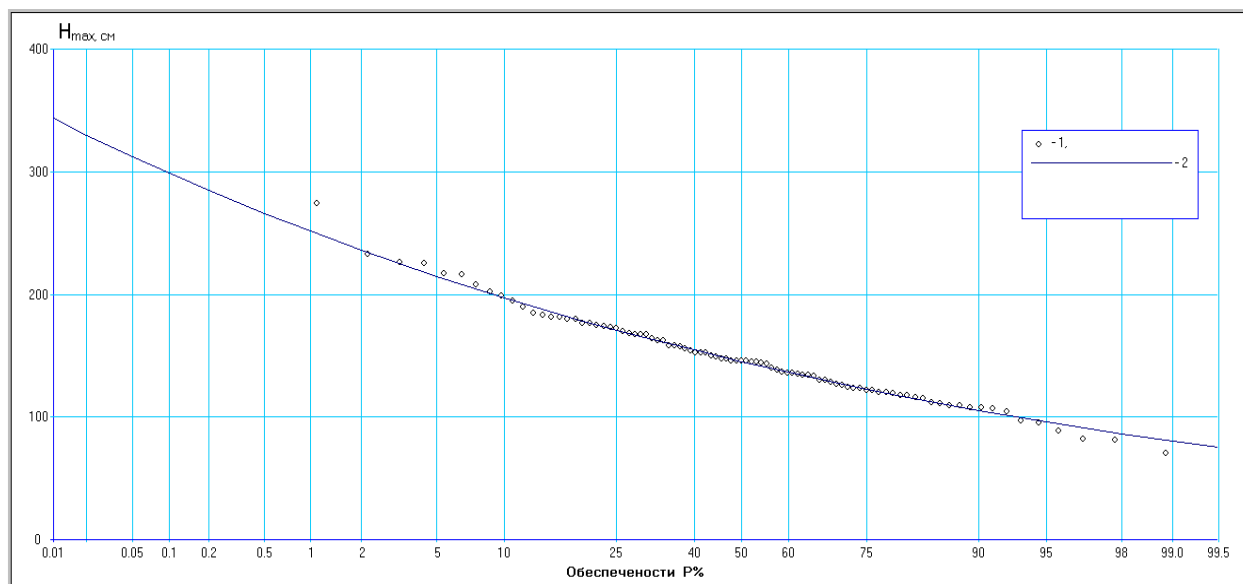


Рисунок И.23 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Лача.

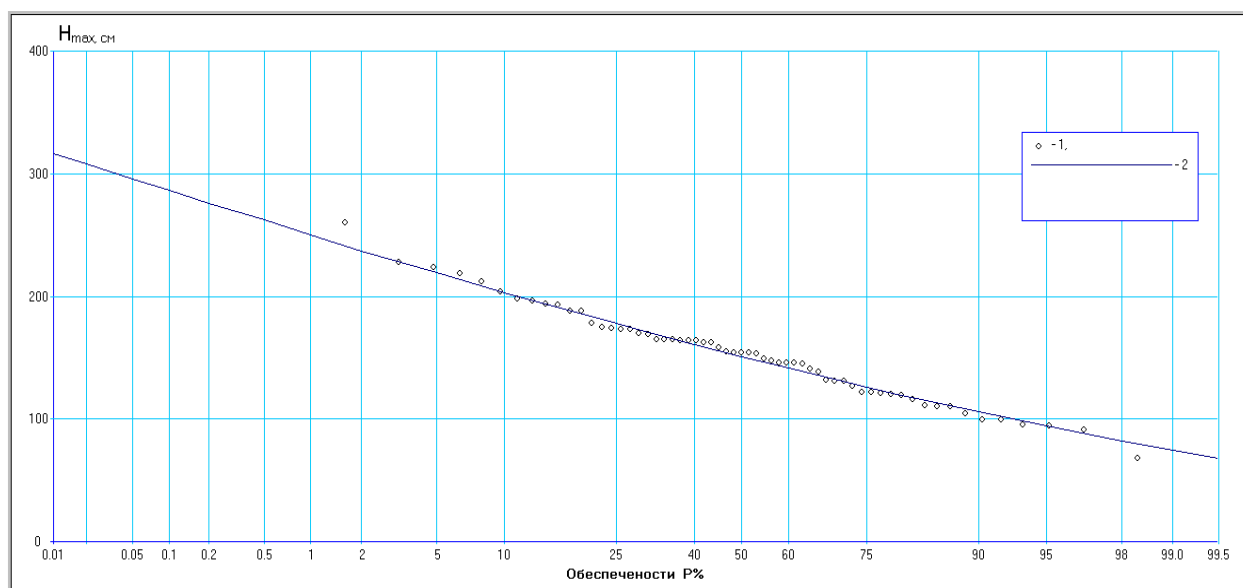


Рисунок И.24 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Воже.

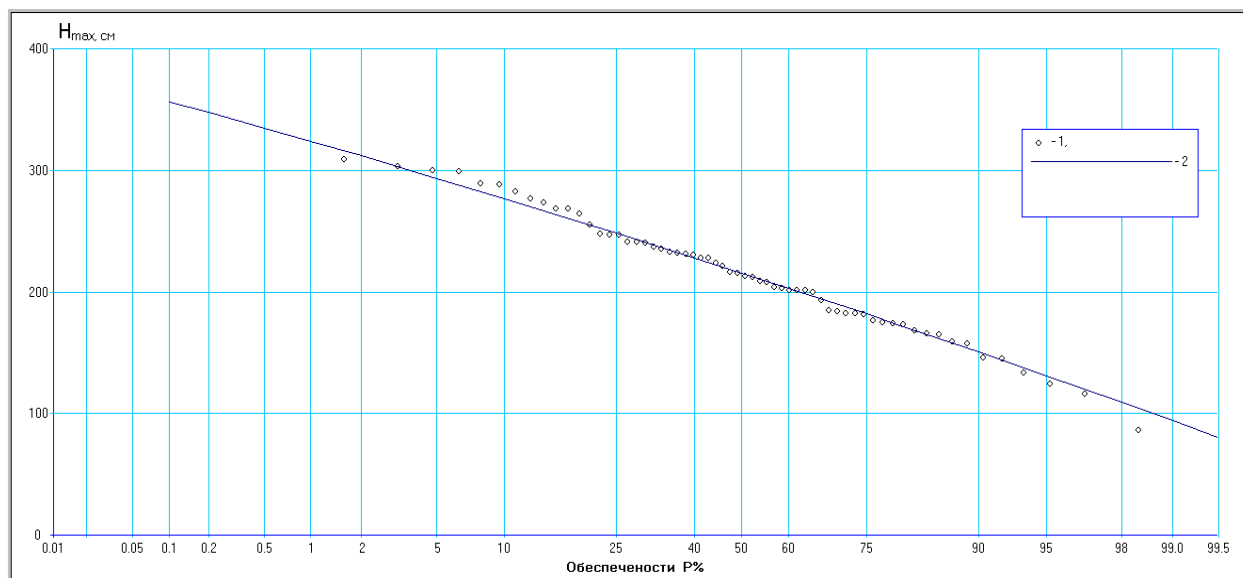


Рисунок И.25 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Кен-озеро.

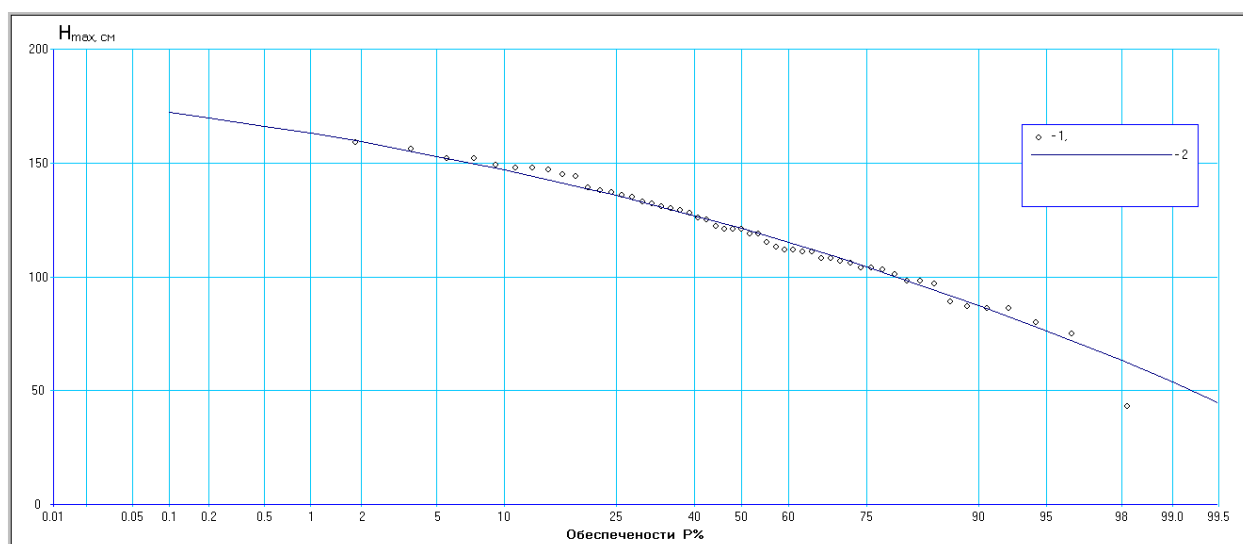


Рисунок И.26 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Унд-озеро.

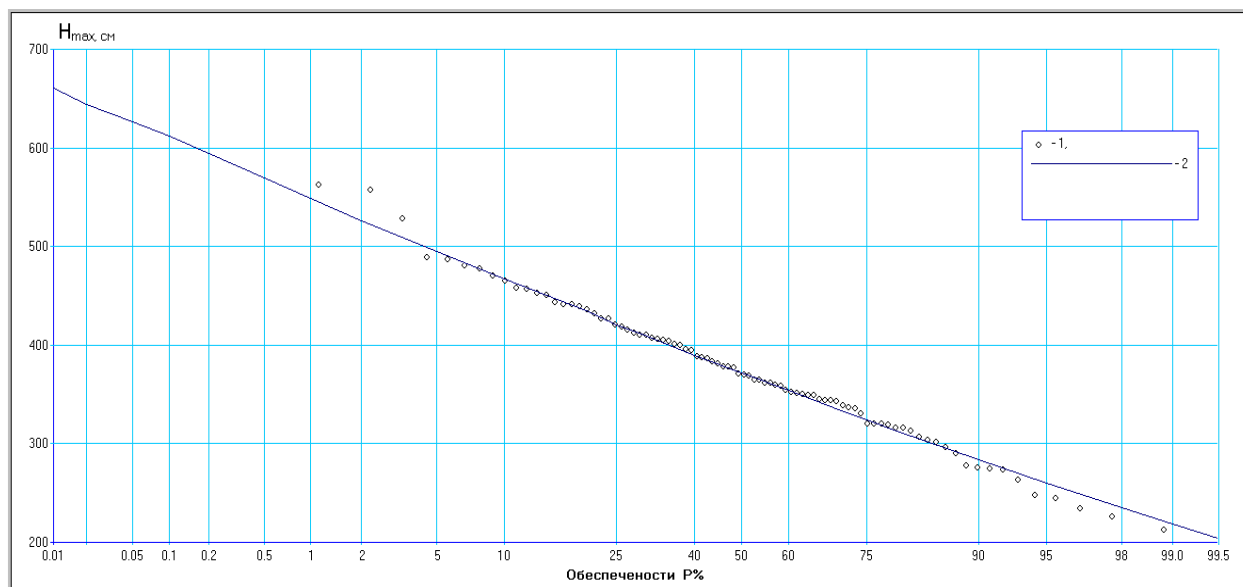


Рисунок И.27 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Кубенское.

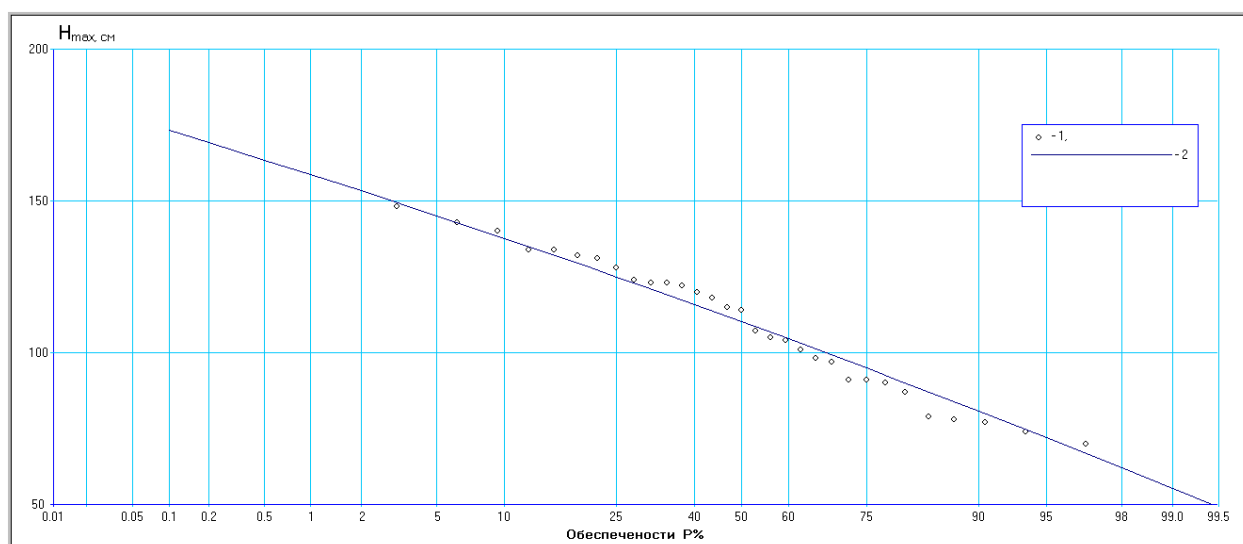


Рисунок И.28 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Большое Михайловское.

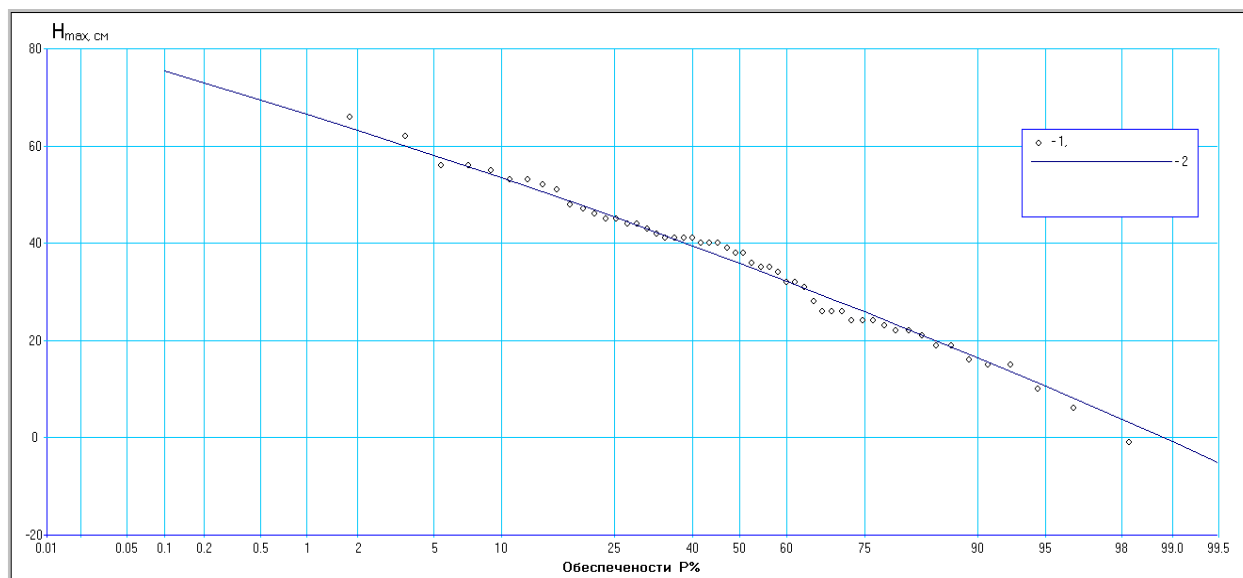


Рисунок И.29 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Лекшмозеро.

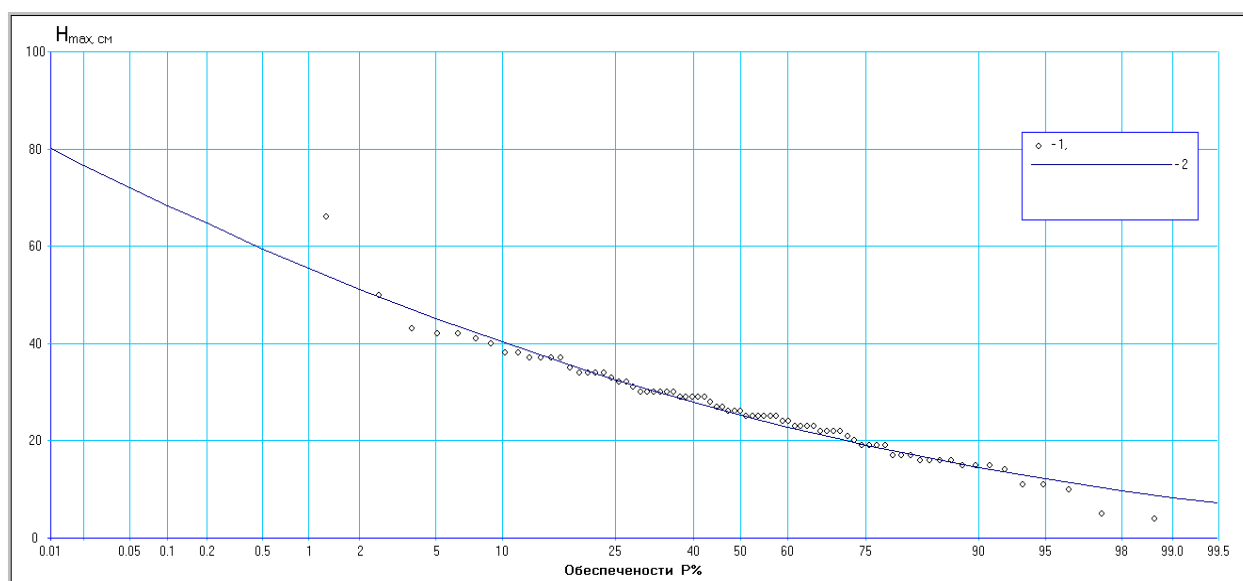


Рисунок И.30 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Долгое.

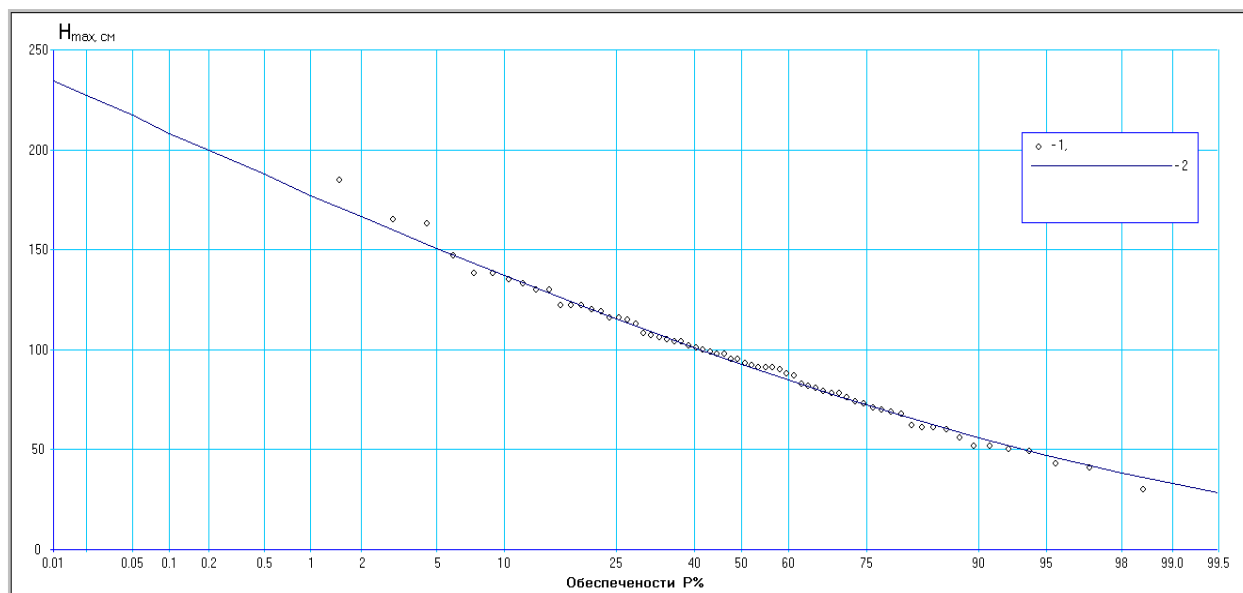


Рисунок И.31 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Куэтсь-Ярви.

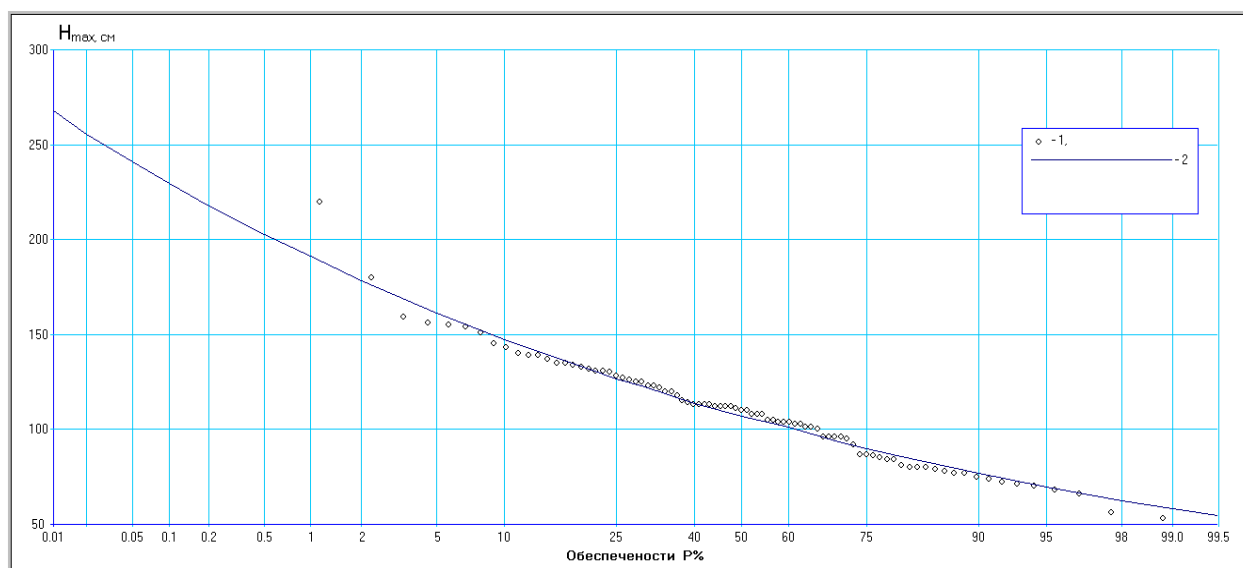


Рисунок И.32 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Пулозеро.

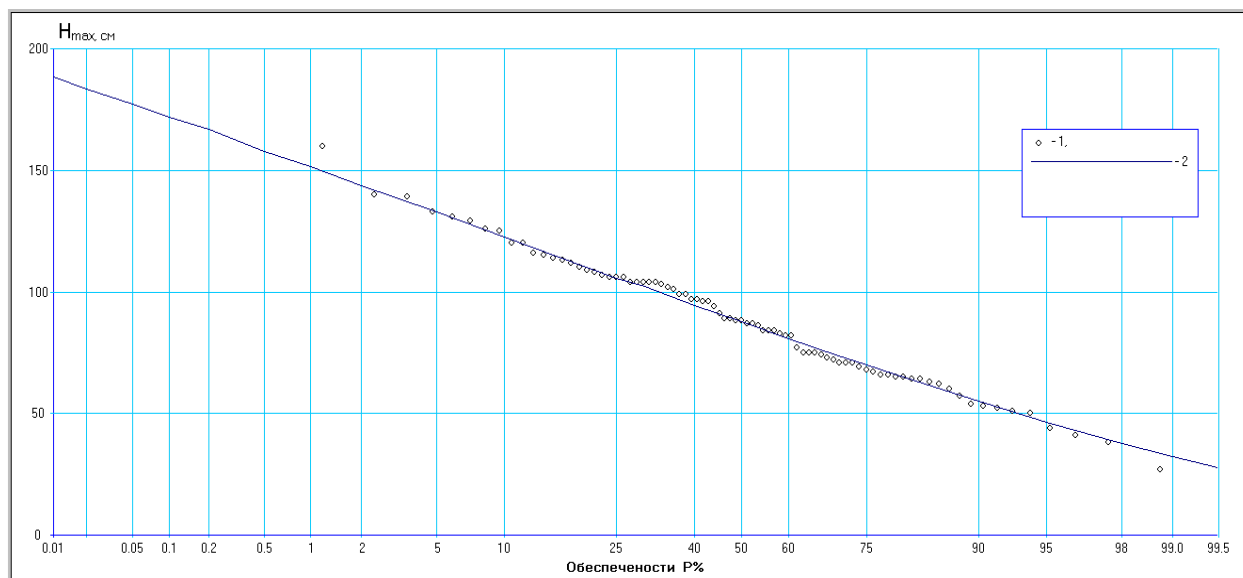


Рисунок И.33 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Ловозеро.

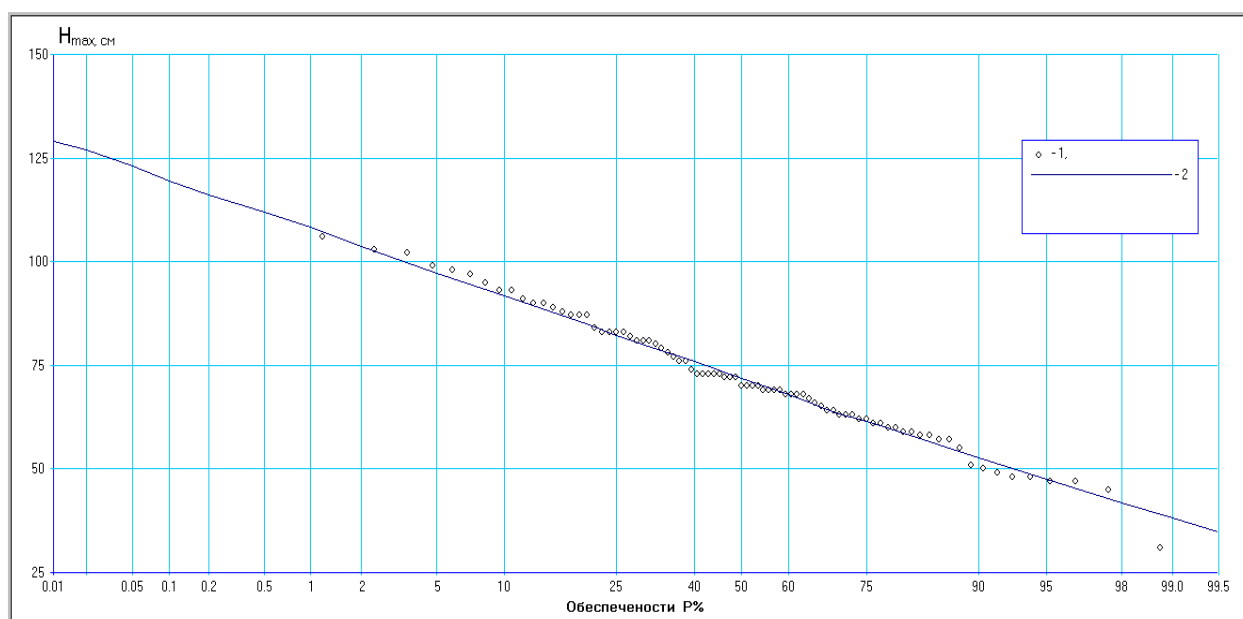


Рисунок И.34 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Умбозеро.

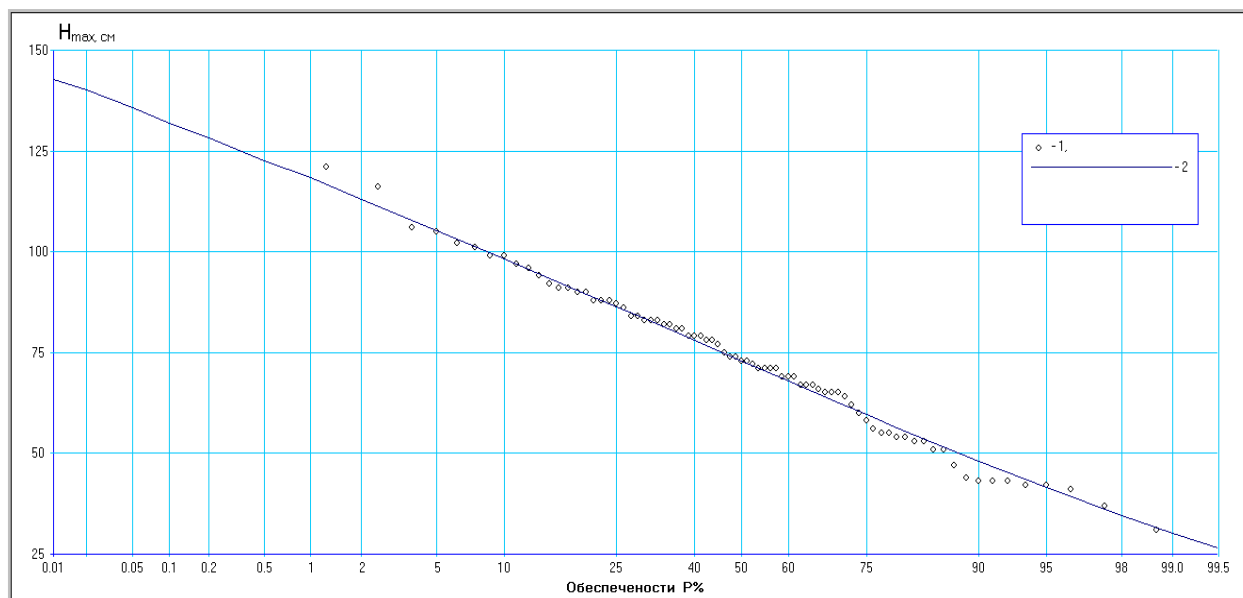


Рисунок И.35 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Пермус-озеро.

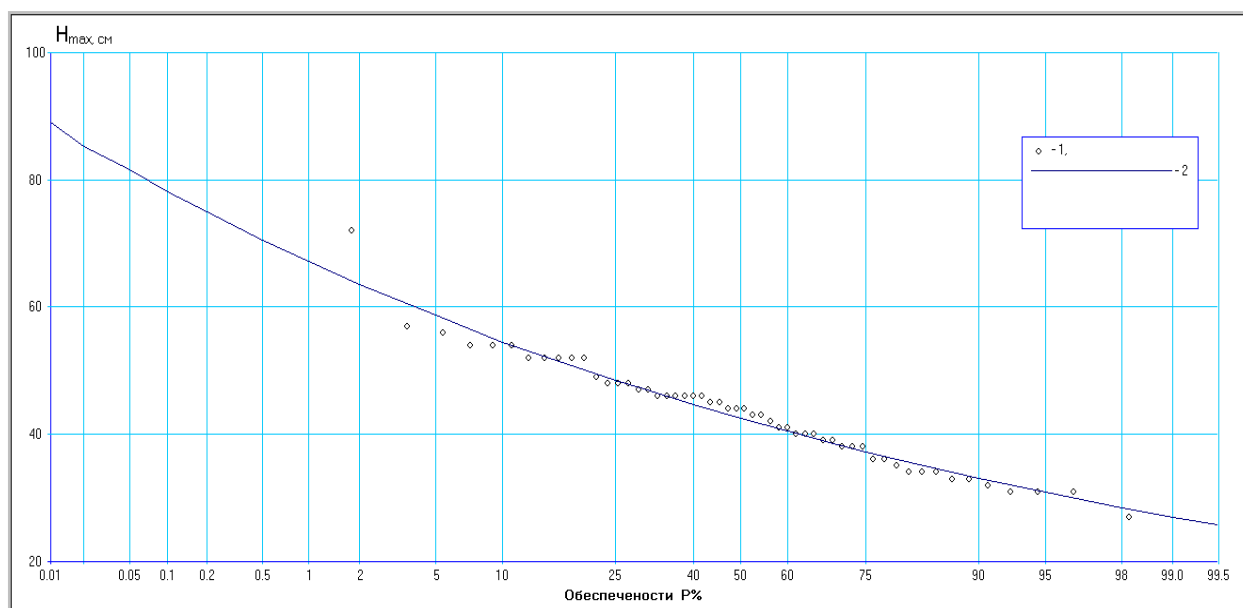


Рисунок И.36 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Пелено.

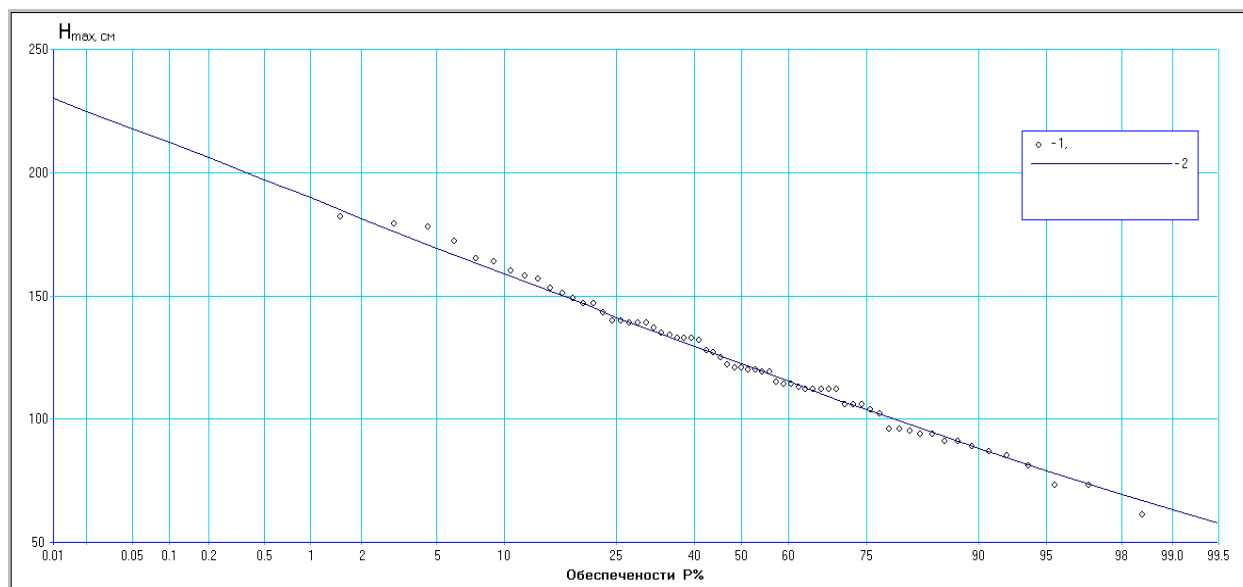


Рисунок И.37 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Верхнее Куйто.

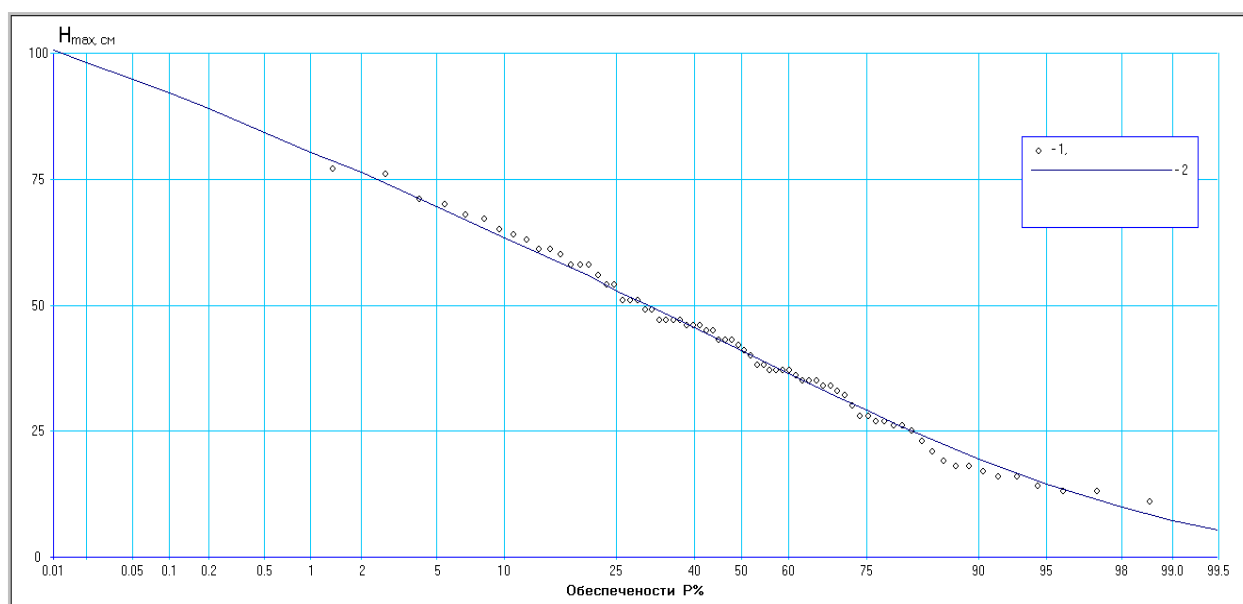


Рисунок И.38 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Ругозеро.

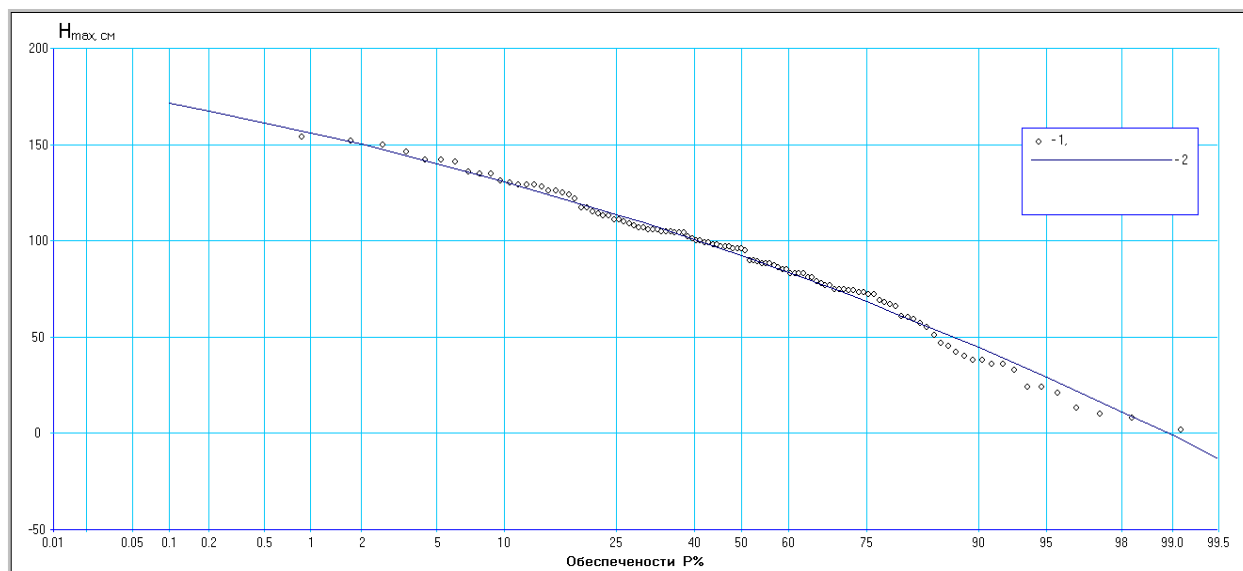


Рисунок И.39 – Эмпирическая и аналитическая (Пирсона III типа) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Селигер.

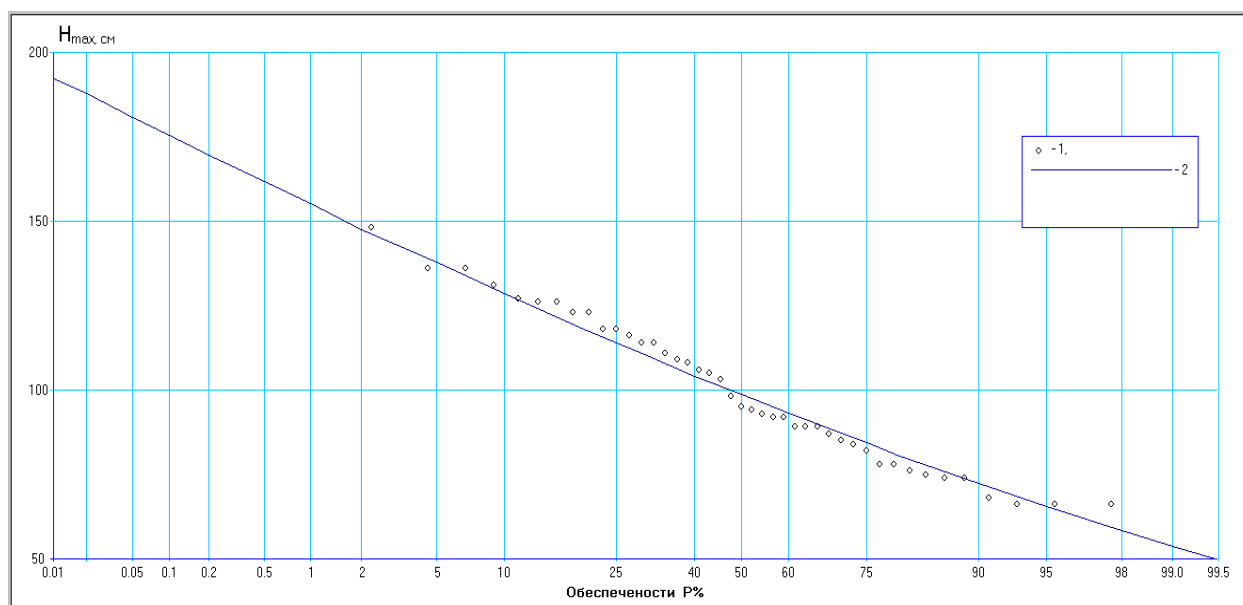


Рисунок И.40 – Эмпирическая и аналитическая (Крицкого-Менкеля) кривые обеспеченностей максимальных уровней воды оз. Лендерское.

Приложение Ж Максимальные уровни воды озер различной обеспеченности

Таблица Ж.1 – Максимальные уровни воды озер различной обеспеченности

Озеро - Пост	Валдайское – г. Валдай	Ведло- зеро* – д. Ведлозеро	Водлозеро* – д. Кугонаво- лок	Ильмень – д. Войцы	Ладожское – о. Валаам	Воже – устье р. Тордокс	Гимольское – д. Гимолы
$\bar{H}_{min}$, м БС	192,27	76,34	136,58	17,07	4,42	120,56	163,5
Средний мно- голетний уро- вень, см	36	65	115	360	79,1	153	111
C_v	0,14	0,24	0,12	0,23	0,65	0,25	0,29
C_s	0	0,28	0,23	-0,12	0,31	0,31	0,28
C_s/C_v	0,0	1,2	1,9	-0,5	0,5	1,2	1,0
0,10 %	59	119	165	602	237	286	222
0,20 %	57	115	161	587	226	276	214
0,50 %	54	110	156	565	211	262	201
1 %	51	105	151	546	198	250	193
2 %	48	100	147	525	184	237	182
5 %	45	93	140	493	163	219	167
10 %	42	86	134	466	145	203	154
20 %	39	78	127	431	122	185	138
25 %	38	75	124	417	114	178	132
30 %	37	73	122	405	106	172	127
40 %	36	68	118	383	92	161	117
50 %	35	64	115	362	79	151	109
60 %	34	61	111	341	66	141	101
70 %	32	56	107	318	52	131	92
75 %	32	54	105	306	45	126	88
80 %	31	52	103	291	36	120	83
90 %	30	46	97	253	14	106	70
95 %	29	41	93	221	-5	94	60
98 %	28	36	88	185	-26	82	50
99 %	28	33	85	160	-40	75	44
99,5 %	28	30	82	137	-53	68	38
99,8 %	27	27	78	110	-68	61	32
99,9 %	27	25	76	90	-79	56	29

Таблица Ж.2 – Максимальные уровни воды озер различной обеспеченности

Озеро - Пост	Глубокое – д. Корви- тино	Лача – с. Нокола	Лексозеро – с. Реболы	Лендер- ское – пос. Лендеры	Лиелайс- Лудза	Лижмо- зеро – д. Кяпп- сельга	Линдозеро – д. Линдо- зеро
$\bar{H}_{min}$, м БС	8,46	117,21	173,94	146,68	131,85	68,02	131,77
Средний мно- голетний уро- вень, см	47	149	103	100	147	61	114
C_v	0,19	0,25	0,28	0,22	0,39	0,35	0,23
C_s	0,97	0,63	-0,01	0,27	0,42	0,17	0,65
C_s/C_v	5,1	2,5	0,0	1,2	1,1	0,5	2,8
0,10 %	91	299	188	176	351	127	224
0,20 %	86	285	183	169	336	123	214
0,50 %	80	266	175	162	315	117	200
1 %	75	251	169	155	297	111	189
2 %	70	236	162	147	279	106	177
5 %	64	215	150	138	248	97	162
10 %	59	197	140	128	225	89	149
20 %	54	177	128	118	195	79	135
25 %	52	171	123	114	185	75	130
30 %	51	165	118	111	175	72	126
40 %	48	154	110	104	158	66	118
50 %	46	145	103	99	143	60	112
60 %	44	136	95	93	128	55	108
70 %	42	127	87	87	112	49	99
75 %	41	122	82	84	105	46	96
80 %	40	118	77	81	96	42	92
90 %	37	105	64	72	75	33	83
95 %	35	96	54	65	60	27	76
98 %	33	86	43	58	45	20	70
99 %	32	80	37	54	36	16	65
99,5 %	30	75	31	50	29	13	62
99,8 %	29	70	26	45	23	10	57
99,9 %	28	66	22	42	18	9	55

Таблица Ж.3 – Максимальные уровни воды озер различной обеспеченности

Озеро - Пост	оз. Лово- зеро – с. Ло- возеро	Онежское – г. Пет- розаводск	Охват – д. Бдынь	Самро – д. Уса- дище	Сяберо – д. Сяберо	Сямозеро – д. Уг- мойла	Унд-озеро – д. Горохо- вая
$\bar{H}_{min}$, м БС	153,82	33,43	215,49	65,3	46,34	106,59	118,54
Средний мно- голетний уро- вень, см	88	99	168	36	28	48	119
C_v	0,3	0,23	0,24	0,55	0,38	0,35	0,2
C_s	0,17	-0,36	0,19	-0,59	0,64	0,82	-0,6
C_s/C_v	0,6	-1,6	0,8	-1,1	1,7	2,3	-3,0
0,10 %	172	158	302	80	69	121	172
0,20 %	167	154	292	78	65	114	170
0,50 %	158	150	278	75	60	104	166
1 %	152	146	267	73	56	97	163
2 %	144	141	254	70	52	89	159
5 %	133	134	237	64	46	79	153
10 %	122	127	221	59	42	70	147
20 %	110	118	202	52	36	61	139
25 %	106	115	194	50	34	57	136
30 %	102	112	188	47	32	55	133
40 %	94	106	176	42	29	50	127
50 %	88	100	166	38	26	45	121
60 %	81	95	156	32	24	42	115
70 %	74	88	145	27	21	38	108
75 %	70	85	139	24	20	36	104
80 %	66	80	133	20	19	33	100
90 %	55	69	116	10	15	28	87
95 %	46	60	103	0	13	25	76
98 %	38	48	90	-11	10	21	63
99 %	32	41	81	-18	9	18	54
99,5 %	28	33	74	-26	8	17	45
99,8 %	23	24	65	-35	6	15	33
99,9 %	20	18	60	-42	5	13	25

Таблица Ж.4 – Максимальные уровни воды озёр различной обеспеченности

Озеро - Пост	Чудское – п. Раско- пель	Щучье – с. Щучье	Большое Ми- хайловское – д. Новая Де- ревня	Верхнее Куйто – с. Вок- наволоок	Долгое – с. Вершинино	Коробожа – д. Устрека	Кубенское – д. Коробово
$\bar{H}_{min},$ м БС	29,49	177,38	18,7	102,451	84,95	144,7	108,26
Средний мно- голетний уро- вень, см	99	123	110	123	27	160	374
C_v	0,42	0,25	0,2	0,22	0,39	0,28	0,19
C_s	-0,16	0,4	-0,16	0,15	0,71	0,33	0,17
C_s/C_v	-0,4	1,6	-0,8	0,7	1,8	1,2	0,9
0,10 %	220	233	173	212	68	316	612
0,20 %	212	224	169	206	65	304	594
0,50 %	201	212	164	197	59	288	570
1 %	192	202	159	190	55	274	549
2 %	182	191	153	181	51	258	527
5 %	166	176	145	169	45	237	495
10 %	152	163	138	159	40	219	467
20 %	135	147	128	146	35	197	435
25 %	128	142	125	141	33	189	421
30 %	122	137	122	137	31	182	410
40 %	111	129	116	130	28	169	389
50 %	100	121	110	122	25	158	372
60 %	90	113	105	115	23	147	354
70 %	78	105	98	107	20	135	334
75 %	72	101	95	104	19	129	325
80 %	64	97	91	100	18	122	313
90 %	45	85	81	88	14	105	284
95 %	28	77	72	79	12	92	260
98 %	10	68	62	69	10	78	235
99 %	-3	62	55	63	8	70	218
99,5 %	-15	57	49	58	7	63	204
99,8 %	-30	52	41	52	6	55	187
99,9 %	-40	48	36	47	5	50	175

Таблица Ж.5 – Максимальные уровни воды озёр различной обеспеченности

Озеро - Пост	оз. Куэтс- Ярви – пгт Никель	Лекшм- озеро – д. Орлово	Остречье – д. Остречье	Пелено – д. Спас- ское	оз. Пермус- озеро – г. Оленегорск	оз. Пул- озеро – ст. Пулозеро	Ругозеро – с. Ругозеро
$\bar{H}_{min},$ м БС	20,65	155,23	128,93	172,14	141,49	116,05	130,58
Средний мно- голетний уро- вень, см	95	35	33	43	73	110	41
C_v	0,33	0,41	0,5	0,2	0,26	0,26	0,4
C_s	0,41	-0,23	-0,65	0,62	0,07	0,7	0,16
C_s/C_v	1,2	-0,6	-1,3	3,1	0,3	2,7	0,4
0,10 %	208	75	69	78	132	230	92
0,20 %	200	73	67	75	128	218	89
0,50 %	188	69	65	70	123	203	84
1 %	177	67	63	67	118	191	80
2 %	167	63	60	63	113	178	76
5 %	150	58	56	59	105	161	70
10 %	137	54	52	54	98	148	63
20 %	121	48	47	50	89	132	56
25 %	115	45	44	49	86	127	53
30 %	110	43	42	47	83	122	50
40 %	101	39	38	45	78	114	46
50 %	93	36	34	43	73	107	41
60 %	85	32	30	41	68	101	36
70 %	77	28	25	38	62	93	32
75 %	72	26	23	37	60	90	29
80 %	68	23	19	36	56	86	26
90 %	56	16	11	33	48	77	19
95 %	47	11	3	31	41	70	14
98 %	39	4	-6	29	35	63	10
99 %	33	-1	-13	27	30	58	7
99,5 %	29	-5	-20	26	27	55	5
99,8 %	24	-11	-28	24	23	50	4
99,9 %	21	-14	-34	23	20	47	3

Таблица Ж.6 – Максимальные уровни воды озёр различной обеспеченности

Озеро - Пост	Селигер – г. Осташ- ков	Суоярви – г. Суо- ярви	Тулмо- зеро – д. Пала- лахта	оз. Умб- озеро – исток реки Умба	Череме- нецкое – д. Наво- лок	Шугозеро – д. Улья- ница	Янисъярв и – п. Янисъярв и	Кен- озеро – д. Ряпусово
$\bar{H}_{min}$, м БС	205,17	136,9	75,25	149,32	38,08	74,08	63,65	84,91
Средний мно- голетний уро- вень, см	90	96	176	72	94	102	156	214
C_v	0,38	0,32	0,18	0,21	0,45	0,24	0,19	0,23
C_s	-0,48	0,64	-0,02	0,08	1,03	0,16	0,38	-0,15
C_s/C_v	-1,3	2,0	-0,1	0,4	2,3	0,7	2,0	-0,7
0,10 %	172	221	272	119	292	182	265	356
0,20 %	167	209	265	116	272	176	251	347
0,50 %	161	194	256	112	245	168	244	335
1 %	156	182	248	108	224	162	234	324
2 %	150	170	240	104	203	154	217	312
5 %	140	152	227	97	174	144	209	293
10 %	131	137	216	92	151	134	195	277
20 %	118	120	202	85	126	123	180	256
25 %	114	115	197	82	118	118	176	248
30 %	109	109	192	80	110	115	170	241
40 %	100	101	184	76	98	108	162	228
50 %	92	93	176	72	87	102	155	215
60 %	83	86	168	68	78	95		203
70 %	74	78	160	63	69	88		189
75 %	68	74	155	62	64	85		182
80 %	62	70	149	59	59	81		173
90 %	45	60	136	53	47	71		150
95 %	29	52	124	47	39	63		131
98 %	11	44	111	42	31	55		109
99 %	-1	40	102	38	27	49		94
99,5 %	-13	36	94	35	23	44		80
99,8 %	-28	32	85	31	19	39		63
99,9 %	-39	29	78	29	17	36		51