МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Оценка изменчивости опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Карелии**

Исполнитель Шариков Иван Денисович
(фамилия, имя, отчество)

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

Викторова Наталья Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«1» июня 2026г.

Санкт–Петербург
2026

Содержание

Введение 4
1 Физико-географическое описание района 7
1.1 Местоположение 7
1.2 Рельеф 9
1.3 Климатическая характеристика 11
1.4 Гидрографическая характеристика 14
1.5 Гидрологический режим 18
2 Статистические методы обработки 24
2.1 Оценка однородности 24
2.1.1. Критерий Стьюдента для проверки однородности средних 25
2.1.2. Критерий Фишера для проверки однородности дисперсий 25
2.1.3. Критерий Фишера-Пирсона (критерий $\chi 2$) для проверки однородности распределения 26
2.2 Оценка стационарности 27
2.2.1 Понятие стационарности в гидрологии 27
2.2.2 Метод скользящего среднего для выявления тренда 27
2.2.3 Проверка стационарности с помощью критерия серий 28
2.3 Оценка выбросов 28
2.3.1 Природа и классификация выбросов 28
2.3.2 Критерий «трех сигм» 29
2.3.3 Критерий Ирвина 29
2.4 Оценка обеспеченных значений 30
2.4.1 Теоретические основы расчета обеспеченности 30
2.4.2 Эмпирическая обеспеченность 30
2.4.3 Аналитическая кривая обеспеченности 31
3 Оценка изменчивости опасных гидрологических явлений 32
3.1 Исходные данные 32
3.2 Оценка наличия трендов 34
3.3 Оценка однородности и стационарности 38
4 Оценка изменчивости опасных метеорологических явлений 48

4.1 Исходные данные 48
4.2 Оценка наличия трендов 50
4.3 Оценка однородности и стационарности 51
Заключение 54
Список использованных источников 57
Приложение А. Исходные гидрологические данные 60
Приложение Б. Схема расположения гидрологических постов и метеостанций 69
Приложение В. Хронологические графики и суммарные интегральные кривые максимальных уровней 70
Приложение Г. Хронологические графики и суммарные интегральные кривые минимальных уровней 84
Приложение Д. Хронологические графики и суммарные интегральные кривые дат наступления ледовых явлений 88
Приложение Е. Исходные метеорологические данные 92
Приложение Ж. Хронологические графики и суммарные интегральные кривые абсолютных максимумов и минимумов температуры воздуха 95

Введение

В последние десятилетия на территории Российской Федерации, включая ее северо-западные регионы, наблюдается повышение «нервозности» климатической системы, что выражается в увеличении частоты, интенсивности и продолжительности опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Республика Карелия, в силу своего физико-географического положения и высокой степени уязвимости инфраструктуры (линии электропередач, автомобильные и железные дороги, жилищно-коммунальное хозяйство), особенно подвержена рискам, связанным с экстремальными уровнями воды, зажорно-заторными явлениями, сильным ветром и аномальными температурами. Наводнения, вызванные весенними половодьями и дождевыми паводками, наносят значительный экономический ущерб, а ледостав или, напротив, его отсутствие в определенные годы нарушают работу водного транспорта и гидротехнических сооружений. В этой связи комплексная оценка временной изменчивости, трендов и обеспеченности экстремальных гидрологических характеристик является критически важной для адаптации региональной экономики к современным изменениям климата и для оперативного прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Объектом исследования являются опасные гидрометеорологические явления, наблюдаемые на территории Республики Карелия.

Предметом исследования выступает временная изменчивость (однородность, стационарность, тренды), повторяемость и обеспеченность максимальных и минимальных уровней воды, а также сроков ледообразования на реках и водоемах Карелии.

Целью работы является выявление статистически значимых закономерностей и трендов изменчивости опасных гидрологических явлений на территории Республики Карелия на основе анализа многолетних режимных данных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Выполнить сбор, систематизацию и анализ исходных гидрометеорологических данных за многолетний период по ключевым гидрологическим постам и метеостанциям на территории Республики Карелии.

2) Провести оценку временной однородности и стационарности рядов наблюдений за уровнями воды и сроками ледовых явлений.

3) Идентифицировать статистические выбросы в исследуемых рядах данных.

4) Выполнить расчет обеспеченных значений гидрометеорологических характеристик.

5) Сформулировать выводы о характере и направленности изменений гидрометеорологического режима рек в условиях современного климата.

Районом исследования является территория Республики Карелия, расположенная на северо-западе России в пределах Балтийского кристаллического щита. Гидрографическая сеть представлена бассейнами Белого и Балтийского морей. В работе использованы данные по 19 гидрологическим постам (в т.ч. на реках Кемь, Шуя, Нижний Выг, Водла, а также на водохранилищах и Онежском озере). Методологическая основа исследования включает методы математической статистики (критерии однородности Стьюдента, Фишера), корреляционный анализ, методы анализа временных рядов (проверка стационарности, а также методы гидрологических расчетов.

Новизна работы заключается в обобщении и статистическом анализе гидрологических рядов наблюдений, охватывающих период с моменты открытия постов 1930 до 2023 гг., что позволяет не только подтвердить наличие климатических трендов, но и количественно оценить их влияние на экстремальные гидрологические характеристики (максимальные и минимальные уровни, даты ледостава) применительно к специфическим условиям Карелии. Исследование вносит вклад в региональную базу данных для целей гидрологического прогнозирования.

Теоретическая значимость работы обусловлена возможностью использования ее результатов для верификации климатических моделей на региональном уровне. Практическая значимость заключается в том, что полученные

оценки обеспеченности и выявленные закономерности могут быть использованы проектными и эксплуатационными организациями при определении зон затопления, проектировании гидротехнических сооружений, мостовых переходов, а также при планировании мероприятий по защите населенных пунктов от наводнений.

1 Физико-географическое описание района

1.1 Местоположение

Республика Карелия расположена на северо-западе Российской Федерации, в пределах таежной зоны Восточно-Европейской равнины (рисунок 1.1). Территория республики простирается с севера на юг почти на 800 км – от 66° до 60° северной широты, а с запада на восток – на 500 км [1]. На севере Карелия граничит с Мурманской областью, на востоке – с Архангельской областью и Вологодской областью, на юге – с Ленинградской областью, на западе – с Финляндией. Общая площадь республики составляет 180,5 тыс. км², что сопоставимо с площадью таких европейских стран, как Австрия и Венгрия вместе взятые.



Рисунок 1.1 – Карта-схема географического районирования Республики Карелия

Географическое положение Карелии во многом определяет особенности ее климата и гидрологического режима. Территория находится в зоне активного западного переноса воздушных масс, что обусловливает частую смену погоды, обилие осадков и относительно мягкую зиму по сравнению с восточными регионами на тех же широтах. В то же время близость Белого моря на востоке и удаленность от Атлантического океана на западе создают заметные различия в климатических условиях между западными и восточными районами республики [2].

Важной особенностью географического положения Карелии является ее расположение в зоне сочленения двух крупных тектонических структур – Балтийского кристаллического щита и Русской платформы. Это наложило отпечаток не только на рельеф и геологическое строение, но и на гидрографическую сеть: большинство рек и озер имеют тектоническое происхождение или сформировались по линиям разломов земной коры.

С точки зрения гидрологического районирования территория Карелии относится к бассейнам двух морей – Белого (на востоке и севере) и Балтийского (на юге и западе). Водораздел между ними проходит по возвышенностям, пересекающим республику с севера на юг.

Практически все населенные пункты Карелии, включая столицу – город Петрозаводск, расположены на берегах рек или озер. Это делает гидрологический режим водных объектов критически важным для жизнедеятельности населения. Затопления во время весенних половодий, низкие уровни в межень, нарушающие работу водозаборов, поздний ледостав, создающий проблемы для судоходства, – все это составляет спектр опасных гидрологических явлений, актуальных для региона [3].

1.2 Рельеф

Рельеф Карелии имеет ряд характерных особенностей, которые отличают ее от большинства других регионов Русской равнины. Территорию республики можно охарактеризовать как всхолмленную равнину со следами древнего оледенения. Абсолютные отметки высот колеблются от уровня моря (Белое море) до 576 м (гора Нуорунен в северо-западной части) [1]. Однако большая часть территории лежит в диапазоне 100 – 200 м над уровнем моря.

Главная особенность рельефа Карелии – его «молодость» в геоморфологическом смысле. Территория неоднократно покрывалась ледниковыми щитами в течение четвертичного периода. Последнее, Валдайское (в пределах Карелии – Скандинавское), оледенение закончилось около 10 – 12 тысяч лет назад. Ледник оставил после себя характерные формы рельефа: бараньи лбы, курчавые скалы, озы, камы, зандровые поля, а также огромное количество котловин, впоследствии заполненных водой и превратившихся в озера [2].

В орографическом отношении на территории Карелии выделяют несколько крупных возвышенностей и низменностей.

На западе и северо-западе республики, вдоль границы с Финляндией, протягивается Западно-Карельская возвышенность. Ее высоты достигают 300 – 400 м. Именно здесь находятся наиболее высокие отметки рельефа – гора Нуорунен (576 м), гора Воттоваара (417 м). Эта возвышенность сложена кристаллическими породами архейского и протерозойского возраста – гранитами, гнейсами, диоритами, которые выходят на поверхность или перекрыты тонким слоем моренных отложений. Реки, берущие начало на западных склонах возвышенности, текут в сторону Финляндии и далее в Балтийское море, а с восточных склонов – в Онежское озеро.

Центральную часть Карелии занимает Онежско-Ладожская низменность, вытянутая в субмеридиональном направлении. Абсолютные отметки здесь не превышают 100 м. Эта низменность представляет собой древнюю тектоническую депрессию, впоследствии обработанную ледником. Именно здесь

расположены крупнейшие озера Европы – Ладожское и Онежское. Рельеф низменности плоский, местами заболоченный, с многочисленными мелкими озерами и протоками.

На востоке республики выделяется Восточно-Карельская возвышенность, которая постепенно переходит в Онежско-Северодвинскую равнину. Высоты здесь составляют 150 – 200 м. Эта возвышенность является водоразделом между бассейнами Белого и Балтийского морей. Рельеф более сглаженный, чем на западе, с широкими плоскими междуречьями и пологими склонами.

Северная часть Карелии занята возвышенностью Ветреный Пояс – цепью холмов, протянувшейся от Онежского озера до Белого моря. Высоты достигают 200-250 м. Название дано не случайно – возвышенность служит барьером для западных ветров, вызывая повышенную облачность и осадки на наветренных склонах [2].

Для гидрологического режима рек наиболее важны следующие особенности рельефа Карелии. Во-первых, малые уклоны рек. Поскольку большая часть территории – равнина с небольшими колебаниями высот, реки текут медленно, имеют слабо врезанные долины. Скорости течения обычно не превышают 0.3 – 0.5 м/с на равнинных участках, возрастая лишь на порожистых перекатах. Во-вторых, обилие озерных расширений. Многие реки Карелии представляют собой цепочки озер, соединенных короткими протоками. Это создает естественное регулирование стока – озера сглаживают пики половодий и поддерживают более равномерный расход воды в межень. В-третьих, наличие скальных порогов и перекатов, особенно в западной части республики, где кристаллические породы близко подходят к поверхности. На таких участках во время весеннего ледохода образуются заторы льда, вызывающие резкие подъемы уровня – одно из наиболее опасных гидрологических явлений [2].

Следствием ледниковой истории является также огромное количество озер. По разным оценкам, в Карелии насчитывается от 60 до 80 тысяч озер. Общая площадь озер составляет около 20% территории республики – это один

из самых высоких показателей в мире. Крупнейшие из них – Ладожское (площадь 17.7 тыс. км², из них карельская часть – около 10 тыс. км²) и Онежское (9.7 тыс. км²). Озера соединены между собой короткими реками, образуя единые озерно-речные системы.

Рельеф Карелии продолжает медленно изменяться под действием тектонических процессов. Территория испытывает поднятие со скоростью 2 – 5 мм в год в результате гляциоизостатического выравнивания – подъема земной коры после снятия ледниковой нагрузки. Этот процесс, начавшийся после таяния ледника, продолжается до сих пор и оказывает влияние на гидрологическую сеть: в некоторых районах происходит перестройка речной сети, обмеление одних озер и расширение других [1].

1.3 Климатическая характеристика

Климат Карелии определяется ее положением в высоких широтах (между 60 и 66° с.ш.), близостью к Атлантическому океану и Северной Атлантике, а также воздействием арктического бассейна. По классификации Б.П. Алисова, территория относится к атлантико-арктической области умеренного пояса, для которой характерен морской климат с чертами континентальности, усиливающейся к востоку [1].

Главная черта климата Карелии – его относительная мягкость для столь высоких широт. Средняя годовая температура воздуха колеблется от 0°С на севере до 3°С на юге республики. Для сравнения, на тех же широтах в Сибири средняя годовая температура составляет от минус 5 до минус 10°С. Это «потепление» обеспечивается западным переносом воздушных масс с Атлантического океана, где теплое Северо-Атлантическое течение (продолжение Гольфстрима) нагревает воздух.

В то же время влияние Арктики приводит к частым вторжениям холодного воздуха, особенно в зимний и весенний периоды. Резкая смена погоды – типичное явление для Карелии. За одни сутки температура может измениться на 10 – 15°С, а атмосферное давление – на 20 – 30 гПа [4].

По количеству осадков Карелия относится к зоне избыточного увлажнения. Годовое количество осадков варьирует от 450 – 500 мм на севере и востоке до 600 – 700 мм на западе и юго-западе (на наветренных склонах возвышенностей). Около 60 – 70% осадков выпадает в теплый период (апрель-октябрь), причем максимум приходится на июль-август. Снежный покров устанавливается обычно в ноябре и сходит в апреле, его продолжительность составляет 150 – 170 дней в зависимости от района [5].

Зима в Карелии продолжительная, но не очень суровая. Средняя температура января (самого холодного месяца) составляет от минус 8°С на юго-западе до плюс 14°С на северо-востоке. Абсолютные минимумы могут достигать минус 40°С и ниже, но такие морозы случаются редко и обычно связаны с вторжениями арктического воздуха при установившемся антициклоне. В последние десятилетия, в связи с общим потеплением климата, зимние температуры заметно повысились – средняя январская температура на большинстве метеостанций выросла на 2 – 3°С по сравнению с серединой XX века [6].

Характерной особенностью карельской зимы является большое количество оттепелей. В любой зимний месяц возможны периоды с положительной температурой воздуха, сопровождающиеся дождем или мокрым снегом. Частота оттепелей увеличивается с запада на восток и от севера к югу. На юго-западе (Сортавала, Лахденпохья) оттепели могут занимать до 30% времени зимнего периода. Эта особенность имеет важное гидрологическое значение: оттепели вызывают снеготаяние, формирование внутризимних паводков, а также способствуют образованию наледей и шуги на реках.

Лето в Карелии короткое и умеренно теплое. Средняя температура июля (самого теплого месяца) составляет от плюс 14°С на севере до плюс 17°С на юге. Абсолютные максимумы могут достигать плюс 33 – 35°С, но жаркая погода обычно держится не более 1 –2 недель за лето. Характерной особенностью является возврат холодов в первой декаде июня, когда возможны заморозки на почве. Это так называемые «пепельные» или «черемуховые» холода, известные каждому карельскому садоводу [1].

Весна и осень – переходные сезоны, для которых характерна неустойчивая погода с частыми сменами теплых и холодных периодов. Весной сход снежного покрова происходит обычно в первой половине апреля на юге и в конце апреля – начале мая на севере. Именно в это время формируется основная волна весеннего половодья. Осенью, в октябре – ноябре, происходит постепенное охлаждение воды и воздуха, начинается ледостав.

Для гидрологии ветер имеет значение прежде всего как фактор, вызывающий ветровое волнение и сгонно-нагонные явления на озерах и водохранилищах, а также как фактор перераспределения снежного покрова.

На территории Карелии преобладают ветры западного и юго-западного направлений, что соответствует общему западному переносу воздушных масс в умеренных широтах. Средняя годовая скорость ветра составляет 3 – 5 м/с. Наибольшие скорости наблюдаются в холодный период (ноябрь-март), наименьшие – летом [5].

Штормовые ветры (со скоростью более 15 м/с) случаются 15 – 25 дней в году, преимущественно в осенне-зимний период. Наиболее ветреными районами являются побережья Белого и Онежского озер, а также возвышенности. В открытой части Онежского озера волны при сильном ветре могут достигать высоты 3 – 4 м, что создает опасность для судоходства и береговых сооружений.

Для распределения снежного покрова ветер играет двоякую роль. С одной стороны, на открытых пространствах (полях, болотах, льду озер) ветер сдувает снег в понижения, создавая неравномерное залегание. С другой стороны, в лесах, которые покрывают более 50% территории Карелии, ветровой перенос снега значительно ослаблен. Это важно для гидрологических прогнозов: запасы воды в снеге в лесистых водосборах более стабильны, чем на безлесных территориях.

Для целей настоящего исследования важно оценить, как менялся климат Карелии за многолетний период наблюдений. Анализ данных метеостанций показывает следующие тенденции [4, 6]:

1. Повышение среднегодовой температуры воздуха. За 90 лет она выросла примерно на 2°С. Наиболее интенсивное потепление наблюдается с конца 1970-х годов. Зимние температуры растут быстрее летних – за зиму потепление составляет около 3°С, за лето – около 1°С.

2. Увеличение количества осадков. Годовые суммы осадков выросли на 10 – 15% по сравнению с серединой XX века. При этом увеличение происходит в основном за счет холодного периода – зимние осадки стали более обильными. Это приводит к росту снегозапасов к началу весеннего снеготаяния.

3. Смещение сезонов. Весна наступает раньше – сход снежного покрова в южных районах сдвинулся с середины апреля на конец марта – начало апреля. Осень становится теплее и продолжительнее – переход температуры через 0°С осенью происходит на 10 – 12 дней позже, чем в середине XX века.

4. Увеличение числа оттепелей. Частота зимних оттепелей выросла в 1.5 – 2 раза. Это приводит к более частому формированию внутризимних паводков и изменению структуры снежного покрова (появлению ледяных корок).

Эти климатические изменения оказывают прямое влияние на гидрологический режим рек Карелии. Оценке этого влияния посвящены главы 3 и 4 настоящей работы.

1.4 Гидрографическая характеристика

Гидрографическая сеть Карелии относится к числу наиболее густых в России. Показатель густоты речной сети составляет в среднем 0.8 – 1.2 км/км², а в некоторых районах (например, в бассейне реки Шуи) достигает 1.5 км/км². Для сравнения, в соседней Архангельской области этот показатель составляет 0.4 – 0.6 км/км² [5].

Такая высокая густота обусловлена тремя факторами. Во-первых, это обильное увлажнение территории – осадков выпадает больше, чем может испариться. Во-вторых, это особенности рельефа – многочисленные ледниковые котловины создают бесчисленные озерные «ловушки», из которых вода вытекает, образуя реки. В-третьих, это слабая водопроницаемость кристаллических

пород, залегающих близко к поверхности, – почти все атмосферные осадки формируют поверхностный сток.

Общее количество рек в Карелии превышает 27 тысяч, однако подавляющее большинство из них – это короткие (менее 10 км) водотоки, соединяющие озера. Длина рек, имеющих собственное название, составляет более 54 тысяч км [1].

Классификация рек Карелии по длине выглядит следующим образом:

– Крупные реки (длина более 200 км) – Водла (368 км), Кемь (358 км), Шуя (194 км – уступает по длине, но имеет большой водосбор), Нижний Выг (135 км, но с учетом Верхнего Выга – свыше 200 км);

– Средние реки (длина 50 – 200 км) – Сума, Кумса, Олонка, Лососинка, Чирко-Кемь (северный приток Кеми);

– Малые реки (длина менее 50 км) – основная масса рек Карелии.

С точки зрения гидрологического районирования и оценки опасных явлений наибольший интерес представляют крупные и средние реки, поскольку именно на них расположены населенные пункты и гидрологические посты, данные с которых использованы в настоящем исследовании.

Как уже отмечалось в параграфе 1.1, Карелия расположена в зоне водораздела между бассейнами Белого и Балтийского морей. Граница водораздела проходит по цепочке возвышенностей – Западно-Карельской, Онежско-Ладожской и Ветреного Пояса. Эта граница имеет важное гидрологическое значение, поскольку условия стока по разные стороны водораздела различаются [2].

Бассейн Белого моря занимает восточную и северную части республики, охватывая примерно 60% территории. Сюда относятся бассейны рек:

– Кемь – одна из крупнейших рек Карелии, впадающая в Белое море у города Кемь. Ее приток – Чирко-Кемь (северная составляющая) также представляет самостоятельный интерес;

– Нижний Выг – река, соединяющая Выгозеро с Белым морем. Вместе с Верхним Выгом образует единую систему, зарегулированную каскадом гидроузлов;

– Шуя – впадает в Онежскую губу Белого моря (в некоторых классификациях Онежская губа относится к Белому морю);

– Сума – небольшая река, впадающая в Онежскую губу у села Сумский Посад.

Бассейн Балтийского моря занимает южную и западную части республики (около 40% территории). Основные водные объекты этого бассейна:

– река Водла – впадает в Онежское озеро, которое, в свою очередь, через реку Свирь связано с Ладожским озером и далее с Балтикой. Водла – самый крупный приток Онежского озера, дающий до 30% его водного питания;

– река Олонка – впадает в Ладожское озеро;

– Онежское озеро – второй по величине пресноводный водоем Европы, имеющий огромное гидрологическое и хозяйственное значение для Карелии;

– водохранилища – Юшкозерское (на реке Чирко-Кемь, в бассейне Балтики), Сегозерское и Выгозерско-Ондское (относятся к бассейну Белого моря).

Внутри республики также выделяются замкнутые бассейны (не имеющие стока в море) – это некоторые озера в северных районах, но их площадь незначительна.

Ниже дана краткая характеристика рек, по которым имеются гидрологические посты.

Река Кемь (бассейн Белого моря). Берет начало из озера Нижнее Куйто на северо-западе Карелии. Длина – 358 км, площадь водосбора – 27.7 тыс. км². Протекает через ряд крупных озер (Верхнее, Среднее, Нижнее Куйто). В среднем и нижнем течении – типичная равнинная река со скоростью течения 0.4 – 0.6 м/с. Ледостав с ноября по май. Весеннее половодье – с середины мая по июнь. Максимальные уровни – до 5 – 6 м над меженью [5].

Река Чирко-Кемь. Левый приток Кеми, берет начало из озера Тикшозеро. Длина – 221 км, площадь водосбора – 9.8 тыс. км². Интересна тем, что в верховьях зарегулирована Юшкозерским водохранилищем (создано в 1970-х). Гидрологический пост у села Юшкозеро расположен ниже водохранилища, что позволяет оценивать его влияние на режим стока.

Река Шуя (бассейн Белого моря). Берет начало из озера Суоярви на западе Карелии. Длина – 194 км (вместе с притоками – более 300 км), площадь водосбора – 10.1 тыс. км². Впадает в Онежскую губу Белого моря у села Шуерецкое. Имеет озерно-речной характер – на ее пути расположены крупные озера (Суоярви, Шотозеро, Логмозеро). Гидрологический пост у села Шуерецкое находится в нижнем течении, близ устья.

Река Нижний Выг (бассейн Белого моря). Вытекает из Выгозера, впадает в Белое море у города Беломорск. Длина – 135 км (вместе с Верхним Выгом – 236 км). Сильно зарегулирована – на реке создан каскад гидроэлектростанций (Беломорская ГЭС, Выгская ГЭС и др.). Гидрологический пост у города Беломорск находится ниже всех гидроузлов, фиксируя суммарное влияние зарегулирования.

Река Сума (бассейн Белого моря). Небольшая река длиной 164 км, площадь водосбора – 5.5 тыс. км². Впадает в Онежскую губу у села Сумский Посад. Представляет интерес как пример малой реки со слабо зарегулированным стоком.

Река Водла (бассейн Балтийского моря). Крупнейший приток Онежского озера. Берет начало в Вологодской области, в Карелии протекает в среднем и нижнем течении. Длина – 368 км (в пределах Карелии – около 250 км), площадь водосбора – 13.7 тыс. км². Имеет два гидрологических поста – у города Пудож (в среднем течении) и у рабочего поселка Подпорожье (ближе к устью). Характеризуется высокой озерностью – на ее пути расположено более 40 крупных озер [5].

Водлозерское водохранилище. Создано на реке Водле в 1950-х годах в связи со строительством Водлозерской ГЭС. Площадь – 520 км², объем – 2.5 км³. Гидрологический пост у деревни Куганаволок расположен на южном берегу водохранилища.

Река Верхний Выг (бассейн Белого моря). Вытекает из Верхневыгозерского водохранилища, впадает в Выгозеро. Длина – 101 км. Гидрологический пост у деревни Огорелыши расположен в среднем течении.

1.5 Гидрологический режим

Гидрологический режим рек Карелии формируется под воздействием климатических, геологических и морфометрических факторов, подробно охарактеризованных в предыдущих параграфах. Главная особенность режима – его озерно-речной характер. Большинство рек представляют собой протоки между озерами, а не самостоятельные водотоки с непрерывным руслом [5].

Эта особенность имеет два важных следствия для гидрологии. Во-первых, озера играют роль естественных регуляторов стока. Они аккумулируют воду в период весеннего половодья, растягивая его во времени, и отдают ее в межень, поддерживая более стабильный уровень. Амплитуда колебаний уровня воды в озерно-речных системах значительно меньше, чем в реках, не имеющих озер в бассейне. Во-вторых, термический режим озер влияет на ледовый режим водотоков. Лед на реках, вытекающих из озер, образуется позже и разрушается раньше, чем на реках без озерного питания.

По условиям питания, реки Карелии относятся к типу с преобладанием снегового питания (50 – 70% годового стока). Дождевое питание составляет 20 – 30%, грунтовое – 10 –20%. Однако соотношение меняется от года к году и от сезона к сезону. В многоводные годы доля снегового питания возрастает до 70 – 80%, в маловодные – снижается до 40 – 50% за счет увеличения доли грунтовых вод [1].

В годовом цикле гидрологического режима рек Карелии выделяют несколько последовательных фаз.

Зимняя межень (ноябрь – апрель). Наступает после ледостава. Реки питаются исключительно грунтовыми водами, так как снег не тает, а дожди зимой редки и, как правило, не формируют стока (за исключением периодов оттепелей, когда возможны внутризимние паводки). Расходы воды минимальны, уровни низкие. Для Онежского озера минимальные уровни приходятся на март-апрель [5].

Продолжительность зимней межени составляет 150 – 170 дней в зависимости от района и конкретной зимы. Толщина льда на реках достигает 0.5 –

1.0 м, на озерах – 0.6 – 1.2 м. Зимняя межень – критический период для водоснабжения, так как малые расходы воды могут вызвать проблемы с забором воды на водозаборах. Кроме того, в этот период наиболее интенсивно происходит «сработка» водохранилищ.

Весеннее половодье (апрель-июнь). Основная фаза водного режима, формирующая до 70% годового стока. Начинается со снеготаяния, которое в южных районах обычно приходится на начало-середину апреля, в северных – на конец апреля – начало мая.

Половодье на реках Карелии имеет характерные особенности. Во-первых, оно растянуто во времени из-за наличия озер в бассейнах. Если на реках Восточно-Европейской равнины половодье обычно укладывается в 20 – 40 дней, то в Карелии оно может длиться 60 – 80 дней. Во-вторых, пик половодья часто имеет несколько вершин, что связано с поступлением талых вод с разных частей водосбора. В-третьих, на реках, вытекающих из крупных озер, половодье выражено слабее – подъем уровня не превышает 1 – 2 м, тогда как на малых реках он может достигать 4 – 6 м [5].

Максимальные уровни воды фиксируются обычно во второй половине мая – начале июня. Именно в этот период наиболее вероятны опасные гидрологические явления – затопление прибрежных территорий, повреждение гидротехнических сооружений, подтопление дорог и населенных пунктов. Данные о максимальных уровнях, приведенные в параграфе 3.1, относятся именно к этой фазе.

Летне-осенняя межень (июль – октябрь). Наступает после спада половодья. Реки питаются в основном за счет дождевых вод и, в меньшей степени, грунтовых. В этот период возможны дождевые паводки, которые могут достигать значительной высоты – иногда сопоставимой с весенним половодьем или даже превышать его.

Особенностью летне-осеннего периода является высокая изменчивость расходов и уровней. В засушливые годы межень может быть очень низкой, что создает проблемы для водоснабжения и судоходства. В дождливые годы,

напротив, один или несколько дождевых паводков могут поддерживать высокие уровни на протяжении всего лета.

Ледостав (ноябрь – декабрь). Переход к зимнему режиму. Ледостав начинается с образования заберегов, затем шуги (внутриводного льда) и, наконец, сплошного ледяного покрова. На реках, вытекающих из озер, ледостав наступает позже, чем на остальных водотоках, поскольку озера долго сохраняют тепло.

Дата ледостава – одна из ключевых гидрологических характеристик, по которой оцениваются изменения климата.

Ледовый режим рек Карелии имеет свои особенности, обусловленные суровостью климата и озерностью бассейнов. В годовом цикле выделяют следующие ледовые явления [5]:

Забереги – полосы неподвижного льда у берегов, появляющиеся при отрицательных температурах воздуха еще до наступления ледостава. Забереги сужают живое сечение реки, увеличивая скорость течения и предотвращая дальнейшее льдообразование на стрежне.

Шугоход – движение по реке внутриводного льда (шуги) – рыхлой массы, образующейся при переохлаждении воды. Шуга может забивать водозаборные сооружения и накапливаться под ледяным покровом, образуя шуговые заторы.

Осенний ледоход – движение льдин по реке перед установлением сплошного ледяного покрова. На реках Карелии осенний ледоход обычно непродолжителен (1 – 5 дней) из-за небольшой скорости течения.

Ледостав – установление сплошного ледяного покрова.

Весенний ледоход – движение льда после разрушения ледяного покрова. Начинается обычно в конце апреля – начале мая. Именно в период весеннего ледохода формируются наиболее опасные явления – заторы льда, вызывающие резкие подъемы уровня воды. Заторы особенно часты на участках с порогами и перекатами, где лед скапливается и перегораживает русло.

Вскрытие рек – полное освобождение ото льда. Происходит в конце мая – начале июня, то есть на 2 – 4 недели позже, чем в сопоставимых по широте

районах Восточной Европы. Это связано с тем, что озера и водохранилища, входящие в систему рек, долго сохраняют ледяной покров и охлаждают воду.

Толщина льда на реках Карелии к концу зимы достигает 0.6 – 1.0 м. В суровые зимы на малых реках с медленным течением лед может промерзать до дна, что приводит к полному прекращению стока.

Для целей настоящего исследования наибольший интерес представляют экстремальные значения уровней воды – максимальные (весеннее половодье, реже – дождевые паводки) и минимальные (зимняя и летняя межень).

Максимальные уровни являются прямым индикатором опасности затопления. В Карелии опасные максимальные уровни фиксируются при превышении следующих критических отметок (по данным [3]):

– р. Кемь (г. Кемь) – уровень 471 см над нулем графика поста (достижение критической отметки в 1989 г. - 471 см., превышение в 2023 г. – 530 см.);

– р. Шуя (с. Шуерецкое) – уровень 299 см над нулем графика поста (превышение в 1942 г. – 308 см.; 1966 г. – 309 см.; 1979 г. – 342 см.; 1995 г. – 341 см.; 2013 г. – 365 см.);

– р. Верхний Выг (д. Огорелыши) – уровень 467 см над нулем графика поста (превышение в 1995 г. – 474 см.; 1997 г. – 506 см).

– р. Ивина (пгт. Ладва) – уровень 382 см над нулем графика поста (достижение критической отметки в 1981 г. – 382 см., превышение в 2012 г. – 417 см.; 2013 г. – 420 см.)

– р. Водла (р.п. Подпорожье) – уровень 383 см над нулем графика поста (достижение критической отметки в 1995 г. – 383 см., превышение в 1997 г. – 388 см.)

– р. Водла (г. Пудож) – уровень 502 см над нулем графика поста (достижение критической отметки в 1995 г. – 502 см., превышение в 1997 г. – 512 см.)

– вдхр. Водлозерское (д. Кугановолок) – уровень 319 см над нулем графика поста (достижение критической отметки в 1941 г. – 319 см., превышение в 1981 г. – 321 см.; 1988 г. – 328 см.; 1997 г. – 336 см.)

– р. Кумса – (г. Медвежьегорск) – уровень 123 см над нулем графика поста (превышение в 1966 г. – 128 см.; 1967 г. – 124 см.; 1968 г. – 135 см.; 2005 г. – 137 см.; 2009 г. – 129 см.; 2012 г. – 127 см.)

– р. Нижний Выг – (г. Беломорск) – уровень 371 см над нулем графика поста (превышение в 1978 г. – 400 см.; 1994 г. – 399 см.; 1996 г. – 384 см.)

– р. Лососинка – (г. Петрозаводск) – уровень 204 см над нулем графика поста (превышение в 1955 г. – 205 см.; 1957 г. – 220 см.; 1958 г. – 207 см.; 1962 г. – 229 см.; 1966 г. – 206 см.; 1977 г. – 230 см.; 1981 г. – 205 см.; 1982 г. – 220 см.; 1986 г. - 219 см.)

– р. Олонка - (г. Олонец) – уровень 450 см над нулем графика поста (достижения критической отметки в 1981 г. – 450 см.; 1998 г. – 450 см., превышение в 1955 г. – 480 см.; 1957 г. – 451 см.; 1958 г. – 465 см.; 1961 г. – 458 см.; 1966 г. – 470 см.; 1984 г. – 465 см.; 1994 г. – 462 см.)

– р. Сума – (с. Сумский Посад) – уровень 165 см над нулем графика поста (достижение критической отметки в 2006 г. – 165 см., превышение в 1949 г. – 182 см.; 1952 г. – 179 см.; 1955 г. – 199 см.; 1961 г. – 171 см.; 1962 г. – 179 см.; 1977 г. – 211 см.; 1983 г. – 184 см.; 2009 г. – 187 см.)

– р. Шуя – (д. Бесовец) – уровень 256 см над нулем графика поста (превышение в 1954 г. – 299 см.; 1955 г. – 296 см.; 1957 г. – 294 см.; 1958 г. – 270 см.)

– р. Чирко-Кемь – (с. Юшкозеро) – уровень 341 см над нулем графика поста (превышение в 1955 г. – 348 см.; 1975 г. – 343 см.; 1981 г. – 365 см.; 1982 г. – 358 см.; 1983 г. – 391 см.)

В многолетнем разрезе максимальные уровни демонстрируют изменчивость, связанную с климатическими факторами. Анализ этих изменений представлен в главе 3.

Минимальные уровни важны для оценки обеспеченности водоснабжения. Опасное гидрологическое явление «низкий уровень воды» фиксируется при снижении уровней ниже проектных отметок водозаборов (по данным [3]):

– оз. Онежское – (г. Петрозаводск) – уровень 20 см над нулем графика поста (за весь период наблюдений уровень воды не подходил к этой критической отметке)

– вдхр. Юшкозерское – (пгт. Калевала) – уровень 44 см над нулем графика поста (понижение в 1985 г. – 31 см.; 1987 г. – 39 см.; 1996 г. – 41 см.; 1998 г. – 43 см.; 2002 г. – 34 см.)

– вдхр. Сегозерское – (с. Паданы) – уровень 115 см над нулем графика поста (за весь период наблюдений уровень воды не подходил к этой критической отметке)

– вдхр. Выгозеро-Ондское – (пгт. Надвоицы) – уровень 65 см над нулем графика поста (понижение в 1957 г. – 41 см.; 1958 г. – 50 см.; 1959 г. – 32 см.; 1960 г. – 57 см.; 1961 г. – 52 см.; 1963 г. – 60 см.; 1966 г. – 54 см.; 1969 г. – 57 см.; 1972 г. – 52 см.; 1974 г. – 57 см.; 1981 г. – 60 см.; 1991 г. – 64 см.; 1998 г. – 56 см.; 2003 г. – 54 см.)

Таким образом, территория Республики Карелия обладает сложным и разнообразным физико-географическим строением, которое во многом определяет особенности гидрологического режима. Высокая озерность, равнинный рельеф с малыми уклонами, преобладание снегового питания и суровый климат формируют специфический гидрологический режим, для которого характерны растянутое весеннее половодье, значительная роль озер в регулировании стока, поздний ледостав и раннее вскрытие в последние десятилетия.

2 Статистические методы обработки

2.1 Оценка однородности

Оценка однородности представляет собой первый и, пожалуй, наиболее ответственный этап статистического анализа. Под однородностью понимается свойство ряда наблюдений быть сформированным под действием одного и того же комплекса природных факторов на протяжении всего периода наблюдений [7]. Нарушение однородности может быть вызвано как естественными климатическими изменениями, так и антропогенными воздействиями – созданием водохранилищ, переброской стока, хозяйственной деятельностью на водосборе.

Для целей настоящего исследования проверка однородности имеет принципиальное значение по двум причинам. Во-первых, ряды максимальных уровней воды на реках Карелии потенциально могут содержать неоднородности, связанные с зарегулированием стока – на реке Нижний Выг, Шуя, Водла в разное время были построены гидроузлы. Во-вторых, климатические изменения последних десятилетий сами по себе создают предпосылки для нарушения стационарности гидрологического режима [4].

В гидрологической практике принято различать два вида однородности [8]:

- однородность во времени (стационарность) – неизменность статистических характеристик ряда (среднего значения, дисперсии, автокорреляционной функции) на протяжении всего периода наблюдений;
- однородность в пространстве – принадлежность всех членов ряда к одной генеральной совокупности, что особенно важно при объединении данных с разных постов или при использовании данных рек-аналогов для восстановления пропусков.

Для проверки однородности в данной работе использован комплекс статистических критериев, выбор которых обусловлен спецификой гидрологических данных (наличие асимметрии, возможные выбросы, неполнота рядов).

2.1.1. Критерий Стьюдента для проверки однородности средних

Критерий Стьюдента (t-критерий) позволяет проверить гипотезу о равенстве средних значений двух выборок, полученных из одной генеральной совокупности. Применительно к проверке однородности гидрологического ряда процедура выглядит следующим образом: исходный ряд наблюдений разделяется на две части (обычно по временному признаку), и проверяется, различаются ли их средние арифметические статистически значимо [7].

Расчетная формула критерия Стьюдента имеет вид:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2+(n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}} \qquad (2.1)$$

где $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ – средние значения первой и второй выборок;

n_1, n_2 – объемы выборок;

s_1^2, s_2^2 – выборочные дисперсии.

Полученное расчетное значение t сравнивается с табличным значением $t_{\text{табл}}$ при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ (что соответствует 5%-ному риску ошибочного отклонения нулевой гипотезы) и числе степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$. Если $t > t_{\text{табл}}$, нулевая гипотеза об однородности средних отвергается – ряд признается неоднородным по математическому ожиданию.

2.1.2. Критерий Фишера для проверки однородности дисперсий

Однородность средних – необходимое, но недостаточное условие стационарности ряда. Важно также, чтобы не изменялась дисперсия – характеристика изменчивости процесса. Для проверки этого свойства используется F-критерий Фишера [7].

Расчетная формула критерия Фишера:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \tag{2.2}$$

где s_1^2 и s_2^2 – выборочные дисперсии сравниваемых выборок, причем в числителе всегда ставится большая дисперсия ($s_1^2 \geq s_2^2$).

Нулевая гипотеза об однородности дисперсий принимается, если $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$ при уровне значимости $\alpha = 0.05$ и числах степеней свободы $k_1 = n_1 - 1, k_2 = n_2 - 1$.

2.1.3. Критерий Фишера-Пирсона (критерий χ^2) для проверки однородности распределения

Наиболее общим критерием проверки однородности является критерий χ^2 (хи-квадрат) Фишера-Пирсона, который позволяет оценить, принадлежат ли сравниваемые выборки одному и тому же закону распределения [8]. В отличие от t- и F-критериев, которые проверяют равенство отдельных параметров (среднего и дисперсии), критерий χ^2 оценивает совпадение всей функции распределения.

Процедура применения критерия включает следующие шаги:

1. Весь диапазон значений ряда разбивается на k интервалов (разрядов).
2. Для каждой выборки подсчитываются наблюдаемые частоты m_i попадания значений в каждый интервал.
3. Рассчитываются теоретические частоты m_i', ожидаемые при условии, что обе выборки взяты из одной генеральной совокупности.
4. Вычисляется статистика критерия:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'} \tag{2.3}$$

5. Полученное значение сравнивается с табличным $\chi^2_{\text{табл}}$ при уровне значимости α и числе степеней свободы $k' = k - 1 - r$, где r – число параметров распределения, оцененных по данным (для нормального распределения $r = 2$, для распределения Пирсона III типа $r = 3$).

2.2 Оценка стационарности

2.2.1 Понятие стационарности в гидрологии

Если однородность характеризует неизменность статистических свойств ряда при его разделении на части, то стационарность предполагает отсутствие тренда – систематического повышения или понижения значений во времени. Строго говоря, стационарный временной ряд – это ряд, у которого математическое ожидание и дисперсия постоянны, а автокорреляционная функция зависит только от сдвига между членами ряда, а не от абсолютного времени [9].

В прикладной гидрологии принято различать три типа стационарности [8]:

- Стационарность в узком смысле – неизменность полной функции распределения вероятностей при сдвиге по времени;
- Стационарность в широком смысле – постоянство среднего значения и дисперсии;
- Трендостационарность – ряд может быть приведен к стационарному путем удаления детерминированной составляющей (тренда).

Для целей настоящего исследования, учитывая наличие климатических изменений, наибольший интерес представляет выявление и количественная оценка трендов в рядах гидрологических характеристик.

2.2.2 Метод скользящего среднего для выявления тренда

Простейшим и наглядным методом выявления тренда является сглаживание ряда с помощью скользящей средней. Суть метода заключается в замене каждого члена ряда средним арифметическим из него и соседних значений [7].

При выборе интервала сглаживания следует учитывать, что слишком короткий интервал (3 – 5 лет) оставляет много «шумов», а слишком длинный (более 15 лет) может «срезать» реальные климатические колебания.

2.2.3 Проверка стационарности с помощью критерия серий

Критерий серий (критерий Аббе-Линника) относится к непараметрическим методам проверки стационарности и не требует предположения о законе распределения данных. Основная идея заключается в анализе последовательности знаков разностей между соседними членами ряда [8].

Последовательность знаков «+» (если $x_{i+1} > x_i$) и «-» (если $x_{i+1} < x_i$) разбивается на серии – непрерывные последовательности одинаковых знаков. Если в ряду присутствует тренд, то количество серий будет меньше, чем в стационарном случайном ряду.

2.3 Оценка выбросов

2.3.1 Природа и классификация выбросов

Аномально высокие или низкие значения в гидрологических рядах (выбросы) могут иметь двоякую природу [7]. С одной стороны, они могут отражать реальные экстремальные природные явления – катастрофические паводки, аномально высокие половодья, экстремально низкую межень. С другой стороны, выбросы могут быть следствием ошибок измерения, описок при записи, неправильной калибровки приборов или повреждения оборудования.

Для практических гидрологических расчетов важно различать эти случаи. Если выброс отражает реальное природное явление, его нельзя исключать из анализа – напротив, такие экстремумы представляют наибольший интерес для оценки рисков. Если же выброс вызван ошибкой – он подлежит исключению или корректировке.

В настоящем время используются следующие методы идентификации выбросов:

1) Визуальный анализ – предварительное графическое представление данных;

2) Критерий «трех сигм» – значения, отличающиеся от среднего более чем на три стандартных отклонения, рассматриваются как потенциальные выбросы;

3) Критерий Ирвина – специально разработан для выявления грубых ошибок в гидрометеорологических рядах.

2.3.2 Критерий «трех сигм»

Наиболее простой и наглядный метод. Для нормально распределенной случайной величины вероятность отклонения от среднего более чем на 3σ составляет всего 0.27% – то есть примерно одно значение из 370 [8]. Для ряда длиной 94 года ожидается примерно 0.25 такого выброса – то есть практически ни одного. Следовательно, если в ряду обнаруживается значение, для которого $| x_i - \bar{x} | > 3s$, оно с высокой вероятностью либо является ошибкой, либо относится к экстремальным природным явлениям.

2.3.3 Критерий Ирвина

Более совершенный метод, учитывающий не абсолютное отклонение от среднего, а разность между соседними членами ряда [8]. Критерий Ирвина основан на предположении, что если какое-то значение является грубой ошибкой, то разность между ним и соседними значениями будет аномально велика по сравнению с общей изменчивостью ряда.

Расчетная формула:

$$\lambda_i = \frac{|x_i - x_{i-1}|}{s_x} \tag{2.4}$$

где s_x – оценка среднеквадратического отклонения, вычисленная по всей выборке (или по ее части, не содержащей предполагаемых выбросов). Значе-

ние x_i признается выбросом, если $\lambda_i > \lambda_{\text{табл}}$, где $\lambda_{\text{табл}}$ зависит от объема выборки и принятого уровня значимости. Для $n = 94$ и $\alpha = 0{,}05$ табличное значение составляет примерно 2.8.

2.4 Оценка обеспеченных значений

2.4.1 Теоретические основы расчета обеспеченности

В гидрологической практике недостаточно знать, что какой-то уровень был аномально высоким или низким. Необходимо уметь количественно оценивать вероятность (обеспеченность) таких событий. Именно на расчетах обеспеченности основаны все нормативные документы по проектированию гидротехнических сооружений, мостовых переходов, защитных дамб [10].

Обеспеченностью гидрологической характеристики называется вероятность ее превышения (для максимальных уровней) или непревышения (для минимальных). Например, уровень воды обеспеченностью 1% означает, что в среднем один раз в 100 лет (или 1% лет) этот уровень превышается.

2.4.2 Эмпирическая обеспеченность

Первый шаг – построение эмпирической кривой обеспеченности. Для этого исходный ряд ранжируется в порядке убывания (для максимальных уровней) или возрастания (для минимальных), и для каждого значения вычисляется эмпирическая вероятность по формуле [7]:

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% \qquad (2.5)$$

где m – порядковый номер значения в ранжированном ряду (от 1 до n),

n – объем выборки. Для $n = 94$ формула дает: $P = \frac{m}{95} \cdot 100\%$.

2.4.3 Аналитическая кривая обеспеченности

Эмпирическая кривая дает точечные оценки, но для расчета редких обеспеченностей (1%, 0,5%, 0,1%) необходимо аппроксимировать ее аналитической функцией. В гидрологии России для этой цели традиционно используется кривая трехпараметрического гамма-распределения (распределение Пирсона III типа) [10].

Функция плотности распределения Пирсона III типа имеет вид:

$$f(x) = \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)}(x - x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-x_0)} \quad (2.6)$$

где α, β, x_0 – параметры, связанные с моментом распределения. Для практических расчетов используются таблицы, составленные С.Н. Крицким и М.Ф. Менкелем.

Расчетные значения уровней заданной обеспеченности вычисляются по формуле:

$$H_P = H_{\text{ср}} \cdot (1 + C_v \cdot \Phi_P) \quad (2.7)$$

где $H_{\text{ср}}$ – средний многолетний уровень,

C_v – коэффициент вариации,

Φ_P – нормированное отклонение от среднего, зависящее от C_s (коэффициента асимметрии) и обеспеченности P.

3 Оценка изменчивости опасных гидрологических явлений

3.1 Исходные данные

Природные явления, которые по своим параметрам (продолжительности, интенсивности, времени возникновения) могут угрожать жизни людей или нанести значительный материальный ущерб, относят к опасным (ОЯ). Росгидрометом определены критерии или характеристики, которые позволяют классифицировать явление, как опасное или неблагоприятное. Для каждого региона в зоне ответственности территориального органа Росгидромета, утверждены типовые перечни и региональные критерии. Не составляет исключение и территория Карелия, для которой утвержденный перечень представлен на сайте Карельского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [3].

Опасные явления подразделяются на метеорологические, агрометеорологические, гидрологические, а также экстремально высокое загрязнение. В настоящей работе рассматривались отдельные виды метеорологических и гидрологических явлений.

В частности, рассматривались такие опасные гидрологические явления, как:

- высокий уровень воды по тем пунктам, для которых установлены критерии – для 13 гидрологических постов на реках и 1 посту на водохранилище;
- низкий уровень воды – для 4 постов на водохранилищах;
- ранее ледообразование – для одного поста на реке и трех постов на водохранилищах.

В основу исследования положены данные гидрологических наблюдений, выполненных на сети Росгидромета на территории Республики Карелия.

Основные источники данных:

- Ежегодные гидрологические бюллетени и справочники КЦГМС за 2008-2023 гг.[3];

- Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад [5];
- Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши [11];
- Гидрологические ежегодники [12].

В таблице 3.1 приведен перечень гидрологических постов, данные с которых использованы в работе.

Таблица 3.1 – Гидрологические посты, использованные в исследовании

№	Водный объект	Пункт наблюдений	Характеристика
1	р. Кемь	г. Кемь	максимальные уровни
2	р. Чирко-Кемь	с. Юшкозеро	максимальные уровни
3	р. Шуя	с. Шуерецкое	максимальные уровни
4	р. Нижний Выг	г. Беломорск	максимальные уровни
5	р. Сума	с. Сумский Посад	максимальные уровни
6	р. Водла	г. Пудож	максимальные уровни
7	р. Водла	р.п. Подпорожье	максимальные уровни, даты льда
8	вдхр Водлозерское	д. Куганаволок	максимальные уровни
9	р. Верхний Выг	д. Огорелыши	максимальные уровни
10	вдхр Юшкозерское	пгт Калевала	минимальные уровни
11	вдхр Выгозерско-Ондское	пгт Надвоицы	минимальные уровни, даты льда
12	оз. Онежское	г. Петрозаводск	минимальные уровни, даты льда
13	вдхр Сегозерское	с. Паданы	минимальные уровни
14	оз. Онежское	д. Лонгасы	даты льда

Продолжение таблицы 3.1 – Гидрологические посты, использованные в исследовании

№	Водный объект	Пункт наблюдений	Характеристика
15	р. Кумса	г.Медвежьегорск	максимальные уровни
16	р. Олонка	г.Олонец	максимальные уровни
17	р. Ивина	пгт Ладва	максимальные уровни
18	р. Шуя	д.Бесовец	максимальные уровни
19	р. Лососинка	г.Петрозаводск	максимальные уровни

Исходные данные по уровням и датам ледовых явлений представлены в Приложении А. Расположение гидрологических постов на территории Республики Карелия показано на карте-схеме в Приложении Б. Посты охватывают практически все гидрографические районы республики: бассейн Белого моря (Кемь, Чирко-Кемь, Шуя, Нижний Выг, Сума, Верхний Выг), бассейн Балтийского моря (Водла, Онежское озеро), а также крупные водохранилища (Водлозерское, Юшкозерское, Выгозерско-Ондское, Сегозерское).

3.2 Оценка наличия трендов

На первом этапе строились хронологические графики и выполнялась оценка наличия трендов в рядах гидрологических величин (уровней воды и сроков наступления ледовых явлений). Оценка трендов выполнялась путем проверки условия $|R| < t_{2\alpha}\,\sigma_R$, где t_{2a} – статистика Стьюдента при уровне значимости 2α (5%), R – коэффициент корреляции, σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции. В таблице 3.2 приведены результаты оценки наличия трендов в рядах максимальных уровней воды. В Приложении В приведены хронологические графики с линиями тренда.

Таблица 3.2 – Оценка значимости трендов в рядах максимальных уровней воды

Река – Пост	n	R^2	σ_R	$t_2\alpha$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_2a$
р. Кемь - г.Кемь	54	0.0209	0.136	2.01	0.14	1.06	не значим
р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	69	0.004	0.122	2	0.06	0.52	не значим
р. Шуя - с. Шуерецкое	88	0.020	0.106	1.99	0.14	1.33	не значим
р. Нижний Выг - г.Беломорск	60	0.266	0.096	2.00	0.53	5.34	значим
р. Сума - с. Сумский Посад	75	0.106	0.105	1.99	0.33	3.11	значим
р. Водла - г. Пудож	98	0.003	0.102	1.98	0.05	0.52	не значим
р. Водла - р.п. Подпорожье	91	0.060	0.199	1.99	0.24	2.45	значим
вдхр Водлозерское - д. Куганаволок	85	0.002	0.110	1.99	0.04	0.40	не значим
р. Верхний Выг - д.Огорелыши	61	0.047	0.124	2.00	0.22	1.75	не значим
р. Кумса - г.Медвежьегорск	59	0.158	0.112	2.00	0.40	4.56	значим
р. Олонка - г.Олонец	75	0.064	0.110	1.99	0.25	2.32	значим
р. Ивина - пгт Ладва	52	0.019	0.139	2.01	0.14	0.99	не значим
р. Шуя - д.Бесовец	79	0.029	0.111	1.99	0.17	1.54	не значим
р. Лососинка - г.Петрозаводск	69	0.376	0.076	2.00	0.61	8.03	значим

Анализ таблицы 3.2 и графиков показал, что из 14 постов значимые тренды в рядах максимальных в году уровней наблюдается на шести постах – на реках Нижний Выг, Сума, Водла (Подпорожье), Кумса, Олонка, Лососинка. При этом на всех постах, за исключением р. Водла тренды направлены на понижение уровней в последние десятилетия.

Для наиболее крупных водохранилищ республики в Перечне критериев приведены значения минимальных уровней воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений. За весь рассматриваемый период уровень воды ни достигал критических отметок. Для оценки тенденций изменения уровней также был проведен статистический анализ. Результаты анализа представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Оценка значимости трендов в рядах минимальных уровней в водохранилищах

Водохранилище – Пост	n	R^2	σ_R	$t_2\alpha$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_2a$
вдхр Юшкозерское - пгт Калевала	67	0.275	0.090	2.00	0.52	5.83	значим
вдхр Выгозерско–Ондское-пгт Надвоицы	67	0.156	0.105	2.00	0.40	3.78	значим
оз. Онежское –г. Петрозаводск	44	0.002	0.154	2.02	0.04	0.26	не значим
вдхр Сегозерское – с.Паданы	62	0.066	0.121	2.00	0.26	2.13	значим

В Приложении Г приведены хронологические графики с линиями тренда. Анализ показывает, что в рядах минимальных уровней Онежского

озера значимых трендов за последние 44 года не наблюдается. На Юшкозерском водохранилище выявлены тренды на понижение, на Выгозерском и Сегозерском – на повышение минимальных уровней воды.

К еще одному виду опасных гидрологических явлений относится экстремально раннее появление льда и образование ледостава на судоходных реках, озёрах и водохранилищах. Анализу подвергались данные наблюдений за ледоставом на Онежском озере, р. Водла, а также Выгозерско-Ондском водохранилище. Результаты сведены в таблицу 3.4. В Приложении Д приведены хронологические графики с линиями тренда.

Таблица 3.4 – Оценка значимости трендов в рядах сроков появления льда и начала ледостава

Водохранилище – Пост	n	R^2	σ_R	$t_2\alpha$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_2a$
р. Водла - р.п.Подпорожье	68	0.06	0.116	2.00	0.24	2.12	Значим
оз. Онежское – г. Петрозаводск	70	0.233	0.093	2.00	0.48	5.19	Значим
оз. Онежское - д.Лонгасы	70	0.077	0.112	2.00	0.28	2.48	Значим
вдхр Выгозерско-Ондское – пгт Надвоицы	57	0.087	0.123	2.00	0.29	2.39	Значим

Анализ таблицы 3.4 и графиков показывает, что во для всех рассматриваемых водных объектов за период наблюдений значения ранее критических зафиксировано не было. В рядах наблюдений выявлены устойчивые тренды на увеличение в последние десятилетия, т.е. на сдвижку сроков наступления ледовых явлений на более поздние даты.

3.3 Оценка однородности и стационарности

Проверка однородности рядов наблюдений за опасными гидрологическими явлениями выполнена с использованием статистических критериев, описанных в главе 2. Для всех рассматриваемых характеристик были построены суммарные интегральные кривые, с помощью которых выявлялась «точка перелома». Оценка стационарности по среднему проводилась с использованием критерия Стьюдента, по дисперсии – по критерию Фишера. При этом ряд по каждому пункту наблюдений разбивался на две части в соответствии с выявленной «точкой перелома»

В таблице 3.5 приведены результаты оценки рядов максимальных уровней воды. Анализ данных таблицы 3.5 показывает, что однозначный вывод по всей территории Карелии сделать затруднительно. В целом можно отметить, что на чуть менее половины постов ряды стационарны по среднему, когда как по дисперсии почти вся ряды не стационарны. При этом выявлено, что как средние значения уровней, так и их дисперсия уменьшается повсеместно. На шести постах ярко выраженной «точки перелома» не выявлено. Для Северной Карелии (бассейн Белого моря) изменения начали происходить в начале 2000-ых годов, тогда как на реках Южной Карелии – в конце 70-ых – 80-ых годов.

Аналогичные расчеты были проведены и для минимальных уровней воды. Результаты расчетов представлены в таблице 3.6. Анализ данных показывает, что на всех рассмотренных объектах, за исключением Сегозерского водохранилища, ряды не стационарны по среднему значению, но стационарны по дисперсии. Изменение режима выявлено в 90-ых годах прошлого века.

В таблице 3.7 представлены результаты проверки стационарности дат наступления ледовых явлений. На всех рассмотренных водоемах наблюдается потеря стационарности в конце 70-ых – начале 80-ых годов прошлого века. По всей видимости это связано с изменениями климата – потеплением и сдвижкой начала зимнего сезона.

Таблица 3.5 – Оценка стационарности рядов максимальных уровней воды

Река – Пост	период	среднее	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
			$t_{эмп}$	$t_{кр}$	Одн.	$F_{эмп}$	$F_{кр}$	Одн.
р. Кемь - г.Кемь	1969-2002	385	1.85	1.67	–	0.88	0.46	–
	2003-2023	361						
р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	1955-1988	268	1.34	1.67	+	2.83	1.99	–
	1989-2023	252						
р. Шуя - с. Шуерецкое	1936-1979	237	0.26	1.66	+	1.78	1.83	+
	1980-2023	234						
р. Нижний Выг - г.Беломорск	1964-1999	319	6.20	1.67	–	0.81	0.48	–
	2000-2023	249						
р. Сума - с. Сумский Посад	1949-1972	126	1.60	1.67	+	0.99	0.45	–
	1973-2023	110						
р. Водла - г. Пудож	1926-1989	359	1.07	1.66	+	0.95	0.53	–
	1990-2023	344						
р. Водла - р.п. Подпорожье	1933-1980	287	2.73	1.66	–	0.70	0.55	–
	1981-2023	258						

Продолжение таблицы 3.5

Река – Пост	период	среднее	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
			$t_{эмп}$	$t_{кр}$	Одн.	$F_{эмп}$	$F_{кр}$	Одн.
вдхр Водлозерское - д. Куга-наволок	1939-1873	271	1.21	1.66	+	0.55	0.54	–
	1974-2023	262						
р. Верхний Выг - д.Огорелыши	1963-1993	385	1.15	1.67	+	0.99	0.48	–
	1994-2023	382						
р. Кумса - г.Медвежьегорск	1965-1994	102	1.97	1.67	–	0.59	0.47	–
	1995-2023	93						
р. Олонка - г.Олонец	1949-2002	393	2.16	1.67	–	1.27	2.24	+
	2003-2023	368						
р. Ивина - пгт Ладва	1972-1997	304	1.24	1.68	+	0.35	0.45	+
	1998-2023	287						
р. Шуя - д.Бесовец	1945-1984	187	0.07	1.66	+	2.84	1.90	+
	1985-2023	187						
р. Лососинка - г.Петрозаводск	1951-1988	188	10.1	1.67	–	0.68	0.51	–
	1989-2023	135						

Таблица 3.6 – Оценка стационарности рядов минимальных уровней воды

Река – Пост	период	среднее	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
			$t_{эмп}$	$t_{кр}$	Одн.	$F_{эмп}$	$F_{кр}$	Одн.
вдхр Юшкозерское - пгт Калевала	1957-1983	103	9.12	1.67	–	1.59	1.99	+
	1984-2023	61						
вдхр Выгозерско–Ондское- пгт Надвоицы	1957-1990	82	1.76	1.66	–	1.06	2.01	+
	1991-2023	73						
оз. Онежское – г. Петрозаводск	1980-1997	110	1.76	1.68	–	1.00	0.39	+
	1998-2023	102						
вдхр Сегозерское – с.Паданы	1962-1992	377	1.47	1.67	+	0.78	0.48	–
	1993-2023	337						

Таблица 3.7

Река – Пост	период	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
		$t_{эмп}$	$t_{кр}$	Одн.	$F_{эмп}$	$F_{кр}$	Одн.
р. Водла - р.п.Подпорожье	1945-1978	1.72	1.67	–	1.83	2.00	+
	1979-2013						
оз. Онежское – г. Петрозаводск	1945-1979	1.92	1.67	–	1.11	1.98	–
	1980-2014						
оз. Онежское - д.Лонгасы	1945-1979	1.48	1.67	–	1.08	1.98	–
	1980-2014						
вдхр Выгозерско-Ондское – пгт Надвоицы	1958-1986	1.99	1.67	–	0.89	0.46	–
	1987-2023						

Если в начале исследования оценивалась однородность самих рядов уровней воды и дат ледообразования, то на следующем этапе акцент смещен на оценку однородности именно экстремальных значений – тех, которые превышают критические отметки, установленные КЦГМС для опасных гидрологических явлений [3].

Такой подход позволяет ответить на принципиальный вопрос: меняется ли со временем частота возникновения опасных явлений? Иными словами, стали ли катастрофические половодья и аномально низкие межени случаться чаще или реже по сравнению с первой половиной XX века.

Для анализа были отобраны годы, в которые максимальный уровень воды на каждом посту превышал порог опасного явления.

Для минимальных уровней опасным считается снижение ниже отметок, нарушающих работу водозаборов. Для Онежского озера (г. Петрозаводск) критическая отметка – 20 см БС, однако за весь период наблюдений уровень ни разу не опускался ниже 67 см (в 2003 году). Поэтому анализ опасных минимальных уровней выполнялся как анализ тренда минимальных значений, без привязки к критическому порогу, который фактически не достигается.

Первым этапом выполнено разделение рядов на две равные части и подсчет количества опасных явлений в каждой половине. Результаты представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Количество лет с опасными максимальными уровнями воды

Водный объект – пост	Критический уровень, см	Первая половина ряда	Вторая половина ряда	Изменение
р. Кемь - г.Кемь	471	1969-2002 1	2003-2023 1	0

Продолжение таблицы 3.8

Водный объект – пост	Критический уровень, см	Первая половина ряда	Вторая половина ряда	Изменение
р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	341	1955-1988 5	1989-2023 0	-5
р. Шуя – с. Шуерецкое	299	1936-1979 3	1980-2023 2	-1
р. Нижний Выг - г.Беломорск	371	1964-1999 3	2000-2023 0	-3
р. Сума - с. Сумский Посад	165	1949-1972 5	1983-2012 4	-1
р. Водла - г. Пудож	502	1926-1989 0	1990-2023 2	+2
р. Водла - р.п. Подпорожье	383	1933-1980 0	1981-2023 2	+2
вдхр Водлозерское - д. Кугаволок	319	1939-1973 1	1974-2023 3	+2
р. Верхний Выг - д.Огорелыши	467	1963-1993 0	1994-2023 2	+2

Продолжение таблицы 3.8

Водный объект – пост	Критический уровень, см	Первая половина ряда	Вторая половина ряда	Изменение
р. Кумса - г.Медвежьегорск	123	1965-1994 3	1995-2023 3	0
р. Олонка - г.Олонец	450	1949-2002 9	2003-2023 0	-9
р. Ивина - пгт Ладва	382	1972-1997 1	1998-2023 2	+1
р. Шуя - д.Бесовец	256	1945-1984 4	1985-2023 0	-4
р. Лососинка - г.Петрозаводск	204	1951-1988 9	1989-2023 0	-9

Данные таблицы 3.8 показывают разнонаправленные изменения. На реке Кемь количество лет с превышением критической отметки не изменилось. Наиболее заметное сокращение числа опасных явлений произошло на р. Чирко-Кемь. Это объясняется зарегулированием стока после создания Выгозерского водохранилища в 1960-х годах – водохранилище срезает пики половодий, снижая максимальные уровни.

Однако простого подсчета числа опасных явлений недостаточно. Необходимо проверить, является ли наблюдаемое изменение статистически значимым, или оно может быть объяснено случайными колебаниями. Для этого применен критерий Стьюдента, но не к самим уровням, а к бинарному признаку –

было или не было опасное явление в данном году. Ни для одного поста расчетное значение t-критерия не превышает табличного (1,99). Это означает, что изменение частоты опасных гидрологических явлений не является статистически значимым.

Для дат появления льда критерии опасности не установлены, поскольку ледообразование само по себе не является опасным явлением. Опасность представляет либо слишком ранний ледостав (который нарушает судоходство и работу гидротехнических сооружений), либо слишком поздний (который создает риск затяжного осеннего ледохода). Однако анализ однородности дат ледообразования, выполненный ранее, уже показал статистически значимый сдвиг в сторону более поздних сроков. Здесь же представляет интерес вопрос: стали ли экстремально ранние или экстремально поздние даты встречаться чаще?

Почти все самые поздние даты ледообразования приходятся на вторую половину периода, а самые ранние – на первую половину. На Онежском озере у Петрозаводска все самые поздние даты зарегистрированы после 2000 года. Это убедительное свидетельство неоднородности ряда и подтверждение векового тренда к более позднему ледоставу.

Таким образом, оценка однородности опасных гидрологических явлений приводит к следующим выводам:

1. Частота возникновения опасных максимальных уровней воды (выходящих за критические отметки) не претерпела статистически значимых изменений за период.
2. В то же время распределение экстремальных дат ледообразования существенно изменилось. Поздний ледостав стал характерной чертой последних десятилетий, а ранний ледостав, напротив, стал редкостью. Это изменение статистически значимо и, по-видимому, связано с потеплением климата в регионе.
3. Для минимальных уровней воды статистически значимых изменений частоты экстремально низких отметок не выявлено, что объясняется как

большой инерционностью озерных систем (Онежское озеро, водохранилища), так и отсутствием критических ситуаций, приближающихся к пороговым значениям.

4 Оценка изменчивости опасных метеорологических явлений

4.1 Исходные данные

В основу анализа опасных метеорологических явлений положены данные наблюдений на четырех опорных метеорологических станциях Республики Карелия, имеющих наиболее длинные и непрерывные ряды: Петрозаводск, Кандалакша, Реболы, Сортавала. Выбор именно этих станций обусловлен их географическим положением (охват южных, центральных и северных районов республики), длительностью наблюдений и полнотой данных. Данные получены из архива ВНИИГМИ-МЦД [13].

В таблице 4.1 приведена общая характеристика использованных метеорологических станций.

Таблица 4.1 – Характеристика метеорологических станций Республики Карелия

Название станции	Код ВМО	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Высота, м	Период наблюдений
Петрозаводск	22820	61°47′	34°21′	98	1944-2023
Сортавала	22717	61°42′	30°42′	16	1945-2023
Кандалакша	22217	67.1692°	32.3542°	26	1930-2023
Реболы	22602	63.8281°	30.8102°	180	1945-2023

Для анализа опасных метеорологических явлений (температуры воздуха) использованы следующие критерии, установленные КЦГМС для территории Республики Карелия [2]:

- Сильный мороз – минимальная температура воздуха ≤ -35°C (для северных районов, порог установлен на уровне -40°C);
- Аномально жаркая погода – максимальная температура воздуха ≥ +30°C в течение 5 дней и более (для южных районов) либо ≥ +28°C в течение 5 дней и более (для северных районов);

Полные ряды метеорологических наблюдений (минимальные и максимальные температуры воздуха приведены в Приложении Д.

В таблице 4.2 приведены обобщенные характеристики метеорологических параметров за весь период наблюдений по всем станциям.

Таблица 4.2 – Характеристики метеорологических параметров

Метеостанция	Абс. мин. зимой, °C (год)	Абс. макс. летом, °C (год)
Петрозаводск	– 41.6 (1987)	+ 34.4 (2021)
Сортавала	– 42.8 (1987)	+35.3 (2010)
Кандалакша	– 43.5 (1985)	+32.0 (2018)
Реболы	– 45.2 (1985)	+35.5 (2010)

Из таблицы 4.2 видна закономерность: с севера на юг повышается температура, снижается суровость зимних минимумов и незначительно растут летние максимумы

Абсолютный минимум температуры за весь период наблюдений зафиксирован на станции Реболы в 1985 году (-45.2°C). Абсолютный максимум – на станции Реболы в 2010 году (+35.5°C), что совпадает с общеевропейской аномальной жарой того лета.

4.2 Оценка наличия трендов

Аналогично гидрологическим данным выполнялся анализ трендов в рядах экстремальных температур.

На первом этапе строились хронологические графики и выполнялась оценка наличия трендов в рядах метеорологических величин (температур воздуха). В таблице 4.3 приведены результаты оценки по максимальным температурам, в таблице 4.4 – по минимальным температурам.

Таблица 4.3 – Оценка значимости трендов в рядах максимальных температур

Метеостанция	n	R^2	σ_R	$t_2\alpha$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_2a$
Петрозаводск	80	0.086	0.104	1.99	0.29	2.82	Значим
Сортавала	79	0.26	0.106	1.99	0.26	2.44	Значим
Кандалакша	94	0.031	0.101	1.99	0.18	1.74	Не значим
Реболы	79	0.005	0.113	1.99	0.07	0.60	Не значим

Таблица 4.4 – Оценка значимости трендов в рядах минимальных температур

Метеостанция	n	R^2	σ_R	$t_2\alpha$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_2a$
Петрозаводск	80	0.051	0.108	1.99	0.22	2.09	Значим
Сортавала	79	0.096	0.103	1.99	0.31	3.02	Значим
Кандалакша	94	0.001	0.104	1.99	0.03	0.29	Не значим
Реболы	79	0.104	0.102	1.99	0.32	3.16	Значим

Как видно из таблиц, по данным метеостанций Петрозаводск и Сортавала, в рядах абсолютных максимумов и минимумов температуры проявляются значимые тренды на повышение температуры. По данным метеостанций, расположенных более севернее, тренды не значимы (кроме абсолютных минимумов по метеостанции Реболы). В Приложении Ж приведены хронологические графики и суммарные интегральные кривые.

4.3 Оценка однородности и стационарности

По критериям Стьюдента и Фишера проводилась оценки однородности ряды абсолютных максимумов и минимумов температуры воздуха по среднему и дисперсии. Разделение рядов на две половины проводилось по выявленной «точке перелома» или, при ее отсутствии ряды разделялись на две равные половины. Результаты обработки представлены в таблицах 4.5 и 4.6.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ряды максимумов в целом однородны по среднему. Есть незначительное увеличение температуры, но оно статистически не значимо.

Ряды абсолютных минимумов в большинстве своем однородны по среднему. Некоторое нарушение однородности начинает проявляться в 2003 – 2004 годах. При этом наблюдается снижение минимумов температуры в последние десятилетия.

Таблица 4.5 – Оценка стационарности рядов абсолютных максимумов температуры воздуха

Метеостанция	период	среднее	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
			$t_{эмп}$	$t_{кр}$	Одн.	$F_{эмп}$	$F_{кр}$	Одн.
Петрозаводск	1944-1995	30	3.13	1.66	–	2.14	1.89	–
	1996-2023	28						
Сортавала	1945-1984	29	1.56	1.66	+	2.06	1.90	–
	1985-2023	28						
Кандалакша	1930-1976	28	1.14	1.66	+	0.72	0.55	–
	1977-2023	26						
Реболы	1945-1984	28	0.62	1.66	+	2.51	1.90	–
	1985-2023	28						

Таблица 4.6 – Оценка стационарности рядов абсолютных минимумов температуры воздуха

Метеостанция	период	среднее	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
			$t_{эмп}$	$t_{кр}$	Одн.	$F_{эмп}$	$F_{кр}$	Одн.
Петрозаводск	1944-1983	-30	1.53	1.66	+	1.04	1.89	–
	1984-2023	-28						
Сортавала	1945-2004	-30	1.20	1.66	–	0.24	0.43	+
	2005-2023	-17						
Кандалакша	1930-1976	-32	0.42	1.66	+	0.77	0.55	–
	1977-2023	-32						
Реболы	1945-2004	-36	3.59	1.66	–	1.02	1.99	+
	2005-2023	-32						

Заключение

В выпускной квалификационной работе проведена оценка динамики изменения проявлений опасных явлений на территории Республики Карелия. Рассматривались опасные гидрологические явления: максимальные в году уровни воды, минимальные уровни воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений, сроки наступления ледовых явлений, а также такие опасные метеорологические явления, как сильная жара (май, август), сильный мороз (ноябрь, март).

Для достижения поставленных задач была собрана обширная база данных по уровням воды на тех водных объектах, где установлены критерии опасных явлений (реки и водохранилища), а также по срокам наступления ледовых явлений. Источником данных являлись официальные издания водного кадастра, а также данные наблюдений Росгидромета за последние годы. Для оценки изменений опасных метеорологических явлений использованы архивы данных метеорологических наблюдений на ряде метеостанций, равномерно распределенных по рассматриваемой территории.

В ходе проведенного исследования было установлено, что из 14 постов значимые тренды в рядах максимальных в году уровней наблюдается на шести постах – на реках Нижний Выг, Сума, Водла (Подпорожье), Кумса, Олонка, Лососинка. При этом на всех постах, за исключением р. Водла тренды направлены на понижение уровней в последние десятилетия. В целом можно отметить, что на чуть менее половины постов ряды стационарны по среднему, когда как по дисперсии почти все ряды не стационарны. При этом выявлено, что как средние значения уровней, так и их дисперсия уменьшается повсеместно. На шести постах ярко выраженной «точки перелома» не выявлено. Для Северной Карелии (бассейн Белого моря) изменения начали происходить в начале 2000-ых годов, тогда как на реках Южной Карелии – в конце 70-ых – 80-ых годов. Частота возникновения опасных максимальных уровней воды (выходя-

щих за критические отметки) не претерпела статистически значимых изменений. Наблюдаемое сокращение числа опасных явлений на Нижнем Выге связано с зарегулированием стока, а не с климатическими факторами.

Для наиболее крупных водохранилищ республики Карелия в перечне критериев приведены значения минимальных уровней воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений. За весь рассматриваемый период уровень воды не достигал критических отметок.

Анализ показывает, что в рядах минимальных уровней Онежского озера значимых трендов за последние 44 года не наблюдается. На Юшкозерском водохранилище выявлены тренды на понижение, на Выгозерском и Сегозерском – на повышение минимальных уровней воды. На всех рассмотренных объектах, за исключением Сегозерского водохранилища, ряды не стационарны по среднему значению, но стационарны по дисперсии. Изменение режима выявлено в 90-ых годах прошлого века. Для минимальных уровней воды статистически значимых изменений частоты экстремально низких отметок не выявлено, что объясняется как большой инерционностью озерных систем (Онежское озеро, водохранилища), так и отсутствием критических ситуаций, приближающихся к пороговым значениям.

Для всех рассматриваемых водных объектов за период наблюдений значения ранее критических зафиксировано не было. В рядах наблюдений за сроками наступления ледовых явлений выявлены устойчивые тренды на сдвижку сроков наступления ледовых явлений на более поздние даты. Распределение экстремальных дат ледообразования существенно изменилось. Поздний ледостав стал характерной чертой последних десятилетий, а ранний ледостав, напротив, стал редкостью. Это изменение статистически значимо и, по-видимому, связано с потеплением климата в регионе.

Об этом свидетельствуют и изменения температур. В ходе проведенного исследования установлено, что абсолютные максимумы возросли, причем эти изменения происходят с конца 70-ых – начала 80-ых годов прошлого века и тренды значимы. Изменения в абсолютных минимумах не столь значительны.

В северной части Карелии изменения температур менее значительные, чем в южных. С севера на юг повышается среднегодовая температура, снижается суровость зимних минимумов и незначительно растут летние максимумы. Абсолютный минимум температуры за весь период наблюдений зафиксирован на станции Реболы в 1985 году (-45.2°C). Абсолютный максимум – на станции Реболы в 2010 году (+35.5°C), что совпадает с общеевропейской аномальной жарой того лета.

Список использованных источников

1. Климат Карелии: монография / под ред. Н. Н. Филатова. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. – 230 с.
2. Соколов, Д. Д. Гидрография СССР / Д. Д. Соколов. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1952. – 387 с.
3. Карельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (КЦГМС). Перечень и критерии опасных природных явлений по Республике Карелия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kareliameteo.ru/pogoda/perechen-i-kriterii-opasnyh-prirodnyh-javlenij-po-respublike-karelija/ (дата обращения: 16.04.2026). – Текст: электронный.
4. Кравченкова, Т. В. Выяснилось, чем грозит Карелии «нервозность климатической системы» / Т. В. Кравченкова // Петрозаводск говорит: сетевое издание. – 2024. – 12 декабря. – Режим доступа: https://ptzgovorit.ru/news/vyyasnilos-chem-grozit-karelii-nervoznost-klimaticheskoy-sistemy (дата обращения: 16.04.2026).
5. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1972. – 732 с.
6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 2. Последствия изменения климата. – Москва: Росгидромет, 2014. – 94 с.
7. Рождественский, А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.
8. Савичев, О. Г. Гидрология рек и водохранилищ / О. Г. Савичев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 180 с.
9. Филоненко, И. В. Модели временных рядов в гидрологии и климатологии / И. В. Филоненко. – Саратов: Саратовский источник, 2020. – 310 с.

10. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Утвержден приказом № 654/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 11.09.
11. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. РСФСР. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986. – 648 с.
12. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980-1990 гг. Часть 2. Озера и водохранилища. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1995. – 410 с.
13. Массив метеорологических данных. Электронный ресурс. Режим доступа: http://meteo.ru/data/ (дата обращения: 15.12.2025).
14. Жук Е. М. Гидрологический режим рек Карелии в зимний период / Е. М. Жук // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. - № 5. – С. 45-58.
15. Иванов, В. И. Влияние климатических изменений на водный режим озера Онежского / В. И. Иванов // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 3. – С. 89-99.
16. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2012. – 85 с.
17. Петров, И. С. Гидроэкология водных объектов Карелии / И. С. Петров. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2021. – 145 с.
18. Попов, Е. Г. Гидрологические прогнозы / Е. Г. Попов. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1979. – 256 с.
19. Руководство по гидрологической практике. 6-е изд. – Женева: Всемирная метеорологическая организация (ВМО), 2015. – 550 с.
20. Сидорова, М. В. Анализ временной изменчивости уровней воды озер Карелии / М. В. Сидорова // География и природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 112-120.

21. Фролова, Н. Л. Гидрологические процессы в условиях изменения климата / Н. Л. Фролова // Водные ресурсы России. – 2022. – № 4. – С. 3-17.
22. Шикломанов И. А. Влияние климатических изменений на гидрологический режим рек Европейской территории России / И. А. Шикломанов // Доклады РАН. – 2023. – Т. 488. – № 1. – С. 55-60.

Приложение А. Исходные гидрологические данные

Таблица А.1 – Максимальные уровни воды весеннего половодья (см над нулем графика поста)

Год	р. Кемь – г.Кемь	р. Чирко-Кемь -с.Юшкозеро	р. Шуя - с.Шуерецкое	р. Нижний Выг - г.Беломорск	р. Сума – с.Сумский Посад	р. Водла - г.Пудож (Харловская)	р. Водла – р.п.Подпорожье	вдхр Водлозерское -д.Кугаволок	р. Верхний Выг – д.Огорелыши	р. Кумса - г.Медвежьегорск	р. Олонка - г.Олонец	р. Ивина - пгт Ладва	р. Шуя - д.Бесовец	р. Лососинка – г.Петрозаводск
1926	–	–	–	–	–	388	–	–	–	–	–	–	–	–
1927	–	–	–	–	–	373	–	–	–	–	–	–	–	–
1928	–	–	–	–	–	378	–	–	–	–	–	–	–	–
1929	–	–	–	–	–	492	–	–	–	–	–	–	–	–
1930	–	186	–	–	–	287	–	–	–	–	–	–	215	–
1931	–	315	–	–	–	409	346	–	–	–	–	–	–	–
1932	–	291	–	–	–	305	–	–	–	–	–	–	–	–
1933	–	237	–	–	–	(179)	214	–	–	–	–	–	–	–
1934	–	296	–	–	–	372	192	–	–	–	–	–	–	–
1935	–	287	–	–	–	(323)	238	–	–	–	–	–	193	–
1936	–	263	218	–	14–7	361	300	–	–	–	–	–	186	–
1937	–	221	219	–	173	310	226	–	–	–	–	–	172	–
1938	–	294	255	–	179	262	187	–	–	–	–	–	261	–
1939	–	201	201	–	113	213	150	256	–	–	–	–	121	–
1940	–	209	261	–	123	376	141	277	–	–	–	–	120	–
1941	–	195	212	–	179	436	220	321	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы А.1

Год	р. Кемь – г.Кемь	р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	р. Шуя - с.Шуерецкое	р. Нижний Выг - г.Беломорск	р. Сума – с.Сумский Посад	р. Водла - г.Пудож (Харловская)	р. Водла – р.п.Подпорожье	вдхр Водлозерское -д.Кугаполок	р. Верхний Выг – д.Огорельши	р. Кумса - г.Медвежьегорск	р. Олонка - г.Олонец	р. Ивина - пгт Ладва	р. Шуя - д.Бесовец	р. Лососинка – г.Петрозаводск
1942	–	–	308	–		360	205	296	–	–	–	–	–	–
1943	–	–	208	–	166	261	373	305	–	–	–	–	–	–
1944	–	–	293	–	–	410	230	280	–	–	–	–	–	–
1945	–	–	250	–	–	307	205	225	–	–	–	–	164	–
1946	–	–	297	–	–	323	313	253	–	–	–	–	215	–
1947	–	–	518	–	–	345	220	223	–	–	–	–	105	–
1948	–	–	201	–	–	231	231	220	–	–	–	–	153	–
1949	–	–	193	–	182	253	258	255	–	–	404	–	171	–
1950	–	–	196	–	131	368	173	219	–	–	355	–	201	–
1951	365	–	199	–	124	410	191	222	–	–	362	–	145	163
1952	401	–	270	—	179	349	350	277	–	–	406	–	229	189
1953	332	–	229	332	131	367	327	280	–	–	357	–	148	171
1954	379	–	218	307	132	255	273	219	–	–	319	–	299	176
1955	428	348	221	341	199	417	327	309	–	–	480	–	296	205
1956	343	161	240	329	122	395	249	187	–	–	417	–	167	179
1957	384	291	220	317	146	296	330	310	–	–	451	–	294	220
1958	314	307	204	305	97	215	318	295	–	–	465	–	270	207
1959	314	180	205	306	71	468	238	189	–	–	379	–	140	176
1960	229	149	198	–	92	350	201	152	–	–	423	–	93	173
1961	–	274	240	–	171	334	305	317	–	–	458	–	229	180
1962	–	304	237	–	179	324	295	304	–	–	447	–	222	229
1963	–	191	218	–	89	302	270	284	404	–	403	–	236	182
1964	–	304	209	225	86	421	249	270	404	–	447	–	119	157

Продолжение таблицы А.1

Год	р. Кемь – г.Кемь	р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	р. Шуя - с.Шуерецкое	р. Нижний Выг - г.Беломорск	р. Сума – с.Сумский Посад	р. Водла - г.Пудож (Харловская)	р. Водла – р.п.Подпорожье	вдхр Водлозерское -д.Кугаполок	р. Верхний Выг – д.Огорельши	р. Кумса - г.Медвежьегорск	р. Олонка - г.Олонец	р. Ивина - пгт Ладва	р. Шуя - д.Бесовец	р. Лососинка – г.Петрозаводск
1965	–	231	203	359	152	270	240	225	374	96	449	–	118	150
1966	450	317	309	322	129	403	318	286	322	128	470	–	197	206
1967	318	255	182	353	87	357	232	267	324	124	360	–	161	165
1968	-	242	220	301	82	409	310	293	464	135	375	–	235	178
1969	424	212	233	323	138	449	285	270	377	103	380	–	166	200
1970	404	301	246	289	120	315	318	236	431	116	405	–	206	201
1971	437	295	250	347	136	330	350	298	465	112	443	–	205	197
1972	367	211	188	337	49	360	242	254	337	67	356	266	120	173
1973	341	308	192	304	80	282	259	298	354	103	315	240	117	161
1974	339	310	210	335	72	404	280	290	460	111	332	261	146	189
1975	427	343	256	227	62	319	215	281	400	101	323	249	158	172
1976	310	218	216	316	120	238	298	294	416	74	385	328	138	200
1977	343	256	249	295	211	390	255	254	385	110	337	287	182	230
1978	359	196	207	400	165	289	230	252	298	108	364	324	185	187
1979	378	339	342	272	90	390	305	318	431	117	321	294	226	185
1980	368	232	223	308	48	289	252	284	366	84	387	298	155	169
1981	415	365	248	322	122	460	359	321	451	122	–	382	231	205
1982	431	358	296	356	96	411	336	318	436	105	–	338	225	220
1983	428	391	254	336	184	335	304	311	358	117	424	280	223	191
1984	–	280	258	335	165	366	293	300	394	88	465	339	208	191
1985	451	227	237	289	96	330	258	241	389	93	358	263	106	188
1986	338	243	255	307	114	420	316	289	411	113	407	337	201	219
1987	367	240	203	345	84	308	235	304	360	102	342	305	184	199

Продолжение таблицы А.1

Год	р. Кемь – г.Кемь	р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	р. Шуя - с.Шуерецкое	р. Нижний Выг - г.Беломорск	р. Сума – с.Сумский Посад	р. Водла - г.Пудож (Харловская)	р. Водла – р.п.Подпорожье	вдхр Водлозерское -д.Кугаполок	р. Верхний Выг – д.Огорельши	р. Кумса - г.Медвежьегорск	р. Олонка - г.Олонец	р. Ивина - пгт Ладва	р. Шуя - д.Бесовец	р. Лососинка – г.Петрозаводск
1988	350	246	260	340	93	322	265	328	399	92	312	300	173	175
1989	471	322	239	344	101	399	318	297	410	91	372	287	195	120
1990	332	198	204	295	74	386	306	306	430	75	349	300	147	124
1991	334	223	238	337	153	361	276	293	332	79	404	300	203	125
1992	336	231	250	239	113	433	336	317	456	120	380	335	236	143
1993	459	257	292	299	79	430	326	297	424	93	368	322	162	127
1994	355	197	244	399	156	431	334	310	408	97	462	357	184	130
1995	379	252	341	341	118	502	383	278	474	114	436	328	219	134
1996	350	239	268	384	60	394	293	230	406	81	358	298	117	120
1997	424	284	272	306	142	512	388	336	506	110	340	274	146	128
1998	396	323	286	306	126	431	322	269	408	107	450	340	198	143
1999	354	237	233	274	60	384	349	227	403	72	415	325	145	123
2000	467	273	240	227	108	448	338	264	461	111	437	362	215	138
2001	402	272	223	271	96	339	263	234	327	85	354	245	232	135
2002	379	213	297	261	83	414	306	243	405	103	362	300	189	123
2003	317	213	220	249	80	339	263	225	341	68	346	250	127	136
2004	342	254	211	259	94	359	271	235	401	102	329	278	177	146
2005	341	239	173	310	93	339	279	246	361	137	421	328	242	126
2006	349	265	198	252	165	258	228	252	347	87	337	244	189	128
2007	390	248	188	165	146	275	220	255	376	98	284	257	189	172
2008	347	264	196	165	120	332	316	277	370	83	440	311	198	151
2009	337	251	218	305	187	387	301	256	381	129	357	284	219	132
2010	384	243	219	336	61	260	216	248	336	122	362	225	210	137

Продолжение таблицы А.1

Год	р. Кемь – г.Кемь	р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро	р. Шуя - с.Шуерецкое	р. Нижний Выг - г.Беломорск	р. Сума – с.Сумский Посад	р. Водла - г.Пудож (Харловская)	р. Водла – р.п.Подпорожье	вдхр Водлозерское -д.Кугаволок	р. Верхний Выг – д.Огорельши	р. Кумса - г.Медвежьегорск	р. Олонка - г.Олонец	р. Ивина - пгт Ладва	р. Шуя - д.Бесовец	р. Лососинка – г.Петрозаводск
2011	326	191	201	275	78	355	270	259	345	82	377	270	188	115
2012	427	306	260	261	114	399	331	265	444	127	444	417	212	194
2013	384	203	365	227	98	357	303	234	393	78	405	420	159	138
2014	332	224	172	235	64	274	218	253	352	106	279	189	192	170
2015	348	293	193	159	76	293	224	245	338	68	377	253	172	108
2016	330	223	192	224	112	276	212	225	324	108	366	247	196	170
2017	376	324	214	298	86	318	248	257	353	64	377	231	181	162
2018	385	273	211	220	71	314	256	253	364	87	368	261	206	117
2019	342	243	245	258	95	338	253	261	367	78	345	265	185	118
2020	354	265	203	205	98	297	252	284	373	49	390	268	187	69
2021	308	242	174	293	69	318	238	244	351	72	352	231	165	189
2022	340	236	190	260	89	310	271	261	330	81	391	368	207	152
2023	530	307	214	257	112	372	272	251	420	75	375	297	231	105

Таблица А.2 – Минимальные уровни воды

Год	вдхр Юшкозер-ское пгт Калевала	вдхр Выгозерско - Ондское-пгт Надвоицы	оз. Онежское – г. Петрозаводск	вдхр Сегозерское – с.Паданы
1953	–	–	127	–
1954	–	–	96	–
1955	–	–	134	–
1956	–	–	88	–
1957	59	41	130	–
1958	80	50	130	416
1959	69	32	89	370
1960	66	57	–	195
1961	101	52	–	–
1962	148	83	–	282
1963	99	60	111	343
1964	106	83	78	251
1965	104	68	–	136
1966	92	54	–	183
1967	98	71	95	347
1968	116	76	–	440
1969	123	57	–	429
1970	134	83	–	422
1971	136	64	–	429
1972	117	52	–	329
1973	109	91	78	200
1974	93	57	–	166
1975	129	93	66	224
1976	103	79	–	191
1977	102	76	–	246
1978	111	77	–	384
1979	112	86	–	454
1980	80	72	81	352
1981	93	60	73	340
1982	95	98	122	548
1983	115	104	116	527
1984	50	115	125	530
1985	31	66	109	418
1986	45	73	101	307
1987	39	82	115	349
1988	47	88	126	463
1989	56	110	120	415
1990	56	85	110	257
1991	51	64	102	200
1992	98	78	126	290
1993	69	79	112	410
1994	70	82	123	471
1995	56	136	128	551
1996	41	68	94	450
1997	54	101	105	447

Продолжение таблицы А.2

Год	вдхр Юшкозер-ское пгт Калевала	вдхр Выгозерско - Ондское-пгт Надвоицы	оз. Онежское – г. Петрозаводск	вдхр Сегозерское – с.Паданы
1998	43	56	88	396
1999	69	77	80	348
2000	62	68	88	334
2001	56	80	97	226
2002	34	65	86	143
2003	53	54	67	135
2004	55	62	99	205
2005	61	70	110	309
2006	53	70	95	259
2007	122	103	122	333
2008	61	87	106	481
2009	70	110	137	490
2010	59	77	109	401
2011	54	66	93	315
2012	70	74	104	331
2013	59	66	103	428
2014	97	106	102	408
2015	68	85	96	433
2016	75	94	107	450
2017	62	67	123	464
2018	62	85	124	455
2019	64	69	108	419
2020	72	127	126	467
2021	70	113	100	407
2022	59	75	87	357
2023	54	84	95	374

Таблица А.3 – Даты появления льда

Год	р. Водла - р.п.Подпорожье	оз. Онежское - г.Петразоводск	оз. Онежское - д.Лонгасы	вдхр Выгозерско-Ондское – пгт Надвоицы
1936	16.10	25.12	(18.11) 26.12	–
1937	19.11	30.11	21.11	–
1938	10.11	15.12	(12.11) 15.12	–
1939	(19.10) 23.11	9.12	(22.10) 28.11	–
1940	28.10	(07.11) 03.12	7.11	–
1941	19.10	–	–	–
1942	5.11	–	–	–
1943	(27.10) 21.11	–	–	–
1944	–	–	–	–
1945	21.10	(09.11) 01.12	(16.10) 04.11	–
1946	16.10	(16.11) 12.12	16.10	–
1947	10.11	17.11	11.11	–
1948	11.11	(13.11) 17.12	11.11	–
1949	12.11	28.11	25.11	–
1950	5.11	(02.12) 18.12	1.11	–
1951	(28.10) 05.11	8.11	6.11	–
1952	27.10	(03.11) 01.12	29.10	–
1953	31.10	(23.11) 07.12	(30.10) 22.11	–
1954	15.11	2.12	21.11	–
1955	5.11	24.11	20.11	–
1956	30.10	13.11	2.11	–
1957	17.11	27.11	25.11	–
1958	24.11	28.11	27.11	26.11
1959	(22.10) 09.11	17.11	(25.10) 13.11	24.10
1960	(20.10) 15.11	20.11	(23.10) 12.11	25.10
1961	13.11	9.12	25.11	(12.11) 20.11
1962	9.11	(18.11) 15.12	4.12	19.11
1963	(29.10) 14.11	26.11	25.11	13.11
1964	6.11	21.11	(10.11) 21.11	10.11
1965	9.11	14.11	12.11	11.11
1966	28.10	5.12	5.12	27.10
1967	24.11	7.12	25.11	23.11
1968	24.10	(25.10) 07.11	26.10	23.10
1969	(01.11) 22.11	29.11	(05.11) 28.11	1.11
1970	2.11	(04.11) 13.12	4.11	29.10
1971	(07.11) 21.11	(14.11) 19.11	8.11	24.10
1972	1.11	(24.11) 19.12	(03.11) 17.12	3.11
1973	(19.10) 11.11	12.11	(01.11) 12.11	31.10
1974	(12.11) 21.11	1.1	22.11	12.11
1975	29.10	(23.11) 11.12	1.11	31.10
1976	19.10	(04.11) 13.12	18.10	14.10

Продолжение таблицы А.3

Год	р. Водла - р.п.Подпорожье	оз. Онежское - г.Петразоводск	оз. Онежское - д.Лонгасы	вдхр Выгозерско-Ондское – пгт Надвоицы
1977	21.11	28.11	(21.11) 29.11	21.11
1978	30.10	3.12	24.11	6.11
1979	28.10	8.12	29.10	30.10
1980	28.10	25.11	1.11	30.10
1981	15.11	11.12	26.11	13.11
1982	(20.10) 02.12	1.1	(06.11) 09.12	(04.11) 02.12
1983	12.11	28.11	14.11	12.11
1984	(11.11) 21.11	23.11	13.11	11.11
1985	(31.10) 14.11	25.11	(01.11) 18.11	(31.10) 12.11
1986	(09.11) 03.12	5.12	4.12	(15.11) 02.12
1987	7.11	22.11	11.11	11.11
1988	31.10	(04.11) 20.11	2.11	31.10
1989	18.11	25.11	18.11	16.11
1990	8.11	(16.11) 22.11	14.11	10.11
1991	(21.11) 05.12	25.12	6.12	(20.11) 04.12
1992	(14.10) 21.10	(10.11) 24.11	25.10	25.10
1993	23.10	12.11	6.11	26.10
1994	4.11	(09.11) 26.11	8.11	1.12
1995	3.11	28.11	8.11	12.11
1996	12.12	17.12	6.12	12.12
1997	26.10	28.11	7.11	4.11
1998	9.11	(11.11) 09.12	10.11	8.11
1999	7.11	14.12	15.11	(06.11) 12.11
2000	21.11	22.12	21.11	19.11
2001	(21.10) 08.11	(21.11) 01.12	13.11	9.11
2002	20.10	15.11	2.11	30.10
2003		21.12	24.11	(26.10) 20.11
2004	18.11	22.11	19.11	18.11
2005	(22.11) 01.12	9.12	5.12	(28.10) 02.12
2006	1.11	(26.12) 01.01	5.11	1.11
2007	6.11	(01.12) 01.12	15.11	13.11
2008	22.11	(11.12) 24.12	17.12	20.11
2009	(06.11) 05.12	11.12	(06.11) 06.12	13.11
2010	(09.11) 19.11	27.11	22.11	(07.11) 13.11
2011	16.11	1.1	22.11	17.11
2012	30.10	5.12	29.11	(10.11) 27.11
2013	29.11	3.12	(01.12) 01.01	21.11
2014	–	(01.12) 11.01	1.12	(24.10) 05.11

Приложение Б.

Схема расположения гидрологических постов и метеостанций

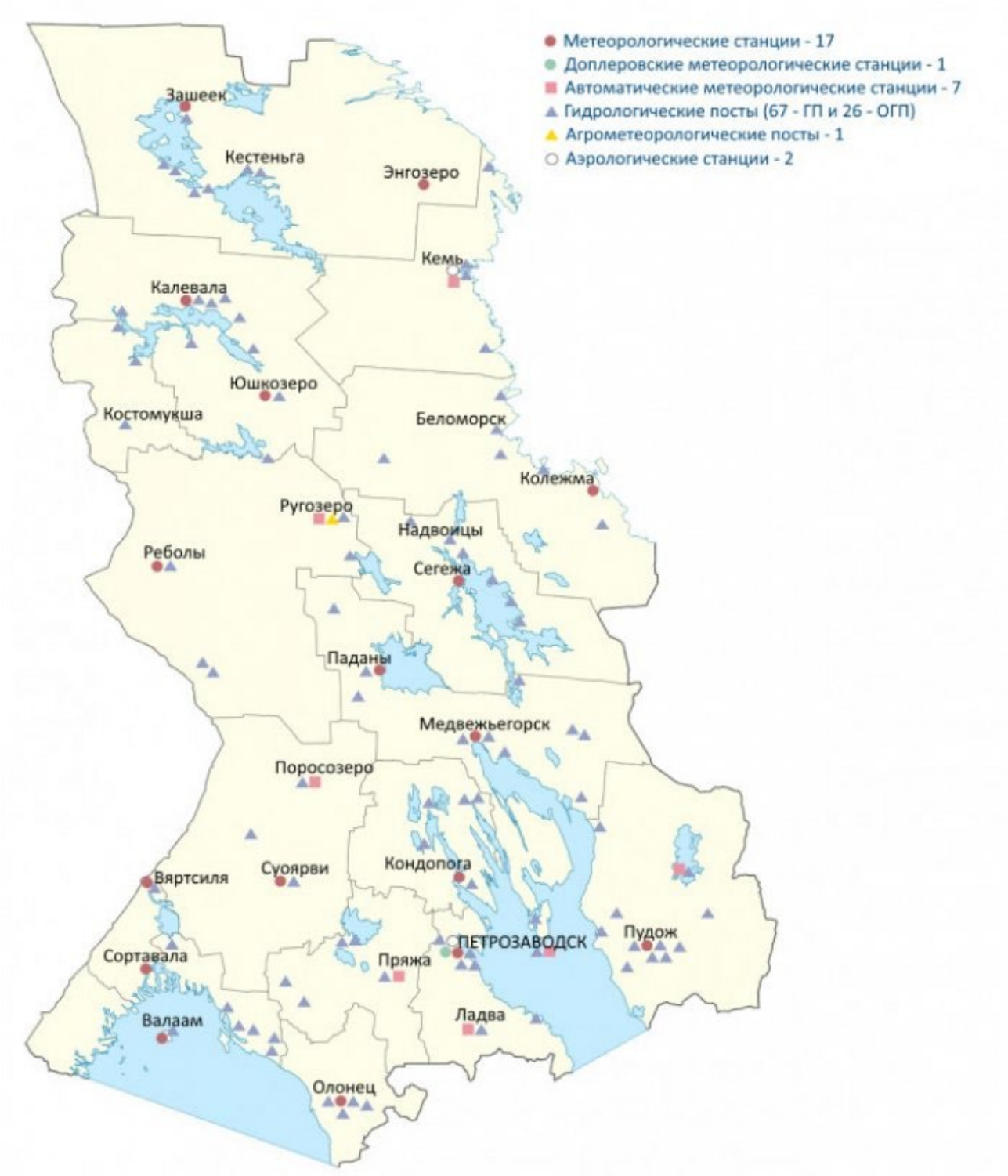
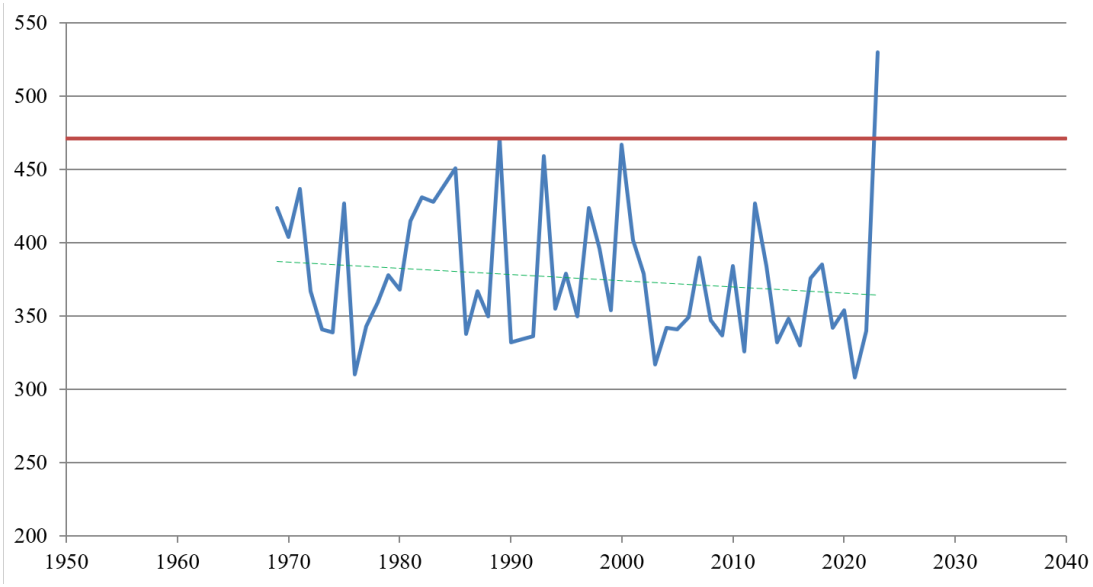


Рисунок Б.1 – Карта-схема расположения гидрологических постов и метеостанций

Приложение В.

Хронологические графики и суммарные интегральные кривые максимальных уровней

а)



б)

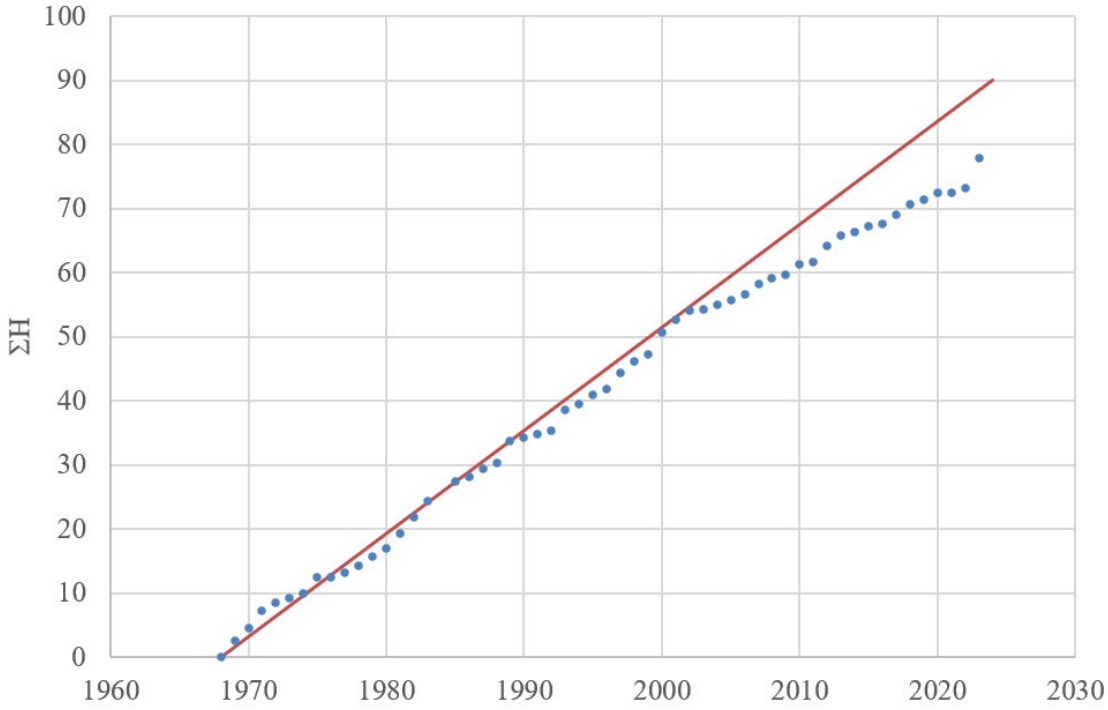
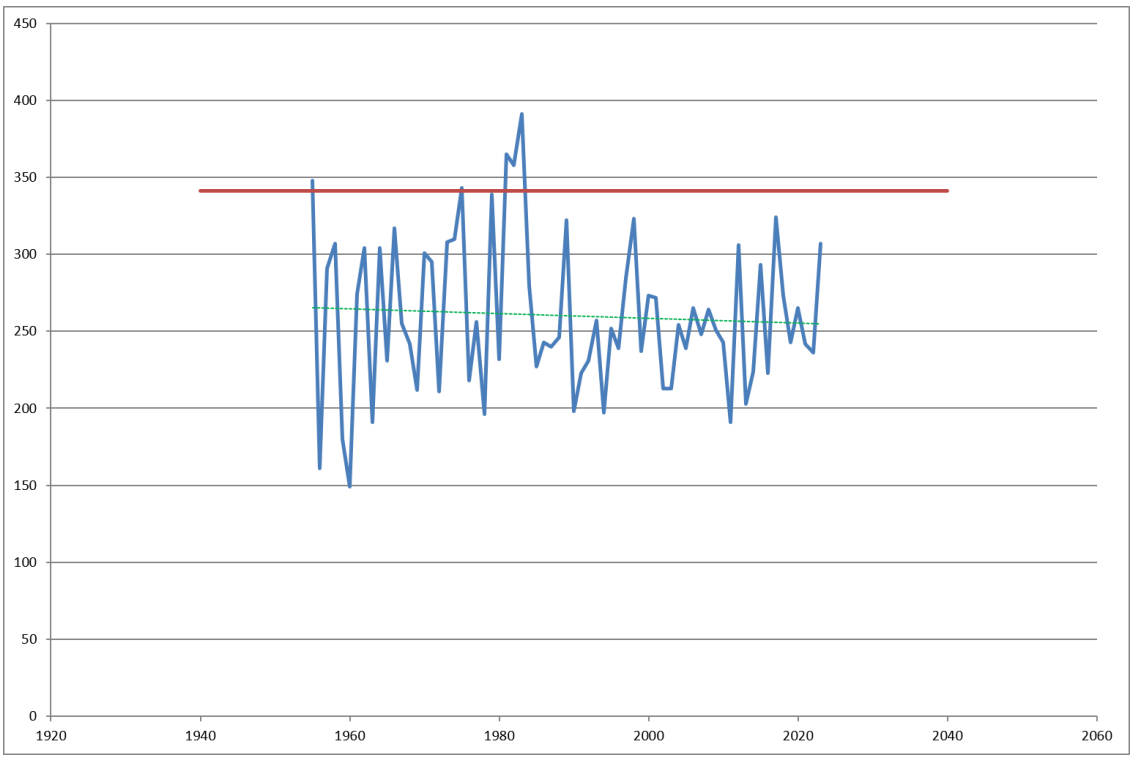


Рисунок В.1 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Кемь - г.Кемь

а)



б)

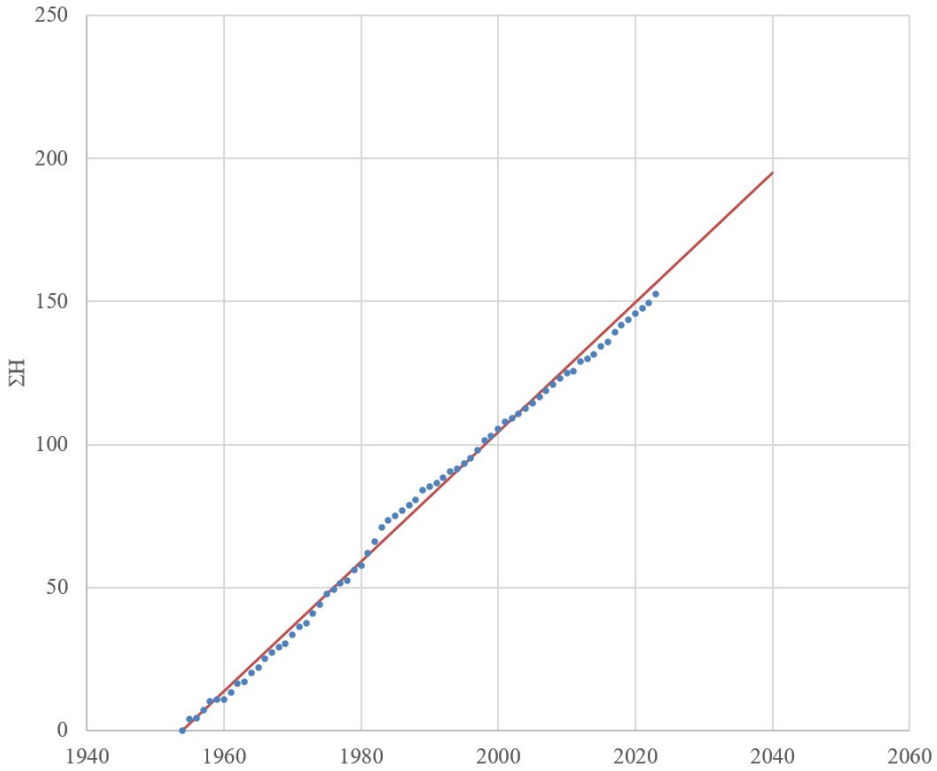
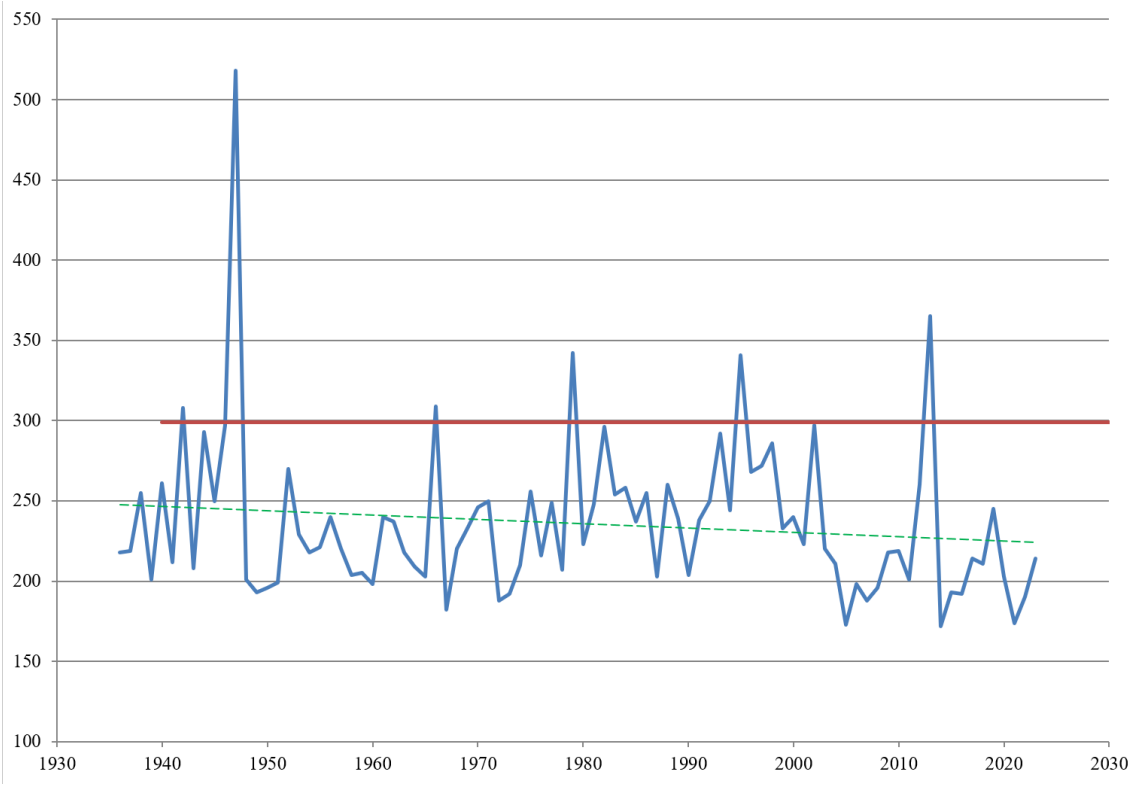


Рисунок В.2 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Чирко-Кемь - с.Юшкозеро

а)



б)

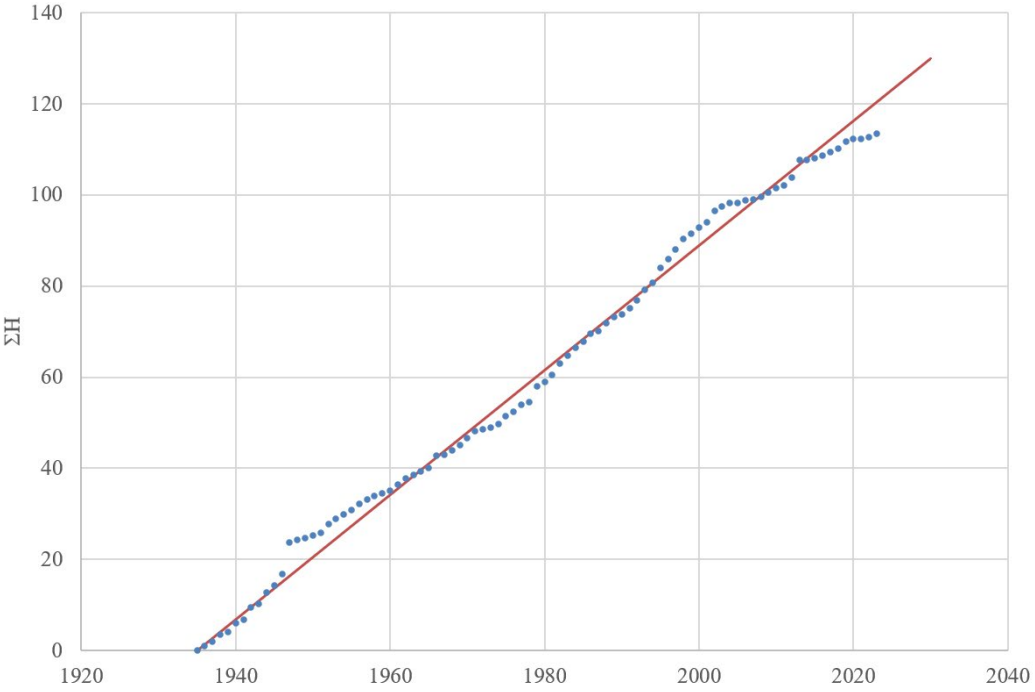
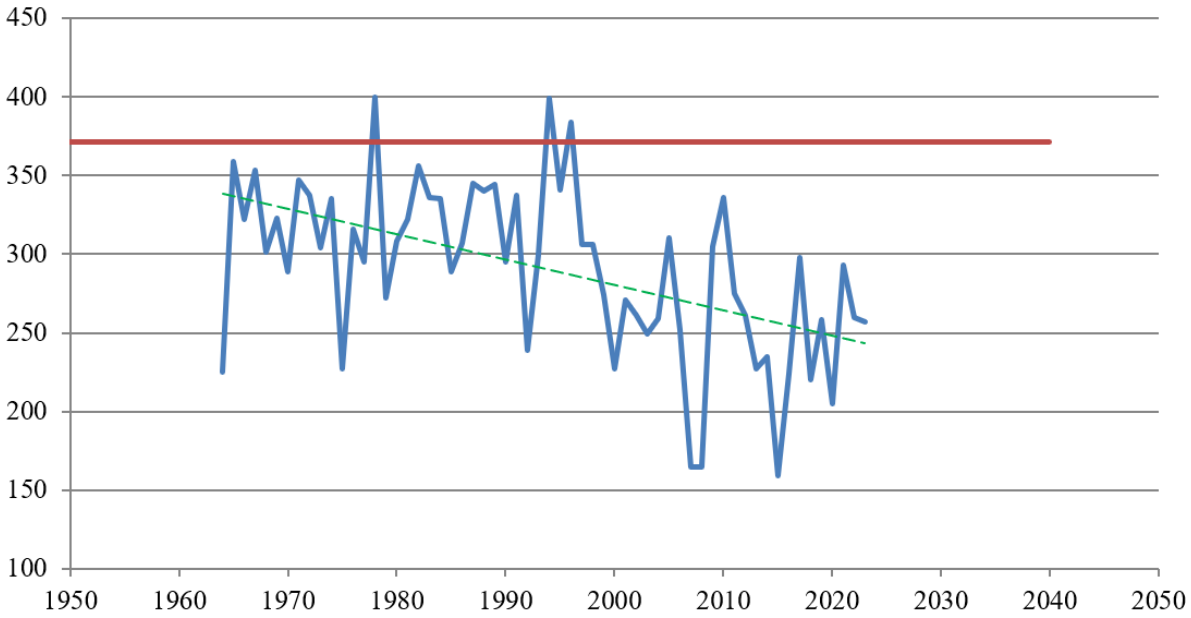


Рисунок В.3 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Шуя - с. Шуерецкое

а)



б)

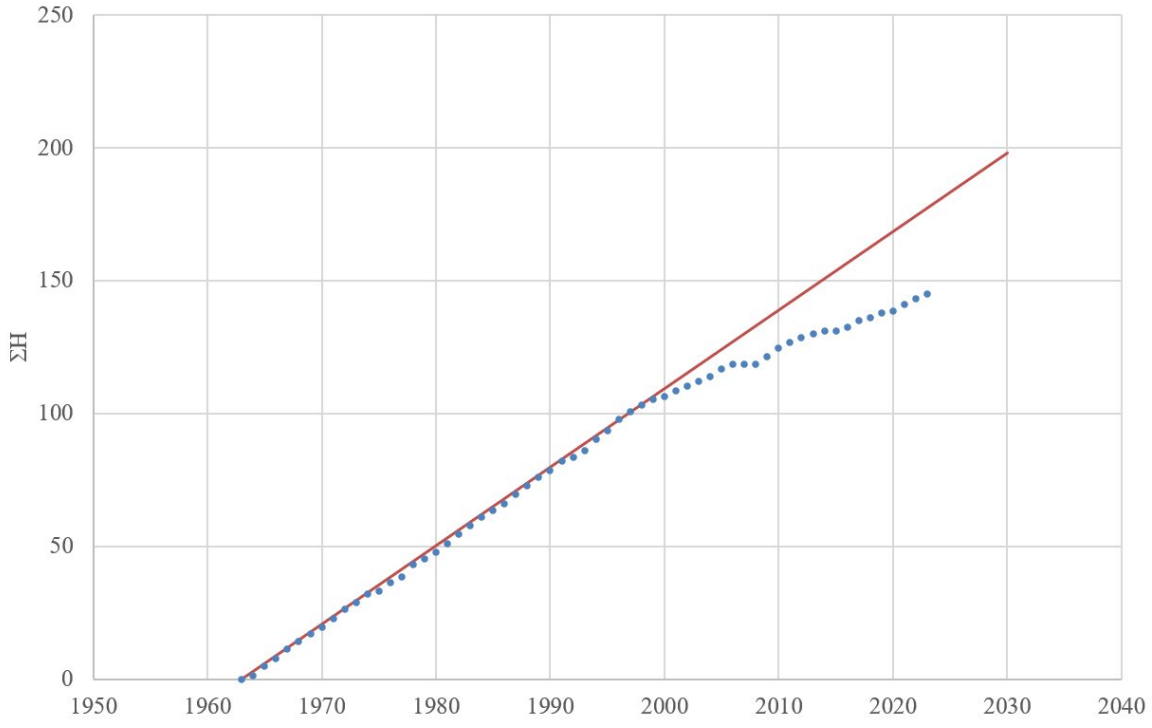
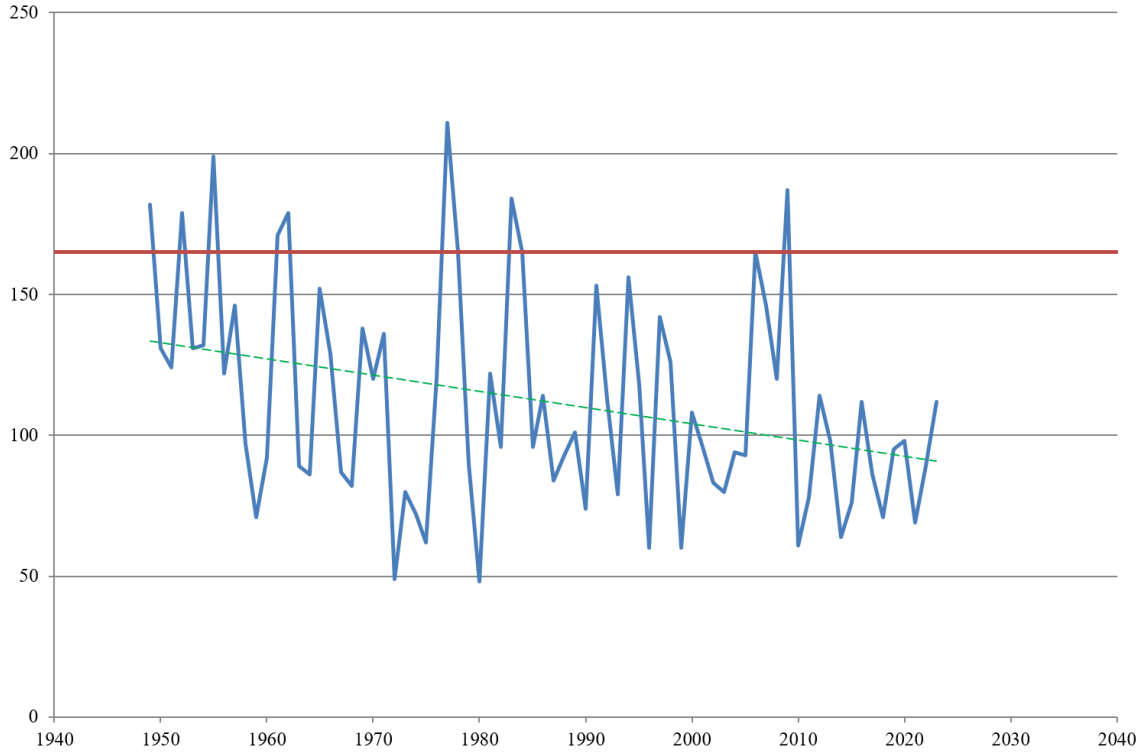


Рисунок В.4 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Нижний Выг - г.Беломорск

а)



б)

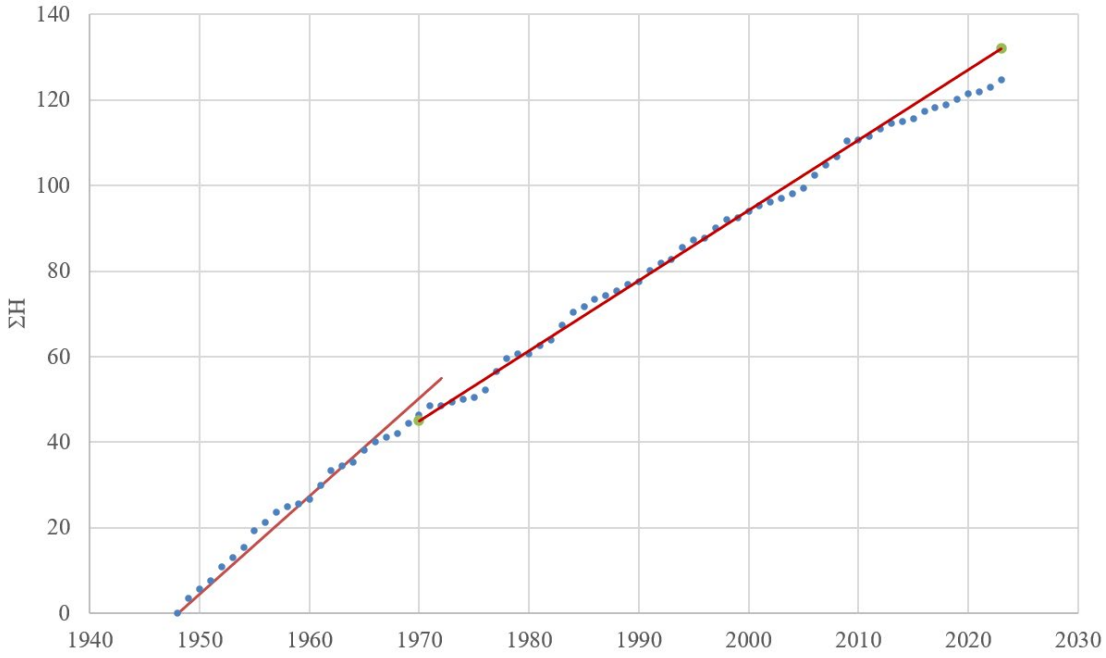
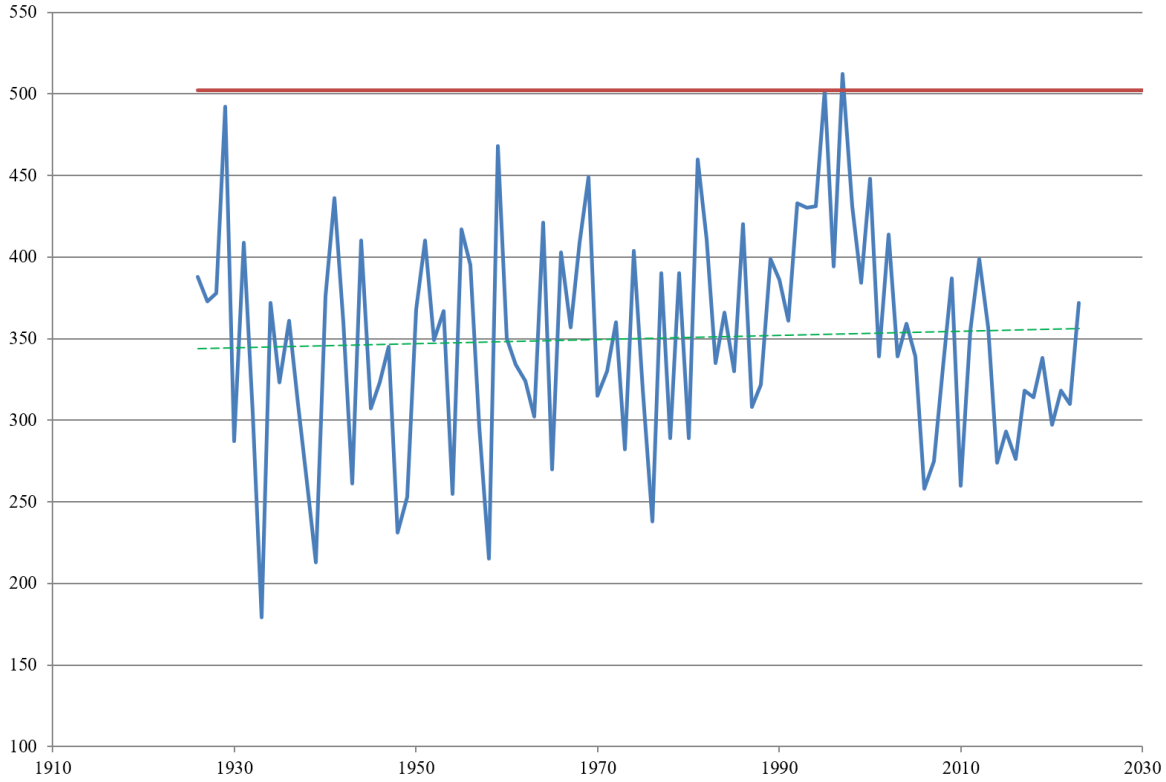


Рисунок В.5 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Сума - с. Сумский Посад

а)



б)

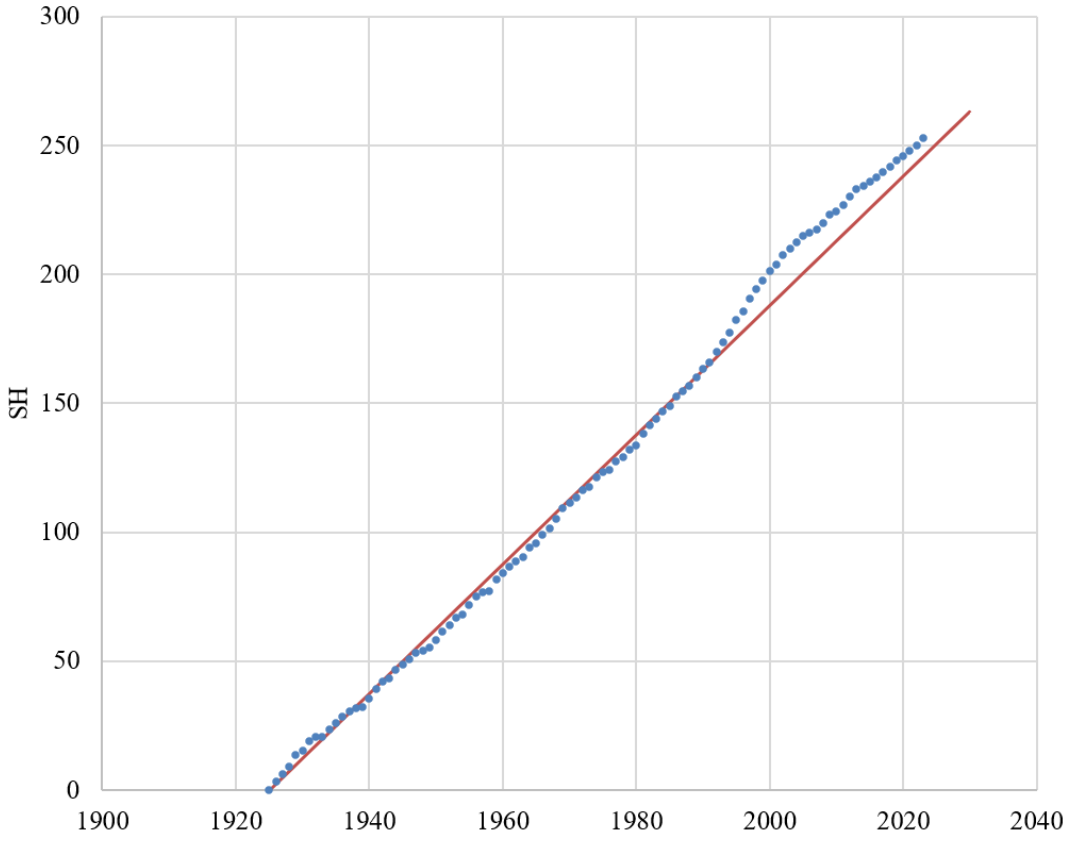
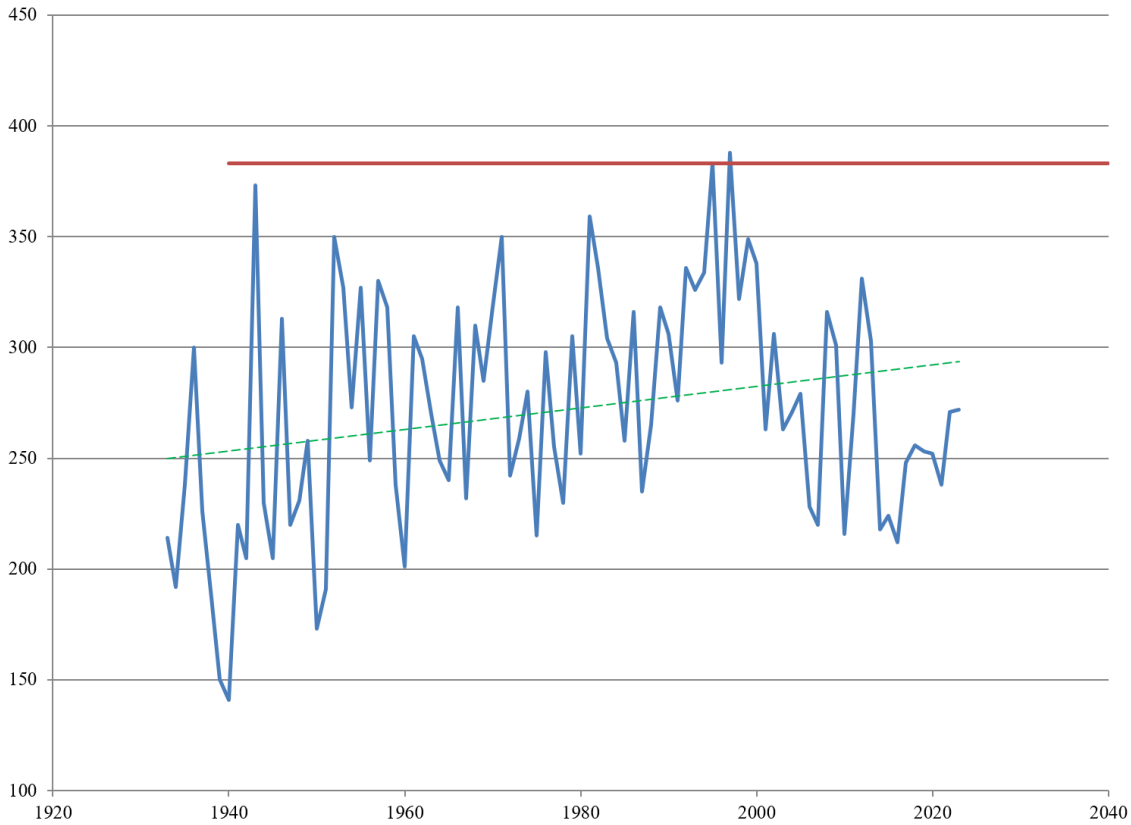


Рисунок В.6 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Водла - г. Пудож

а)



б)

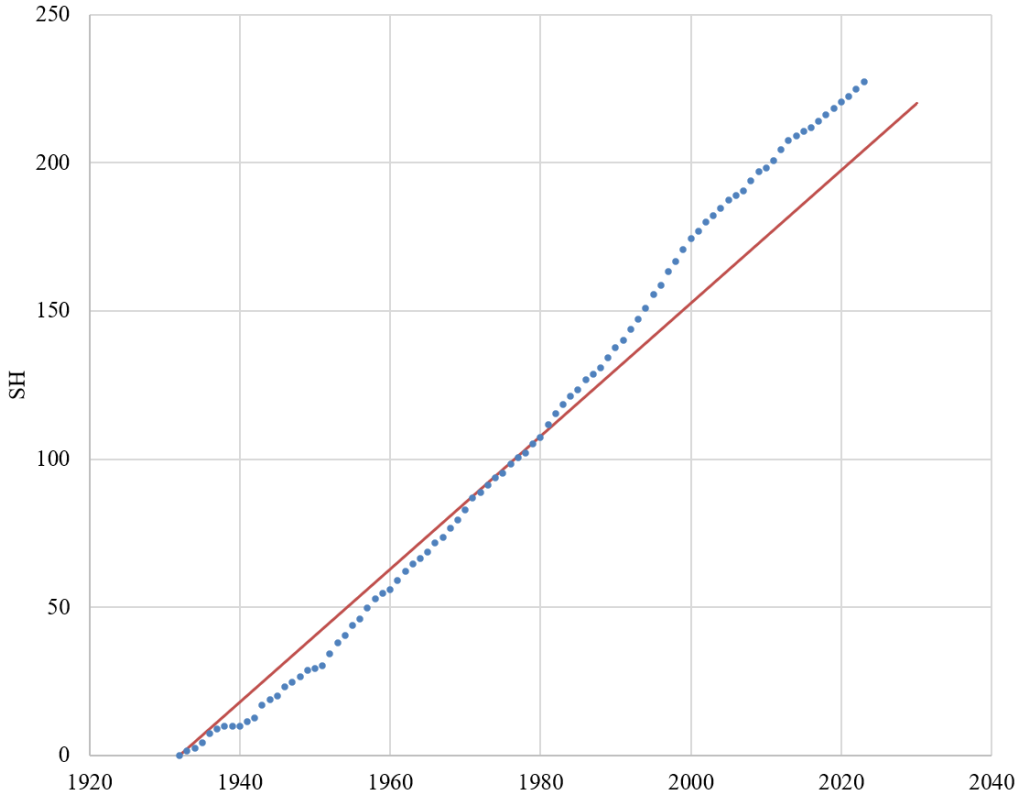
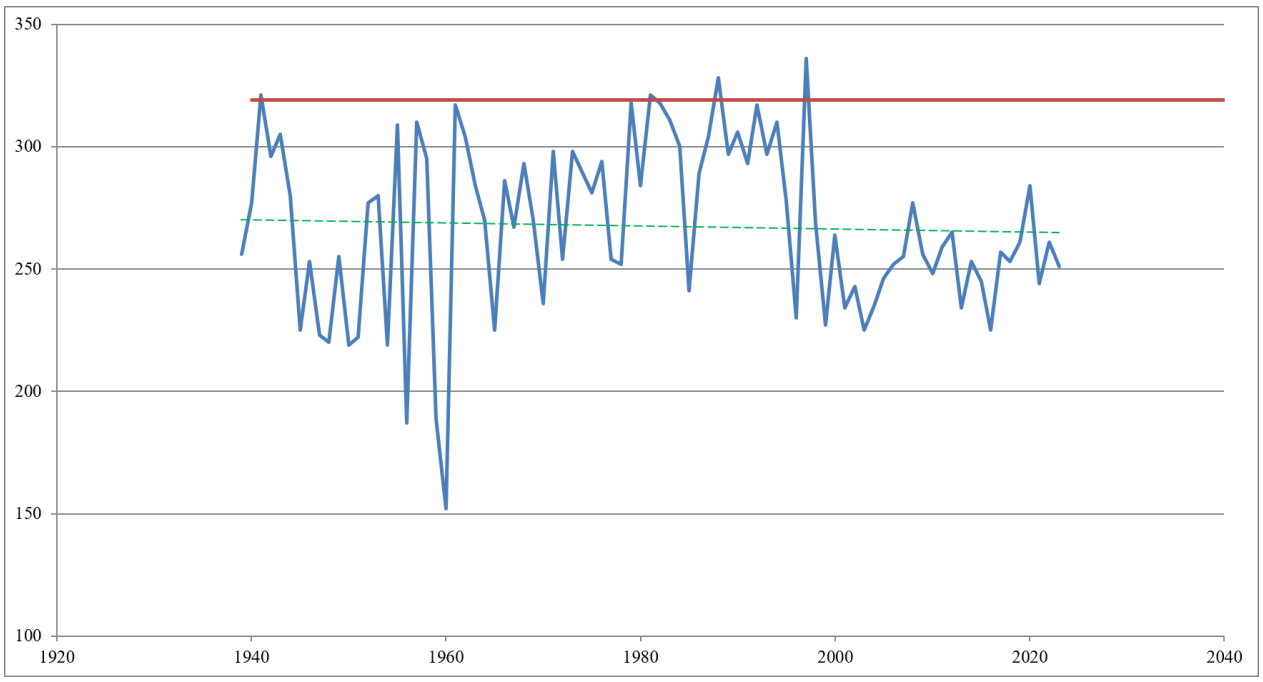


Рисунок В.7 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Водла - р.п. Подпорожье

а)



б)

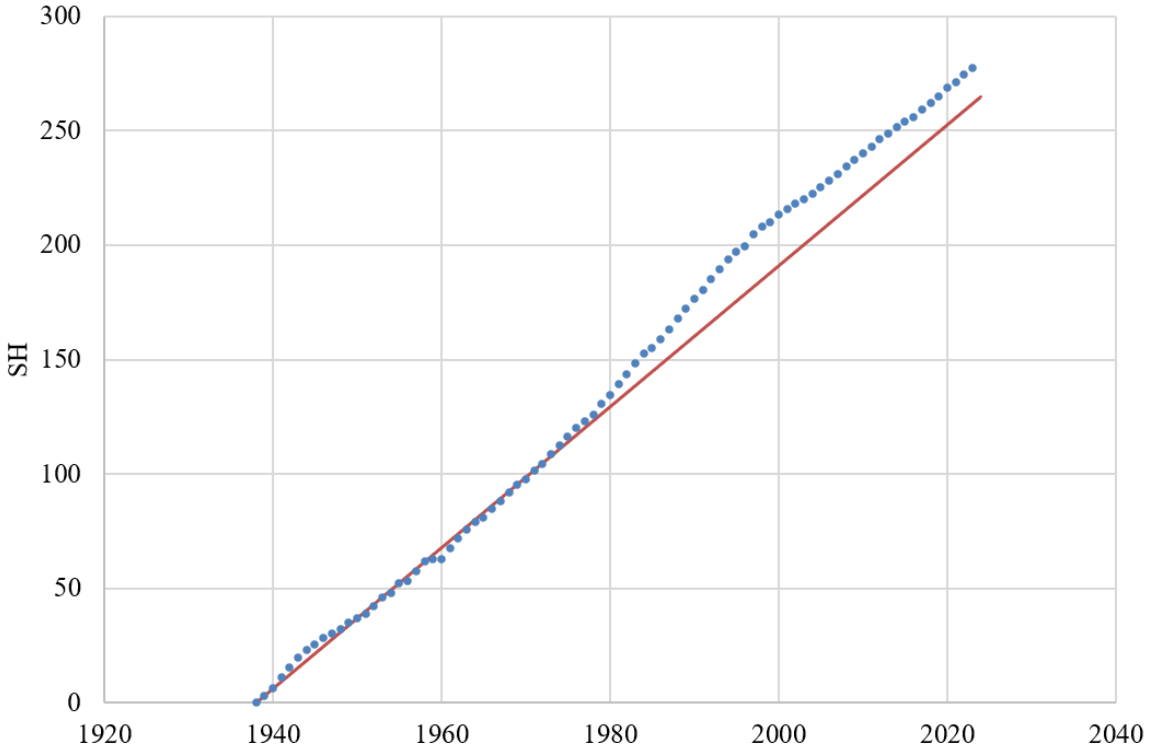
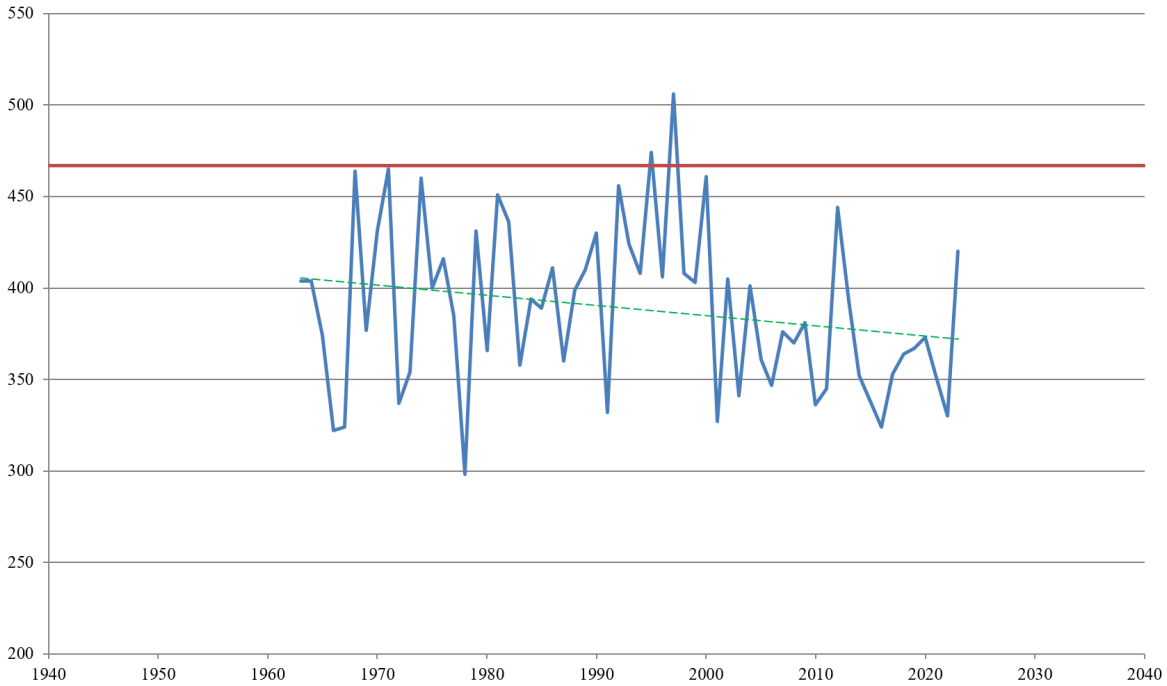


Рисунок В.8 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) вдхр Водлозерское - д. Куганаволок

а)



б)

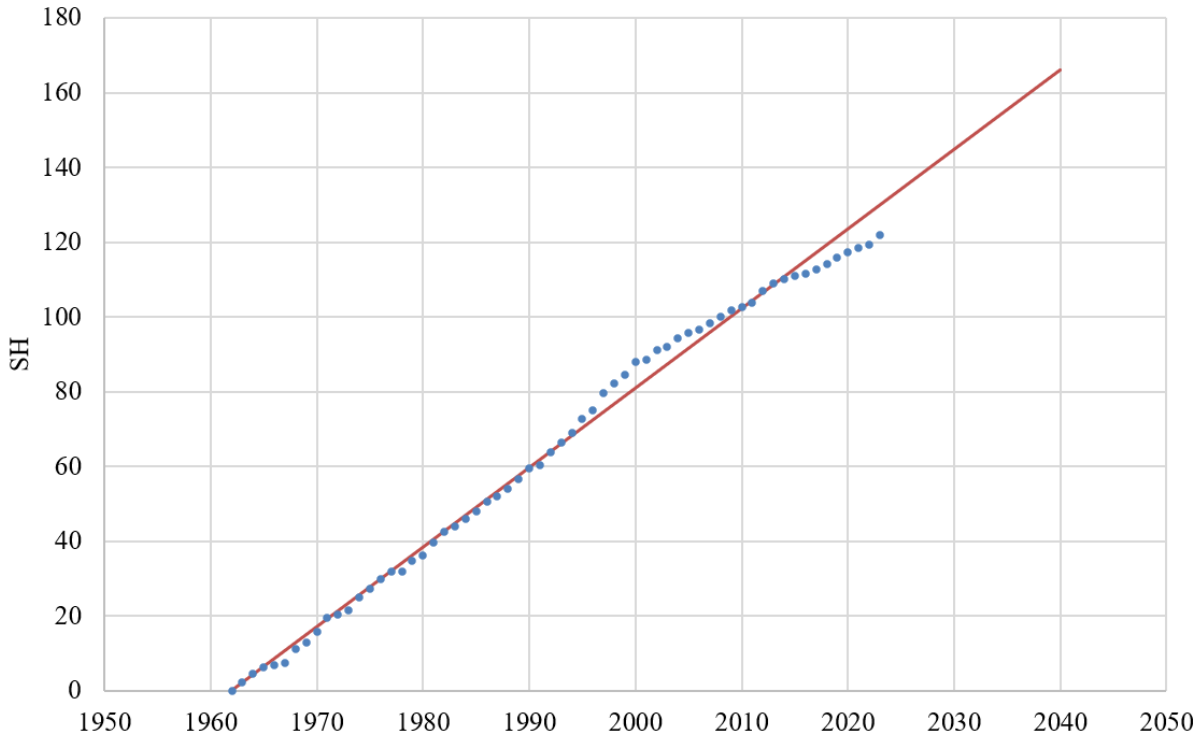
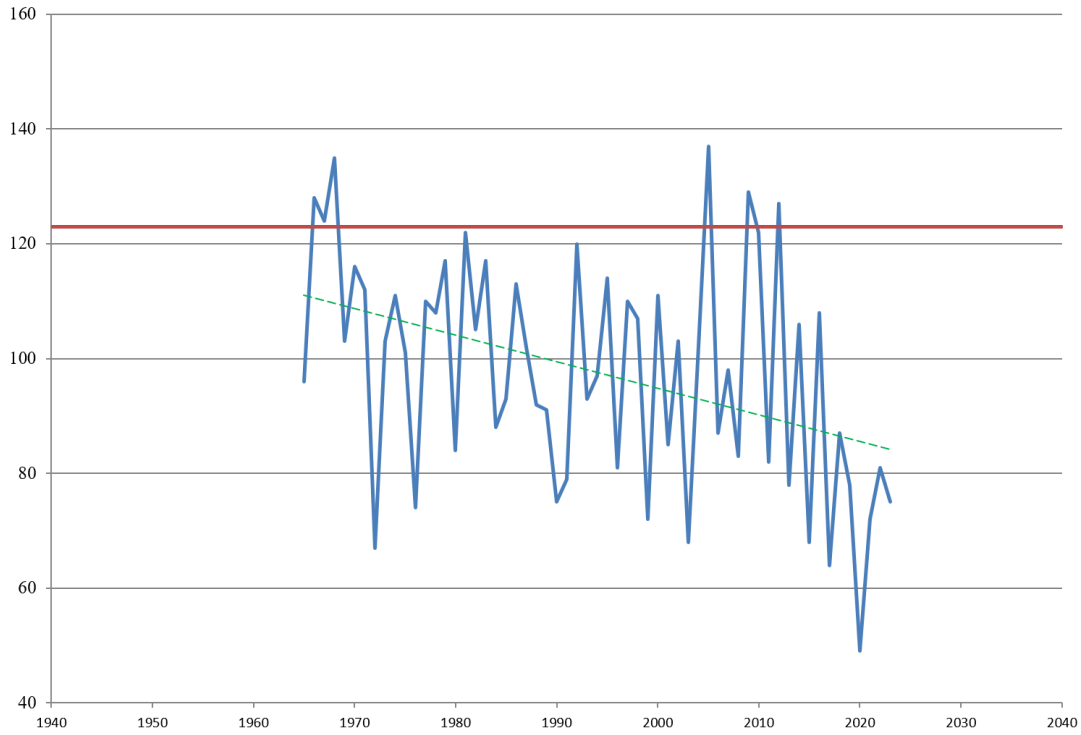


Рисунок В.9 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Верхний Выг - д.Огорелыши

а)



б)

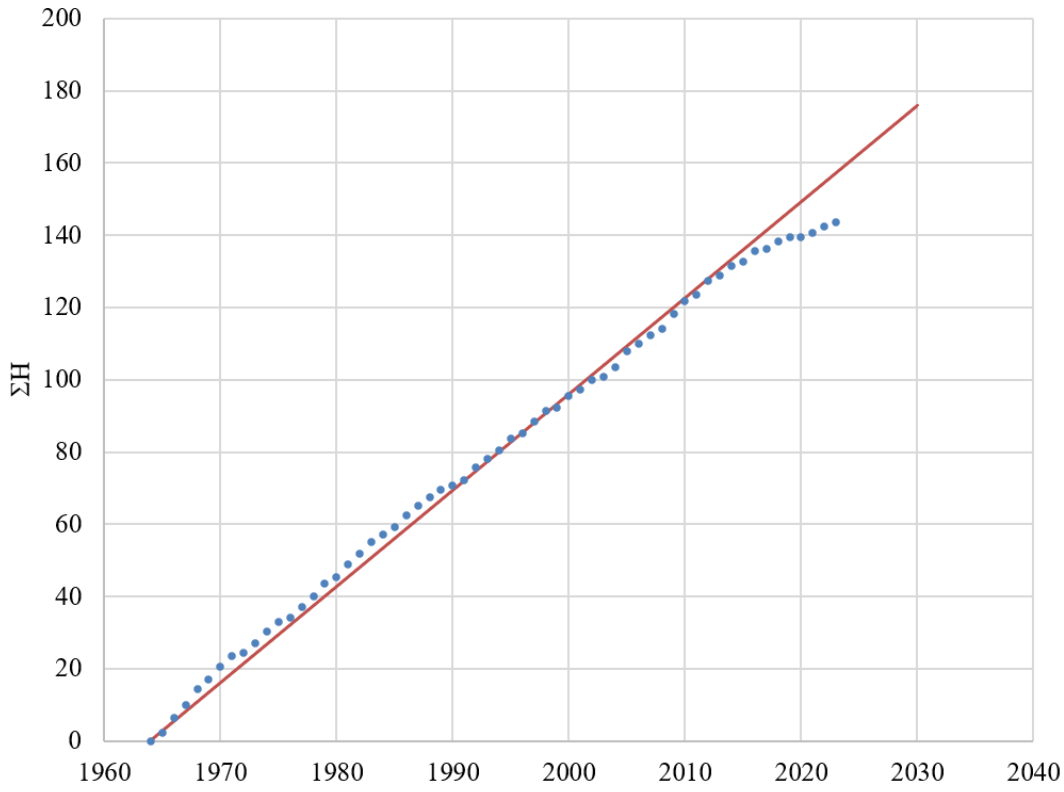
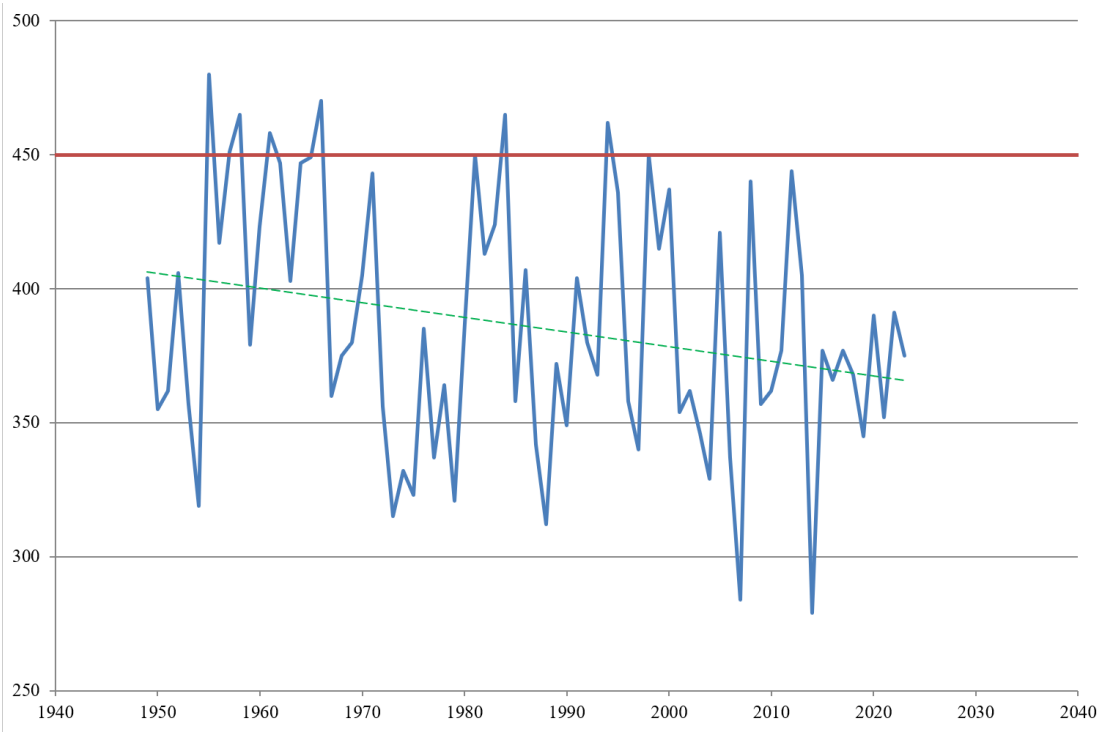


Рисунок В.10 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р.Кумса - г.Медвежьегорск

а)



б)

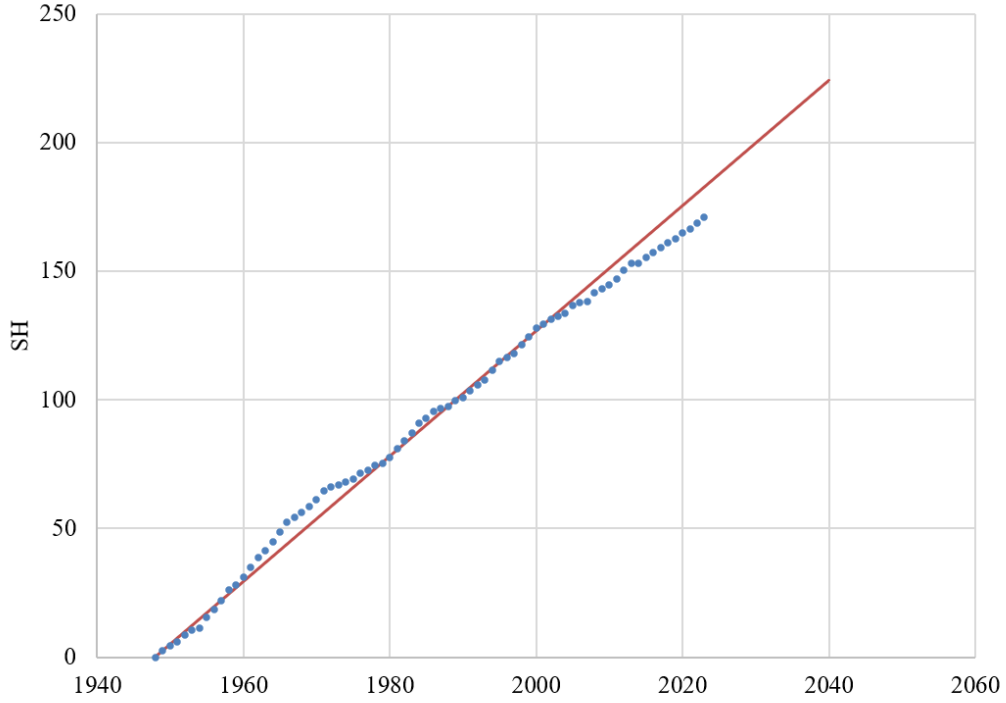
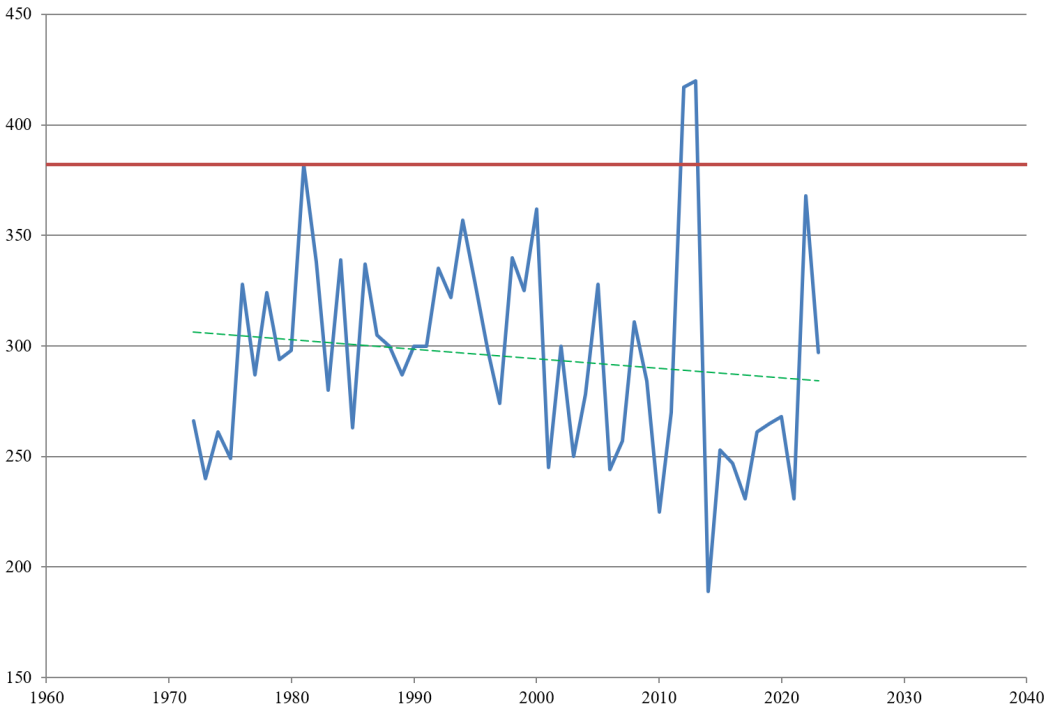


Рисунок В.11 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Олонка - г.Олонец

а)



б)

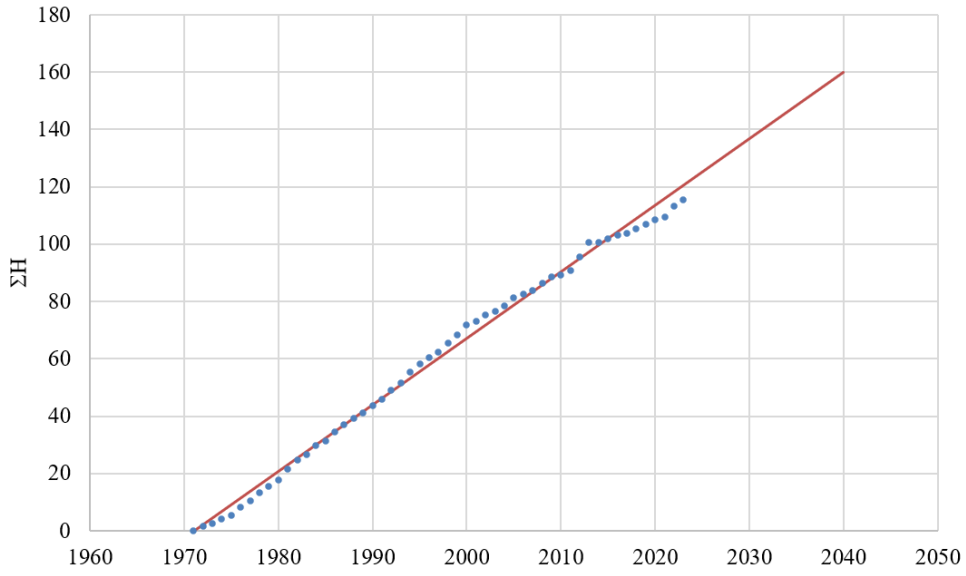
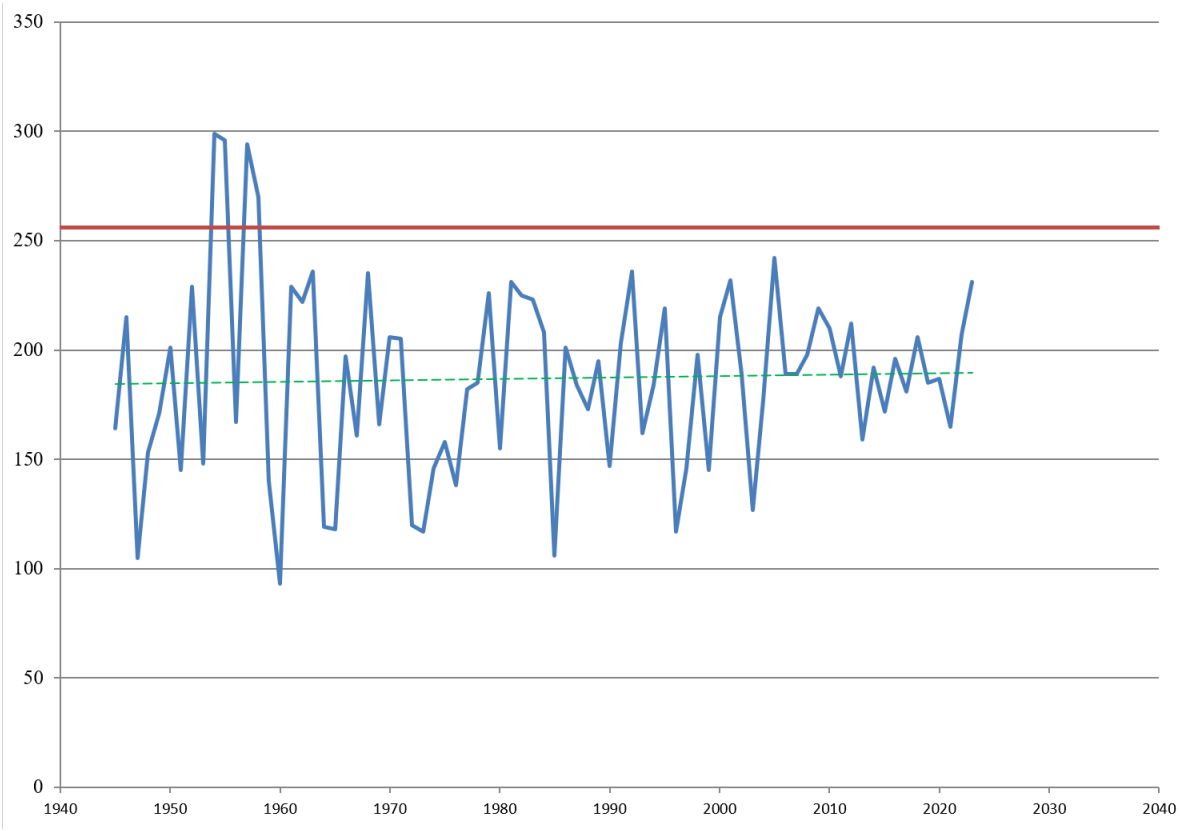


Рисунок В.12 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Ивина - пгт Ладва

а)



б)

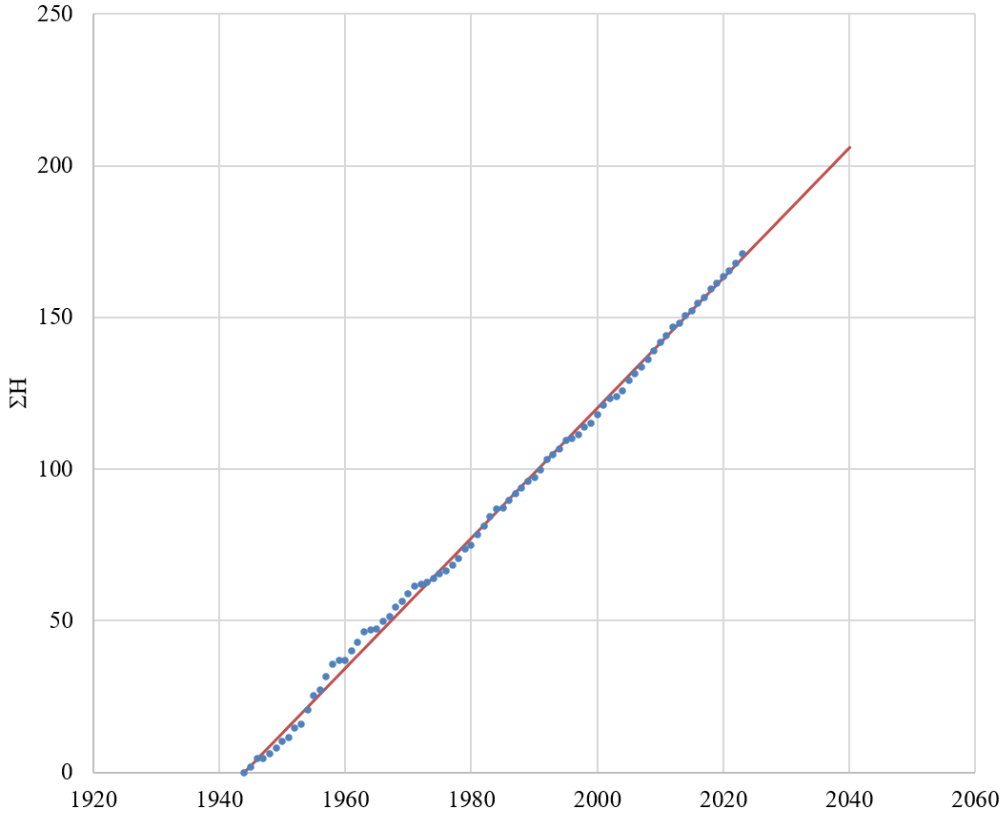
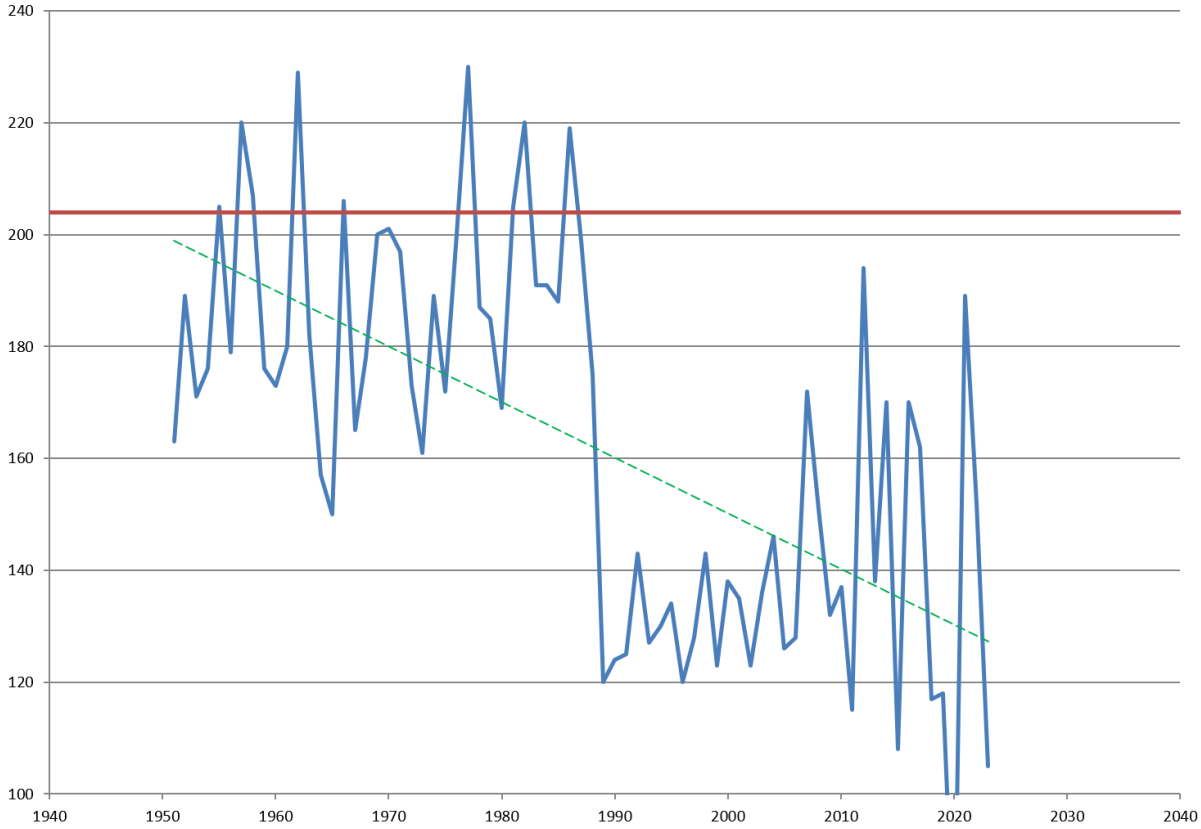


Рисунок В.13 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Шуя - д.Бесовец

а)



б)

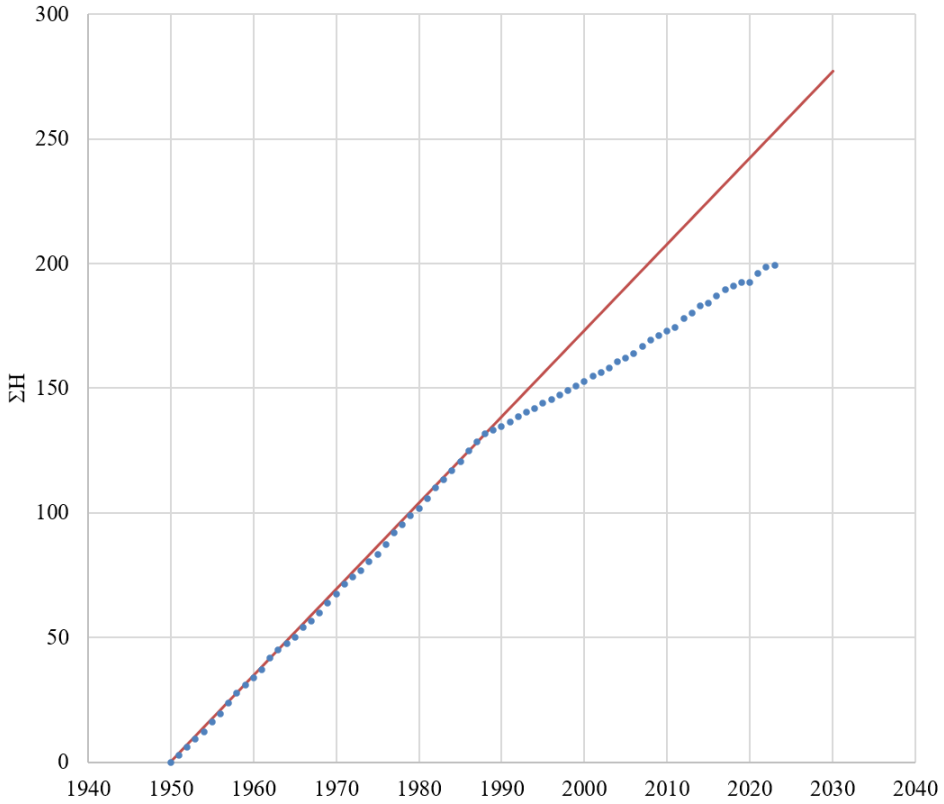
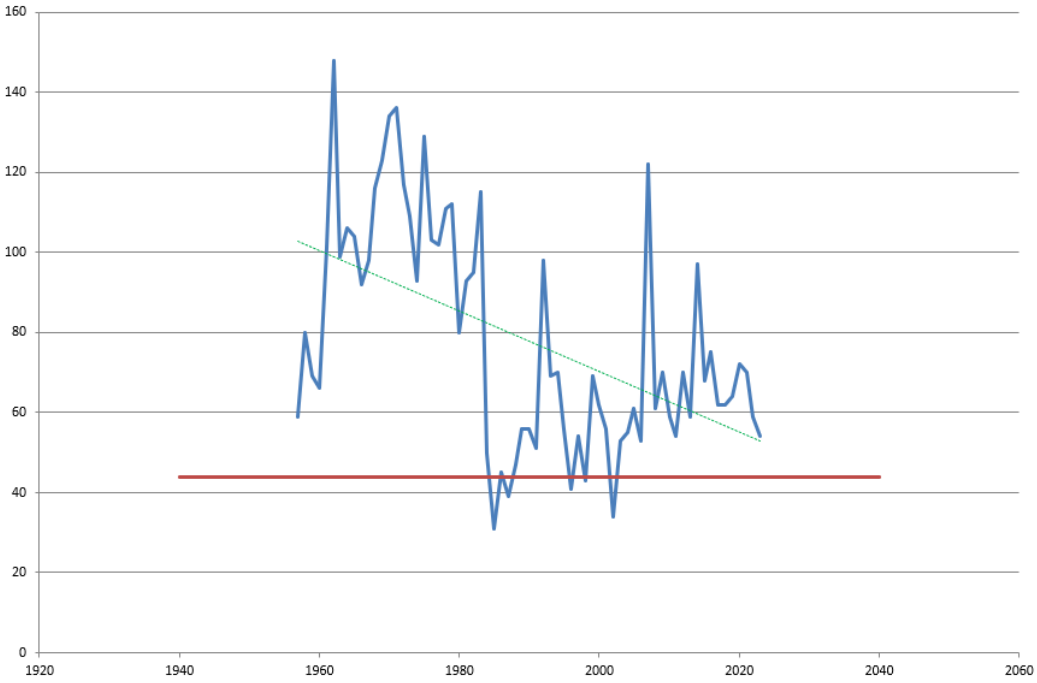


Рисунок В.14 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Лососинка - г.Петрозаводск

Приложение Г.

Хронологические графики и суммарные интегральные кривые минимальных уровней

а)



б)

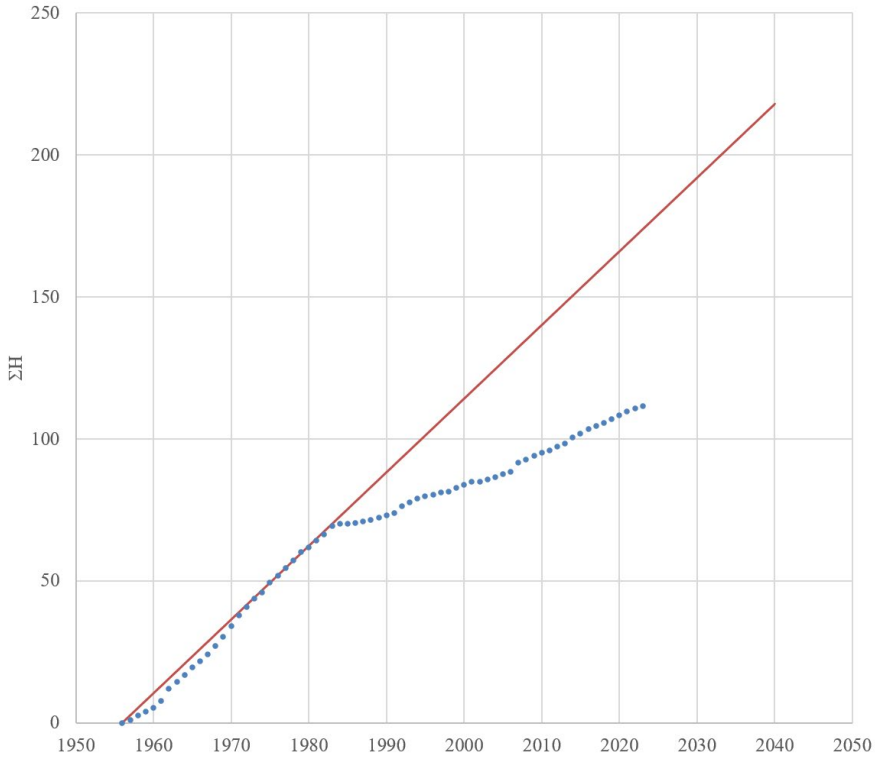
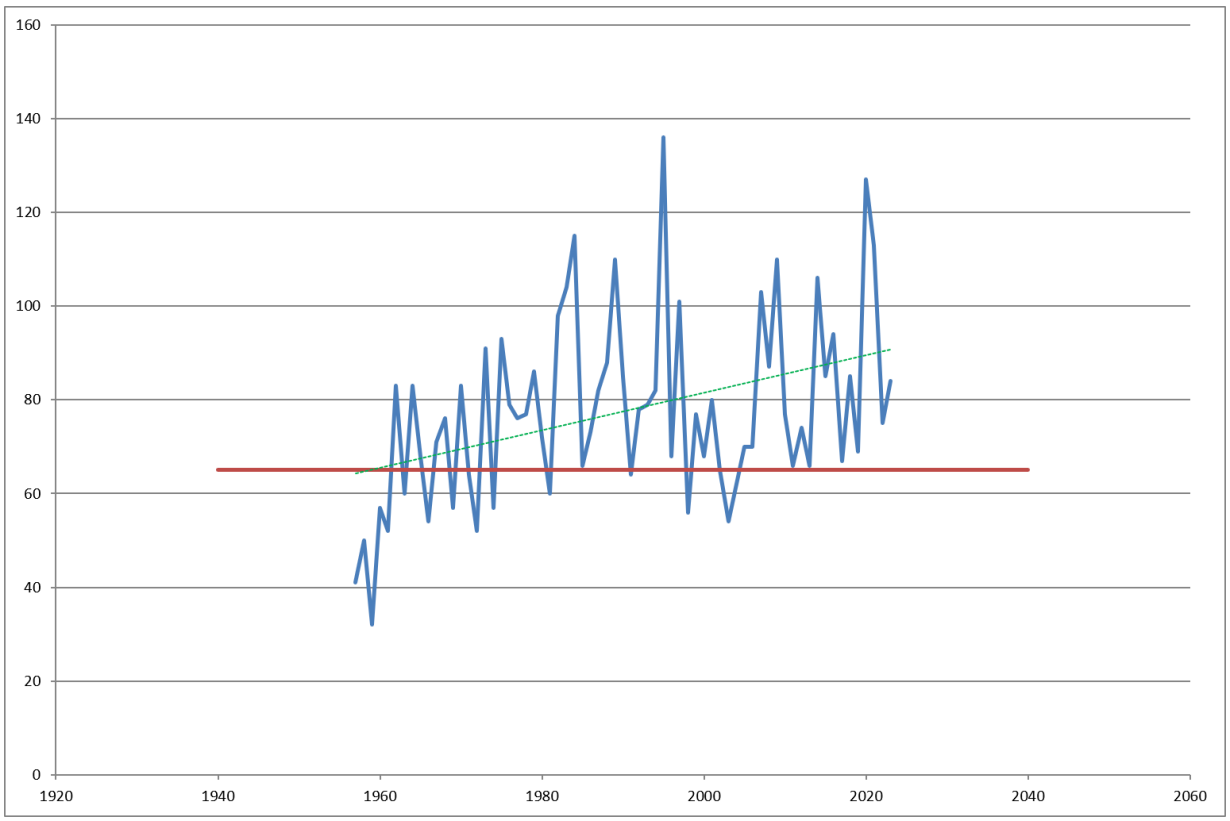


Рисунок Г.1 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) вдхр Юшкозерское - пгт Калевала

а)



б)

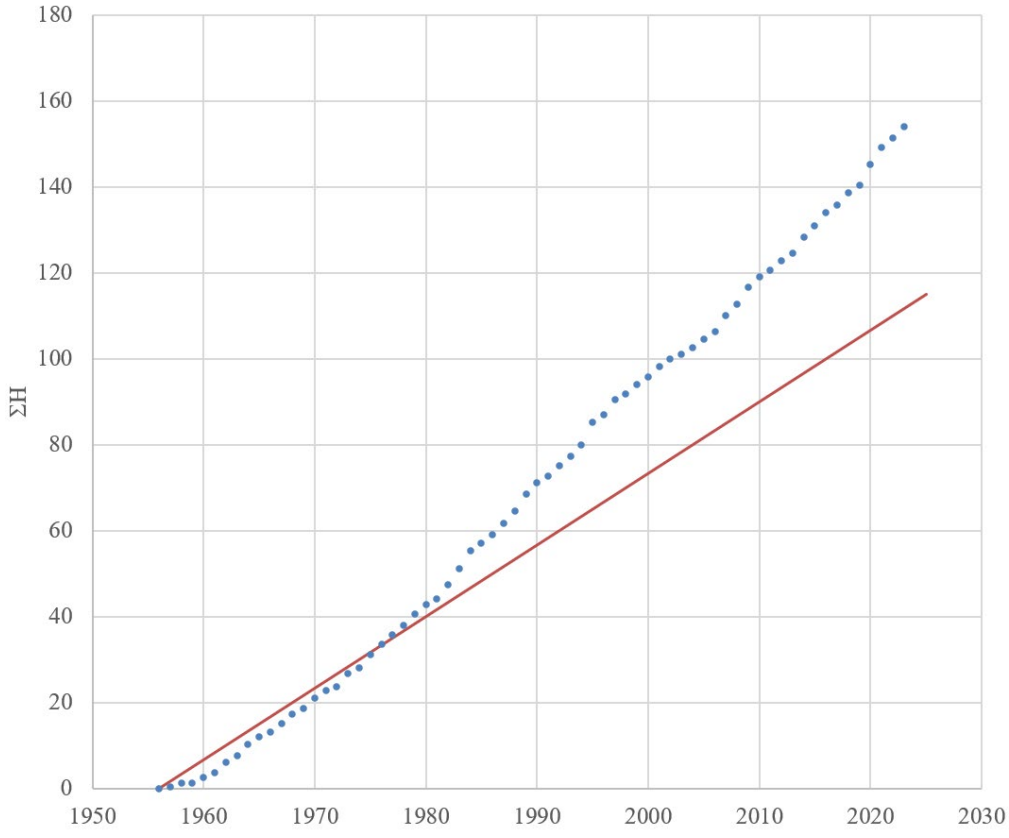
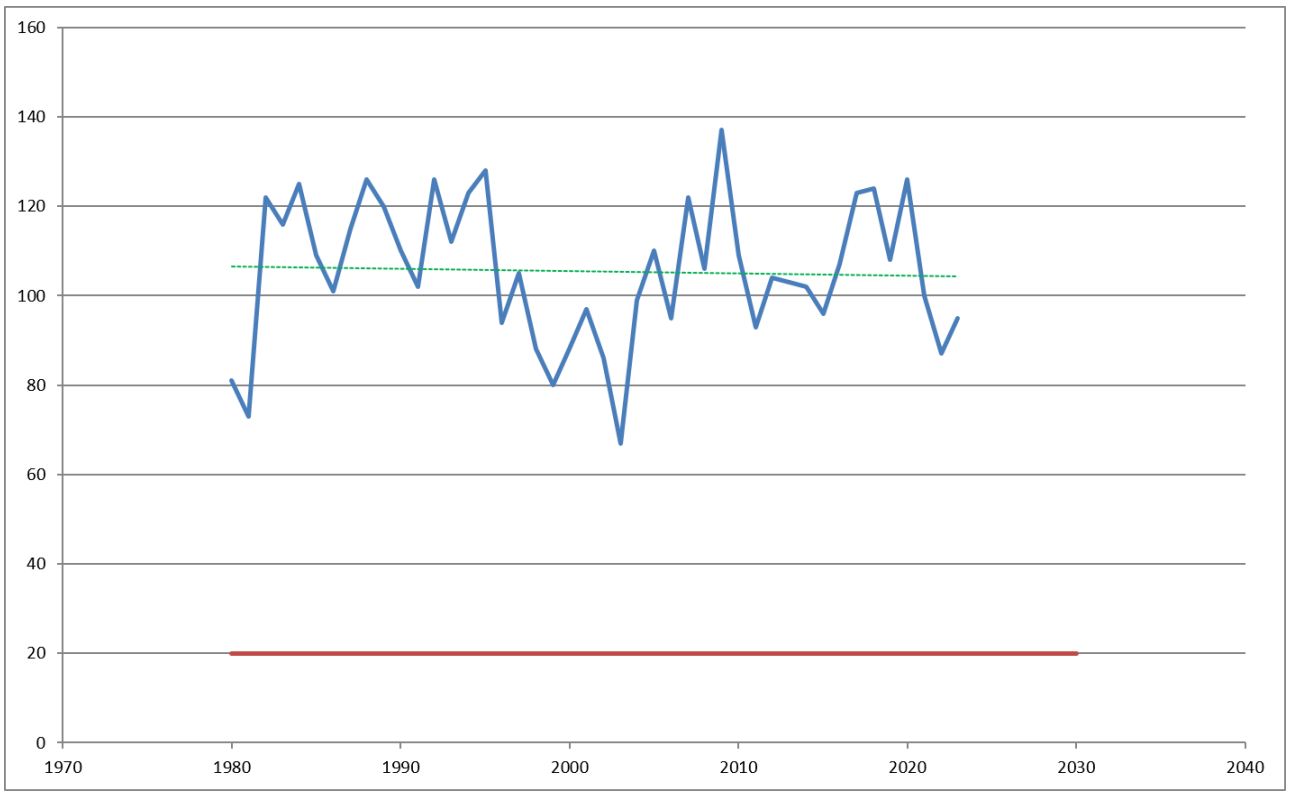


Рисунок Г.2 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) вдхр Выгозерско–Ондское-пгт Надвоицы

а)



б)

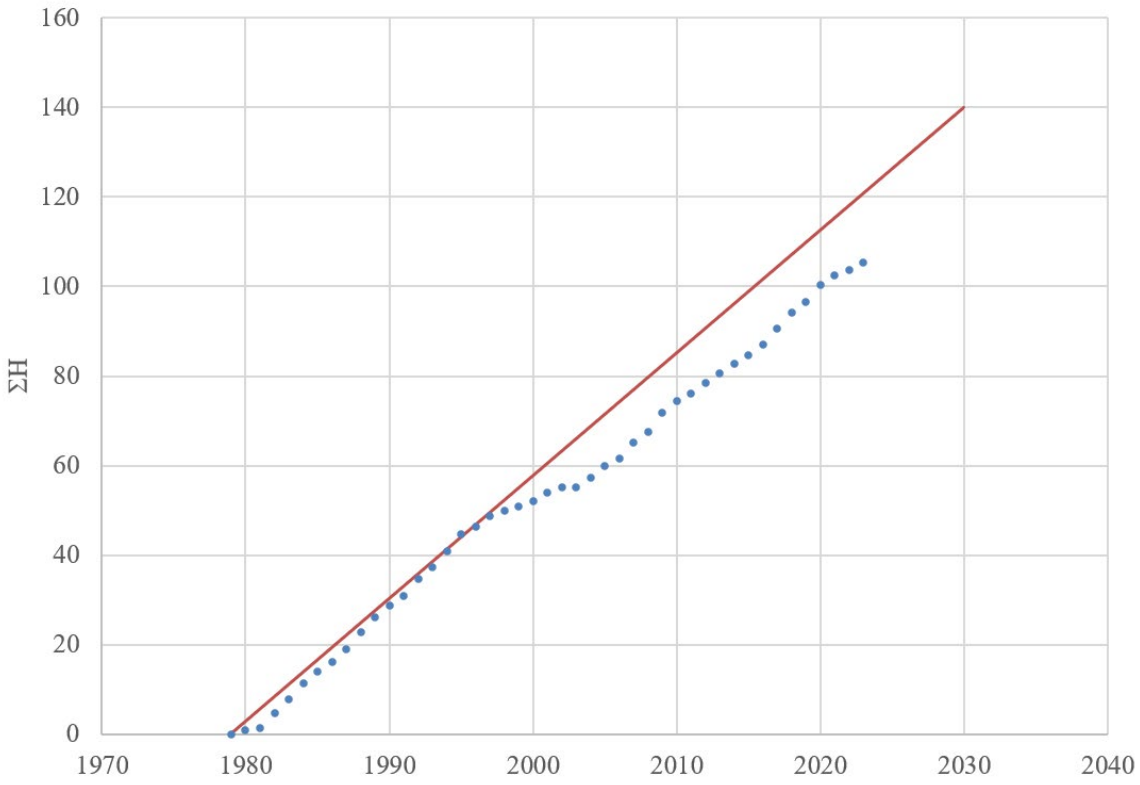
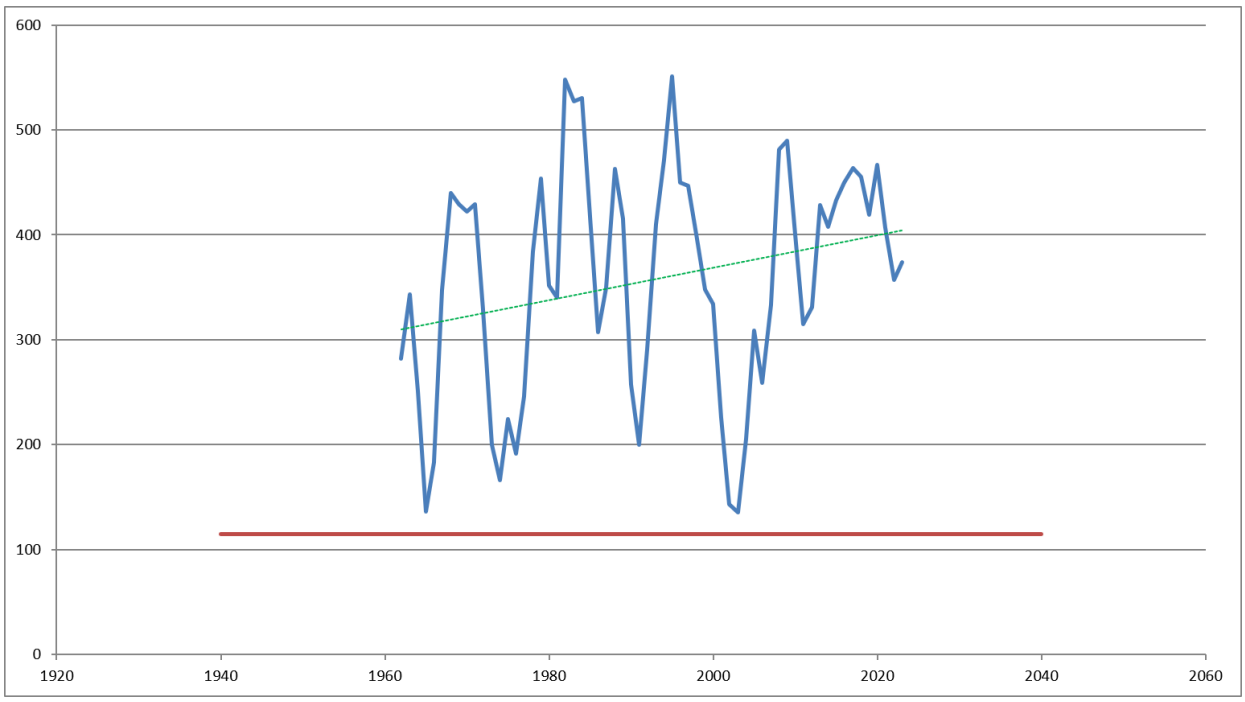


Рисунок Г.3 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) оз. Онежское –г. Петрозаводск

а)



б)

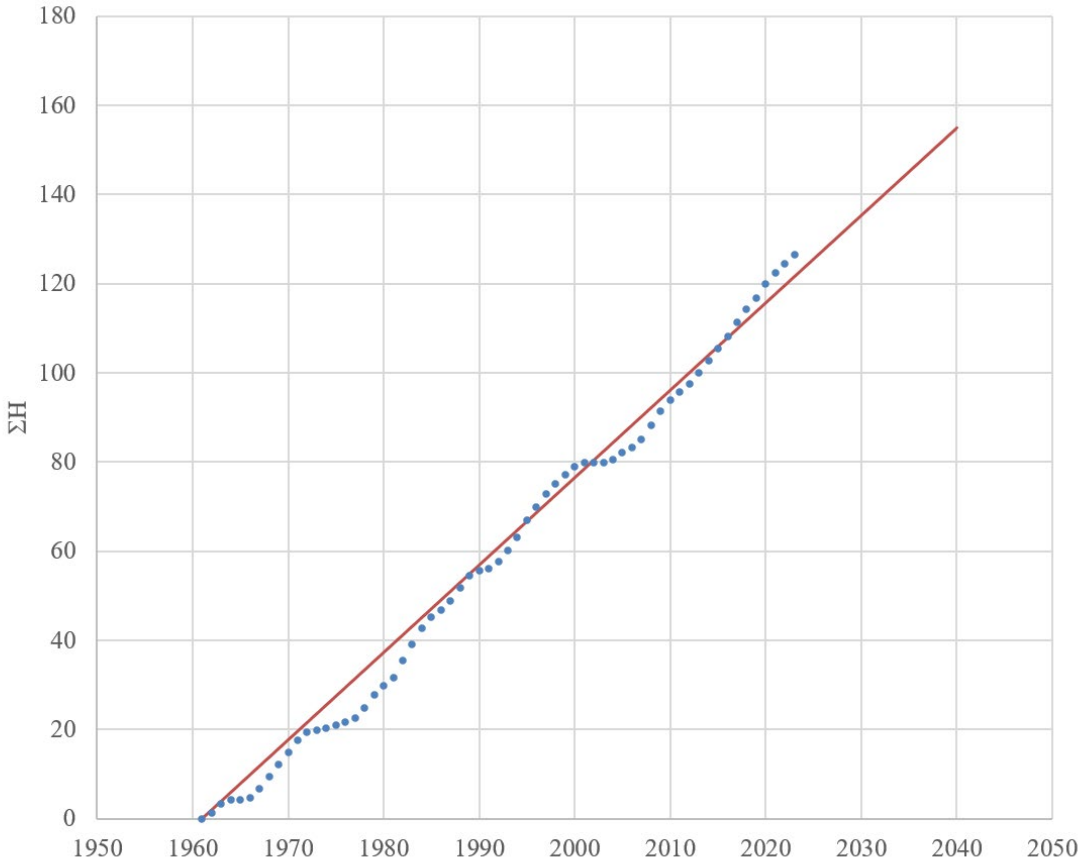
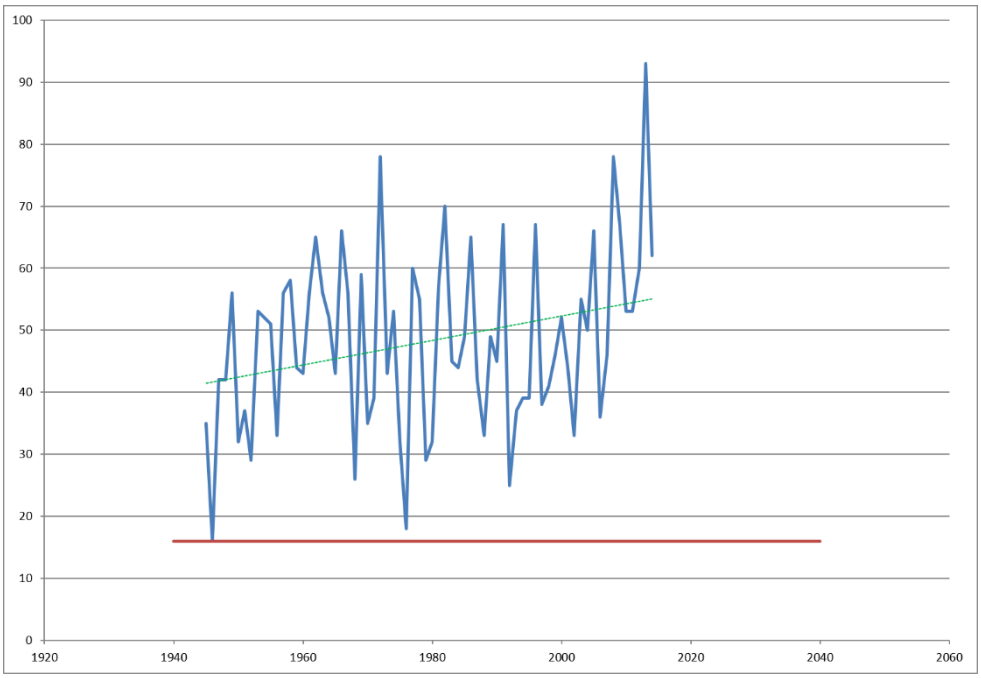


Рисунок Г.4 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) вдхр Сегозерское – с.Паданы

Приложение Д.

Хронологические графики и суммарные интегральные кривые дат наступления ледовых явлений

а)



б)

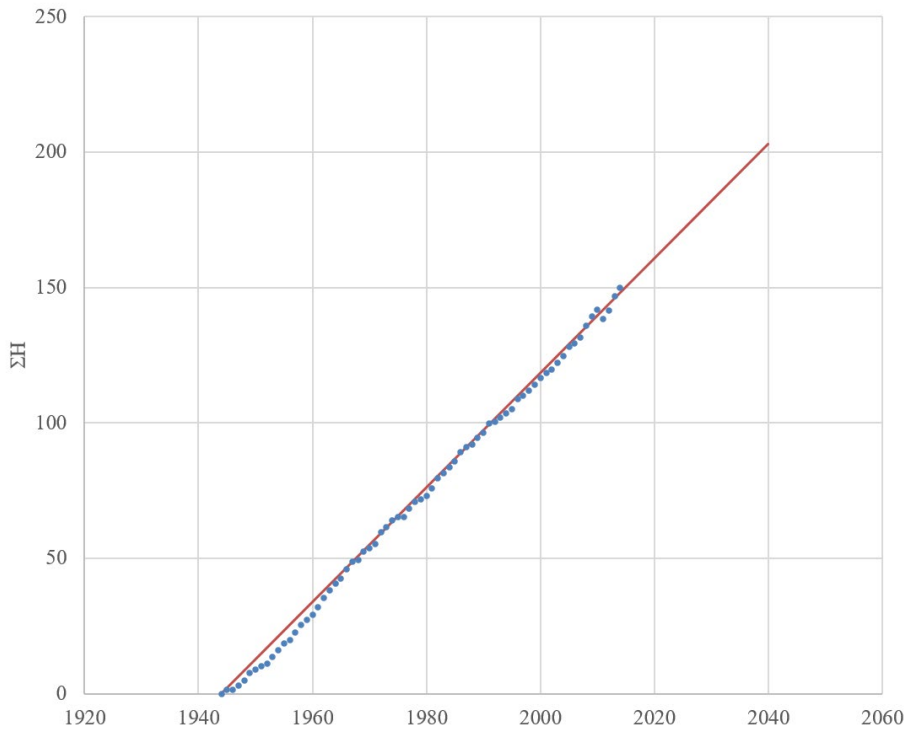
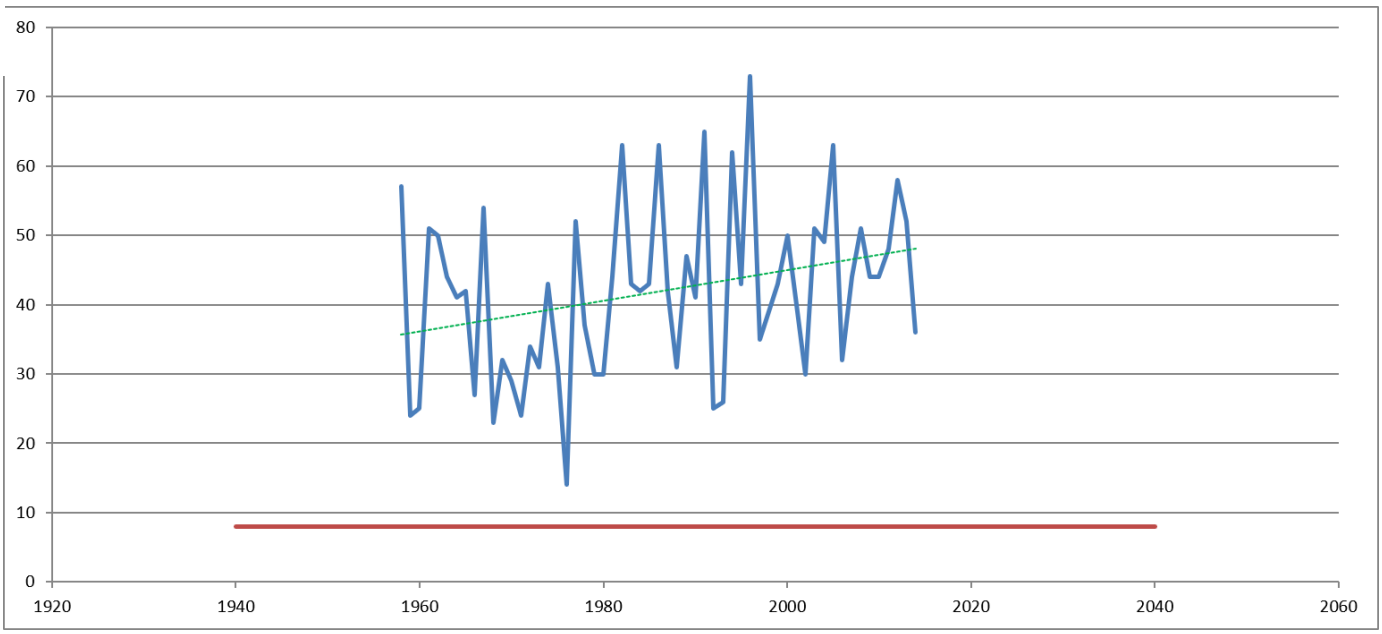


Рисунок Д.1 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) оз. Онежское – д. Лонгасы

а)



б)

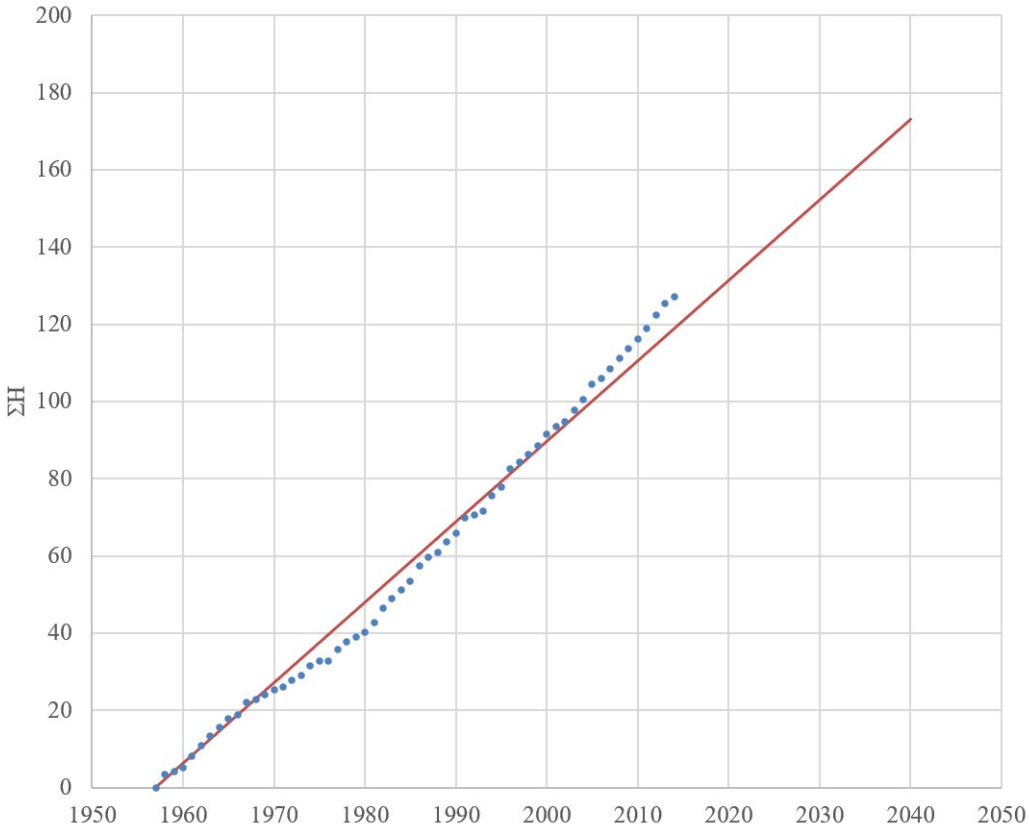
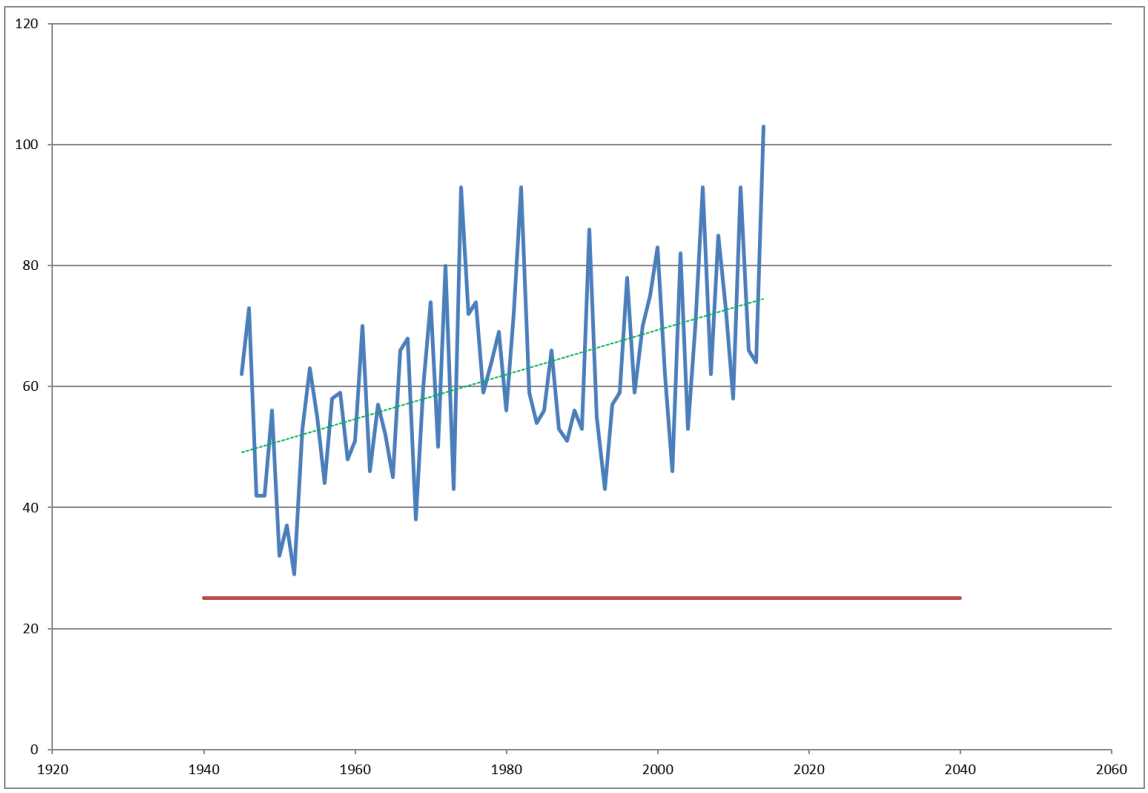


Рисунок Д.2 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) вдхр Выгозерско–Ондское-пгт Надвоицы

а)



б)

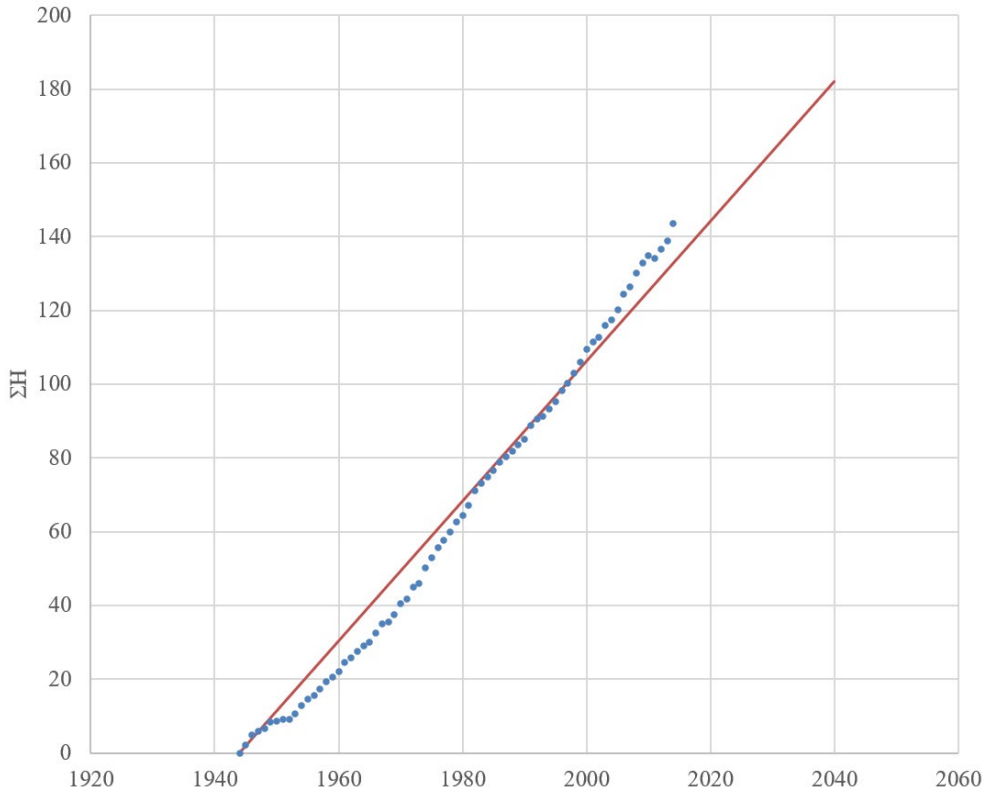
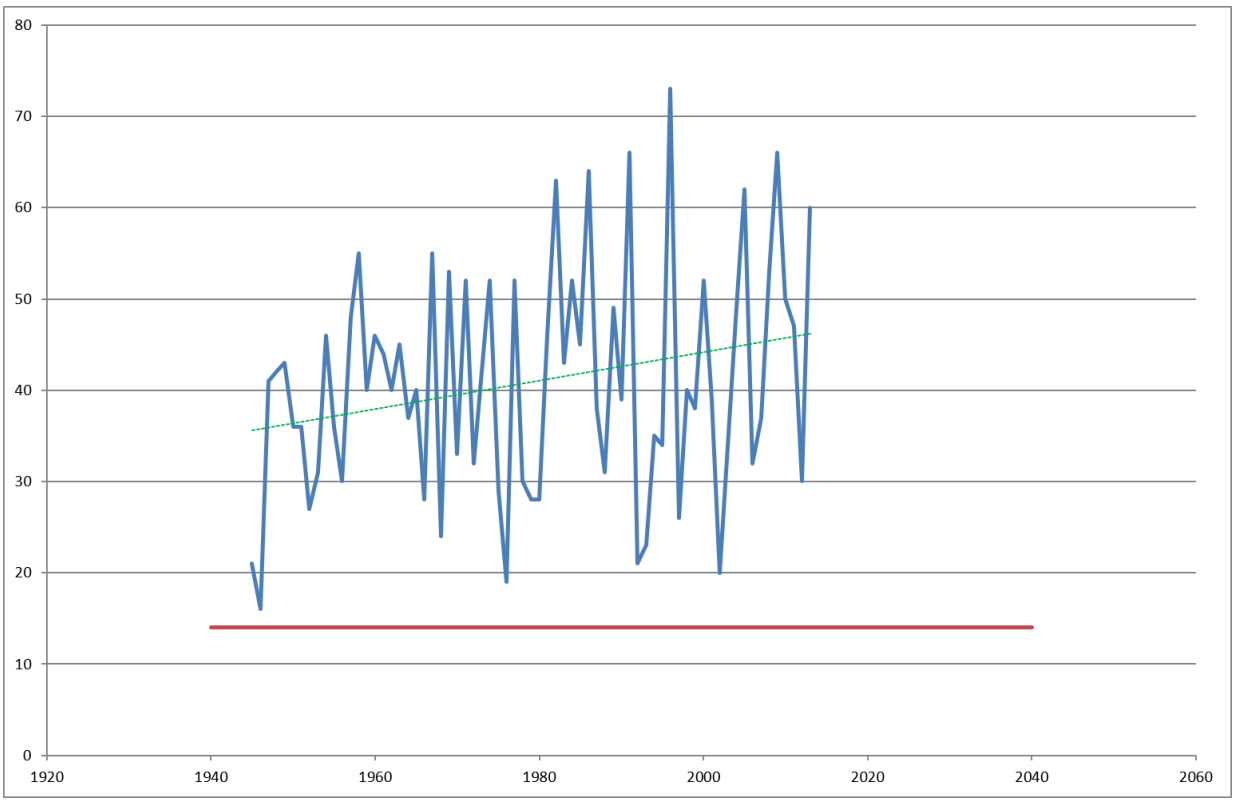


Рисунок Д.3 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) оз. Онежское –г. Петрозаводск

а)



б)

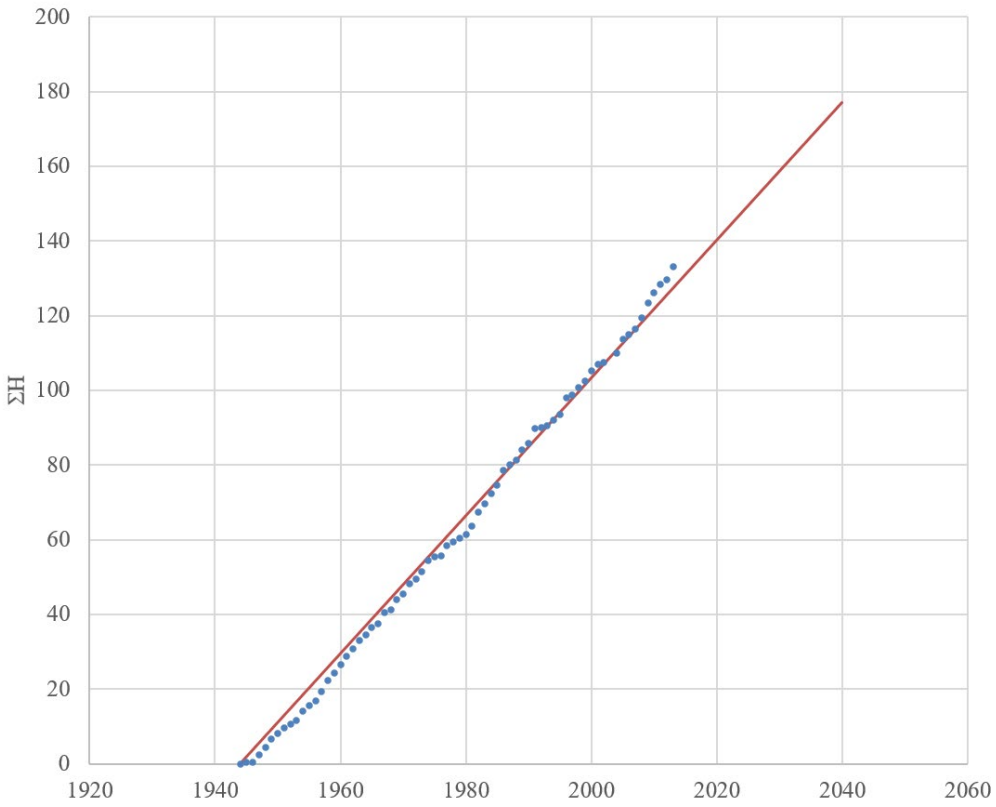


Рисунок Д.4 – Хронологический график (*а*) и интегральные кривые (*б*) р. Водла – р.п. Подпорожье

Приложение Е.

Исходные метеорологические данные

Год	Сортавала 22802		Петрозаводск 22820		Реболы 22602		Канадалакша 22217	
	мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
1930	–	–	–	–	–	–	-31.3	24.7
1931	–	–	–	–	–	–	-31.1	26.9
1932	–	–	–	–	–	–	-26.8	26.1
1933	–	–	–	–	–	–	-36.5	28.6
1934	–	–	–	–	–	–	-28.8	30.1
1935	–	–	–	–	–	–	-27.9	25.2
1936	–	–	-37.5	32.3	-18.5	29	-35.9	26.1
1937	–	–	-26.6	30.7	-30.2	27.5	-30.9	27.7
1938	–	–	-25.4	31.3	-27.7	29.6	-25	28.3
1939	–	–	-32	31.7	-33.8	30.6	-29.4	30.7
1940	–	–	-40.5	31.3	-32.9	29	-35.4	28.9
1941	–	–	-33.3	30.8	-41.5	22.8	-34.7	29.9
1942	–	–	–	–	–	–	-32.8	23.6
1943	–	–	–	–	–	–	-31.1	28.1
1944	–	–	-13.2	29.1	–	–	-24.7	23.6
1945	-29.1	29.7	-33.6	27.6	-36.3	29.3	-37.6	31.6
1946	-30.6	27.9	-39.3	27.6	-30.3	28.8	-37.6	31.6
1947	-29.8	28.6	-30.8	29.6	-35	28.3	-29.1	29
1948	-33.7	28.6	-28.4	28.5	-37.2	26.4	-35.2	23.2
1949	-26.1	26.4	-28.7	25.5	-32	27.4	-26.5	26.4
1950	-32.5	26.1	-34.9	26.1	-39.9	26.1	-32.2	25.9
1951	-28.4	26.9	-27.9	28	-36.4	26.6	-30.9	26.7
1952	-28.5	30.7	-26.1	29	-32.6	30.1	-33.5	27.3
1953	-35.9	28.7	-33.8	28.8	-41.2	28.8	-31.8	28.1
1954	-28.5	28.7	-27.7	28.5	-30.6	27.2	-27.5	23.1
1955	-39.9	28.6	-33.4	27.9	-38.6	1.1	-31.7	25.6
1956	-40.5	27.5	-37.5	30.5	-41.6	29.7	-37.2	25.1
1957	-30.2	29.8	-27.9	28.4	-35.9	29.8	-33.1	28.5
1958	-30.4	28.7	-32.8	29.6	-40.4	28.9	-34.4	24.5
1959	-30.3	28.4	-28	28.3	-36.3	27.2	-31.8	28.4
1960	-30.8	29.1	-32.3	28.4	-35.3	28.5	-31.7	28.7
1961	-27.6	28.4	-27.3	28.3	-33.4	27.8	-31.2	30.8
1962	-31.3	22.7	-26.5	23.8	-35.8	22.9	-30.2	22
1963	-33.4	29.9	-30.5	30.3	-38.1	28.8	-32.2	26.3
1964	-27.7	28.4	-27.2	27.4	-32.1	27.4	-32	27.3
1965	-31.2	27	-29.9	26.5	-31.8	25.3	-31.8	27.6
1966	-33.8	28.2	-32.6	28.1	-41.9	29.6	-37.4	29.7
1967	-35.4	30	-33.6	28.5	-35.5	29.4	-32.8	27.4
1968	-33.9	28.6	-33	29.4	-40.3	28.4	-35.7	25.7
1969	-33	28.5	-34.1	28	-38.4	28	-37.7	27.6
1970	-32.6	29.7	-34.8	30.2	-42.1	30	-32.7	29.4
1971	-30.9	28.1	-27.3	27.9	-35.1	28.9	-34.6	25.6
1972	29.1	31.7	-30.5	32.8	-37.7	33	-33.5	29.5

Продолжение приложения Е

Год	Сортавала 22802		Петрозаводск 22820		Реболы 22602		Канадалакша 22217	
	мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
1973	-30.7	30.7	-30.5	29.8	-32.9	30	-28.7	30.6
1974	-25.7	28.2	-26.7	29.3	-29.3	28.1	-28.3	31.4
1975	-25.1	29.3	-27.5	28.2	-31.2	28	-31.5	25.9
1976	-35.1	26.3	-29.5	27.1	-37.8	24.6	-35.9	26
1977	-30.4	28.3	-33	29.3	-35.6	28.9	-31.8	27.6
1978	-34.3	28.6	-36.8	25.8	-40.8	26.9	-35.5	25.1
1979	-34.1	28.1	-33.7	27.8	-38.6	25.8	-32.5	25.1
1980	-36	30	-28.9	29.2	-40.2	28.3	-38	30.9
1981	-30.4	27.7	-26.5	29.1	-33	28.8	-33.2	27.9
1982	-34.8	26.4	-33.8	28.7	-39.2	26.9	-31.5	30.2
1983	-26.7	29.4	-23.2	27.4	-32.6	26.2	-29.2	26.1
1984	-25	29.2	-22.9	26.5	-30.5	27	-30	27.2
1985	-36.9	29.4	-35	27.8	-45.2	27.9	-43.5	27.4
1986	-32.2	28.8	-30.2	28.4	-35.8	28.7	-32.6	26
1987	-42.8	28.2	-41.6	28.5	-39.8	26.6	-33.5	28.5
1988	-26.9	30.7	-28.6	31.2	-34.3	30.2	-34.1	30.2
1989	-27.9	29.7	-24.7	29.8	-30.5	28.5	-29	27.6
1990	-27.2	26.1	-31	29.8	-31.1	25.7	-30.2	26.3
1991	-29.4	26.9	-30.1	27.4	-35.2	26.1	-32	24.4
1992	-24.1	27	-27.2	29.4	-30.4	26.3	-27.9	28.1
1993	-25	25	-24.2	24.2	-32.6	24.9	-32	23.9
1994	-34	30.2	-33	30.5	-39.5	33.3	-39.2	28.3
1995	-33.2	28.4	-31.6	28.5	-36.8	32.2	-33	27.6
1996	-30.6	27.2	-28.3	32.5	-35.2	25.6	-30.3	25.5
1997	-26.1	28	-28.6	29.6	-30.2	28.6	-30.2	28.8
1998	-31.1	30	-34.1	31.9	-38.7	25.6	-38.1	27.7
1999	-35.4	32	-31.8	29.6	-40.7	31.4	-40.3	27
2000	-26	28.7	-30.6	29.5	-28.9	29.2	-30.2	28.7
2001	-30.9	30.1	-29.2	30.2	-33.7	28.1	-28.6	28.3
2002	-31	27.6	-32.5	30.6	-36.7	30	-33.3	26.8
2003	-36.4	30.5	-34.1	29.5	-43.2	30.3	-35.1	29.9
2004	-25.7	27	-28.8	27.3	-33.3	26.1	-30.2	28.6
2005	-23.9	29.3	-22	27.8	-28.2	29.7	-28	26.9
2006	-29.9	29.8	-32.6	33.5	-36.3	28.1	-37.6	31.3
2007	-30.6	28.2	-31.6	29.2	-38.3	29.9	-31.2	29.8
2008	-18.4	26	-19.9	26.6	-26	23.7	-27.9	25.3
2009	-26	27.5	-29.6	26.7	-30.2	27.5	-31.2	26.6
2010	-31.3	35.4	-33.3	33.9	-39.9	35.5	-32.7	29.4
2011	-31.9	29.8	-28.6	30.7	-36.4	30.1	-35.1	31.3
2012	-31.6	26.7	-28.7	30.5	-35.6	30.1	-38.3	26.4
2013	-31.7	31.1	-30.2	29.6	-32.6	30.6	-27.6	27.6
2014	-26.2	31.5	-26.1	33	-28.2	20.3	-35.3	29.5
2015	-25.5	29.1	-22.1	25.1	-31.4	25.5	-28.7	23.7
2016	-33	27	-29.7	27.7	-33.4	27.4	-35.9	29
2017	-25.7	25.3	-31.2	26.2	-29.5	25.1	-35.3	24.4

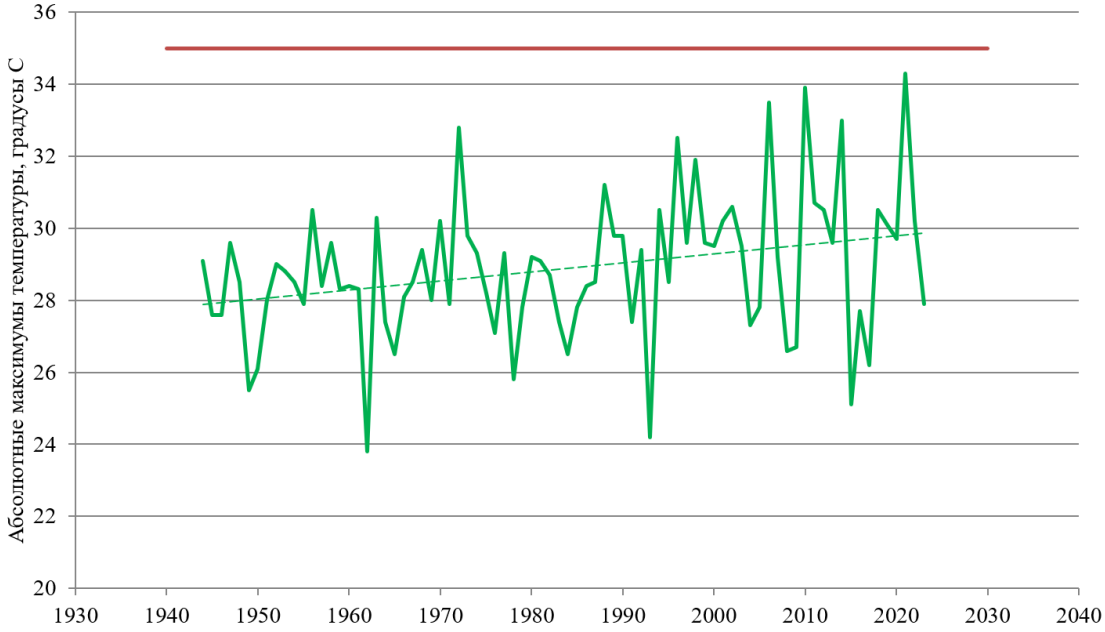
Продолжение приложения Е

Год	Сортавала 22802		Петрозаводск 22820		Реболы 22602		Канадалакша 22217	
	мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
2018	-26.3	31.5	-26.9	30.5	-32	30.2	-27.4	32
2019	-30.3	30.7	-24	30.1	-29.4	29.4	-31.6	29.9
2020	-18	31	-17.3	29.7	-26.6	27.5	-27.9	29.3
2021	-30.8	33.5	-31.2	34.3	-36	32.5	-32.6	30
2022	-27.1	31.2	-24.2	30.2	-30.9	32.2	-27.6	29.3
2023	-26.8	29.5	-23.7	27.9	-30.7	27.7	-28.2	28.3

Приложение Ж.

Хронологические графики и суммарные интегральные кривые абсолютных максимумов и минимумов температуры воздуха

а)



б)

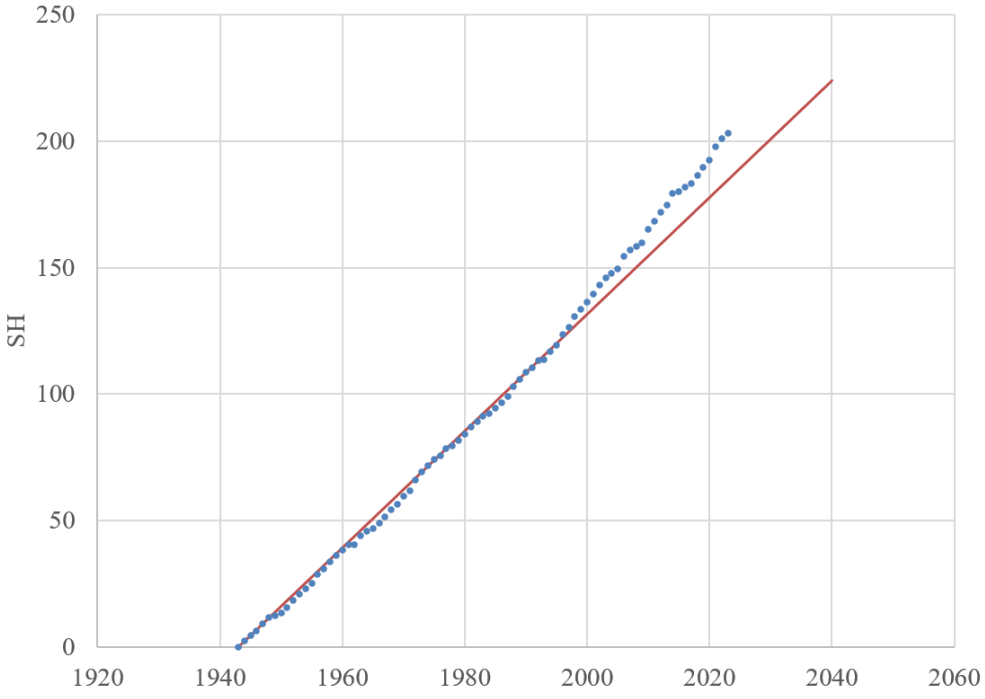
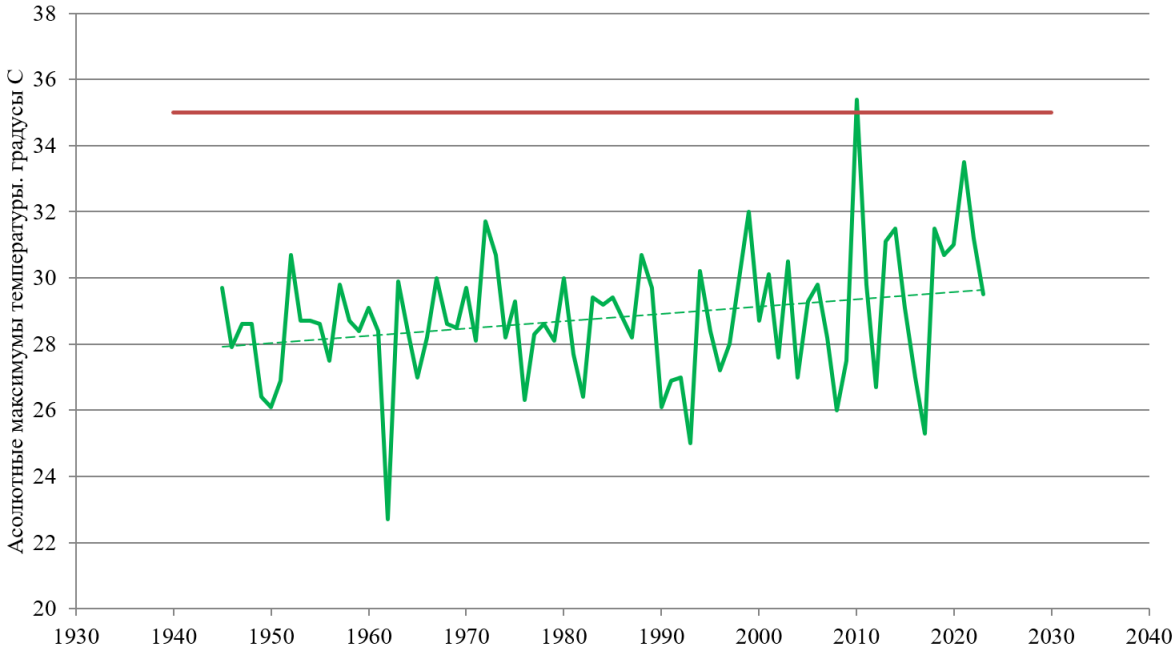


Рисунок Ж.1 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных максимумов температуры воздуха (Петрозаводск)

а)



б)

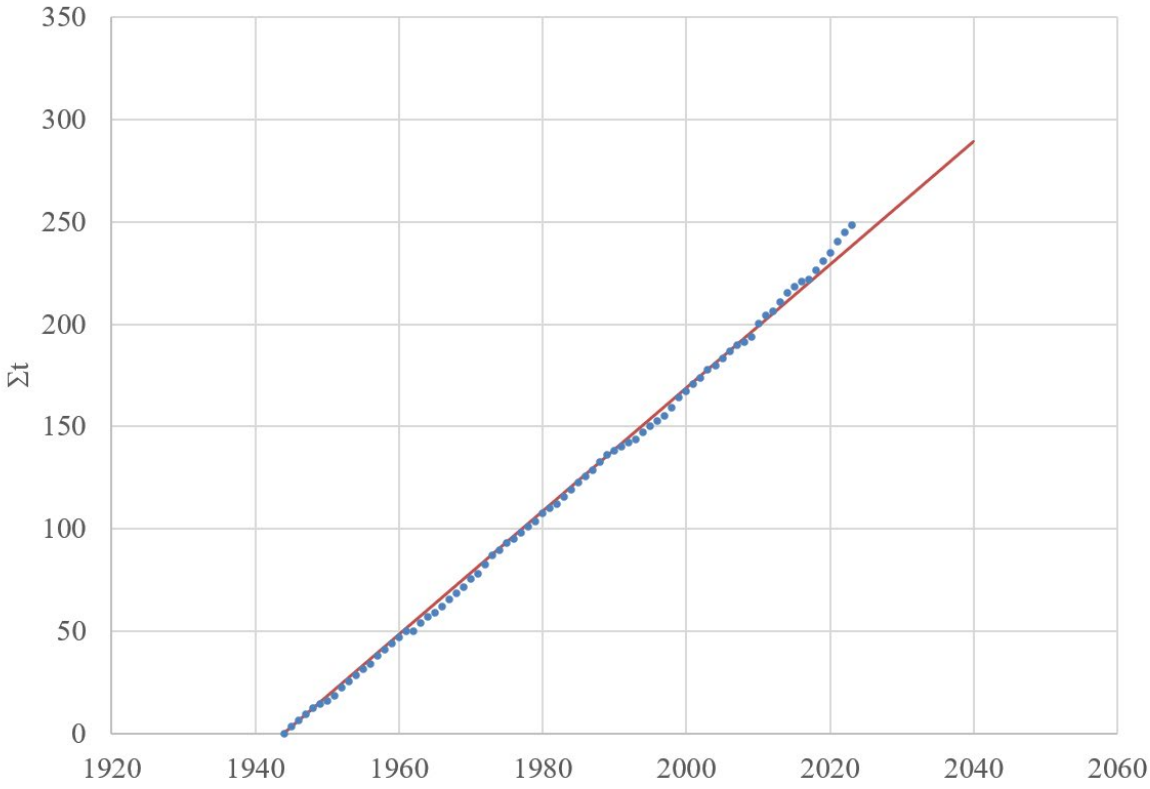
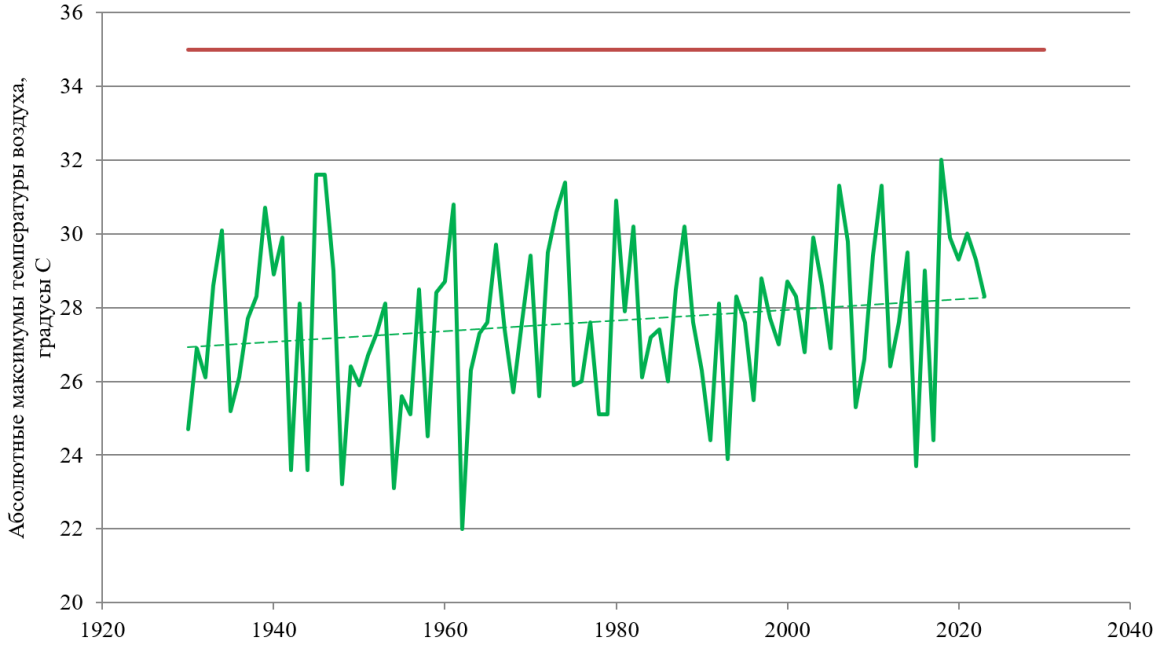


Рисунок Ж.2 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных максимумов температуры воздуха (Сортавала)

а)



б)

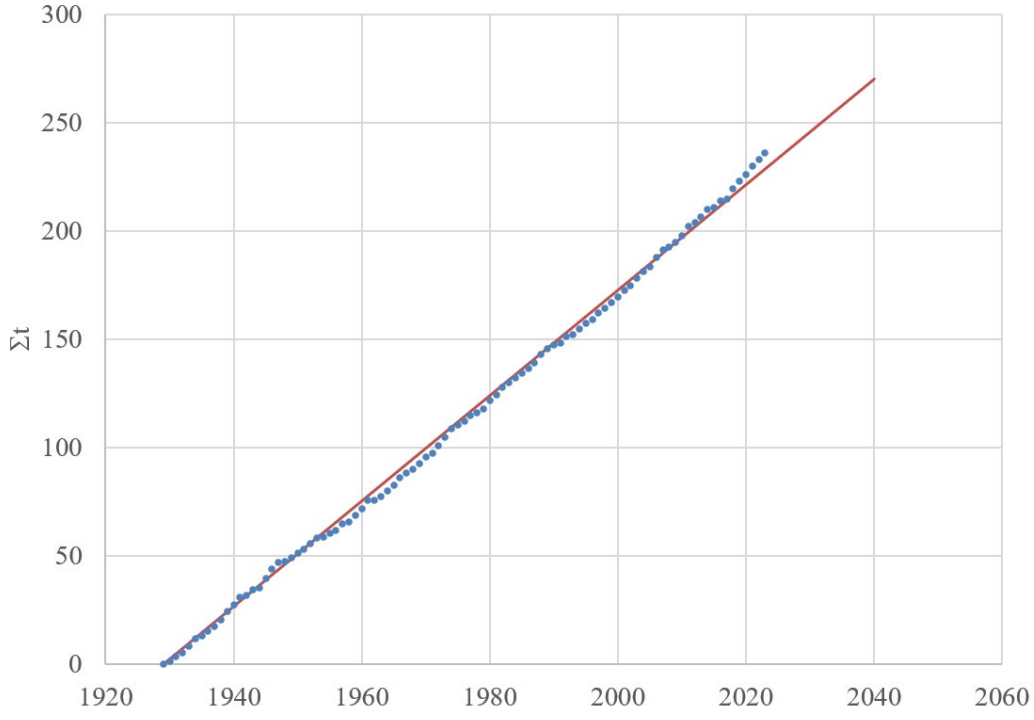
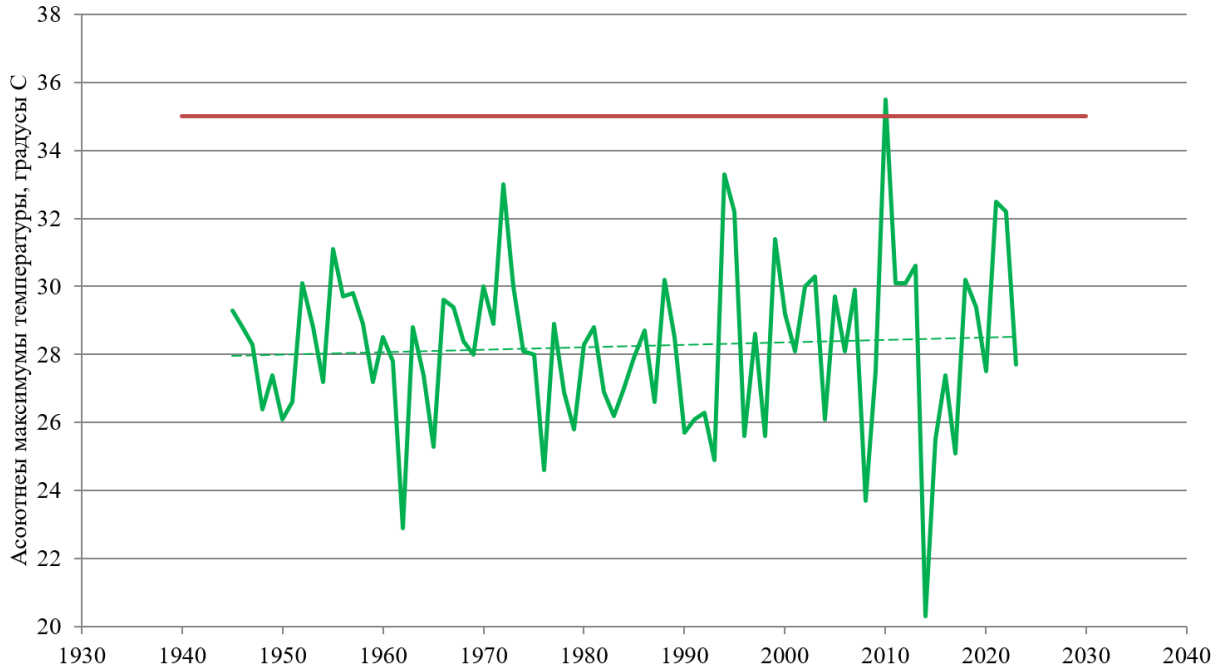


Рисунок Ж.3 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных максимумов температуры воздуха (Кандалакша)

а)



б)

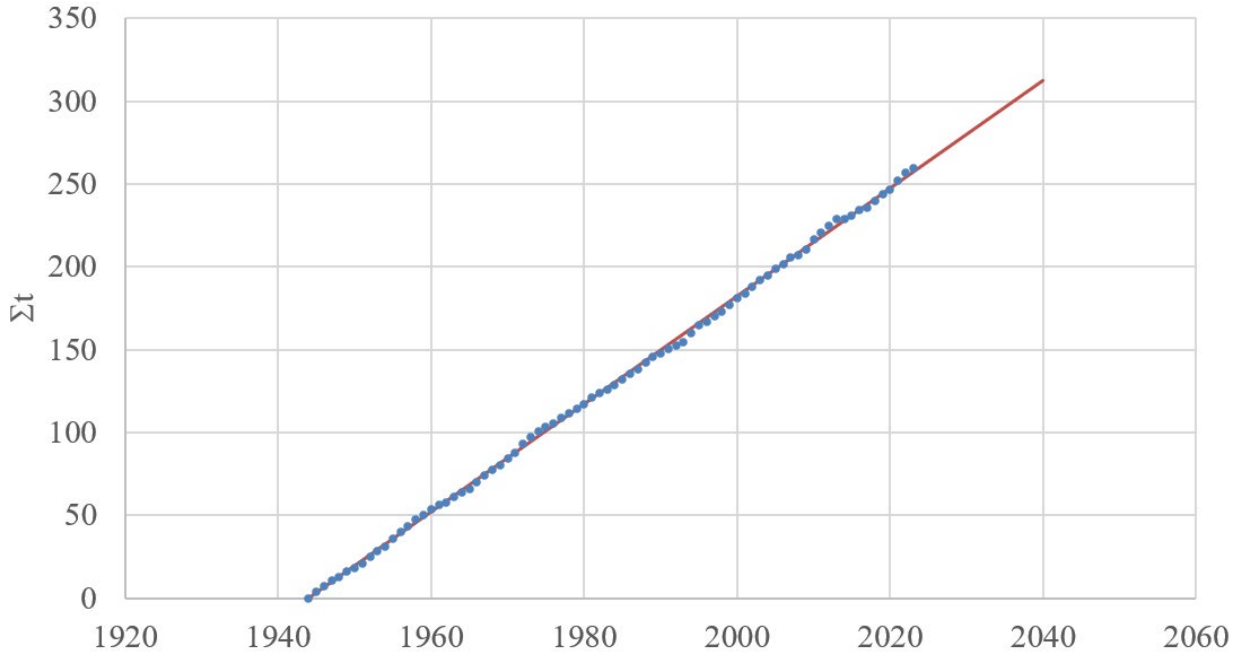
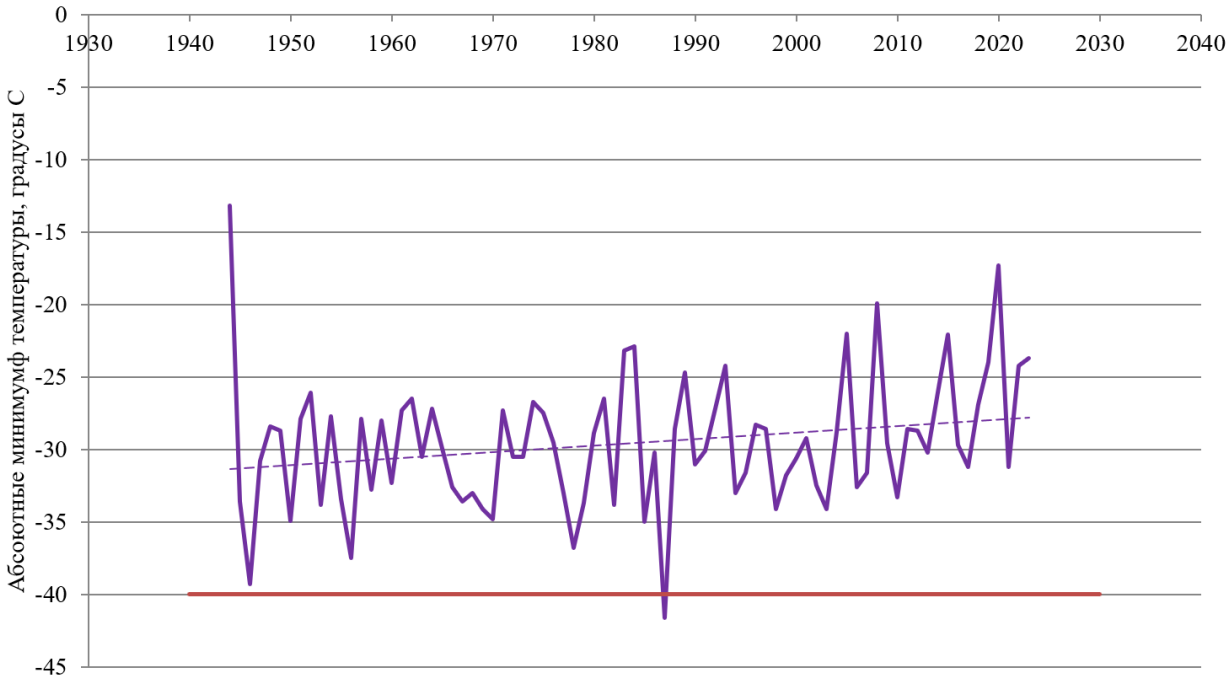


Рисунок Ж.4 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных максимумов температуры воздуха (Реболы)

а)



б)

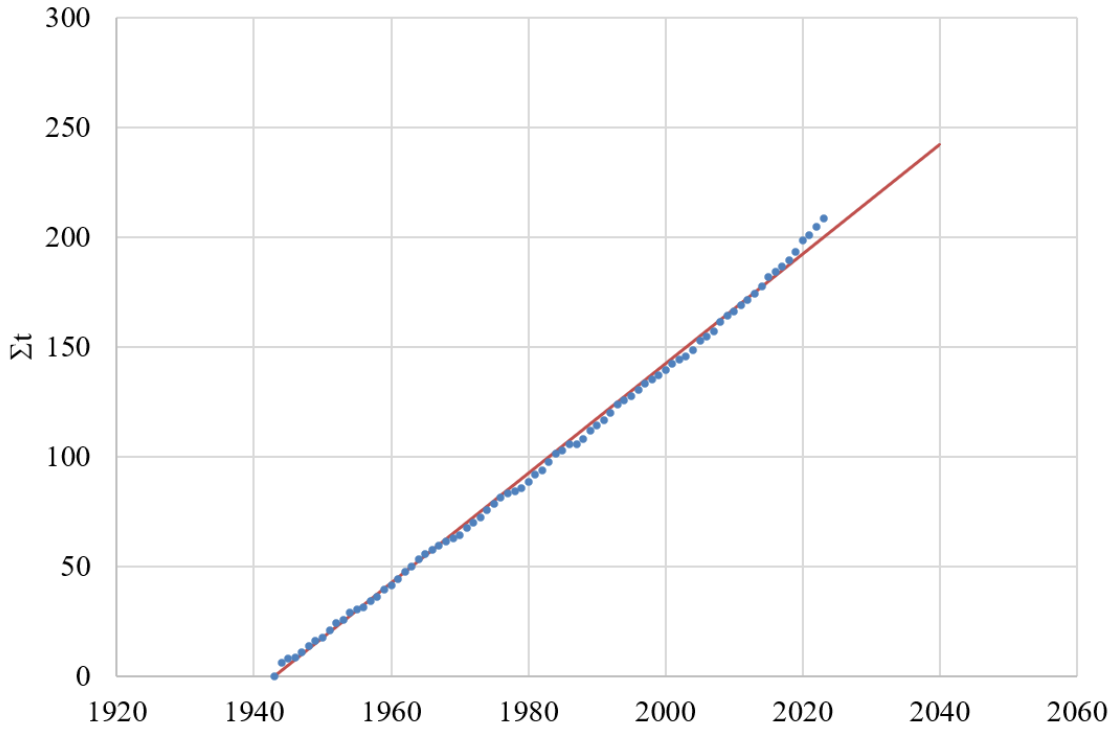
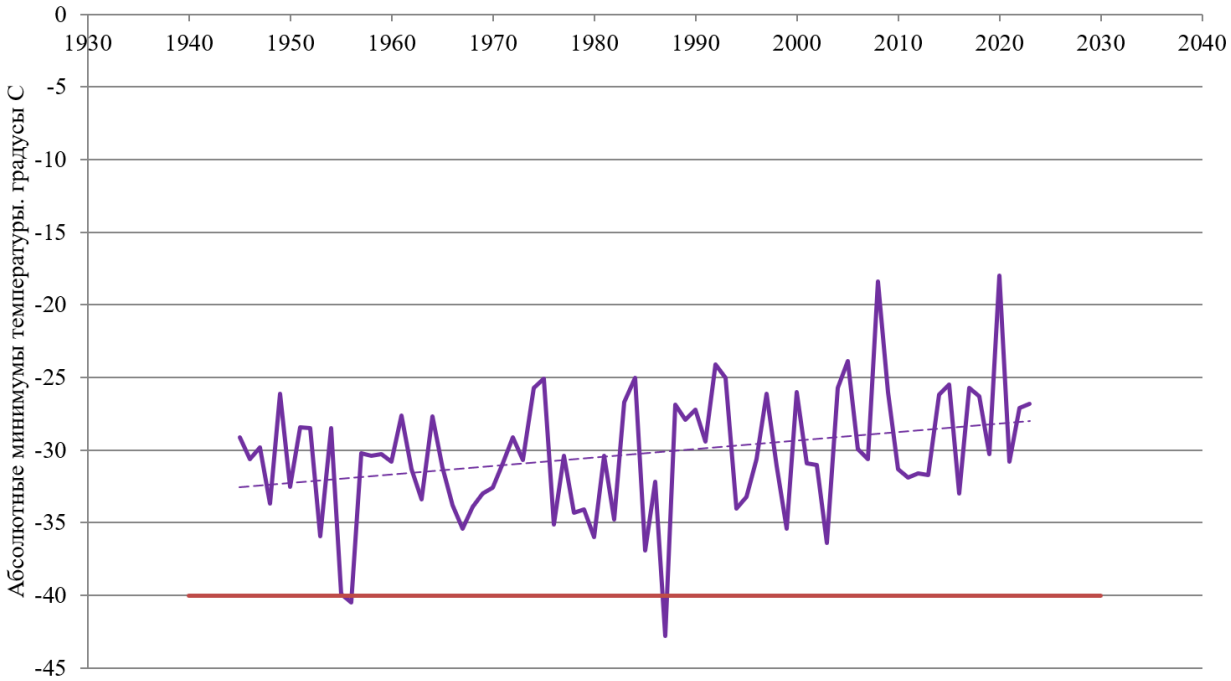


Рисунок Ж.5 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных минимумов температуры воздуха (Петрозаводск)

а)



б)

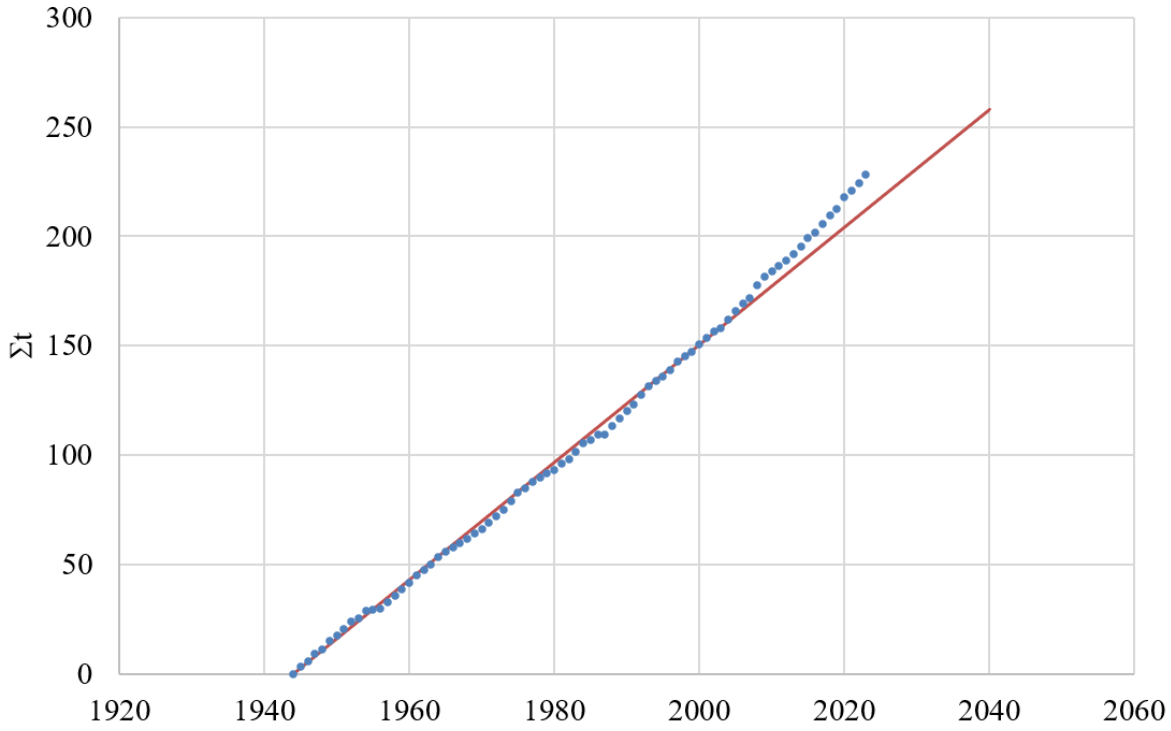
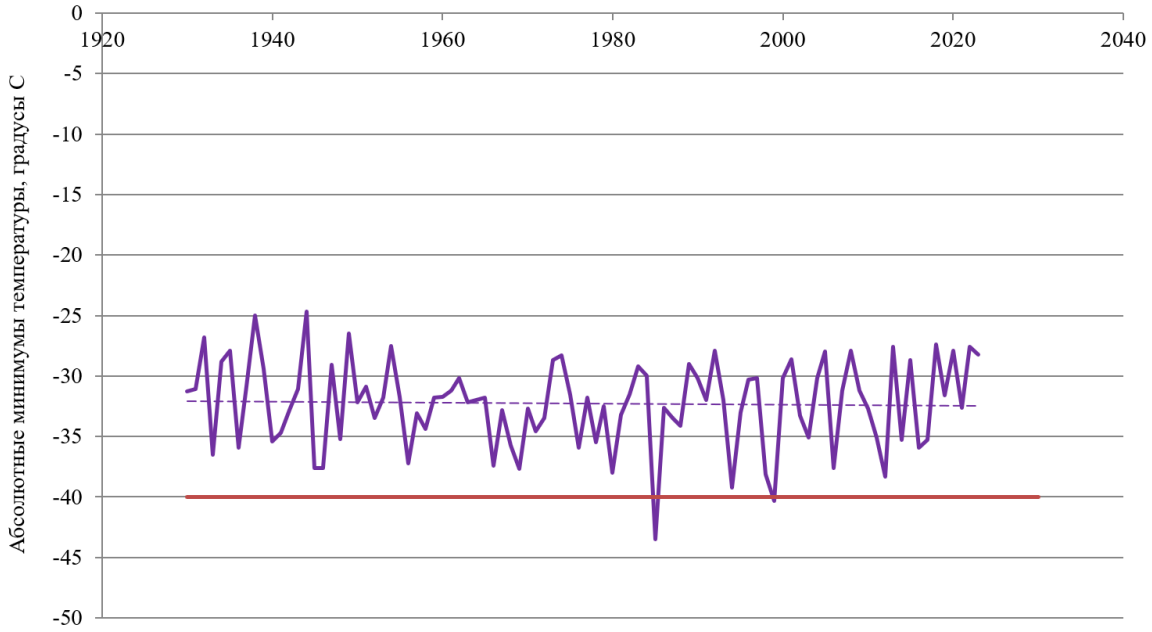


Рисунок Ж.6 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных минимумов температуры воздуха (Сортавала)

а)



б)

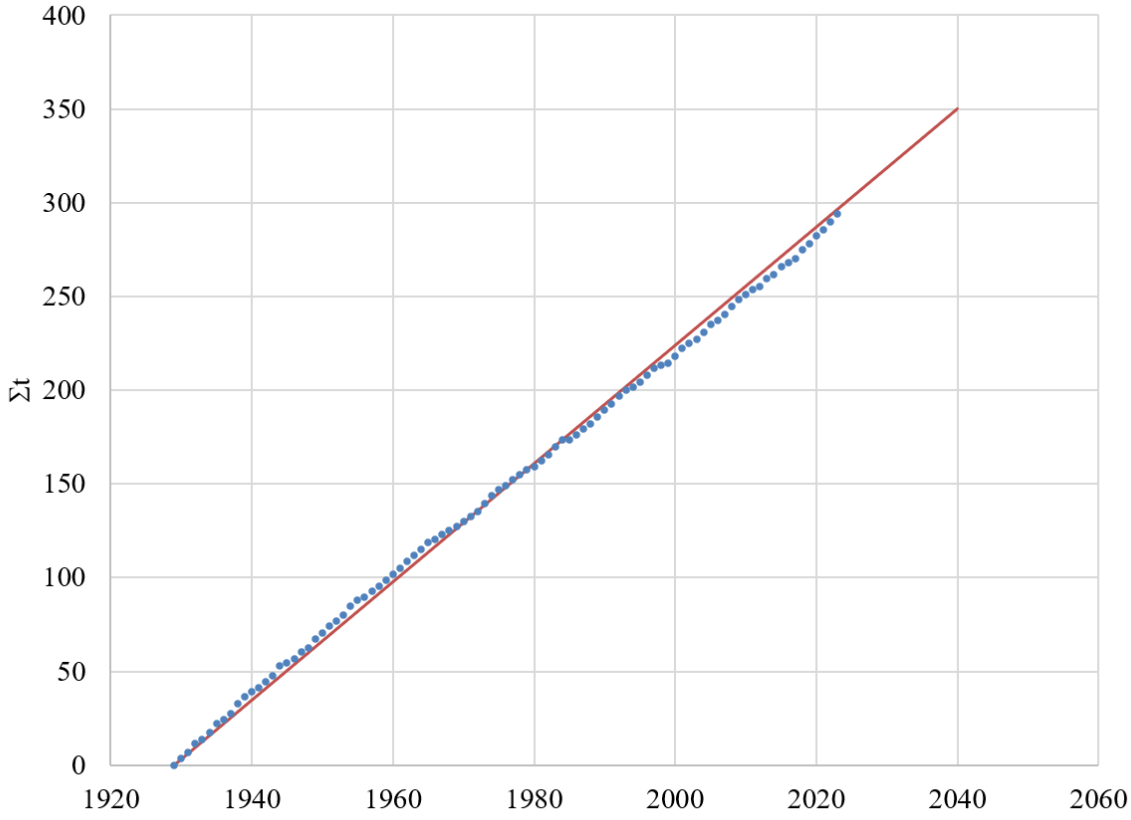
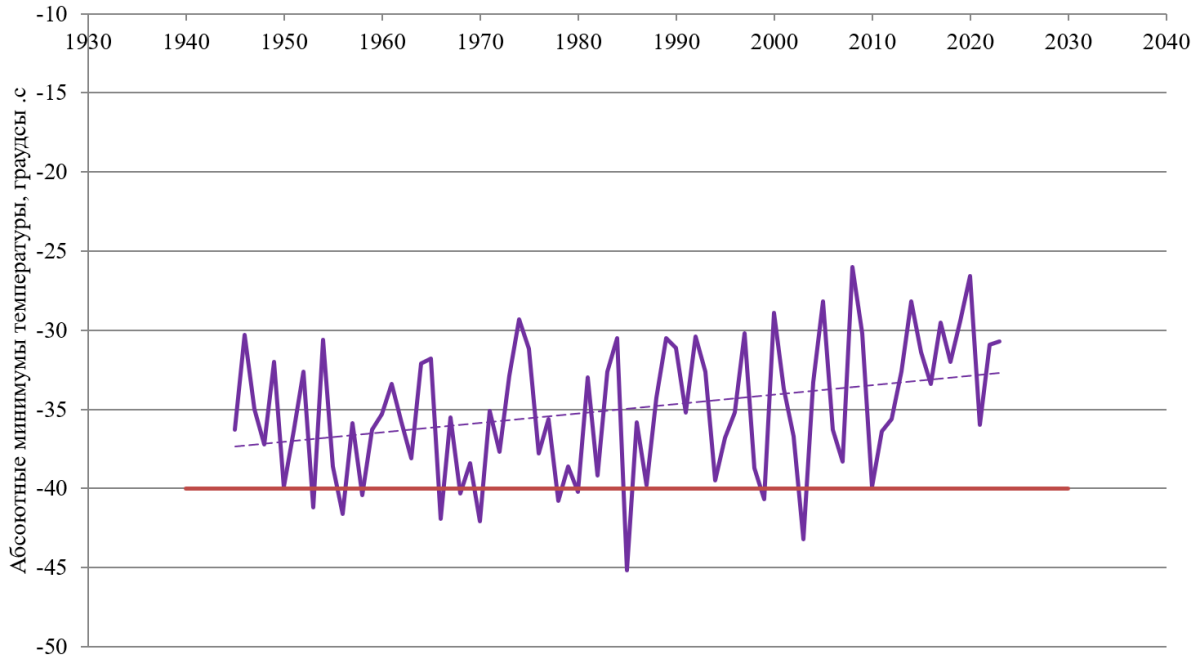


Рисунок Ж.7 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных минимумов температуры воздуха (Кандалакша)

а)



б)

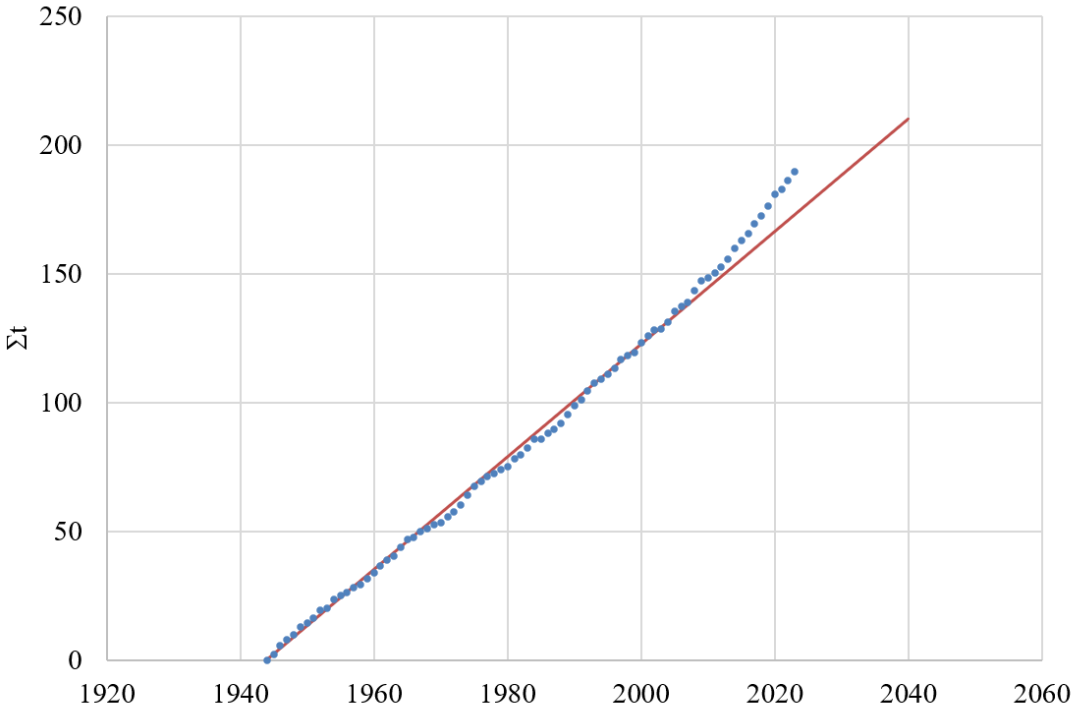


Рисунок Ж.8 – Хронологический график (а) и интегральные кривые (б) абсолютных минимумов температуры воздуха (Реболы)