



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)

Определение расчетного

На тему _____

судоходного уровня с учетом

влияния климатических изменений

Исполнитель

Куликова Дарья Николаевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

К.Т.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Девятов Владимир Сергеевич

(фамилия, имя, отчество)

Консультант

старший преподаватель

(ученая степень, ученое звание)

Дрегваль Мария Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«16» июня 2026г.

Санкт-Петербург
2026 г.

Содержание

	Введение	3
1.	Физико-географические характеристики бассейна реки Сухона	4
1.1	Географическое положение	4
1.2	Рельеф	4
1.3	Климат	5
1.4	Речная сеть	7
1.5	Ледовый режим	8
1.6	Водный режим	9
1.7	Гидрологическая изученность района исследования	10
1.8	Судоходство	12
1.9	Инженерно-мостовая инфраструктура	15
2.	Метод определения расчетного судоходного уровня	17
2.1	Определение класса водного пути	17
2.2	Классическая нормативная концепция РСУ	18
2.3	Определение РСУ для участков рек	19
2.4	Специфика климатических изменений и их влияние на внутренние водные пути	20
3.	Исходные данные для исследования	21
3.1	Метеорологические данные для исследования	21
3.2	Гидрологические данные для исследования	30
4.	Определение расчетного судоходного уровня на реке Сухона	33
4.1	Определение расчетной продолжительности навигации	33
4.2	Определение продолжительности суточного стояния воды выше расчетного судоходного уровня	37
4.3	Определение отметки расчетного судоходного уровня	41
4.4	Определение обеспеченного уровня	42
	Заключение	43
	Список использованной литературы	44
	Приложение А	47
	Приложение Б	60
	Приложение В	61
	Приложение Г	62
	Приложение Д	70

В условиях зафиксированной нестационарности климатический условий появляется необходимость пересмотра нормативно-методической базы гидрологического проектирования на внутренних водных путях (ВВП) Северо-Запада России.

Актуальность данной работы заключается в том, что река Сухона является главной воднотранспортной артерией Вологодской области, входящей в состав Северо-Двинского водного пути. Река обеспечивает сквозное движение судов между бассейнами Волги, Балтийского и Белого морей. Использование гидрологических рядов без учета изменений климата приводит к ошибкам, что выражается в недооценке заторных максимумов уровней воды в нижнем течении Сухоны и завышении или занижении меженных гарантированных глубин. В результате растут экономические убытки транспортных компаний от недогруза судов в летнюю межень.

Целью настоящей работы является оценка расчета судоходного уровня реки Сухона. В работе использованы данные наблюдений над уровнем воды по гидрологическим постам: Рабаньга (код 70085) с 1943г. по 2023г., Тотьма (код 70091) с 1943г. по 2023г., Каликино (код 70098) с 1943г. по 2023г.

Для достижения поставленной цели мною были решены следующие задачи:

1. Подбор метеорологических и гидрологических постов в исследуемом районе.
2. Сбор данных по выбранным метеорологическим и гидрологическим постам.
3. Выявление периода изменения климатических условий на основании метеорологических данных по выбранным метеостанциям.
4. Расчет судоходного уровня на основании данных:
 1. За весь период наблюдений (81 год).
 2. Период до изменений климата с 1943г. по 1994г. ().
 3. Современный период, после изменения климата с 1995г. по 2023г.
5. Анализ полученных результатов изменения уровня реки Сухона.

1. Физико-географические характеристики бассейна реки Сухона

1.1. Географическое положение

Река Сухона на всем своем протяжении течет в Вологодской области в общем направлении на северо-восток. Река берет начало в Кубенском озере и в устье сливается с правобережной рекой Юг, образуя исток реки Северная Двина. Длина реки Сухона 554 км, площадь водосбора 50 300 км². Бассейн Сухоны расположен в лесной зоне, речная сеть развита хорошо и составляет 0,51 км /км².



Рисунок 1 – Река Сухона на карте

Главными притоками реки являются реки – Вологда, Лежа и Двиница.

С административно-территориальной точки зрения водосборная площадь реки находится в пределах Вологодской области, охватывая территорию Вологодского, Сокольского, Междуреченского, Тотемского, Тарногского, Нюксенского и Великоустюгского муниципальных районов.

Бассейн Сухоны граничит:

- На западе и северо-западе – с бассейнами рек Онеги и Балтийского моря;
- На юге – с бассейном Волги;
- На востоке и северо-востоке – с бассейнами рек Юг и Вычегда.

1.2. Рельеф

Река Сухона является редким примером равнинной реки, имеющей сбросовый продольный профиль, при котором уклоны увеличиваются вниз по реке.

Общее падение реки Сухона составляет 55,9 м. Коэффициент извилистости равен 1,4.

По характерным морфологическим особенностям реку Сухона можно разделить на три участка:

- от истока до селения Ноземские Исады (554—452 км);
- от селения Ноземские Исады до селения Камчуга (452—247 км);
- от селения Камчуга до устья (247—0 км).

На участке от истока до селения Ноземские Исады берега реки Сухона низкие, пойменные. Ширина русла реки в межень изменяется от 80 до 150 м. В половодье река разливается по всей долине, ширина которой местами достигает 10 км и более. Общее падение реки на участке составляет 0,5 м.

Ниже селения Ноземские Исады берега реки повышаются. Пойма здесь узкая, преимущественно односторонняя. Во многих местах поймы нет совсем. Ширина долины реки в среднем 300—400 м. Кое-где долина расширяется до 1 км, а местами сужается до 200 м. Общее падение реки на участке составляет 6,2 м.

Ниже селения Камчуга пойма почти полностью отсутствует. Река протекает в высоких и крутых берегах, иногда обрывистых. Долина реки сужается до 250—300 м и только на последних 100 км снова несколько расширяется, достигая местами 400—500 м. Общее падение реки на участке составляет 49,2 м.

Коренные берега реки Сухона почти на всем ее протяжении покрыты лесом; пойменные участки преимущественно луговые, кое-где поросшие кустарником. Берега сложены из глины и песчаников, местами переслаивающихся с известняками. Повсюду на берегах имеются одиночные камни-валуны. Дно реки сложено плотными не размывающимися грунтами, это в основном глина с камнем и мергелем, кое-где встречаются галька и гравий с камнями, скальные породы.

1.3. Климат

Бассейн реки Сухоны расположен в подзоне средней и южной тайги, в области умеренно-континентального климата со значительным влиянием атлантического и арктического воздушного переноса. Зима в регионе продолжительная, умеренно холодная, со стабильным снежным покровом; лето относительно короткое, умеренно теплое. Циркуляционные процессы

характеризуются частой сменой воздушных масс, обуславливающей высокую межсуточную и межгодовую изменчивость метеоэлементов.

Среднегодовая температура воздуха за период 1991–2026 гг. испытала статистически значимый положительный сдвиг. В западной части бассейна (метеостанция Вологда) она увеличилась с $+0,9^{\circ}\text{C}$ до $+2,5^{\circ}\text{C}$ (сдвиг на $+1,6^{\circ}\text{C}$). В восточной, приустьевой части (метеостанция Великий Устюг) среднемноголетняя температура перешла через нулевую отметку, увеличившись с $-0,3^{\circ}\text{C}$ до $+1^{\circ}\text{C}$ (сдвиг $+1,3^{\circ}\text{C}$).

Наиболее интенсивный рост температур зафиксирован в холодное полугодие (декабрь — февраль). Средняя температура января повысилась на $+2,8^{\circ}\text{C}$. Это повлекло за собой резкое увеличение частоты и продолжительности зимних оттепелей. Если в исторический период число дней с положительной температурой воздуха в январе-феврале не превышало 3–4 за сезон, то в современный период этот показатель достиг 12–14 дней. Летние температуры (июль) также выросли, но менее интенсивно — на $+0,8 \dots +1,1^{\circ}\text{C}$.

Годовая сумма атмосферных осадков в среднем по бассейну увеличилась на 9–11% — с 610 мм до 675–690 мм. Однако их внутригодовое распределение трансформировалось коренным образом. Зафиксирован устойчивый рост осадков в холодный период года (ноябрь — март) на 15–18%. Изменилась и фазовая структура осадков: доля чисто твердых осадков (снега) снизилась на 12%, уступив место смешанным (мокрый снег) и жидким (дождь) осадкам, выпадающим во время зимних оттепелей.

Несмотря на увеличение зимних осадков, устойчивый тренд к повышению температуры воздуха обусловил сокращение продолжительности залегания стабильного снежного покрова в среднем на 8–11 дней. Сроки формирования устойчивого снежного покрова сместились с конца октября на середину ноября. Сроки начала снеготаяния передвинулись с середины апреля на конец марта — первую декаду апреля.

Максимальная высота снежного покрова, фиксируемая перед началом весеннего снеготаяния, снизилась на метеостанциях Тотьма и Нюксеница в среднем с 64 см до 51 см. Плотность снега при этом возросла с $0,24 \text{ г/см}^3$ до $0,29 \text{ г/см}^3$ за счет процессов циклического подтаивания и последующего замерзания. Это привело к

формированию в снежной толще множественных ледяных корок, что существенно меняет условия инфильтрации талых вод в почвогрунты весной. Средний максимальный влагозапас в снежном покрове перед началом половодья сократился со 155 мм до 132 мм.

1.4. Речная сеть

Речная сеть бассейна Сухоны обладает сложной, асимметричной структурой дренирования и характеризуется высокой степенью развития. Общий коэффициент густоты речной сети равен $0,51 \text{ км/км}^2$, что свидетельствует о высокой дренирующей способности русловой сети и быстрой трансформации поверхностного стока в русловую.

Всего в пределах водосбора насчитывается более 450 водотоков первого порядка и свыше 5 000 малых рек и ручьев длиной менее 10 км.

Водосборный бассейн асимметричен: правобережная часть занимает около 58% площади и развита более интенсивно за счет притоков, стекающих с возвышенности Северные Увалы. Левобережная часть (42%) преимущественно плоские, заболоченные ландшафты Верхнесухонской и Прикубенской низин.

Основные гидрологические узлы и лимитирующие притоки:

- Река Вологда (правый приток, длина 155 км, площадь бассейна 3 030 км²). Впадает в Сухону на 478-м км от устья. Обладает быстрым развитием половодья, принося в устьевой створ значительные объемы талых вод в ранние сроки.

- Река Лежа (правый приток, длина 178 км, площадь бассейна 3 550 км²). Впадает практически в одно устье с рекой Вологдой (477-й км). Совместно с Вологдой формирует мощный гидравлический фронт, обуславливающий явление обратного течения в Верхней Сухоне.

- Река Двиница (левый приток, длина 174 км, площадь бассейна 2 400 км²). Впадает на 433-м км. Протекает по сильно заболоченной низине, характеризуется затяжным, сглаженным пиком половодья.

- Река Царева (левый приток, длина 46 км, общая система с р. Вожей составляет крупный узел). Впадает на 265-м км, вносит существенный вклад в формирование стока Средней Сухоны.

– Река Уфтюга (левый приток, длина 134 км, площадь бассейна 2 360 км²). Впадает в Нижнюю Сухону на 212-м км. Отличается высокими модулями стока весеннего половодья.

– Река Стрельна (левый приток, длина 104 км, площадь бассейна 1 210 км²). Впадает на 34-м км, типичная река нижнего каньона с высокими скоростями течения и каменистым руслом.

1.5. Ледовый режим

Ледовые процессы на реке Сухоне характеризуются исключительной сложностью, динамичностью и часто принимают опасный гидрологический характер.

Главным фактором, усложняющим ледовый режим, является географическая ориентация русла с юго-запада на северо-восток: вскрытие реки начинается в более теплых южных широтах верховьев и распространяется вниз по течению в районы, где ледяной покров еще сохраняет зимнюю прочность.

Процесс замерзания реки и установления ледостава начинается в конце октября или первой половине ноября на нижнем участке и распространяется вверх по течению. Появление первых ледовых образований (заберегов, сала и внутриводного льда) сопровождается интенсивным ходом шуги, продолжающимся от 10 до 25 дней. Из-за высокой турбулентности потока на средних и нижних участках (в районах каменистых перекатов) шуга затягивается под кромку льда, формируя мощные зажоры. Зажорные явления приводят к стеснению живого сечения русла, в результате чего зимние уровни воды в ноябре – декабре могут локально повышаться на 2–3,5 м. Период стабильного ледостава длится от 140 до 160 суток. Из-за климатического потепления толщина льда уменьшилась со средней многолетней величины 65–75 см. до 45–55 см.

Вскрытие Сухоны происходит во второй половине апреля с верхнего течения, где весеннее потепление начинается раньше, и сопровождается мощным, разрушительным ледоходом. Волна попуска талых вод из верховьев взламывает ледяной покров нижних участков механическим путем. Перемещающиеся массы льда сталкиваются с сужениями долины, крутыми излучинами и мелководными

перекатами в районе от Тотьмы до Великого Устюга, что ежегодно приводит к образованию катастрофических заторов льда.

В зонах заторов (особенно в створе Великого Устюга и устья р. Юг) заторные подъемы уровней воды достигают экстремальных отметок — до 10–13 м над урезом межени. Это вызывает затопление обширных прибрежных территорий и объектов транспортной инфраструктуры.

Под влиянием современных климатических изменений параметры ледового режима претерпевают трансформацию:

- Даты устойчивого ледостава сместились в среднем на 7–10 суток на более поздние сроки (середина – конец ноября).
- Даты весеннего вскрытия отмечаются на 5–9 суток раньше исторических среднегодовых дат.

Общая продолжительность залегания ледяного покрова сократилась, а из-за зимних оттепелей участились случаи формирования нестабильного, многослойного льда, что изменяет динамику весеннего заторообразования.

1.6. Водный режим

По особенностям водного режима река Сухона относится к восточно-европейскому типу. Река имеет смешанное питание с преобладанием снегового — 55-65%. Дождевое питание составляет 20-25% , грунтовое — 15-20% годового стока. Для рек Сухона и Вологда характерны высокие подъемы уровня воды в период весеннего половодья, а также летние и осенние дождевые паводки. Характер весеннего половодья и высота пика паводка по мере продвижения от истока реки к устью значительно изменяются. Наивысшие весенние воды наблюдаются в среднем в первой декаде мая.

Годовой цикл водных путей Сухоны разделяется на четыре выраженные гидрологические фазы:

1. Весеннее половодье (апрель – июнь). Фаза характеризуется резким увеличением расходов воды, обусловленным снеготаянием. В этот период река проносит до 70–75% годового объема стока. Половодье сопровождается выходом воды на пойму и затоплением Присухонской низины.

2. Летняя межень (июнь – сентябрь). Наступает после спада половодья и характеризуется минимальным грунтовым питанием. Уровни воды падают до минимальных навигационных отметок.

3. Осенние паводки (октябрь – ноябрь). Связаны с прохождением затяжных атлантических циклонов. Дождевые осадки вызывают регулярные подъемы уровней воды на 1–2,5 м, временно улучшая судоходные условия перед замерзанием.

4. Зимняя межень (декабрь – март). Период исключительно подземного питания под ледяным покровом, отличающийся наименьшими расходами воды в годовом цикле.

Современные климатические изменения вызывают перераспределение стока внутри года:

- Наблюдается тренд на снижение максимальных расходов и уровней воды весеннего половодья, поскольку часть зимних снегозапасов расходуется во время зимних оттепелей.
- Сток зимнего периода (зимней межени) увеличился на 15–25% за счет частых талых вод и перехода части зимних осадков в жидкую фазу.

Феномен обратного течения (реверс стока): В фазу начала весеннего половодья реки Вологда и Лежа (правые притоки Верхней Сухоны) вскрываются значительно раньше и несут колоссальные объемы талой воды. Русло Сухоны на участке от Кубенского озера до устья Вологды имеет ничтожно малый уклон и не способно пропустить этот совместный расход.

В результате в месте слияния образуется динамический и статический подпор (гидравлическая пробка). Уровень воды в устье Вологды становится выше, чем уровень воды в Кубенском озере. Уклон русла Сухоны меняет знак на противоположный, и река начинает течь вспять — обратно в Кубенское озеро. Продолжительность реверсивного течения составляет от 3 до 18 суток, а объем оборотного стока достигает 1,2–1,5 км³ за сезон, что временно превращает Верхнюю Сухону в протоку озерного типа.

1.7. Гидрологическая изученность района исследования

Систематический гидрологический мониторинг в бассейне Сухоны ведется с конца XIX века (первые водомерные посты открыты в 1881–1883 гг. в связи с

развитием судоходства по Северо-Двинской системе). В настоящее время опорная сеть наблюдений Филиала ФГБУ "Северное УГМС" (Вологодский ЦГМС) включает ряд ключевых гидрологических постов (ГП), обладающих длинными и однородными рядами наблюдений:

Таблица 1 – Перечень гидрологических постов на реке Сухона

Гидрологический пост	Расстояние от устья, км	Тип наблюдений	Период непрерывных наблюдений	Гидрологическое значение створа
ГП Рабанга	557	Уровень, расход, лед, Т	с 1887 г. по н.в.	Исток, зона регулирующего влияния Рабанской плотины
ГП Тотьма	274	Уровень, расход, лед, Т, мутность	с 1876 г. по н.в.	Центр бассейна, репрезентативный створ Средней Сухоны, расчет водного баланса, прогнозирование паводков
ГП Порог	169	Уровень, расход, лед, Т	с 1876 г. по н.в.	Нижний створ, прогнозирование паводков в районе Великого устья, оценка суммарного стока перед слиянием
ГП Березовая слободка	166	Уровень, расход, лед	с 1940 г. по н.в.	Оценка стока после ряда крупных притоков
ГП Нюксеница	163	Уровень, лед	с 1915 г. по н.в.	Верхний створ Нижней Сухоны, транзитная зона
ГП Полдарса	120	Уровень, лед	с 1960 г. по н.в.	Дополнительный створ в нижнем течении
ГП Каликино	39	Уровень, расход, лед, Т	с 1940 г. по н.в.	Граница Верхней и Средней Сухоны
ГП Великий Устюг	0	Полный комплекс: уровень, расход, мутность, лед,	с 1913 г. по н.в.	Замыкающий створ, эпицентр катастрофических заторов

		Т, химический состав		
--	--	----------------------------	--	--

Данные этих постов депонированы в Государственном водном реестре (ГВР) и автоматизированной системе ГМЦ Росгидромета, формируя надежную основу для статистического анализа параметров нестационарности гидрологического режима.

1.8. Судоходство

В начале XIX века благодаря усилиям герцога Александра Фридриха Карла фон Вюртембергского и крестьянам из окрестных деревень Кирилловского уезда строится Северо-Двинская система шлюзов имени герцога Вюртембергского, которая связывает бассейны Волги и Северной Двины надежным водным путем.

Со второй половины XIX века начинаются масштабные мероприятия по улучшению судоходных условий. Углубляют мели на участке между Вологодой и Кубенским озером, расчищают фарватер, обозначают его бакенами. В сложных местах с порогами и перекатами создают лоцманские артели из специалистов, знающих местный фарватер. Активно ведутся гидрологические исследования: на реке появляются водомерные посты.

На сегодняшний день транспортно-эксплуатационные условия и гарантированные габариты судового хода поддерживаются Администрацией Северо-Двинского бассейна внутренних водных путей посредством проведения регулярных путевых работ: дноуглубления, строительство полузапруд, поддержание береговой и плавучей навигационной обстановки.

В конце июня – начале июля на Нижней Сухоне часто вводятся жесткие ограничения по осадке судов. В маловодные навигации регулярное сквозное грузовое судоходство крупнотоннажного флота на этом участке может полностью приостанавливаться. Флот вынужден переваливать груз на мелкосидящие суда, или навигация завершается досрочно, что наносит значительный экономический ущерб лесопромышленному комплексу Вологодской и Архангельской областей.

Современное климатическое потепление и вызываемая им нестационарность уровня режима (обострение летнего маловодья) существенно сокращают продолжительность периода с гарантированными проектными глубинами на

незарегулированных плесах Сухоны. Это требует корректировки методов расчета и обоснования расчетного судоходного уровня (PCY) как базового нормативного критерия для обеспечения безопасности плавания и проектирования гидротехнических сооружений.

Сухона судоходна на всем протяжении. Наиболее интенсивно судоходство на реке осуществляется в первый период навигации, при высоких уровнях воды, когда по ней транспортируются грузы, направляемые через малые реки (Юг, Луза и др.) в глубинные районы. В этот же период по реке Сухона проходят крупные суда, направляющиеся в смежные речные бассейны. В меженный период судоходные условия в нижней части реки Сухона из-за малых глубин становятся неблагоприятными. Гидроузел Знаменитый, построенный в 1928 году, завершает Северо-Двинскую шлюзованную систему, которая через реку Сухона является связующим звеном между водными путями бассейна реки Северная Двина и бассейнами рек Нева и Волга. Это повышает транспортное значение реки Сухона и обеспечивает выход грузов на Волго-Балтийский водный путь. Грузооборот реки свыше 5 млн. т, 70 % его составляют лесные грузы. Лес заготавливается в районе Кубенского озера, в среднем и нижнем течении реки Сухона и сплавляется в промышленный узел Сокол. С Кирилловского карьера вывозится песчано-гравийная смесь и гравий. По реке перевозятся топливо, хлеб, оборудование и другие грузы, выполняются пассажирские перевозки. Река Вологда, правый приток реки Сухона, имеет длину 155 км. Судоходство возможно лишь на протяжении 26 км — от устья до городского пешеходного моста в городе Вологда. Вологодский речной порт осуществляет перевалку народнохозяйственных грузов (хлеб, уголь, цемент, лесоматериалы и др.) с железнодорожного транспорта на водный и с водного на железнодорожный, выполняет транспортные и погрузочно-разгрузочные работы для областного центра — города Вологда.

Путевые условия и навигационные параметры резко дифференцированы по участкам русла в соответствии с их морфологией.

— Верхний судоходный участок (исток — устье р. Вологды):

Судоходные условия здесь относительно благоприятные и стабильные в течение всей навигации. Гарантированные глубины поддерживаются за счет

аккумулирующей емкости Кубенского озера и регулирования сбросных расходов через Рабанскую плотину Знаменитого гидроузла. Русло здесь глубокое (меженные глубины на плесах 2,5–4,0 м), скорости течения минимальны.

Главным лимитирующим фактором здесь выступает высокая извилистость русла (малые радиусы закругления судового хода — до 150–200 м), что накладывает жесткие ограничения на длину составов и габариты судов. В фазу весеннего реверса стока судоходство временно усложняется из-за изменения знака скоростей течения и выноса торфяных сплавных островов из пойменных болот.

– Средний и Нижний судоходные участки (от устья р. Вологды до Великого Устюга):

Судоходство носит ярко выраженный двухфазный характер. В период весеннего половодья и в течение 20–30 дней после его окончания (май — июнь) уровни воды высоки, что позволяет осуществлять транзитное движение крупнотоннажных судов, судов смешанного «река-море» плавания и буксирных составов с осадкой до 2,2–2,6 м. В этот период завозятся основные объемы грузов (уголь, нефтепродукты, строительные материалы) в отдаленные районы Севера.

С июля по сентябрь наступает период глубокой летне-осенней межени. Уровни воды падают на 3–5 м ниже весенних отметок. Судоходство переходит в лимитированный режим. Русло Нижней Сухоны изобилует мелководными каменистыми перекатами (Опокский, Корыто, Копытовский и др.), сложенными плотными пермскими глинами и валунами, которые не поддаются традиционным методам дноуглубления (земснарядам). Глубины судового хода на этих перекатах в маловодные годы могут снижаться до 0,6–0,7 м.

Это полностью блокирует транзитный флот и вынуждает использовать мелкосидящие суда-паузки или полностью приостанавливать навигацию. Под влиянием климатического потепления меженные глубины в последние годы несколько стабилизировались за счет роста подземного стока, однако экстремально маловодные навигации (например, 2010 и 2021 гг.) по-прежнему представляют серьезную угрозу для речной логистики.

1.9. Инженерно-мостовая инфраструктура

Капитальные инженерные сооружения, возведенные через Сухону, являются опорными высотными и габаритными ограничителями при установлении расчетного судоходного уровня (PCY). Высота подмостовых пространств определяет максимальные габариты судов по высоте (надстройкам), способных пройти под мостом при наивысшем судоходном уровне воды. На реке эксплуатируются пять крупнейших мостовых переходов.

1. Автодорожный мост на федеральной трассе А-119 (Вологда – Медвежьегорск)

Расположен на 552-м км от устья, в непосредственной близости от истока. Мост имеет рамно-консольную конструкцию. В период весеннего половодья, когда уровни Кубенского озера и Верхней Сухоны максимальны (особенно при реверсе стока), подмостовой габарит существенно сокращается. Сооружение требует точной фиксации верхнего предела PCY для предотвращения столкновения верхних надстроек пассажирских и грузовых судов с пролетными строениями.

2. Железнодорожный и автодорожный мостовые переходы в г. Сокол

Локализованы на 495-м км от устья. Это важнейший транспортный узел. Железнодорожный мост принадлежит Северной железной дороге (магистраль Москва — Архангельск) и представляет собой двухпролетную сквозную металлическую ферму с нижним движением.

Рядом расположен городской автодорожный мост. Данные сооружения имеют наиболее низкие проектные подмостовые габариты на всей реке. При прохождении пиков половодья свободная высота под мостом падает до критических значений (менее 6,5 м от проектного уровня), что делает этот участок главным высотным «узким горлышком» для судов, следующих по Северо-Двинскому пути.

2. Метод определения расчетного судоходного уровня

2.1. Определение класса водного пути

Внутренние водные пути (далее – водные пути или ВВП) в зависимости от их характеристик и использования транспортным и техническим флотом подразделяют на семь классов:

1 и 2 – сверхмагистральные

3 и 4 – магистральные

5, 6 и 7 – местного значения.

Водные пути в зависимости от гарантированных (нормированных) габаритов судового хода подразделяют на участки.

Класс участка водного пути, на котором предусматривается строительство или реконструкция мостов, следует определять в соответствии с основными характеристиками, приведенными в таблице 2.

Если по гарантированной и средненавигационной глубинам судового хода участок водного пути относится к разным классам, то его следует относить к более высокому из этих классов.

Участки водных путей, на которых в расчетной перспективе не предполагается использование транспортного флота, приведенного в таблице 2, но пригодные для судоходства, следует, как правило, относить к 7-му классу.

Класс участка водного пути, как правило, не может быть выше класса нижерасположенного участка. Исключение составляют водные пути, на которых увеличение гарантированной глубины происходит снизу вверх по течению или на которых местные перевозки имеют более развитый характер, чем транзитные.

Средненавигационную и гарантированную глубины следует определять в соответствии с действующими рекомендациями по определению класса внутренних водных путей.

Таблица 2 – Основные характеристики водных путей и транспортного грузового флота.

Класс водного	Глубина судового хода на перспективу	Расчетные ширина/длина	Расчетная надводна
---------------	--------------------------------------	------------------------	--------------------

пути (участка)			состава		я высота судна
	гарантирован -ная	средненавига - ционная	судовог о	плотовог о	
1 – сверхма- гистральны е	св. 3,2	св. 3,4	36/220 или 29/280	110/830 или 75/950	15,2
2 – то же	Св. 2,5 до 3,2	Св. 2,9 до 3,4	36/220	75/950	13,7
3 – магист- ральные	Св. 1,9 до 2,5	Св. 2,3 до 2,9	21/180	75/680	12,8
4 – то же	Св. 1,5 до 1,9	Св. 1,7 до 2,3	16/160	50/590	10,4
5 – местного назначения	Св. 1,1 до 1,5	Св. 1,3 до 1,7	16/160	50/590	9,6
6 – то же	Св. 0,7 до 1,1	Св. 0,9 до 1,3	14/140	30/470	9,0
7 – то же	0,7 и менее	Св. 0,6 до 0,9	10/100	20/300	6,6

2.2. Классическая нормативная концепция РСУ

В практике гидротехнического проектирования водных путей базовыми понятиями, регламентирующими глубины для судоходства, являются:

- Наинизший расчетный судоходный уровень (НРСУ) — уровень воды, отметка которого рассчитывается по многолетним рядам ежедневных наблюдений в навигационный период. Он служит нулевой плоскостью отсчета для гарантированных габаритов судового хода (глубины и ширины).

- Наивысший расчетный судоходный уровень (РСУ) — предельно высокая отметка водной поверхности, при которой обеспечиваются минимально допустимые подмостовые габариты безопасности для пропуска расчетных судов.

Согласно действующему ГОСТ 26775–97 «Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях», определение этих уровней для свободных (зарегулированных) рек выполняется методом построения эмпирических и теоретических кривых распределения вероятностей (кривых обеспеченности).

Для водных путей разного класса нормативная обеспеченность уровней варьируется. Например, для магистральных водных путей I–III классов НРСУ принимается с навигационной обеспеченностью 90–95%, что означает допустимость падения уровней ниже расчетного значения в среднем не более чем на 5–10% от продолжительности физической навигации.

2.3. Определение РСУ для участков рек

2.3.1. Определяют расчетную продолжительность физической навигации T , сут, как среднеарифметическое значение этих периодов за все годы наблюдений (не менее 10 лет).

2.3.2. Определяют допускаемую для данного класса водного пути продолжительность t , сут, стояния уровней воды выше РСУ по формуле:

$$t = \frac{K \cdot T}{100} , \quad (1)$$

где K – коэффициент допускаемого снижения продолжительности физической навигации, принимаемый равным: 5 – для водных путей 1-го и 4-го классов, 6 – для 2-го и 3-го классов, 3 – для 5-го класса, 2 – для 6-го и 7-го классов.

2.3.3. По данным гидрометрических наблюдений строят графики хода уровней воды в период прохождения паводков или половодий (далее — паводков) $H = f(t)$ для всех лет наблюдений и по ним определяют уровни воды H_t , превышаемые более высокими уровнями в течение t , сут.

2.3.4. Полученные значения уровней H , располагают (в табличной форме) в порядке убывания и для каждого из них определяют эмпирическую вероятность превышения P , %, по формуле:

$$P = \frac{m}{n+1} * 100 , \quad (2)$$

где m – порядковый номер уровня воды

n – число лет гидрометрических наблюдений.

2.3.5. На основе полученных значений H_t и P строят график $H_t = f(P)$, по которому определяют отметку РСУ в зависимости от расчетной вероятности превышения $P_d\%$, принимаемой равной: 2 — для водного пути 1-го класса, 3 — для 2-го класса, 4 — для 3, 6 и 7-го классов, 5 — для 4-го и 5-го классов.

2.4. Специфика климатических изменений и их влияние на внутренние водные пути

Региональные проявления климатических изменений на территории России крайне неоднородны, что детально зафиксировано в Оценочных докладах Росгидромета. Данная неоднородность напрямую транслируется на характер трансформации судоходных уровней в различных речных бассейнах.

Проявления климатических изменений на речных бассейнах по регионам РФ разделяют на две части:

1. Европейская часть России.
2. Сибирь и Дальний Восток.

В Европейской части России выражены: рост зимних температур, частые зимние оттепели, рост зимнего стока (до 200–300%), сглаживание весеннего половодья, затяжные летне-осенние межени, падение уровней ниже НРСУ.

В Арктической и Субарктической зонах Европейской части России на протяжении трех десятилетий наблюдаются выраженные гидроклиматические сдвиги. Традиционные методы определения расчетного судоходного уровня (РСУ), регламентируемые ГОСТ 26775-97 и СП 33-101-2003, опираются на гипотезу стационарности («вечности») климата.

В Сибири и Дальнем Востоке происходит интенсивное таяние вечной мерзлоты, рост общего годового стока, более раннее вскрытие рек, увеличение продолжительности физической навигации, рост опасных паводков в тайге.

3. Исходные данные для исследования.

Для выполнения исследования данные наблюдений были приняты по двум метеорологическим станциям – Вологда и Котлас, трем гидрологическим постам – Рабаньга, Тотьма и Каликино.

На рисунке 2 представлена схема бассейна реки Сухона, на которой отмечены исследуемые метеорологические станции и гидрологические посты.

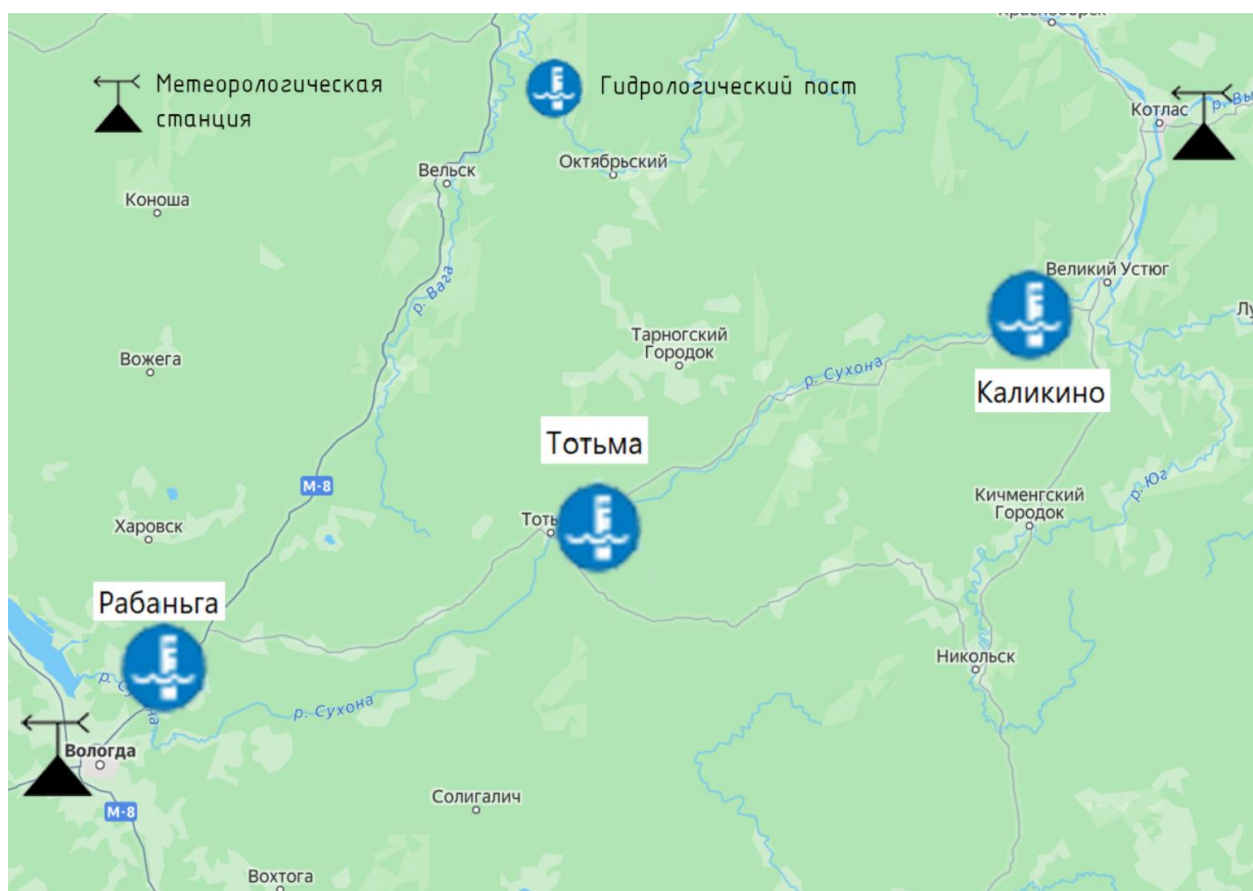


Рисунок 2 – Схема исследуемых метеорологических станций и гидрологических постов.

3.1. Метеорологические данные для исследования

Ближайшими метеорологическими станциями к бассейну реки Сухона являются Котлас (индекс ВМО 22887) и Вологда (индекс ВМО 27037). Данные наблюдений опубликованы в метеорологических ежемесячниках и климатических справочниках.

На рисунке 3 представлена метеорологическая станция Котлас. Она расположена в Архангельской области, г. Котлас, Аэропорт. Станция действующая,

открыта - 1 января 1902 г. Станция находится на высоте 55 метров над уровнем моря.



Рисунок 3 – Метеорологическая станция Котлас

Первые наблюдения за погодой на метеорологической станции проводились в 1912–1917 годах. В период Октябрьской революции, Гражданской войны наблюдения приостановлены.

В апреле 1932 года была организована метеостанция при аэродроме в 1 км от города Котласа. Она была обеспечена самыми современными по тому времени приборами и оборудованием.

В исследовании мною был выделен промежуток наблюдений за температурой воздуха с 1933 г. по 2024 г.

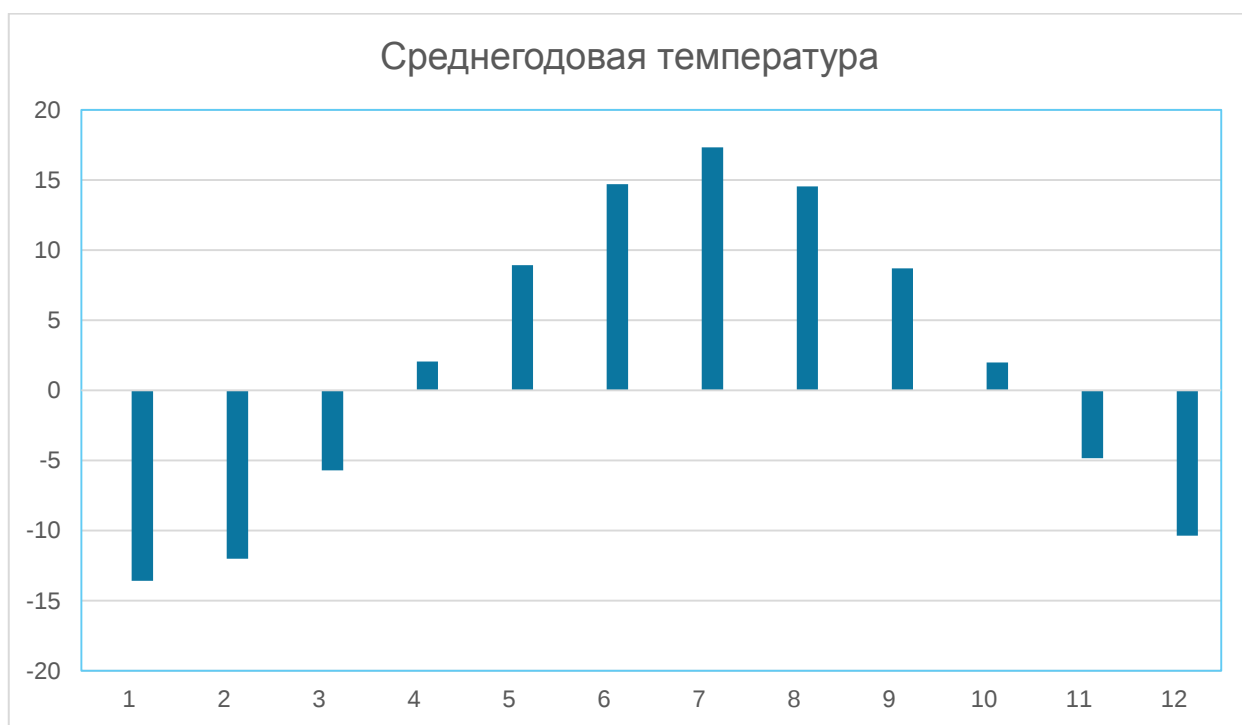


Рисунок 4 – Ход среднемесячных температур, метеорологическая станция Котлас

На графике (рисунок 4) представлен многолетний ход среднемесячных температур на метеостанции Котлас за 12 месяцев. Температурные значения находятся в диапазоне от $-15,0^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$, что указывает на умеренно-континентальный климат с холодной зимой и теплым летом. Минимальные среднемесячные значения фиксируются в зимние месяцы - январь, февраль, декабрь. Переход через 0°C в сторону положительных значений происходит в апреле, когда среднемесячная температура достигает отметки $+3,5^{\circ}\text{C}$. В летние месяцы – июнь, июль, август температура воздуха держится в диапазоне от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+17,5^{\circ}\text{C}$. Обратный ход через 0°C в сторону отрицательных значений происходит в ноябре, когда показатель температуры опускается до отметки -5°C .

Общая продолжительность периода с устойчивыми положительными среднемесячными температурами составляет семь месяцев (с апреля по октябрь включительно), а годовая амплитуда колеблется в пределах 31°C .

На рисунке 5 представлена метеорологическая станция Вологда. Она расположена в Вологодской области, Вологодском районе, д. Семеново-2. Станция действующая, открыта - 1 января 1806 г. Станция находится на высоте 125 метров над уровнем моря.

Первые метеорологические наблюдения в г. Вологда начались в 1806 году при городской гимназии (сейчас ВоГТУ) и проводились с перерывами до 1852 года. В октябре 1875 года при телеграфной станции создается первая стационарная метеорологическая станция, которая работала до 1880 года.

В 1884 году стационарные наблюдения были возобновлены при реальном училище (ныне средняя школа № 1). Метеорологическая станция работала до 1919 года. В ноябре 1919 года в пос. Молочное при молочном институте была открыта метеостанция, где проводились не только метеорологические, но и агрометеорологические наблюдения. Метеостанция работала до мая 1944 года. Первоначально она называлась Вологда-опорная, а с 1936 года - Вологда-Молочное.

В 1968 году станция переносится на территорию Опытной мелиоративной станции в д. Семенково-2 и стала она называться Вологда-Семенково. Метеоплощадка сначала располагалась на южной окраине деревни, а в 1979 году ее перенесли к новому зданию Гидрометобсерватории на северо-восточную окраину деревни. М-2 Вологда включена в список реперных климатических станций Росгидромета.



Рисунок 5 – Метеорологическая станция Вологда

В проводимом исследовании выделен промежуток наблюдений за температурой воздуха с 1885 г. по 2024 г.

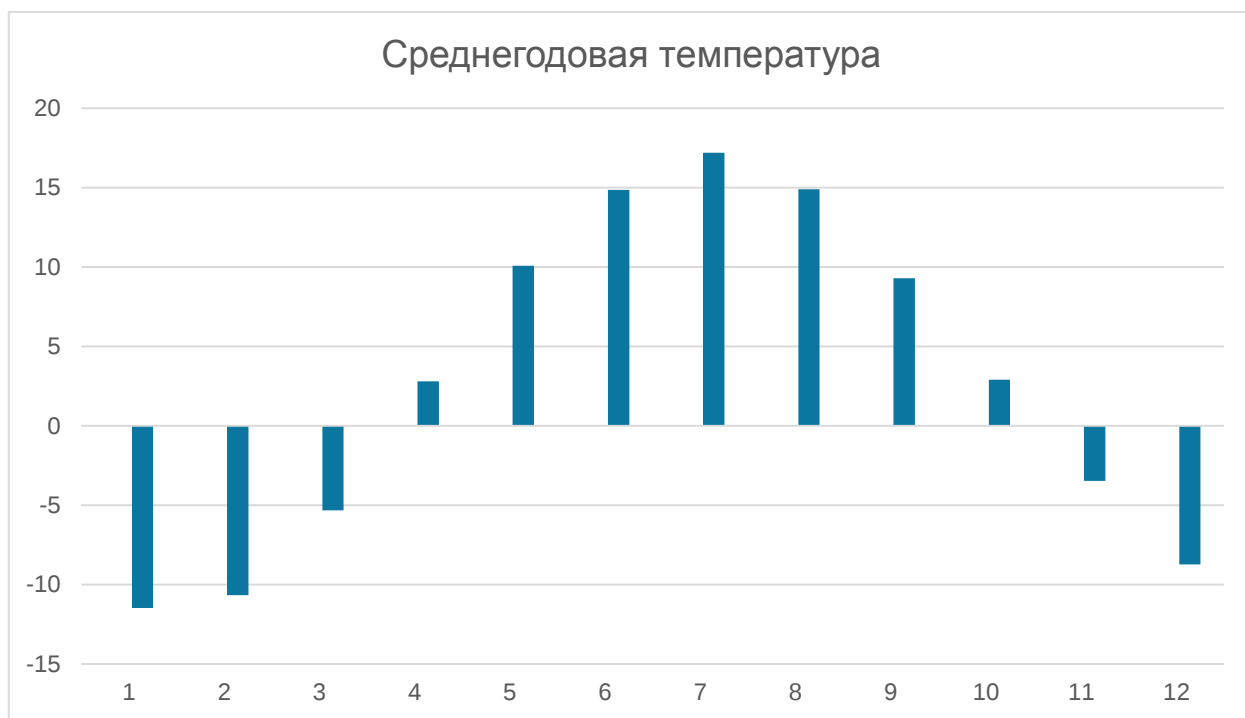


Рисунок 6 – Ход среднемноголетних температур, метеорологическая станция Вологда

На графике (рисунок 6) представлен многолетний ход среднемесячных температур на метеостанции Вологда. Наблюдается выраженная сезонная цикличность – минимальная температура регистрируется в январе, достигая отметки -12°C , к марту столбик термометра поднимается до отметки -5°C , все еще оставаясь в зоне отрицательных значений. Летом температура поднимается до отметки $+17^{\circ}\text{C}$. С наступлением осени температура начинает понижаться и в ноябре происходит обратный переход через 0°C в сторону отрицательных значений.

Общая продолжительность периода с устойчивыми положительными среднемесячными температурами составляет семь месяцев (с апреля по октябрь включительно), а годовая амплитуда колеблется в пределах 31°C , что указывает на умеренно-континентальный климат, характерный для средних широт.

Для оценки влияния климатических условий на уровень реки Сухона были взяты ряды данных наблюдений: температура с двух метеорологических станций: Котлас в период с 1933г. по 2024г., Вологда в период с 1885г. по 2024г.

Данные о месячных температурах воздуха прошли предварительный анализ, при котором были построены хронологические графики и проведена оценка значимости линейного тренда.

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $X=F(t)$.

Оценка статистической значимости линейного тренда оценивалась с помощью статистики Стьюдента.

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha} , \quad (3)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}} , \quad (4)$$

где n – длина ряда; R – коэффициент корреляции; σ_R – среднее квадратичное отклонения коэффициента корреляции; $t_{2\alpha}$ – статистика Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$.

При выполнении условия (3), условие значимости не опровергается, следовательно, тренд считается статистически незначимым. Если же условие значимости опровергается, то тренд считается статистически значимым.

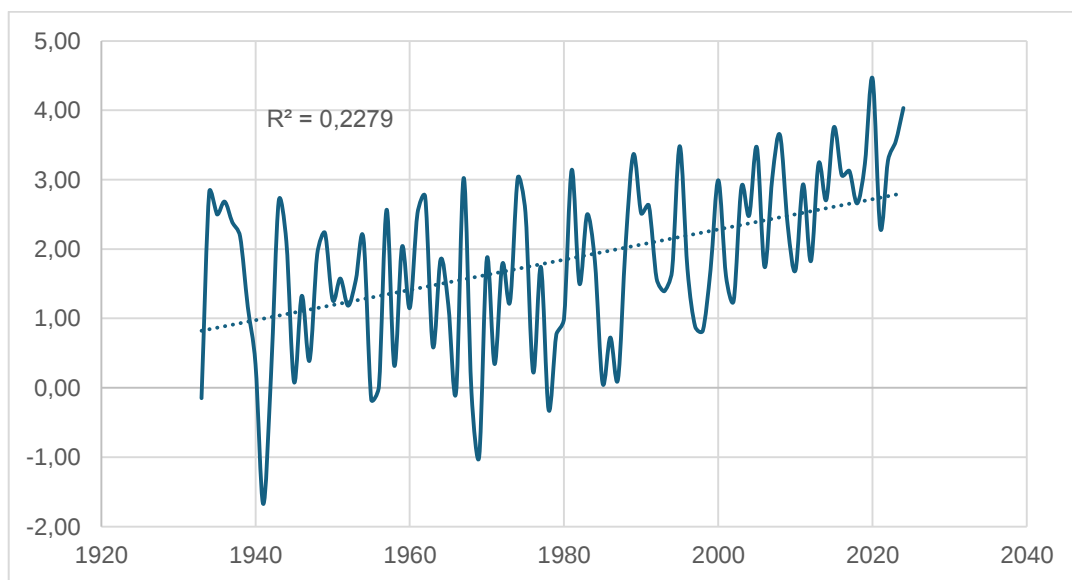


Рисунок 7 – Ход среднегодовых температур, метеорологическая станция Котлас

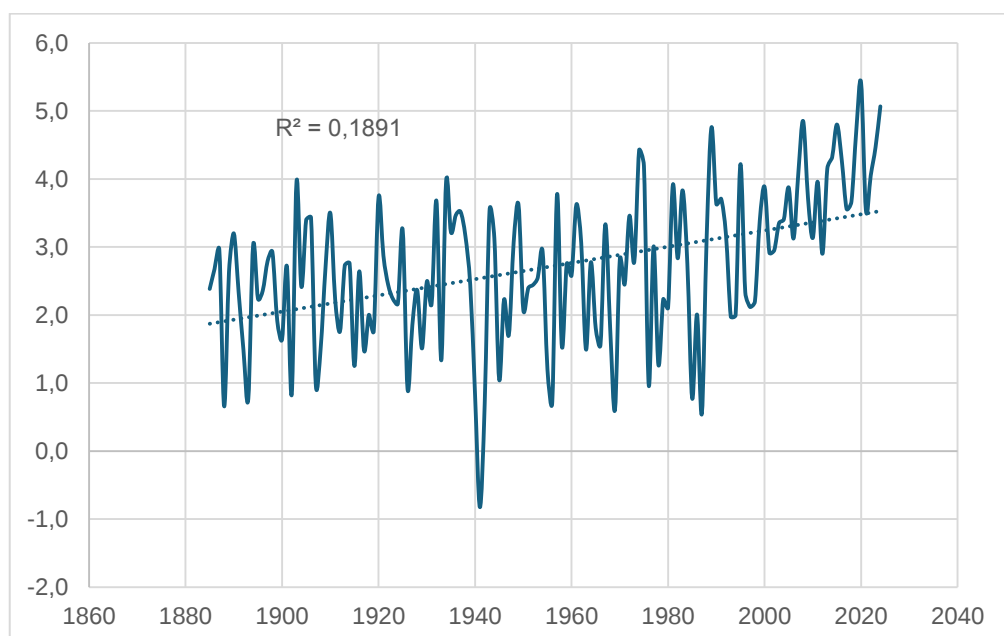


Рисунок 8 – Ход среднегодовых температур, метеорологическая станция Вологда

Таблица 3 – Оценка значимости линейного тренда

№	Индекс ВМО	Название метеорологической станции	Исследуемая характеристика – температура воздуха
1	22887	Котлас	значим
2	27037	Вологда	значим

По результатам оценки значимости линейного тренда было выявлено, что по всем метеостанциям условие значимости линейного тренда опровергается (тренд незначим). На графиках видны существенные изменения климата.

Следующим этапом была проведена проверка однородности рядов по дисперсии (критерий Фишера) и по среднему значению (критерий Стьюдента). Полученные результаты представлены в таблицах ниже.

Таблица 4 – Проверка на однородность, критерий Фишера

№	Индекс ВМО	Название метеорологической станции	Исследуемая характеристика – температура воздуха

1	22887	Котлас	однороден
2	27037	Вологда	однороден

Таблица 4 – Проверка на однородность, критерий Стьюдента

№	Индекс ВМО	Название метеорологической станции	Исследуемая характеристика – температура воздуха
1	22887	Котлас	не однороден
2	27037	Вологда	не однороден

Климатические условия оказывают прямое влияние на уровень реки.

Для того, чтобы выяснить в какой именно период времени начался скачок температуры воздуха, были построены интегральные кривые.

На рисунках ниже показаны примеры интегральной кривой для станций за имеющийся период.

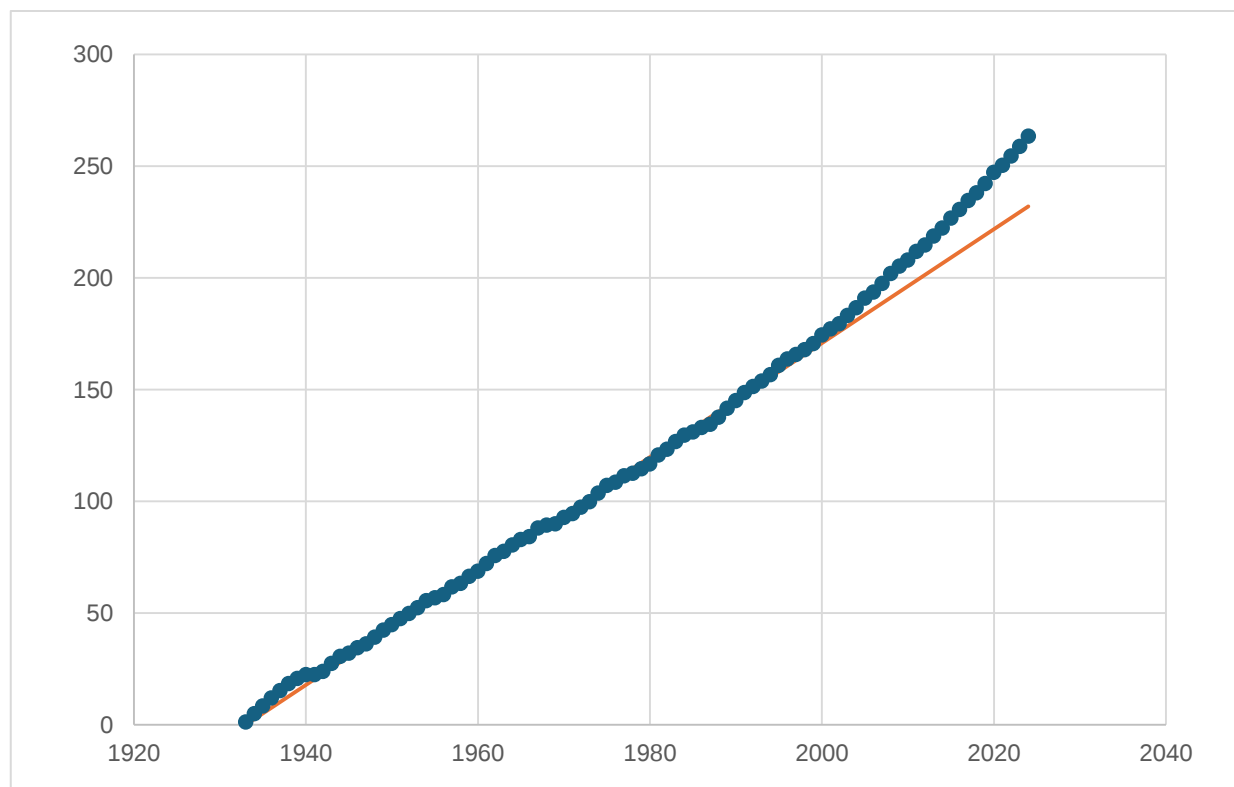


Рисунок 9 – Интегральная кривая, метеорологическая станция Котлас

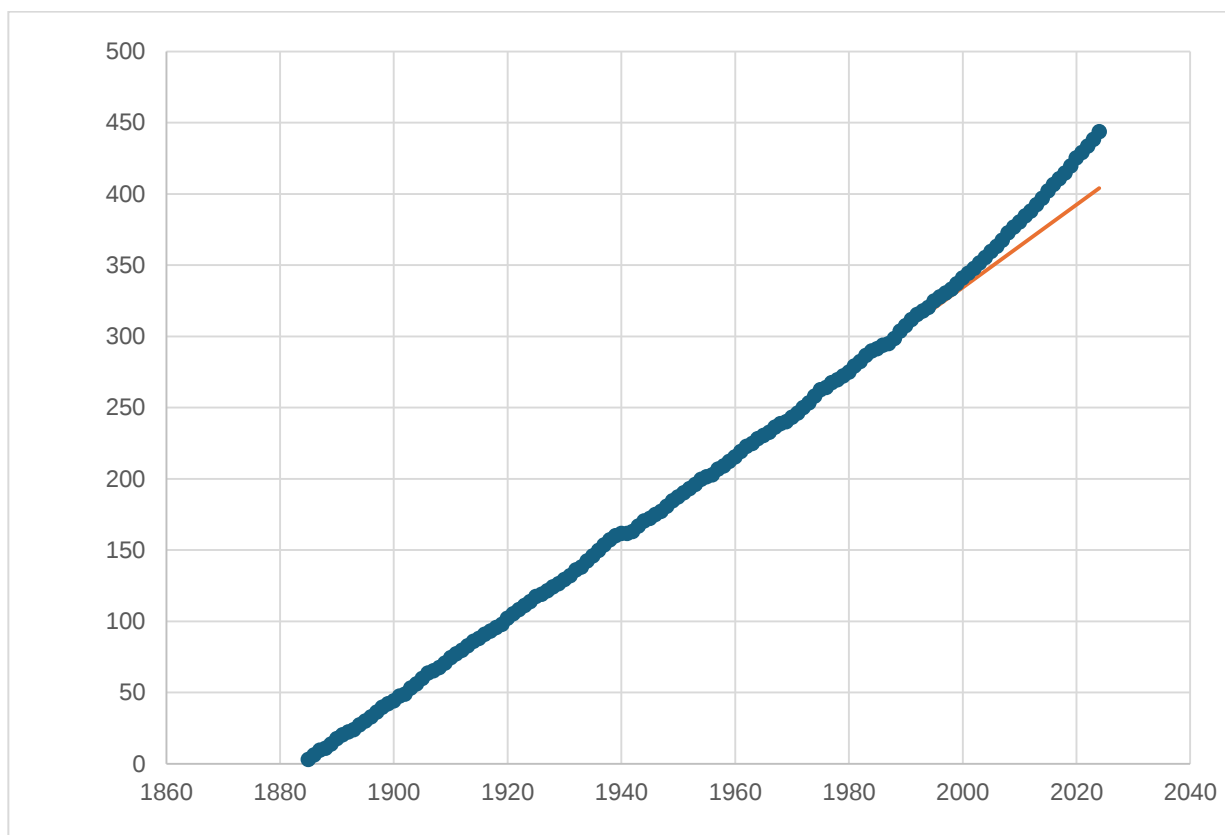


Рисунок 10 – Интегральная кривая, метеорологическая станция Вологда

Благодаря интегральным кривым отчетливо видно, что начиная с 1995 года, наблюдаются значительные изменения климатических условий.

Это необходимо учитывать при дальнейших расчетах судоходного уровня реки Сухона.

3.2. Гидрологические данные для исследования.

Для исследования были выбраны три гидрологических поста, расположенных в истоке реки, в середине и рядом с устьем.

Гидрологический пост Рабаньга (индекс поста 70085) – действующий гидрологический пост 1-го разряда. Расположен в Вологодской области у деревни Рабаньга в Сокольском районе. Гидрологический пост относится к ФГБУ «Северное УГМС» - Вологодскому центру по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Вышеуказанный пост фиксирует режим верхнего течения Сухоны. Площадь водосбора в створе поста — около 15 500 км². Пост открыт в 1877 году и является старейшим в бассейне.

Для участка выше поста характерно влияние регулирующего действия Кубенского озера: оно сглаживает резкие колебания стока, но не устраняет заторов во время весеннего ледохода.

Гидрологический пост Тотьма (индекс поста 70091) – действующий гидрологический пост 1-го разряда. Расположен в Вологодской области в городе Тотьма в Тотемском районе. Гидрологический пост относится к ФГБУ «Северное УГМС» - Вологодскому центру по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Характеризует среднее течение реки Сухоны. Площадь водосбора — около 34 800 км². Пост действует с 1876 года .

На этом участке долина реки сужается, берега становятся выше, русло — извилистее, появляются перекаты и мели, что усиливает локальные перепады уровней и скоростей течения. В створе Тотьмы среднегодовой модуль стока несколько ниже, чем в верховьях, из-за увеличения испарения и особенностей рельефа. В период весеннего ледохода в районе поста регулярно формируются заторы льда, вызывающие резкие подъемы уровня и локальные подтопления. Пост обеспечивает данные для гидрологических прогнозов и расчетов, а также для оперативного оповещения о паводковой обстановке

Гидрологический пост Каликино (индекс поста 70098) – действующий гидрологический пост 1-го разряда. Расположен в Вологодской области в деревне Каликино. Гидрологический пост относится к ФГБУ «Северное УГМС» - Вологодскому центру по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Расположен в нижнем течении Сухоны, ближе к ее слиянию с рекой Юг. Площадь водосбора в створе — около 49 200 км². Пост ведет наблюдения с 1940 года. На этом участке река становится полноводнее. В нижнем течении возрастает роль дождевых паводков. Пост играет важную роль в оценке общего стока Сухоны и в расчетах водного баланса бассейна Северной Двины

Обработаны данные о ежедневных уровнях воды в период с 1943 г. по 2023 г.

В соответствии с распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации Федерального агентства морского и речного флота №АТ-442р от

30.12.2025г. об установлении категорий внутренних водных путей, определяющих для участков внутренних водных путей габариты судовых ходов, а так же сроки работы средств навигационного оборудования и судоходных гидротехнических сооружений в навигацию 2026 года реке Сухоне, на всей ее протяженности, присвоена 2 категория внутренних водных путей.

Таблица 5 – Категории внутренних водных путей в зависимости от участка реки

№ п/п	Наименование водного пути	Верхняя граница по течению	Нижняя граница по течению	Протяженность (км)	Категория ВВП
836	Река Сухона	шлюз Знаменитый	устье р. Вологда	57	2
837	Река Сухона	устье р. Вологда	Сухая речка	140	2
838	Река Сухона	Сухая речка	г. Тотьма	75	2
839	Река Сухона	г. Тотьма	п. Камчуга	29	2
840	Река Сухона	п. Камчуга	п. Михайловка	19	2
841	Река Сухона	п. Михайловка	с.Нюксеница	66	2
842	Река Сухона	с. Нюксеница	г. Великий Устюг	159	2
843	Река Сухона	г. Великий Устюг	устье (слияние с р. ЮГ)	3	2
844	Река Сухона	шлюз Знаменитый	устье р. Вологда	57	2

4. Определение расчетного судоходного уровня на реке Сухона

4.1. Определение расчетной продолжительности навигации

Расчетную продолжительность физической навигации T , сут. определяют как среднеарифметическое значение этих периодов за все годы наблюдений (не менее 10 лет).

В проводимом исследовании в период с 1943г. по 2023г. был выделен период свободного русла, представленный в таблице 6, таблице 7, таблице 8

Таблица 6 – Свободное русло в период с 1943 г. по 2023 г., гидрологический пост – Рабаньга

№ п/п	Свободное русло начало	Свободное русло конец	Кол-во дней	№ п/п	Свободное русло начало	Свободное русло конец	Кол-во дней
1	01.04.1943	26.10.1943	209	42	14.04.1984	10.11.1984	211
2	04.05.1944	30.10.1944	180	43	25.04.1985	28.10.1985	187
3	06.05.1945	18.10.1945	166	44	14.04.1986	13.11.1986	214
4	30.04.1946	12.10.1946	166	45	15.04.1987	24.10.1987	193
5	26.04.1947	25.10.1947	183	46	07.04.1988	25.10.1988	202
6	19.04.1948	09.11.1948	205	47	06.03.1989	15.11.1989	255
7	11.04.1949	08.10.1949	181	48	03.04.1990	31.10.1990	212
8	14.04.1950	30.10.1950	200	49	10.04.1991	29.10.1991	203
9	11.04.1951	26.10.1951	199	50	17.04.1992	11.10.1992	178
10	22.04.1952	27.10.1952	189	51	18.04.1993	26.10.1993	192
11	22.04.1953	30.10.1953	192	52	23.04.1994	21.10.1994	182
12	16.04.1954	17.11.1954	216	53	13.04.1995	01.11.1995	203
13	30.04.1955	01.11.1955	186	54	21.04.1996	04.12.1996	228
14	04.05.1956	29.10.1956	179	55	17.04.1997	25.10.1997	192
15	29.04.1957	17.11.1957	203	56	01.05.1998	09.11.1998	193
16	29.04.1958	08.11.1958	194	57	20.04.1999	04.11.1999	199
17	20.04.1959	16.10.1959	180	58	14.04.2000	14.11.2000	215
18	19.04.1960	18.10.1960	183	59	11.04.2001	12.11.2001	216
19	19.04.1961	10.11.1961	206	60	14.04.2002	13.10.2002	183
20	18.04.1962	09.11.1962	206	61	17.04.2003	25.10.2003	192
21	21.04.1963	30.10.1963	193	62	16.04.2004	18.11.2004	217
22	15.04.1964	04.11.1964	204	63	23.04.2005	26.10.2005	187
23	19.04.1965	20.10.1965	185	64	15.04.2006	20.10.2006	189
24	16.04.1966	29.10.1966	197	65	15.04.2007	04.11.2007	204
25	09.04.1967	19.11.1967	225	66	08.04.2008	20.11.2008	227
26	07.04.1968	23.10.1968	200	67	19.04.2009	01.11.2009	197
27	23.04.1969	30.10.1969	191	68	30.04.2010	08.11.2010	193
28	10.04.1970	30.10.1970	204	69	19.04.2011	06.11.2011	202
29	10.04.1971	25.10.1971	199	70	28.04.2012	28.10.2012	184
30	14.04.1972	01.11.1972	202	71	27.04.2013	23.10.2013	180
31	07.04.1973	20.10.1973	197	72	12.04.2014	18.10.2014	190
32	30.04.1974	10.11.1974	195	73	08.04.2015	11.11.2015	218
33	01.04.1975	28.10.1975	211	74	17.04.2016	31.10.2016	198
34	01.04.1976	11.10.1976	194	75	19.04.2017	03.11.2017	199

35	09.04.1977	15.10.1977	190	76	24.04.2018	11.11.2018	202
36	11.04.1978	31.10.1978	204	77	18.04.2019	04.11.2019	201
37	27.04.1979	24.10.1979	181	78	24.03.2020	16.11.2020	238
38	22.04.1980	29.10.1980	191	79	18.04.2021	18.11.2021	215
39	17.04.1981	12.11.1981	210	80	22.04.2022	06.11.2022	199
40	10.04.1982	19.10.1982	193	81	10.04.2023	29.10.2023	203
41	31.03.1983	10.11.1983	225				

Таблица 7 – Свободное русло в период с 1943 г. по 2023 г., гидрологический пост – Тотьма

№ п/п	Свободное русло начало	Свободное русло конец	Кол-во дней	№ п/п	Свободное русло начало	Свободное русло конец	Кол-во дней
1	23.04.1943	27.10.1943	188	42	18.04.1984	28.10.1984	194
2	02.05.1944	30.10.1944	182	43	30.04.1985	29.10.1985	183
3	04.05.1945	17.10.1945	167	44	25.04.1986	07.11.1986	197
4	30.04.1946	15.10.1946	169	45	30.04.1987	24.10.1987	178
5	27.04.1947	31.10.1947	188	46	22.04.1988	30.10.1988	192
6	19.04.1948	10.11.1948	206	47	20.04.1989	16.11.1989	211
7	27.04.1949	15.10.1949	172	48	15.04.1990	08.11.1990	208
8	20.04.1950	31.10.1950	195	49	17.04.1991	29.10.1991	196
9	12.04.1951	29.10.1951	201	50	18.04.1992	13.10.1992	179
10	29.04.1952	28.10.1952	183	51	28.04.1993	29.10.1993	185
11	21.04.1953	29.10.1953	192	52	26.04.1994	02.11.1994	191
12	23.04.1954	16.11.1954	208	53	21.04.1995	03.11.1995	197
13	01.05.1955	24.10.1955	177	54	29.04.1996	02.12.1996	218
14	05.05.1956	28.10.1956	177	55	22.04.1997	29.10.1997	191
15	01.05.1957	13.11.1957	197	56	05.05.1998	08.11.1998	188
16	02.05.1958	05.11.1958	188	57	21.04.1999	05.11.1999	199
17	29.04.1959	16.10.1959	171	58	20.04.2000	10.11.2000	205
18	22.04.1960	18.10.1960	180	59	18.04.2001	11.11.2001	208
19	09.05.1961	09.11.1961	185	60	23.04.2002	20.10.2002	181
20	19.04.1962	08.11.1962	204	61	23.04.2003	24.10.2003	185
21	27.04.1963	30.10.1963	187	62	19.04.2004	17.11.2004	213
22	26.04.1964	06.11.1964	195	63	26.04.2005	25.10.2005	183
23	28.04.1965	23.10.1965	179	64	21.04.2006	06.11.2006	200
24	16.04.1966	27.10.1966	195	65	03.04.2007	05.11.2007	217
25	17.04.1967	21.11.1967	219	66	14.04.2008	18.11.2008	219
26	17.04.1968	23.10.1968	190	67	01.05.2009	06.11.2009	190
27	24.04.1969	01.11.1969	192	68	20.04.2010	06.11.2010	201
28	20.04.1970	01.11.1970	196	69	25.04.2011	05.11.2011	195
29	23.04.1971	25.10.1971	186	70	27.04.2012	10.11.2012	198
30	26.04.1972	01.11.1972	190	71	27.04.2013	26.11.2013	214
31	13.04.1973	23.10.1973	194	72	15.04.2014	19.10.2014	188
32	02.05.1974	04.11.1974	187	73	25.04.2015	11.11.2015	201
33	11.04.1975	29.10.1975	202	74	15.04.2016	02.11.2016	202
34	23.04.1976	12.10.1976	173	75	16.04.2017	23.11.2017	222
35	21.04.1977	18.10.1977	181	76	20.04.2018	08.11.2018	203
36	17.04.1978	28.10.1978	195	77	17.04.2019	31.10.2019	198
37	04.05.1979	26.10.1979	176	78	29.03.2020	16.11.2020	233
38	27.04.1980	30.10.1980	187	79	18.04.2021	21.11.2021	218
39	05.05.1981	14.11.1981	194	80	26.04.2022	16.11.2022	205
40	24.04.1982	18.10.1982	178	81	19.04.2023	18.11.2023	214

41	08.04.1983	10.11.1983	217				
----	------------	------------	-----	--	--	--	--

Таблица 8 – Свободное русло в период с 1943 г. по 2023 г., гидрологический пост – Каликино

№ п/п	Свободное русло начало	Свободное русло конец	Кол-во дней	№ п/п	Свободное русло начало	Свободное русло конец	Кол-во дней
1	25.04.1943	25.10.1943	184	42	23.04.1984	14.10.1984	175
2	01.05.1944	30.10.1944	183	43	03.05.1985	27.10.1985	178
3	06.05.1945	13.10.1945	161	44	26.04.1986	05.11.1986	194
4	01.05.1946	13.10.1946	166	45	04.05.1987	24.10.1987	174
5	28.04.1947	22.10.1947	178	46	22.04.1988	24.10.1988	186
6	21.04.1948	10.11.1948	204	47	21.04.1989	17.11.1989	211
7	24.04.1949	09.10.1949	169	48	18.04.1990	29.10.1990	195
8	20.04.1950	29.10.1950	193	49	17.04.1991	30.10.1991	197
9	13.04.1951	27.10.1951	198	50	22.04.1992	12.10.1992	174
10	01.05.1952	26.10.1952	179	51	29.04.1993	23.10.1993	178
11	23.04.1953	28.10.1953	189	52	23.04.1994	01.11.1994	193
12	26.04.1954	16.11.1954	205	53	20.04.1995	02.11.1995	197
13	03.05.1955	01.11.1955	183	54	05.05.1996	18.10.1996	167
14	05.05.1956	29.10.1956	178	55	23.04.1997	28.10.1997	189
15	02.05.1957	13.11.1957	196	56	06.05.1998	08.11.1998	187
16	04.05.1958	02.11.1958	183	57	23.04.1999	03.11.1999	195
17	28.04.1959	17.10.1959	173	58	22.04.2000	09.11.2000	202
18	24.04.1960	18.10.1960	178	59	18.04.2001	20.10.2001	186
19	10.05.1961	09.11.1961	184	60	27.04.2002	12.10.2002	169
20	19.04.1962	09.11.1962	205	61	24.04.2003	24.10.2003	184
21	26.04.1963	30.10.1963	188	62	11.05.2004	16.11.2004	190
22	30.04.1964	04.11.1964	189	63	06.05.2005	25.10.2005	173
23	30.04.1965	19.10.1965	173	64	04.05.2006	15.10.2006	165
24	17.04.1966	20.10.1966	187	65	19.05.2007	04.11.2007	170
25	23.04.1967	20.11.1967	212	66	15.04.2008	20.11.2008	220
26	16.04.1968	22.10.1968	190	67	06.05.2009	06.11.2009	185
27	26.04.1969	24.10.1969	182	68	25.04.2010	06.11.2010	196
28	22.04.1970	30.10.1970	192	69	22.04.2011	05.11.2011	198
29	27.04.1971	25.10.1971	182	70	27.04.2012	30.10.2012	187
30	28.04.1972	31.10.1972	187	71	28.04.2013	22.10.2013	178
31	14.04.1973	13.10.1973	183	72	22.04.2014	16.10.2014	178
32	06.05.1974	04.11.1974	183	73	20.04.2015	08.11.2015	203
33	14.04.1975	14.10.1975	184	74	01.05.2016	26.10.2016	179
34	25.04.1976	10.10.1976	169	75	29.04.2017	23.11.2017	209
35	23.04.1977	13.10.1977	174	76	11.04.2018	10.11.2018	214
36	20.04.1978	29.10.1978	193	77	28.04.2019	05.11.2019	192
37	05.05.1979	26.10.1979	175	78	27.04.2020	16.11.2020	204
38	28.04.1980	28.10.1980	184	79	17.04.2021	16.11.2021	214
39	06.05.1981	11.11.1981	190	80	24.04.2022	15.11.2022	206
40	25.04.1982	10.10.1982	169	81	05.05.2023	01.11.2023	181
41	09.04.1983	29.10.1983	204				

Расчетная продолжительность физической навигации за весь период наблюдений составила:

1. Гидрологический пост Рабаньга – 199 сут.,
2. Гидрологический пост Тотьма – 194 сут.,
3. Гидрологический пост Каликино – 187 сут.

Расчетная продолжительность физической навигации до начала климатических изменений с 1943 г. по 1994 г. составила:

1. Гидрологический пост Рабаньга – 197 сут.,
2. Гидрологический пост Тотьма – 190 сут.,
3. Гидрологический пост Каликино – 185 сут.

Расчетная продолжительность физической навигации после начала климатических изменений с 1995 г. по 2023 г. составила:

1. Гидрологический пост Рабаньга – 202 сут.,
2. Гидрологический пост Тотьма – 203 сут.,
3. Гидрологический пост Каликино – 190 сут.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что увеличение продолжительности физической навигации может быть связано с климатическими изменениями, которые приводят к более раннему вскрытию рек и более позднему началу ледостава.

Для более полноценного анализа рассматривались периоды от начала года до окончания ледовых явлений, и до окончания ледовых явлений.

Строились хронологические графики, оценивалась значимость линейного тренда и проводилась проверка на однородность критериями Фишера и Стьюдента.



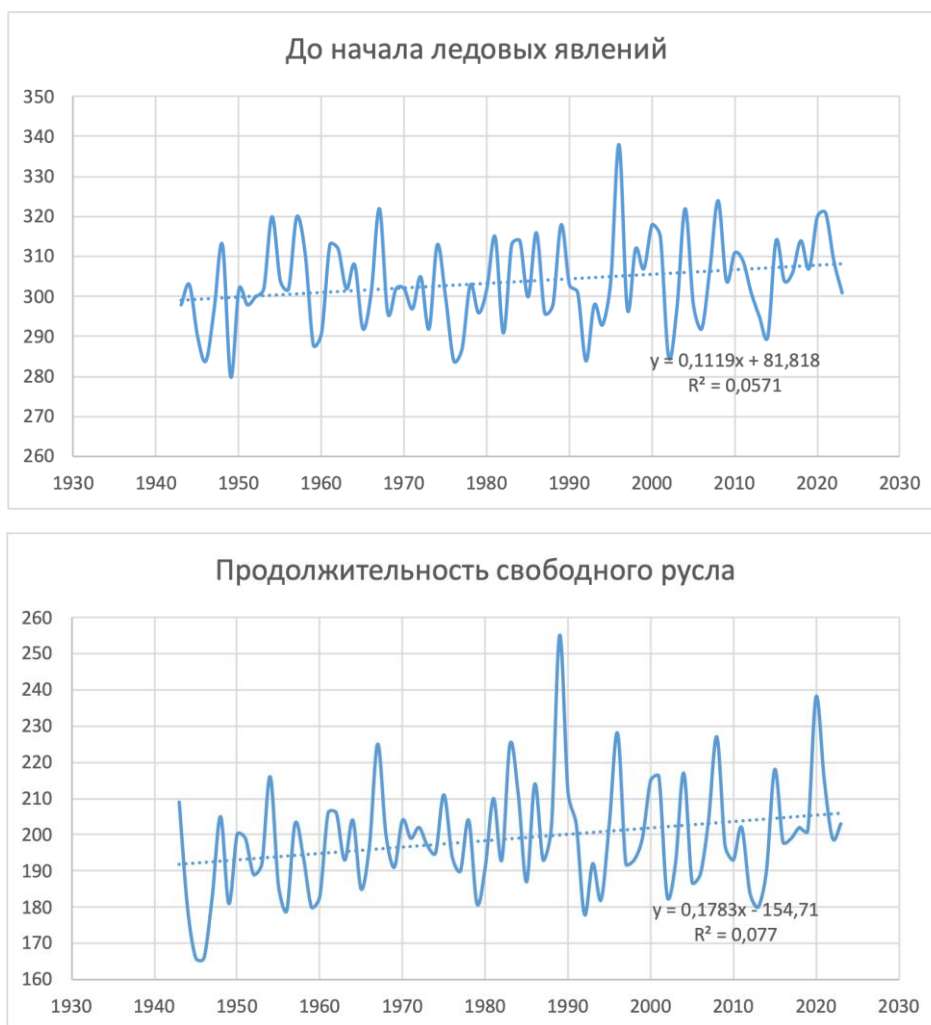


Рисунок 11 – Хронологические графики количества дней на разных периодах на гидрологическом посту Рабаньга

На гидрологическом посту Рабаньга за период с 1930-х годов наблюдается слабо выраженная тенденция к увеличению продолжительности свободного русла (тренд $+0,178$ дня/год) и периода до ледостава ($+0,112$ дня/год), а также к незначительному сокращению ледостава ($-0,066$ дня/год). Однако крайне низкие коэффициенты детерминации (R^2 от 0,026 до 0,077) свидетельствуют о том, что эти тренды статистически недостоверны и практически полностью подавляются естественной межгодовой изменчивостью. Таким образом, устойчивой и значимой климатической перестройки ледово-термического режима на посту Рабаньга за почти вековой период не зафиксировано.

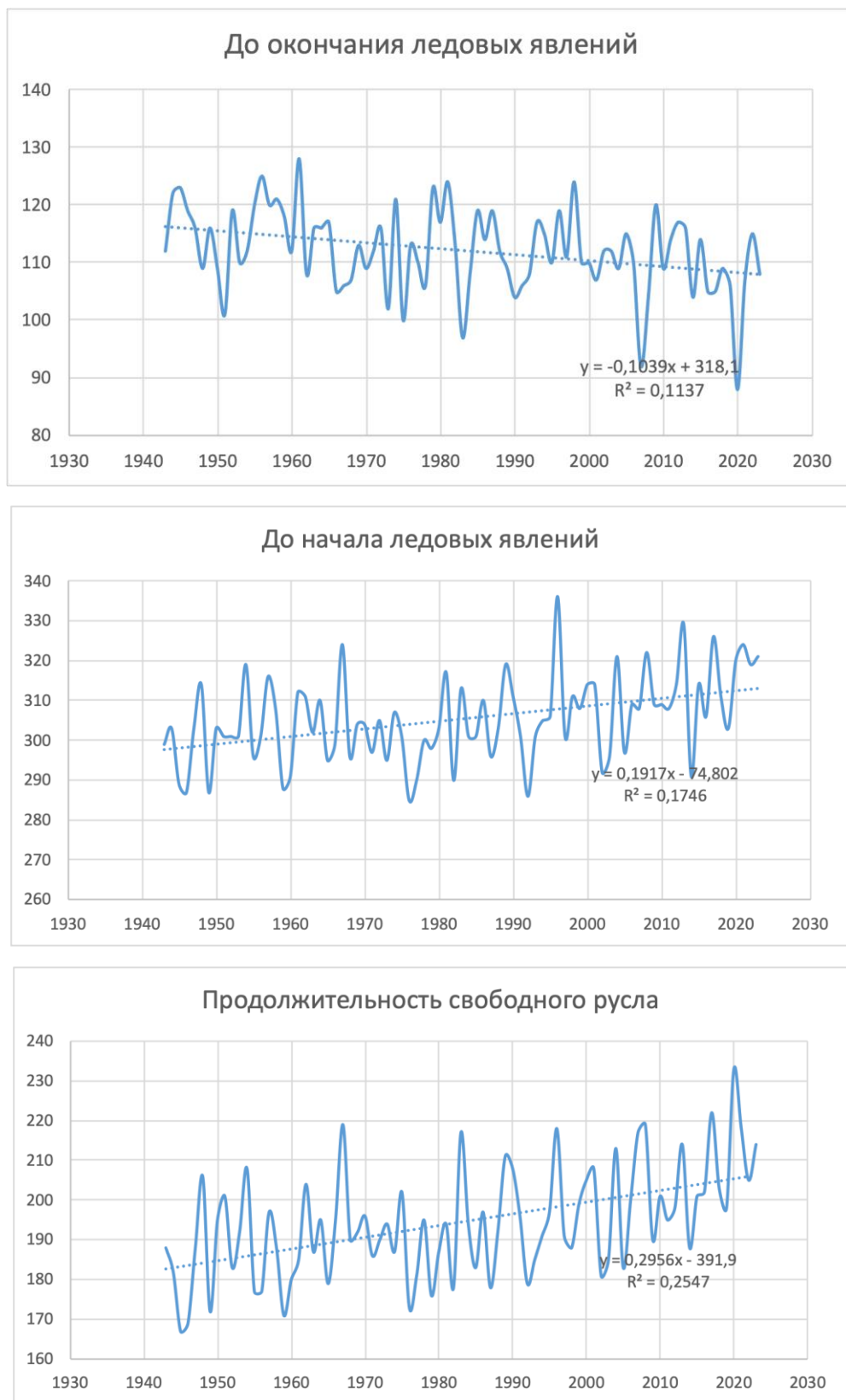


Рисунок 12 – Хронологические графики количества дней на разных периодах на гидрологическом посту Тотьма

На гидрологическом посту Тотьма зафиксированы согласованные однонаправленные тренды: продолжительность свободного русла увеличивается со скоростью 0,296 дня/год ($R^2=0,255$), период до ледостава – на 0,192 дня/год ($R^2=0,175$), а длительность ледостава сокращается на –0,104 дня/год ($R^2=0,114$). Это

указывает на наличие слабой, но физически непротиворечивой тенденции к удлинению безлёдного периода и сокращению стояния льда. Однако, поскольку от 74 до 89 % дисперсии рядов обусловлены естественной межгодовой изменчивостью, выявленные тренды не достигают статистической строгости и не могут служить надёжной основой для долгосрочных прогнозов.

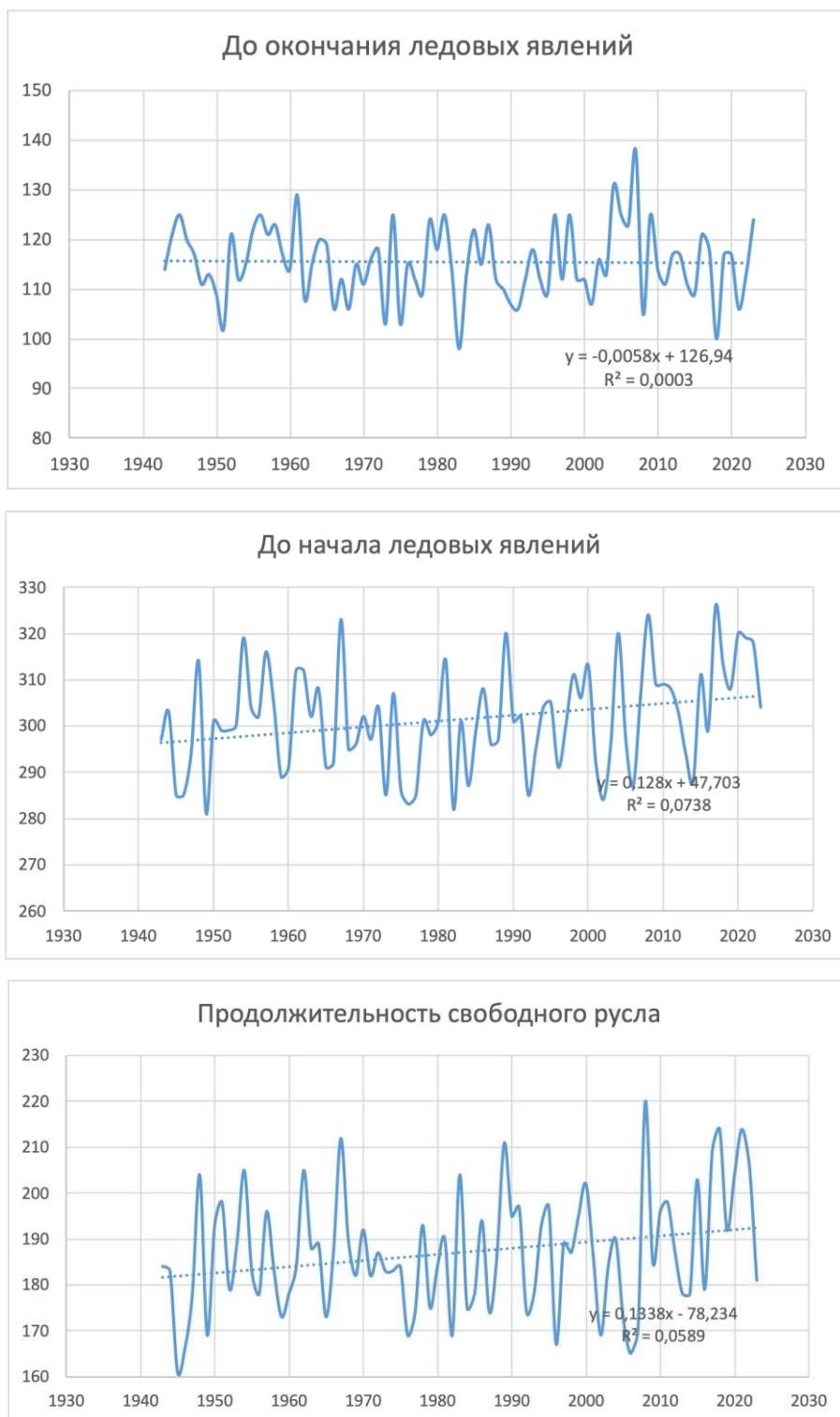


Рисунок 13 – Хронологические графики количества дней на разных периодах на гидрологическом посту Каликино

На посту Каликино все три тренда крайне слабы: ледостав практически не меняется ($-0,006$ дня/год, $R^2 \approx 0$), свободное русло растёт на $0,134$ дня/год ($R^2 = 0,059$), а период до ледостава – на $0,128$ дня/год ($R^2 = 0,074$). Это означает, что от 93 до 100 % изменчивости обусловлены естественными колебаниями, а не долговременным трендом. Каликино является наиболее инертным створом, где многолетней климатической перестройки ледово-термического режима не фиксируется.

Таблица 9 – Результаты статистической проверки

Период		Рабаньга	Тотьма	Каликино
До окончания ледовых явлений	Критерий Стьюдента	однороден	не однороден	однороден
	Критерий Фишера	однороден	однороден	однороден
	Значимость	не значим	значим	значим
До начала ледовых явлений	Критерий Стьюдента	не однороден	не однороден	не однороден
	Критерий Фишера	однороден	однороден	однороден
	Значимость	значим	значим	значим
Период свободного русла	Критерий Стьюдента	не однороден	не однороден	однороден
	Критерий Фишера	однороден	однороден	однороден
	Значимость	значим	значим	не значим

На основе анализа таблицы можно сделать следующие обобщающие выводы. Прежде всего, обращает на себя внимание абсолютная стабильность дисперсий: критерий Фишера показывает однородность во всех трёх створах (Рабаньга, Тотьма и Каликино) и во все рассматриваемые периоды, что свидетельствует о том, что амплитуда внутригодовых колебаний уровня или расходов воды остаётся неизменной на всём протяжении наблюдений, а изменчивость режима связана исключительно со сдвигом средних значений. Наиболее ярко и повсеместно этот сдвиг проявляется в период до начала ледовых явлений, где критерий Стьюдента фиксирует неоднородность средних одновременно для всех трёх пунктов, а значимость эффекта подтверждается повсеместно, что делает этот этап самым надёжным и воспроизводимым с точки зрения гидрологической перестройки. В период до окончания ледовых явлений картина становится более сложной и неоднозначной: в Тотьме уверенно различаются и средние, и значимость эффекта,

тогда как в Рабаньге и Каликино средние формально однородны, однако значимость всё равно присутствует, что можно интерпретировать как наличие структурных сдвигов в распределении (например, изменение асимметрии или экстремальных значений) без изменения математического ожидания, причём в Каликино этот эффект тоже фиксируется, в отличие от Рабаньги, где в данный период значимость отсутствует. Наконец, в период свободного русла выявляется чёткая пространственная дифференциация: Рабаньга и Тотьма продолжают демонстрировать различие средних и значимость изменений, тогда как Каликино, напротив, показывает полную однородность средних и отсутствие значимого эффекта, что позволяет характеризовать этот створ как наиболее инертный, где в безайсный период никаких существенных изменений не происходит, и режим выходит на стационарный уровень. Таким образом, общая тенденция такова, что наибольшая перестройка гидрологического режима с изменением среднего уровня происходит для всех пунктов в предледовый период, тогда в период разрушения льда реакция системы становится неоднородной и частично сдвигается в сторону изменения формы распределения, а в межень верхние створы (Рабаньга и Тотьма) ещё сохраняют динамику, тогда как нижний створ (Каликино) уже полностью стабилизируется, причём во всех случаях разброс данных остаётся постоянным, то есть изменения касаются исключительно положения центра распределения, а не его вариабельности.

4.2. Определение продолжительности суточного стояния воды выше расчетного судоходного уровня

Река Сухона на всем протяжении относится ко 2 классу водного пути. Коэффициент допускаемого снижения продолжительности физической навигации для данного класса будет равен – 6.

В таблице № 9 приведены результаты расчета продолжительности стояния уровней воды выше расчетного судоходного уровня.

Таблица 10 – Продолжительность стояния уровней воды выше РСУ.

№ п/п	Период наблюдений	Продолжительность стояния уровней, сут		
		Рабаньга	Тотьма	Каликино

1	с 1943г. по 2023г.	12	12	11
2	с 1943г. по 1994г.	12	11	12
3	с 1995г. по 2023г.	12	12	11

На основании полученных данных были сформированы ряды по каждому исследуемому гидрологическому посту за вышеуказанный период наблюдений.

Таблица 11 - Уровень воды на реке Сухона с 1943г. по 1994г.

№ п/п	Год	Уровень на гидрологическом посту			№ п/п	Год	Уровень на гидрологическом посту		
		Рабаньга	Тотьма	Каликино			Рабаньга	Тотьма	Каликино
1	1943	430	320	296	27	1969	498	397	313
2	1944	427	432	396	28	1970	174	346	212
3	1945	212	256	270	29	1971	250	270	356
4	1946	538	572	526	30	1972	226	366	272
5	1947	560	548	544	31	1973	363	310	309
6	1948	474	297	268	32	1974	496	432	426
7	1949	474	353	268	33	1975	291	342	320
8	1950	275	271	267	34	1976	440	411	349
9	1951	488	410	367	35	1977	460	336	301
10	1952	372	376	347	36	1978	342	306	245
11	1953	514	443	364	37	1979	498	426	358
12	1954	296	302	270	38	1980	432	430	391
13	1955	599	514	447	39	1981	532	451	386
14	1956	518	432	395	40	1982	452	352	312
15	1957	557	463	448	41	1983	478	403	312
16	1958	560	472	419	42	1984	422	424	406
17	1959	508	392	337	43	1985	422	334	284
18	1960	445	346	338	44	1986	530	426	364
19	1961	592	568	428	45	1987	452	368	314
20	1962	550	501	475	46	1988	388	308	291
21	1963	334	295	293	47	1989	451	355	327
22	1964	414	410	290	48	1990	461	345	348
23	1965	356	384	361	49	1991	503	512	447
24	1966	602	514	442	50	1992	507	453	452
25	1967	406	352	268	51	1993	517	368	338
26	1968	456	342	357	52	1994	531	399	340

Таблица 12 - Уровень воды на реке Сухона с 1994г. по 2023г.

№ п/п	Год	Уровень на гидрологическом посту			№ п/п	Год	Уровень на гидрологическом посту		
		Рабаньга	Тотьма	Каликино			Рабаньга	Тотьма	Каликино
1	1995	549	494	454	16	2010	501	398	348

2	1996	232	345	348	17	2011	405	319	297
3	1997	412	527	394	18	2012	525	419	436
4	1998	546	381	375	19	2013	479	392	320
5	1999	496	366	424	20	2014	196	222	262
6	2000	502	381	357	21	2015	196	159	186
7	2001	476	339	338	22	2016	398	379	216
8	2002	396	315	326	23	2017	472	313	280
9	2003	413	450	433	24	2018	505	324	274
10	2004	458	305	248	25	2019	454	317	332
11	2005	486	356	293	26	2020	547	339	278
12	2006	307	236	211	27	2021	497	415	389
13	2007	360	248	415	28	2022	481	332	323
14	2008	464	382	408	29	2023	459	280	258
15	2009	411	283	252					

Сформированный ряд за весь период наблюдений приведен в приложении Д.

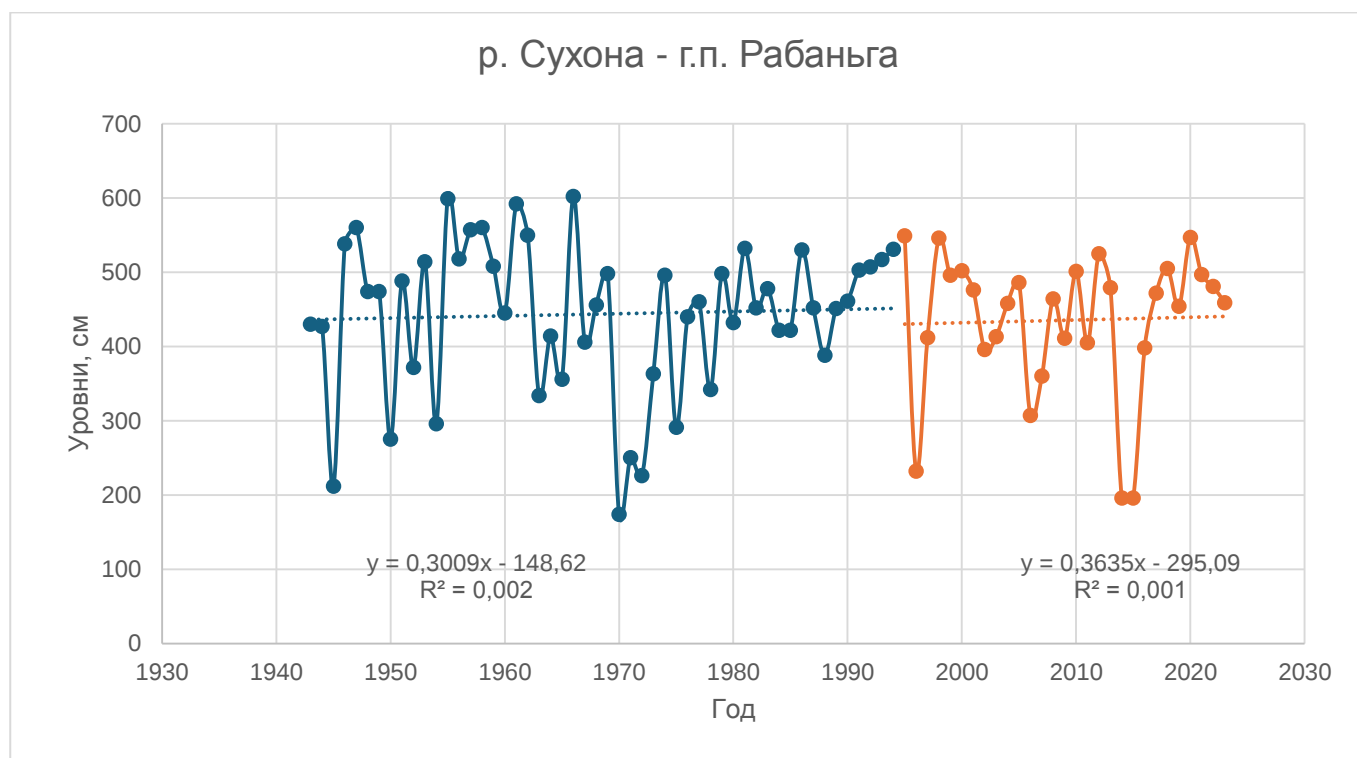


Рисунок 11 – График колебания уровня воды выше РСУ на гидрологическом посту Рабаньга

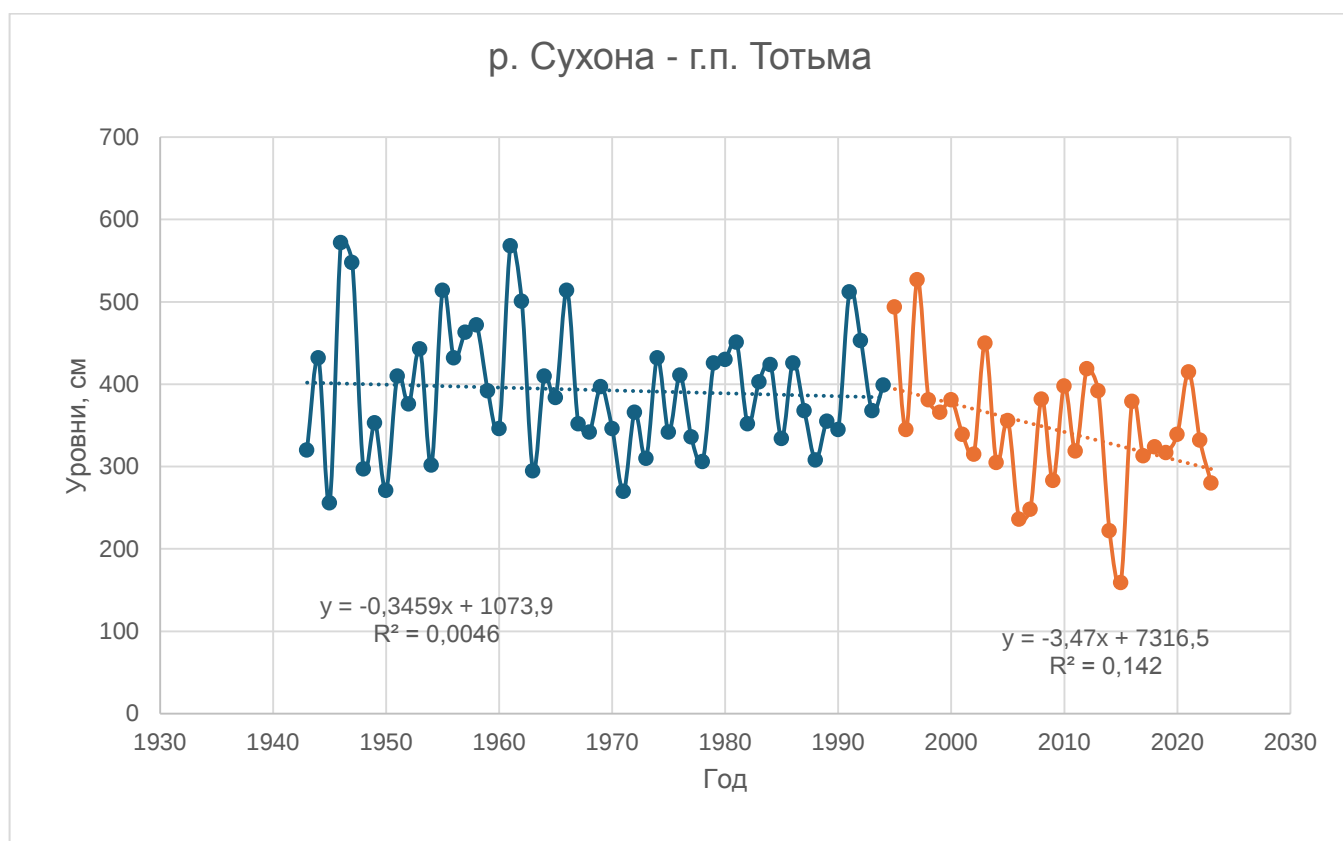


Рисунок 12 – График колебания уровня воды выше РСУ на гидрологическом посту
Тотьма

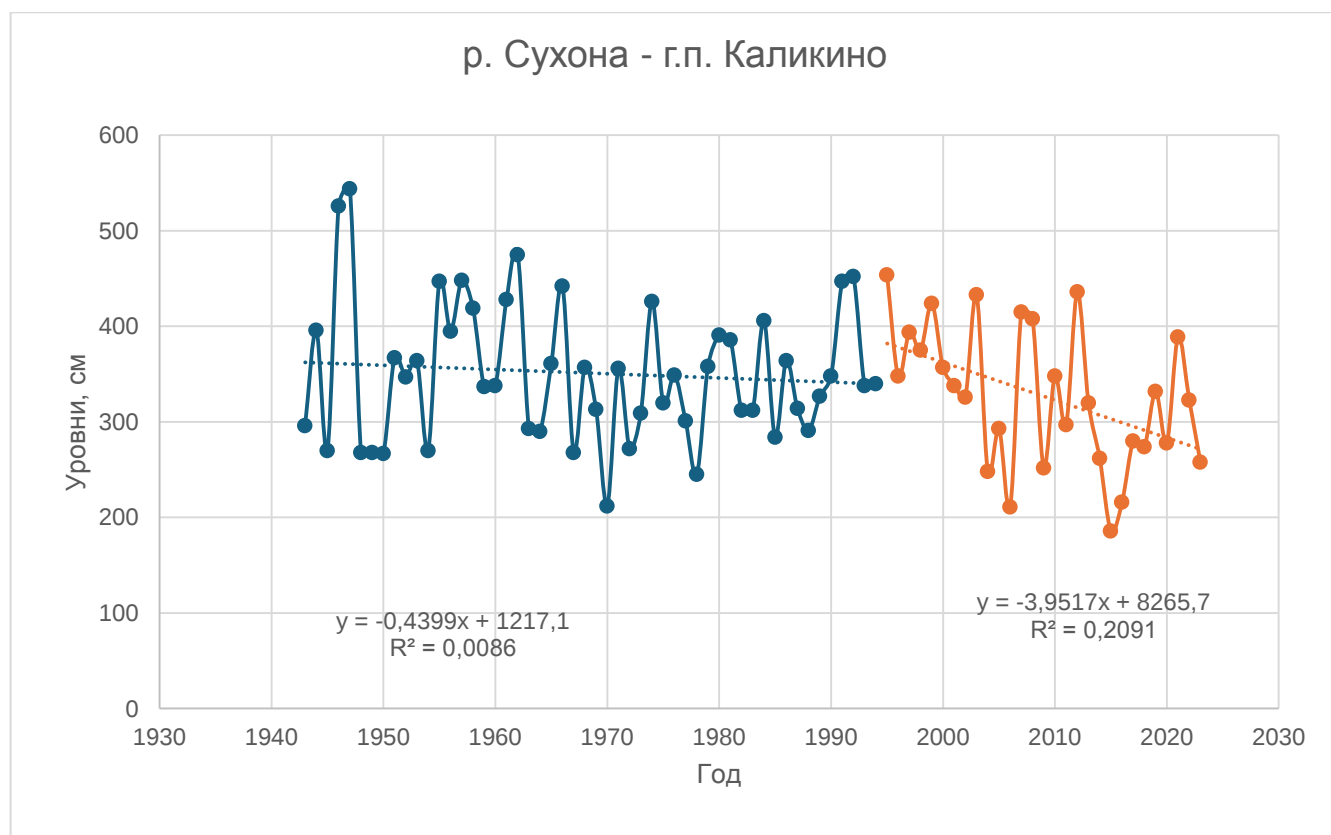


Рисунок 13 – График колебания уровня воды выше РСУ на гидрологическом посту
Каликино

По вышеприведенным рисункам 11 – 13 можно отследить тренд на понижение уровней.

В таблице 13 приведена оценка значимости трендов.

Таблица 13 - Оценка значимости линейного тренда

№ п/п	Гидрологический пост	Период наблюдений		
		Весь период	с 1943г. по 1994г.	с 1995г. по 2023г.
1	Рабаньга	не значим	не значим	не значим
2	Тотьма	значим	не значим	значим
3	Каликино	значим	не значим	значим

Следующим этапом была проведена проверка однородности рядов по дисперсии (критерий Фишера) и по среднему значению (критерий Стьюдента). Полученные результаты представлены в таблицах ниже.

Таблица 14 – Проверка на однородность, критерий Фишера

№ п/п	Название гидрологического поста	Однородность
1	Рабаньга	однороден
2	Тотьма	однороден
3	Каликино	однороден

Таблица 15 – Проверка на однородность, критерий Стьюдента

№ п/п	Название гидрологического поста	Однородность
1	Рабаньга	однороден
2	Тотьма	однороден
3	Каликино	однороден

4.3. Определение отметки расчетного судоходного уровня

Эмпирические и аналитические кривые были построены в программе HudroStatCalc и представлены в приложении Е.

Таблица 16 - Расчет координат аналитической кривой обеспеченностей Пирсона III типа для уровней воды реки Сухона – Каликино 1943 г. – 1994 г.

P, %	0.1	1.0	2.0	5.0	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	98	99	99,5	99,8	99,9
H, %	643	552	523	482	447	409	395	382	362	343	326	308	299	289	265	247	228	217	209	198	191

Таблица 17 - Расчет координат аналитической кривой обеспеченностей Пирсона III типа для уровней воды реки Сухона – Каликино 1995 г. – 2023 г.

P, %	0.1	1.0	2.0	5.0	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	98	99	99,5	99,8	99,9
H, %	552	497	477	447	421	389	376	365	345	327	309	289	278	265	232	205	175	154	136	113	97.1

4.4. Определение обеспеченного уровня

В результате статистической обработки рядов и построения эмпирической и аналитической кривой Пирсона III типа была выбрана расчетная вероятность согласно рекомендациям Приложению Б ГОСТ 26775-97 ГАБАРИТЫ ПОДМОСТОВЫЕ СУДОХОДНЫХ ПРОЛЕТОВ МОСТОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ.

Для полученных классов пути была взята обеспеченность 3%.

Полученные результаты обеспеченного уровня для каждого участка представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Обеспеченные уровни

Гидрологический пост	Весь период наблюдений	1943 г. – 1994 г.	1995 г. – 2023 г.
Рабаньга	586	599	558
Тотьма	534	557	500
Каликино	494	509	467

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы на тему «Определение расчетного судоходного уровня реки Сухона с учетом влияния климатических изменений» были проанализированы климатические и гидрологические характеристики бассейна реки Сухона.

Анализ выявил тесную корреляцию между колебаниями уровня воды и температурным режимом воздуха.

Важнейшим выводом исследования стало установление рубежа — начала 1995-х годов: именно с этого момента фиксируются существенные трансформации уровня режима реки Сухона.

Полученные результаты расширяют представления о протекании гидрологических процессов на фоне климатических изменений и могут быть использованы в качестве методологической базы для последующих научных изысканий.

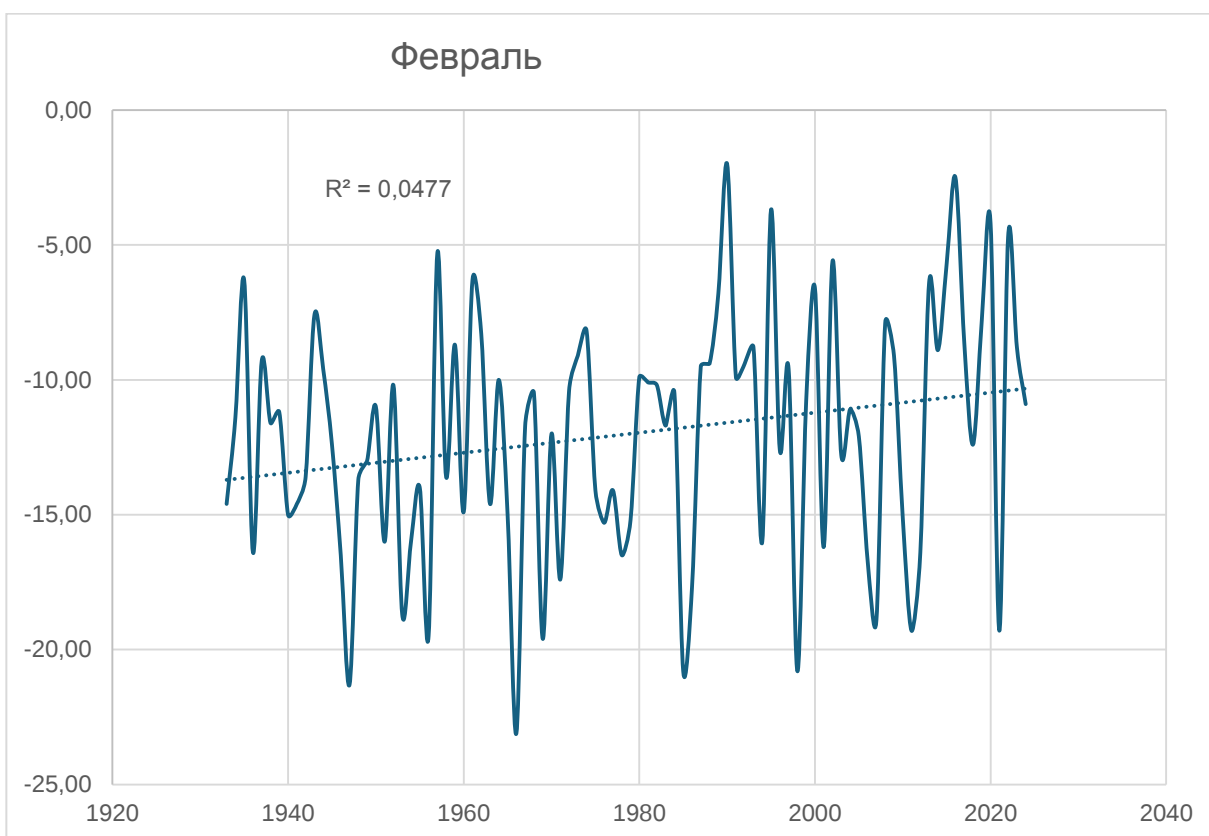
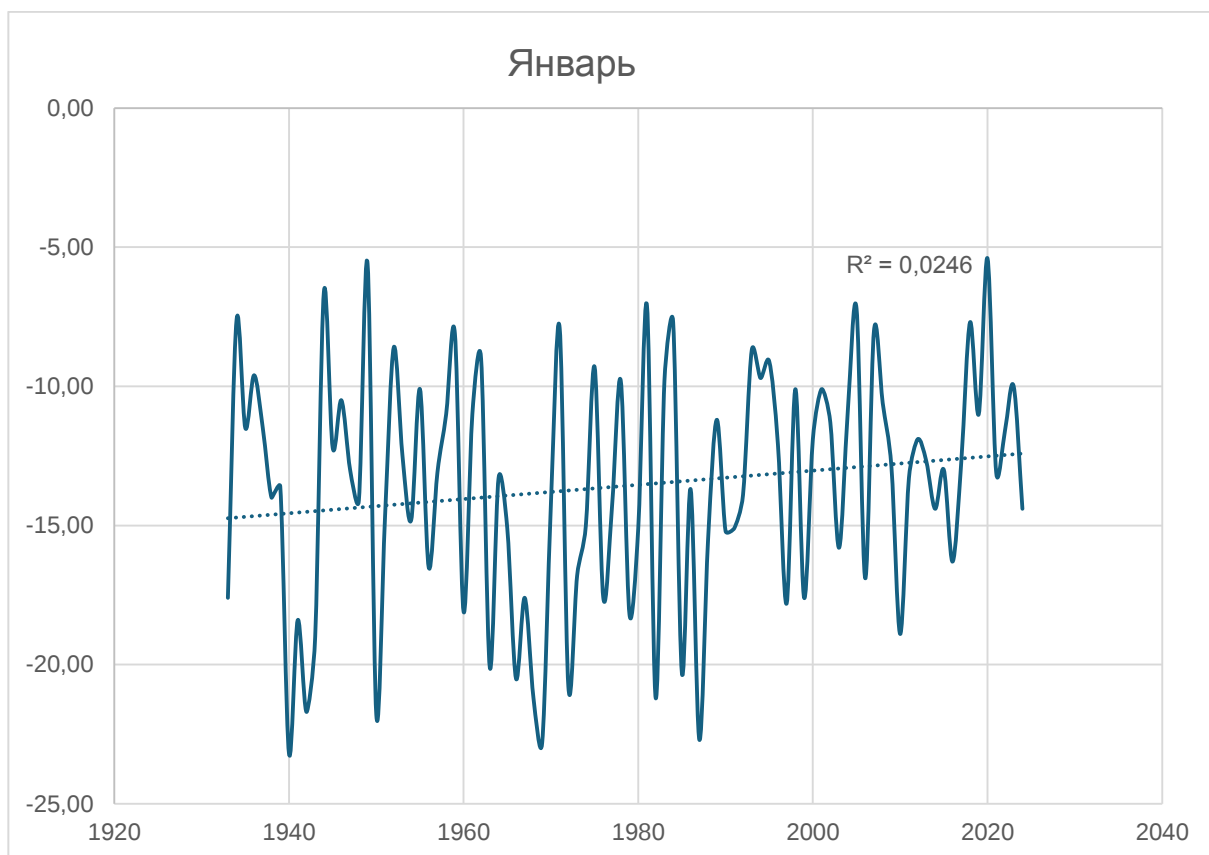
Список используемой литературы

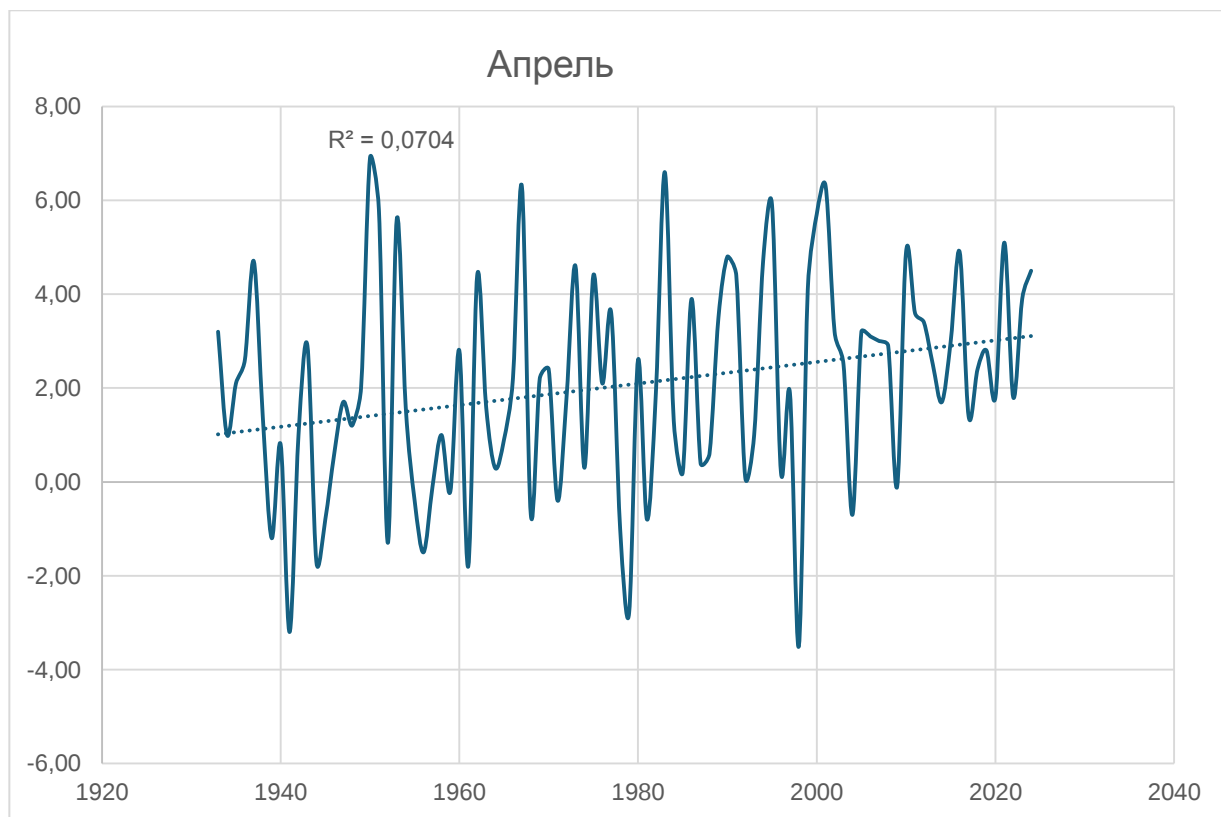
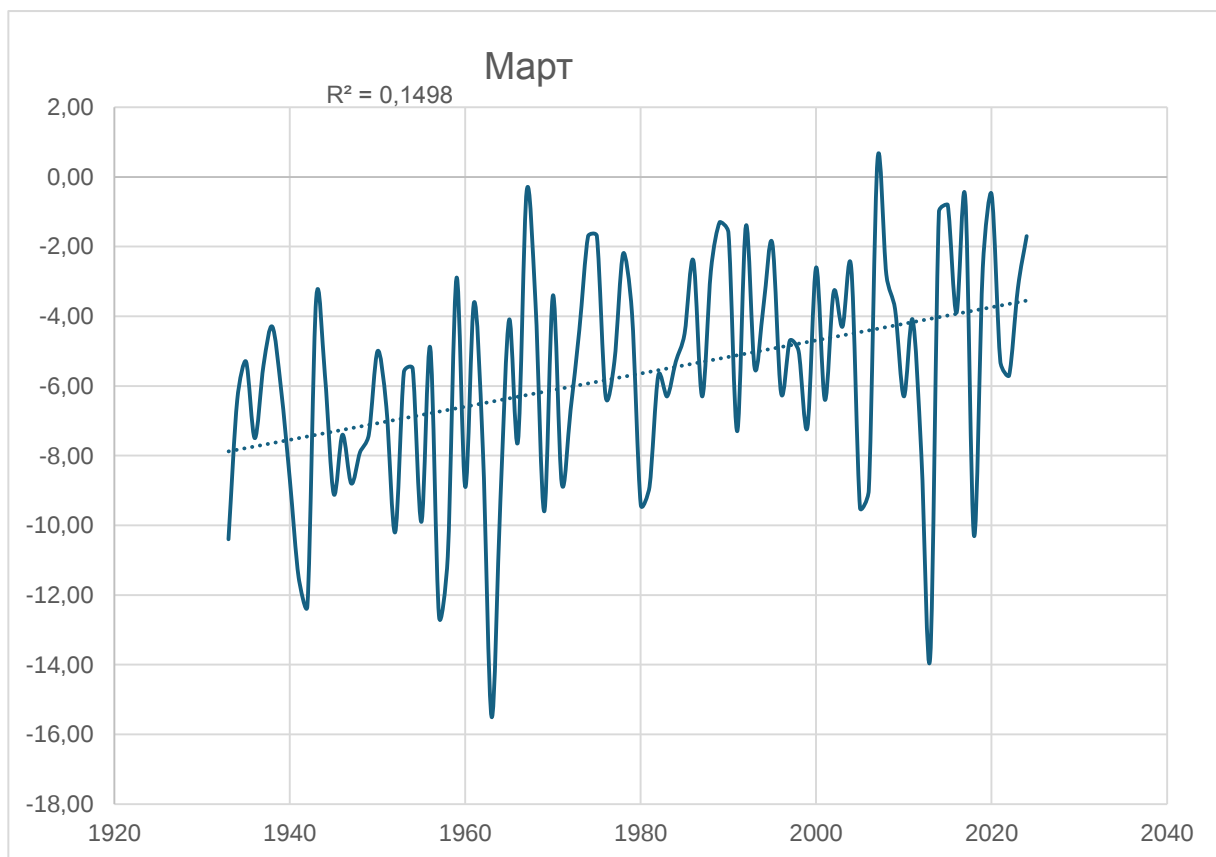
1. Алексеевский Н. И., Антонова М. М., Самохин М. А. Особенности гидрологического режима реки Сухоны и риски наводнений в районе Великого Устюга // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2018. — № 4. — С. 34–42.
2. Болгов М. В., Коробкина Е. А., Филимонова М. К. Оценка нестационарности гидрологических рядов в задачах проектирования водных путей // Водные ресурсы. — 2020. — Т. 47, № 2. — С. 135–144.
3. Бuzин В. А. Заторы льда и зажорные явления на реках Севера Европейской территории России. — СПб.: Гидрометеиздат, 2015. — 198 с.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. — М.: Росгидромет, 2014. — 94 с.
5. Георгиевский В. Ю., Шапоренко С. И. Динамика водных ресурсов рек Европейской части России в условиях современных изменений климата // Водные ресурсы. — 2022. — Т. 49, № 3. — С. 243–255.
6. География Вологодской области / Под ред. Е. А. Скупиновой. — Вологда: ВОИППК, 2005. — 210 с.
7. Геоморфологическое районирование Русской равнины / Под ред. А. А. Величко. — М.: Наука, 1982. — 254 с.
8. ГОСТ 26775-97. Переходы мостовые радиопрозрачные и судоходные на внутренних водных путях. Габариты и общие технические требования. — М.: Изд-во стандартов, 1998. — 12 с.
9. Динамика русел и управление водными путями на реках Северо-Двинского бассейна / Под ред. Л. Н. Калинина. — СПб.: Изд-во СПГУВК, 2012. — 180 с.
10. Женихова Н. В., Голикова Н. И. Развитие Сухоно-Двинского водного пути во второй половине XIX — начале XX века // Успехи современного естествознания. — 2011. — № 7.
11. Козырев Д. Д., Снежко В. Л. Оценка влияния потепления климата на элементы гидрологического режима реки Сухона [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. — URL: [<https://cyberleninka.ru/>] (дата обращения: [20.05.2026]).

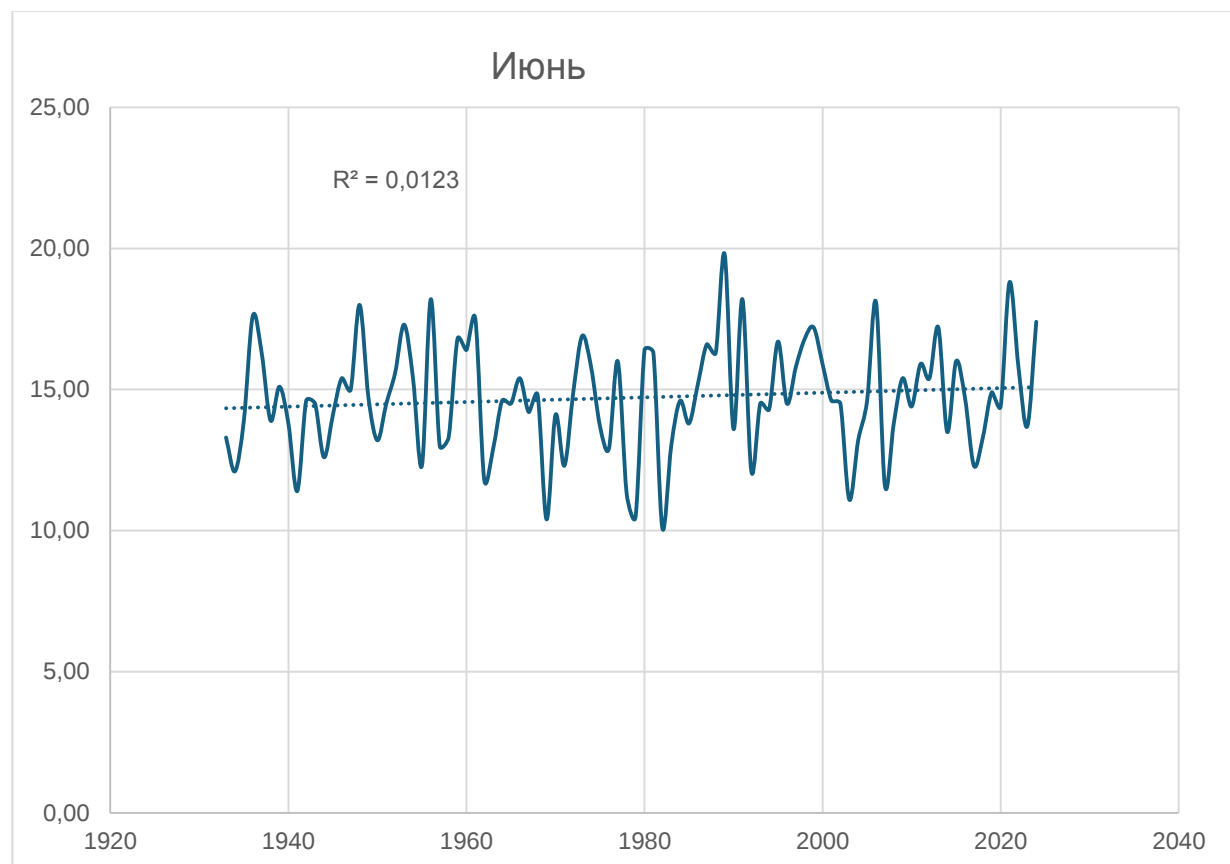
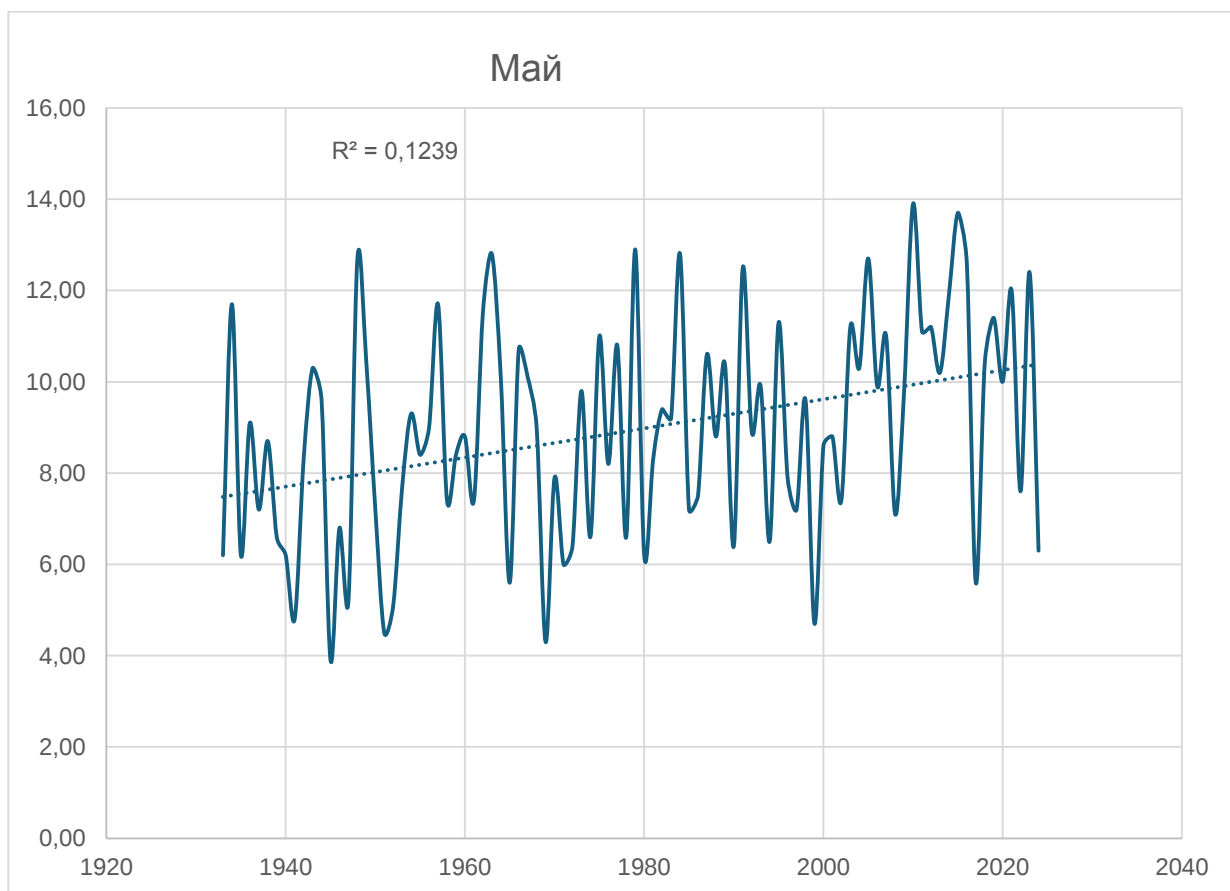
12. Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Зайцева И. С. Антропогенные и климатические изменения стока рек Восточно-Европейской равнины // Известия РАН. Серия географическая. — 2019. — № 3. — С. 44–56.
13. Кошутин М. А. Оценка современного состояния водно-транспортной инфраструктуры Вологодской области // Вузовская наука — региону: материалы всерос. науч.-техн. конф. — Вологда, 2009. — С. 50–52.
14. Крыленко И. Н., Фролова Н. Л., Повалишникова Е. С. Моделирование гидрологического режима и опасных русловых процессов на р. Сухоне // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2017. — № 5. — С. 22–37.
15. Лобанов В. А., Смирнов С. А. Метод восстановления и анализа длинных гидрологических рядов при оценке климатических изменений // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. — 2022. — № 66. — С. 45–58.
16. Лоция р. Сухоны / Шекснинское бассейновое управление пути. — Изд. в соответствии с приказом Министра речного флота № 53 от 18 февраля 1949 года.
17. Магритский Д. В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты крупных рек Севера Европейской территории России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2015. — № 6. — С. 65–74.
18. Малышева Н. Г. Оценка гидрологического режима рек Северо-Двинского бассейна: учебное пособие. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 2018. — 120 с.
19. Петрашень И. В. Река Сухона (описание и исследование) // Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Вып. 28. — СПб., 1911.
20. Правила содержания внутренних водных путей Российской Федерации / Министерство транспорта РФ. — М.: Пожнаука, 2018. — 112 с.
21. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 3. Северный край. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 424 с.
22. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. — М.: ФГУП ЦПП, 2004. — 73 с.

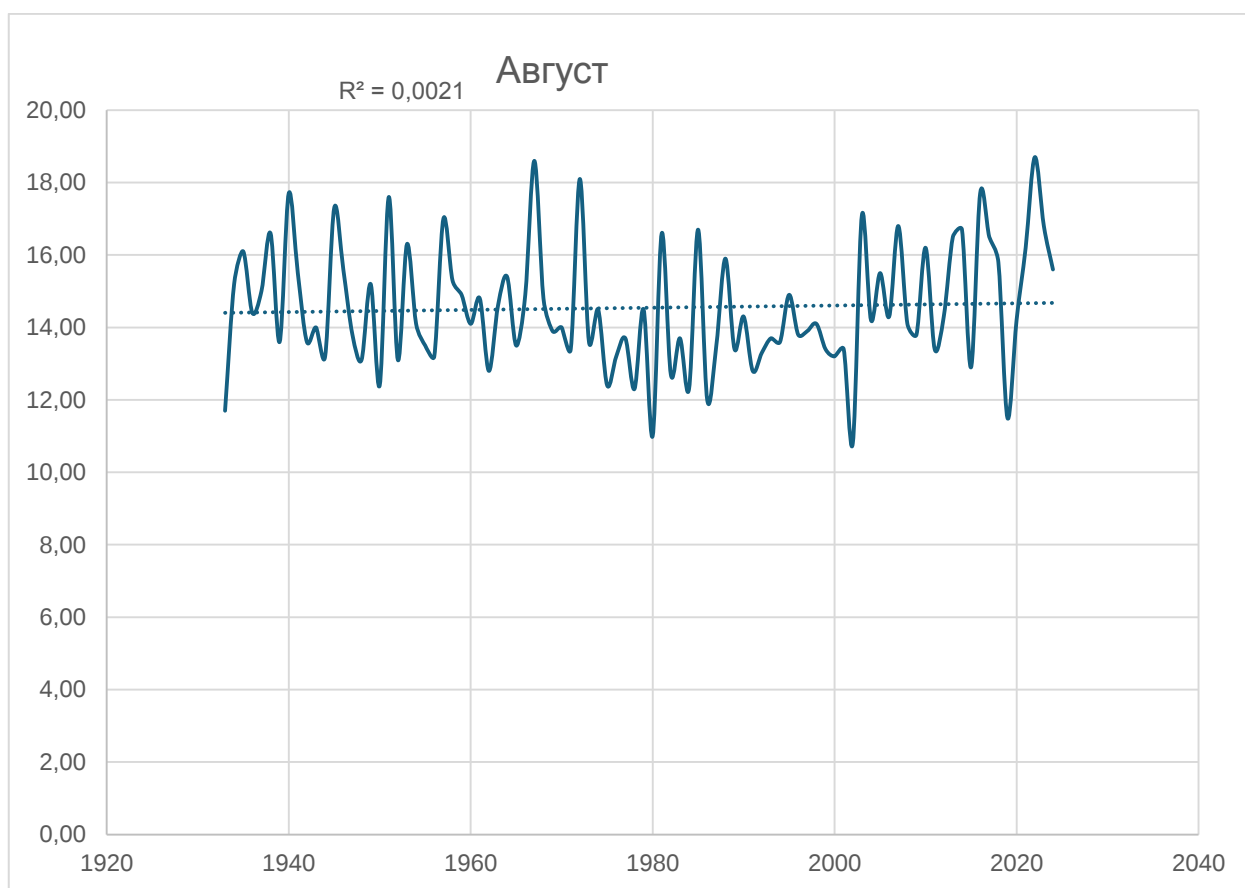
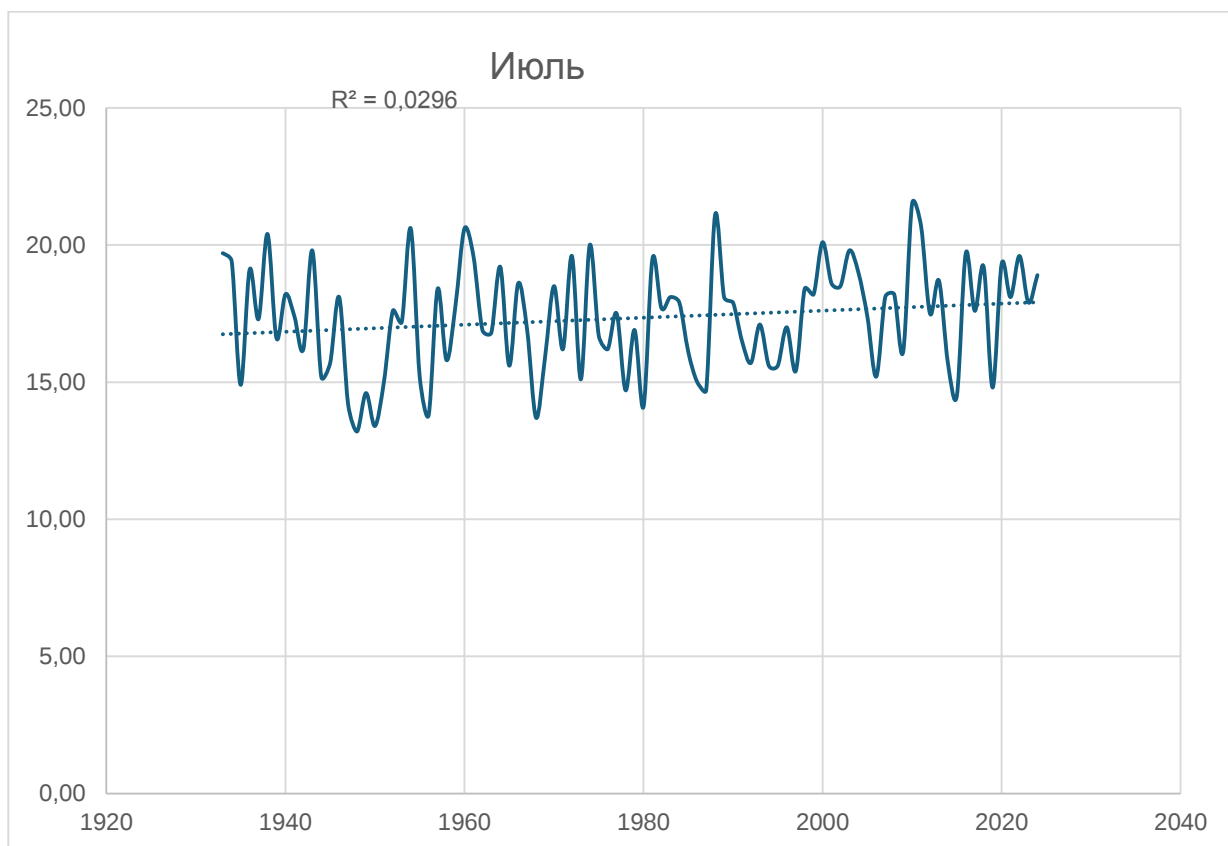
23. Соколов Ю. А. Ледовые заторы на р. Сухоне в районе г. Великий Устюг: причины, механизмы и методы прогнозирования // Труды Государственного гидрологического института. — 2019. — Вып. 362. — С. 89–104.
24. СТО ГГИ 52.08.41-2017. Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчету [Электронный ресурс] // files.stroyinf.ru. — URL: [<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738978.pdf>] (дата обращения: [укажите 20.05.2026]).
25. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Под ред. Росгидромета. — СПб.: Научные технологии, 2022. — 676 с.
26. Физико-географические условия бассейна р. Сухоны [Электронный ресурс] // Электронная библиотека РГГМУ. — URL: [<http://elib.rshu.ru/>] (дата обращения: [20.05.2026]).
27. Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Агафонова Е. В. Изменение режима низкого стока на реках Европейской территории России в современных климатических условиях // Водные ресурсы. — 2023. — Т. 50, № 1. — С. 12–25.
28. Чеботарев А. И. Общая гидрология (воды суши). — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 544 с.
29. Шелутко В. А. Статистические методы в гидрологии. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. — 230 с.
30. Шихлинский М. А., Баранов А. В. Анализ условий плавания судов на лимитирующих участках Северо-Двинской шлюзованной системы // Транспортное дело России. — 2020. — № 4. — С. 152–155.
31. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Sixth Assessment Report. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. — Cambridge University Press, 2021. — 2391 p.

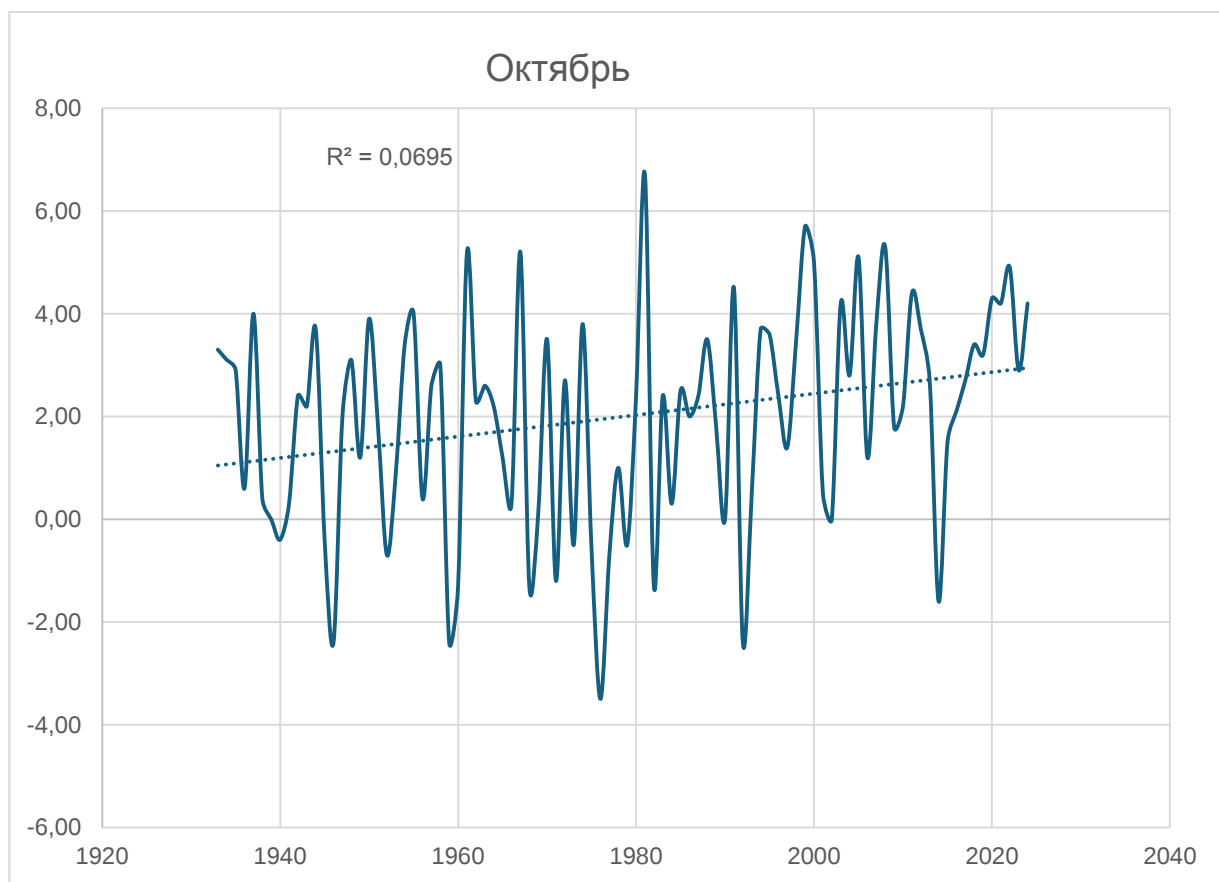
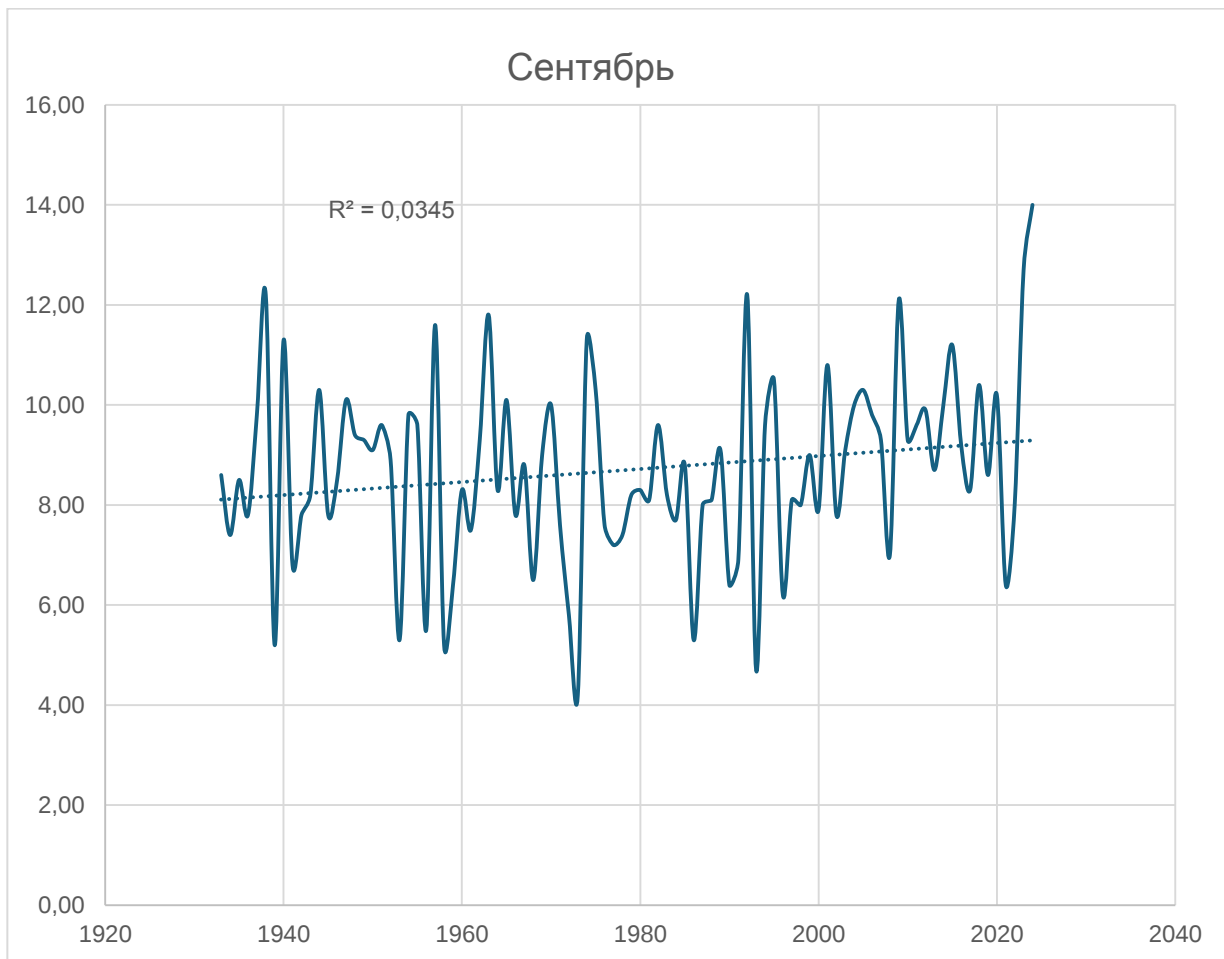
Графики хода многолетних среднемесячных температур по
метеорологической станции Котлас

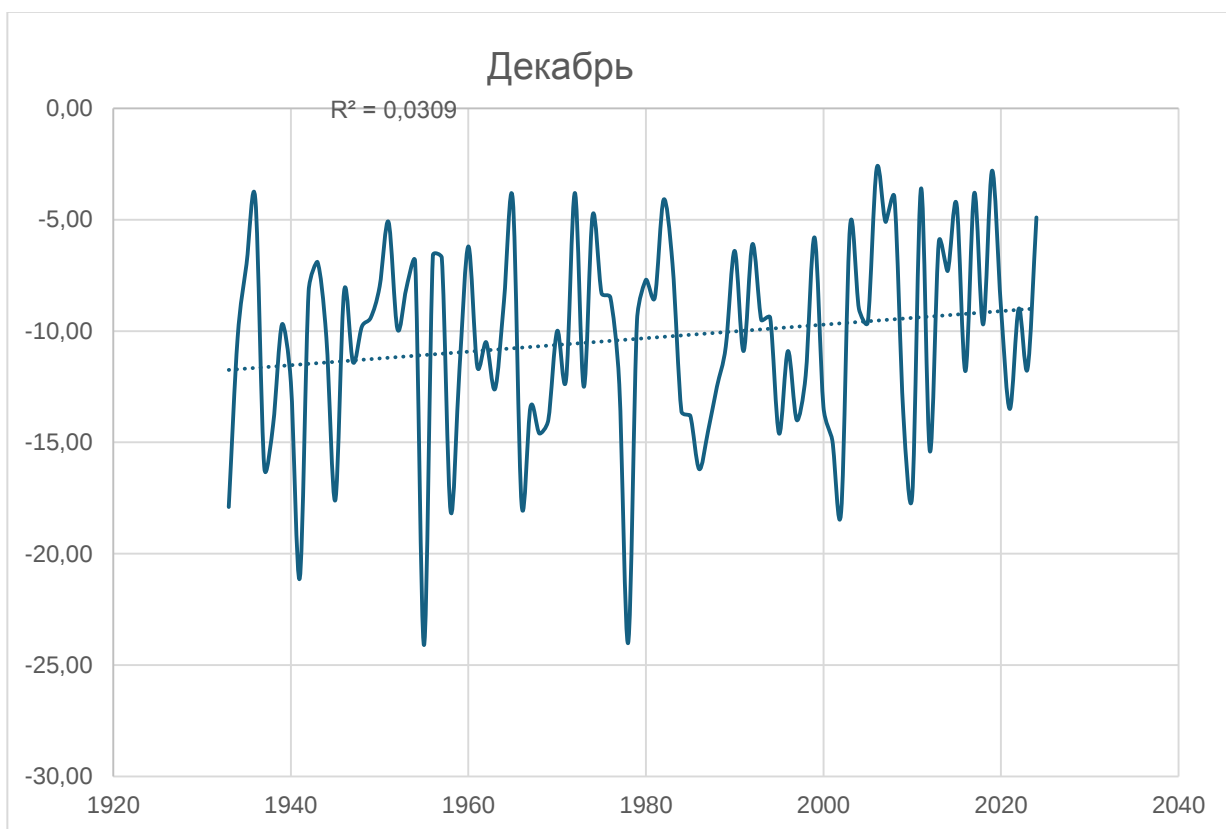
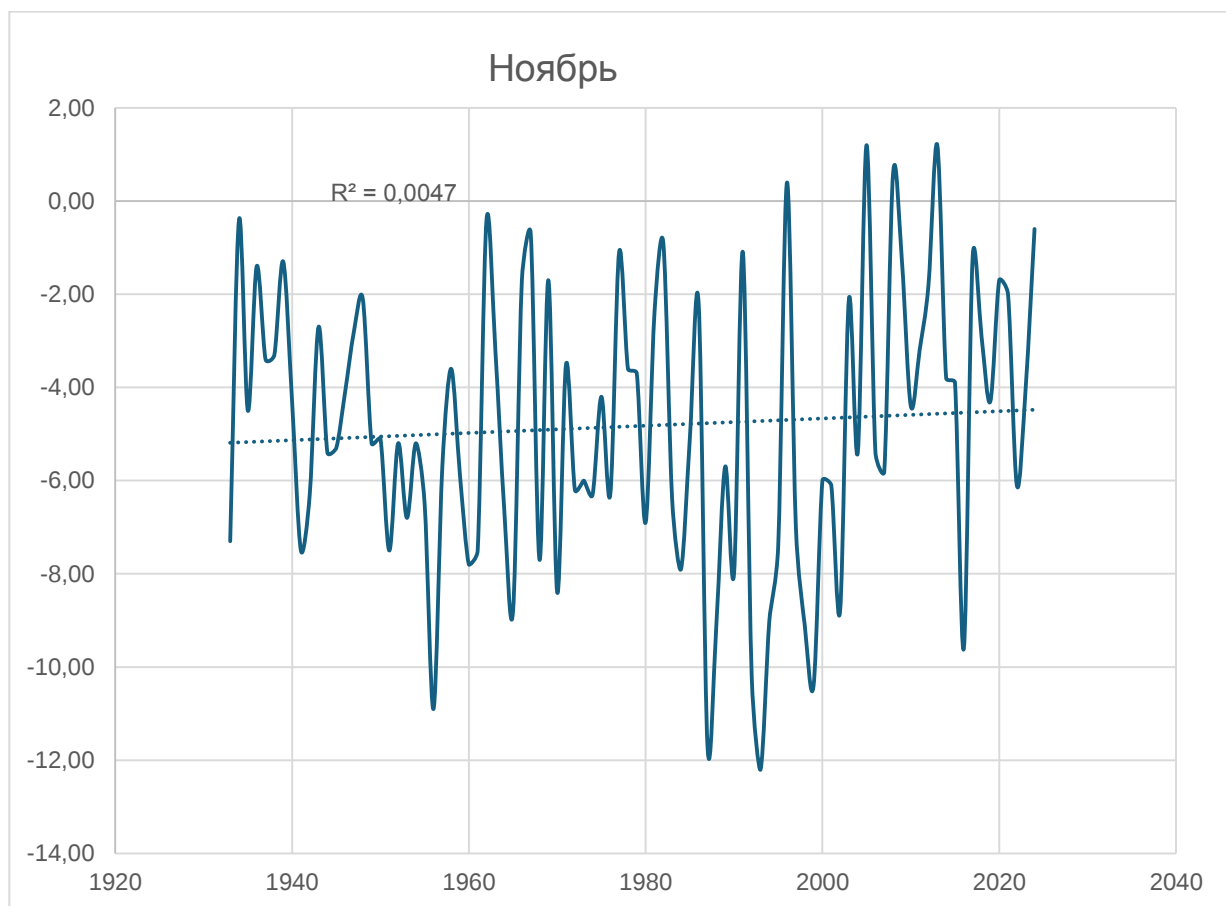




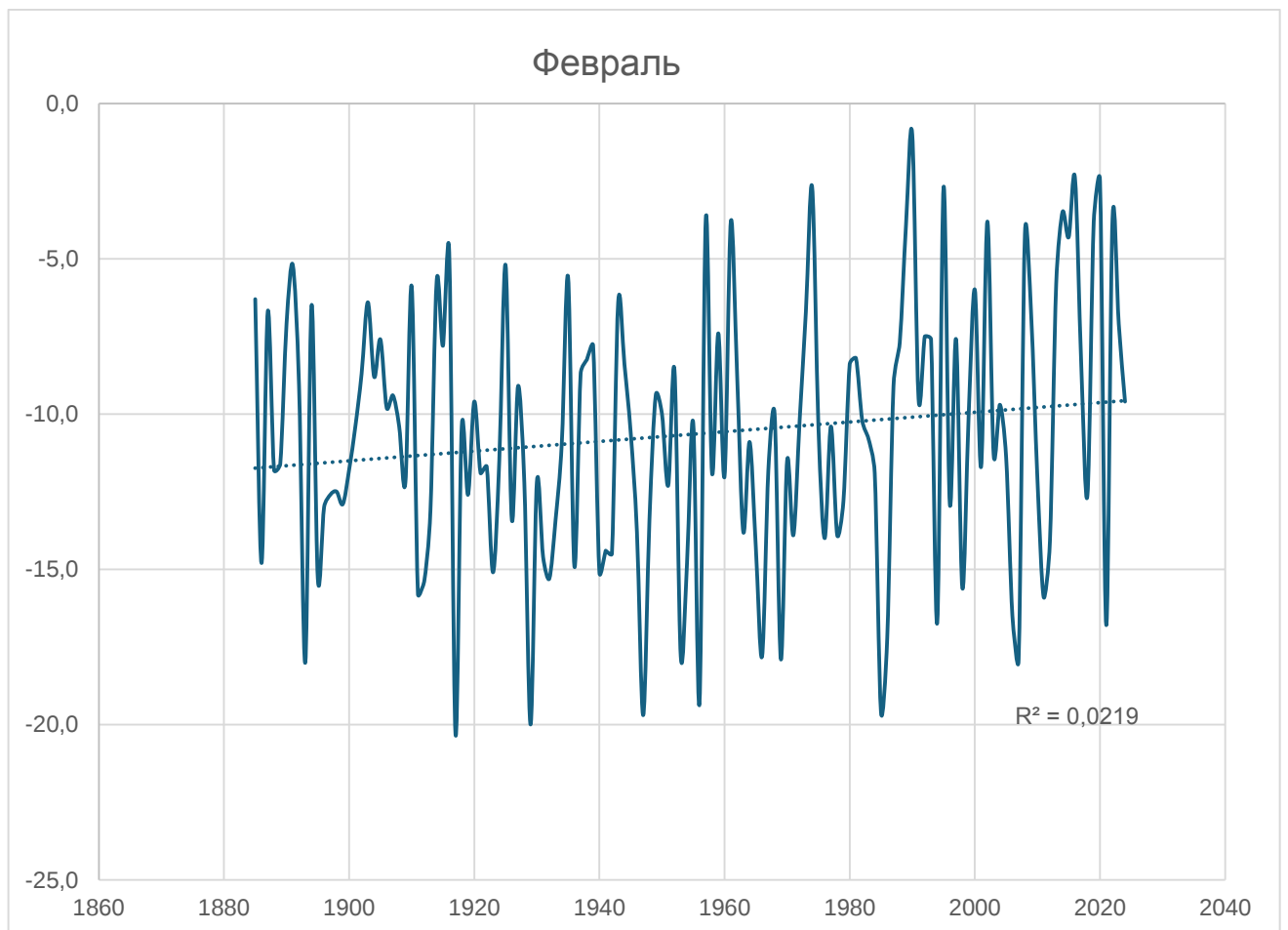
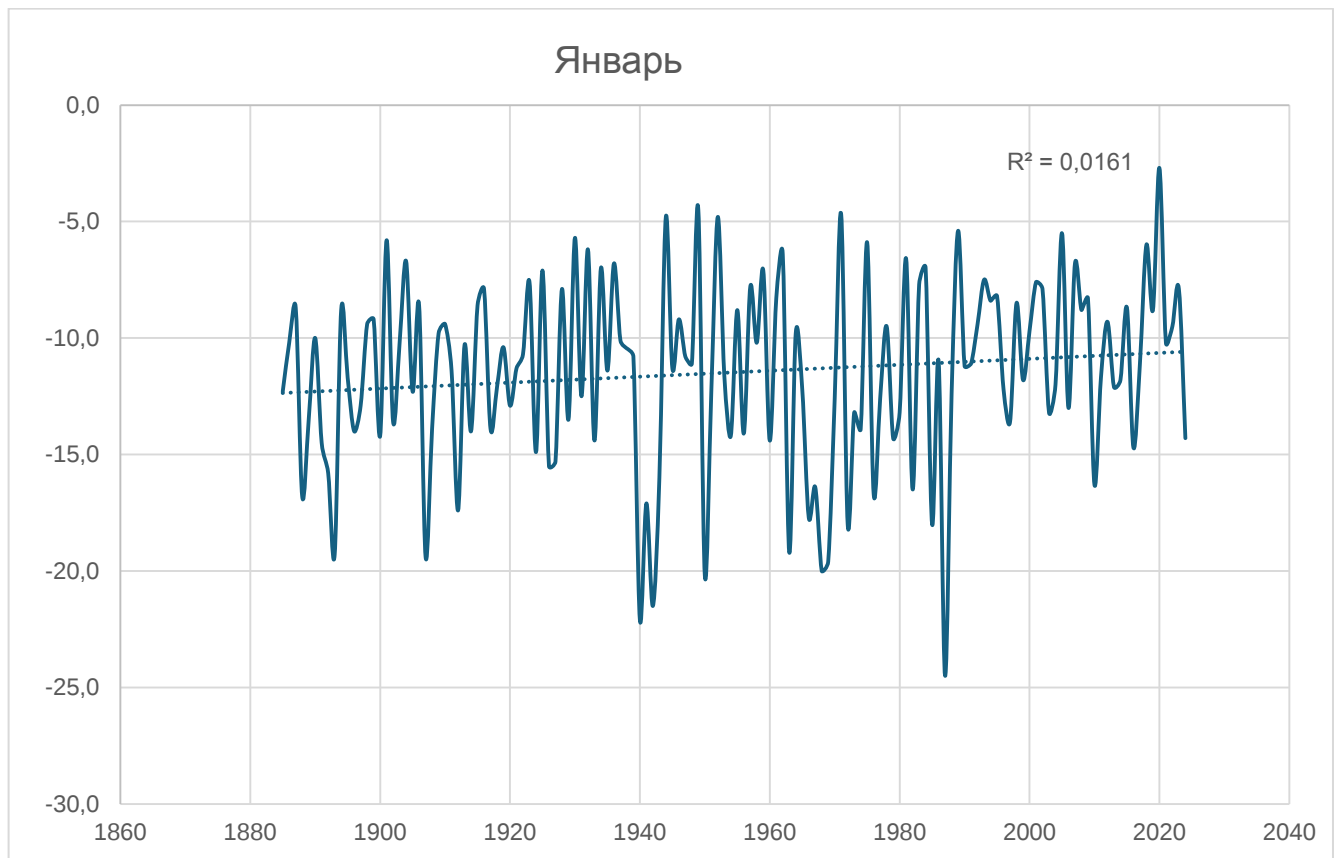


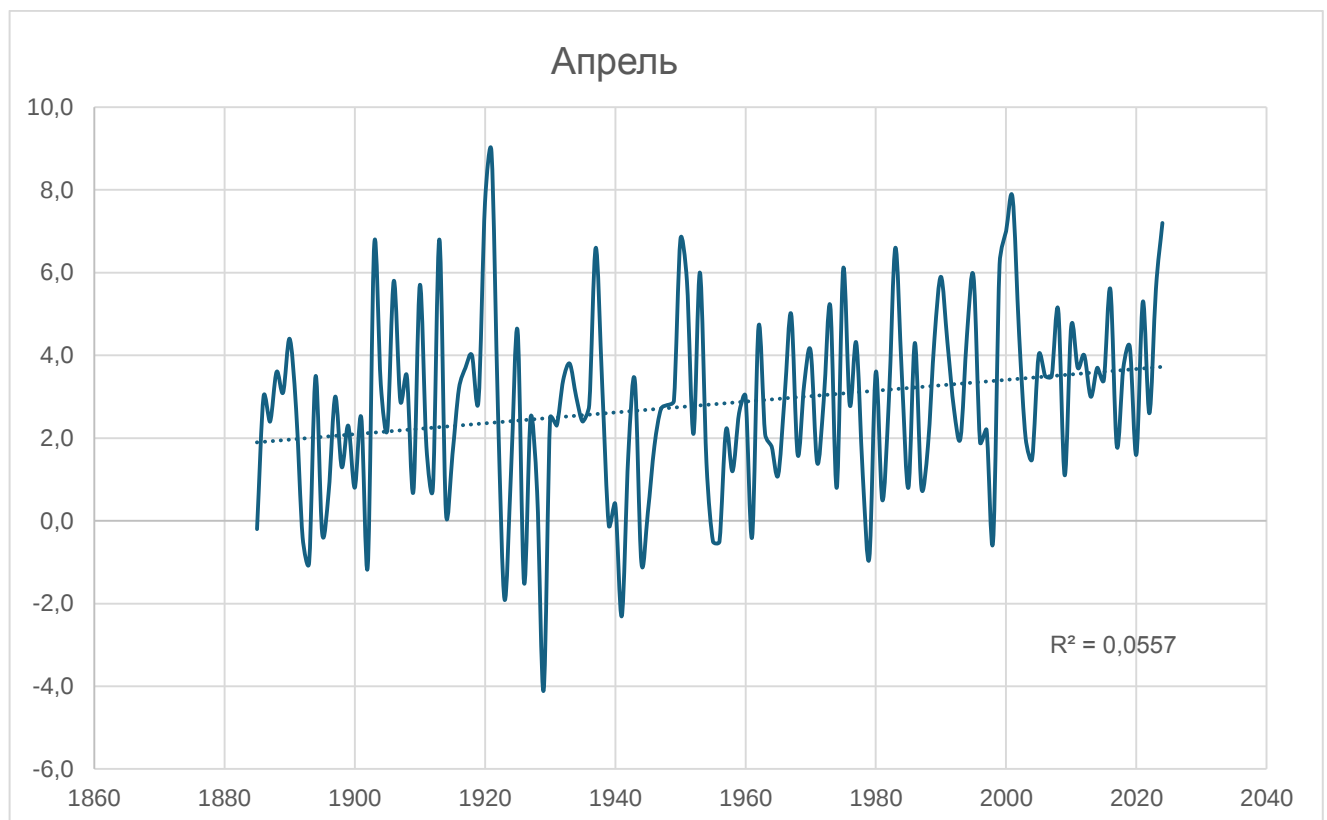
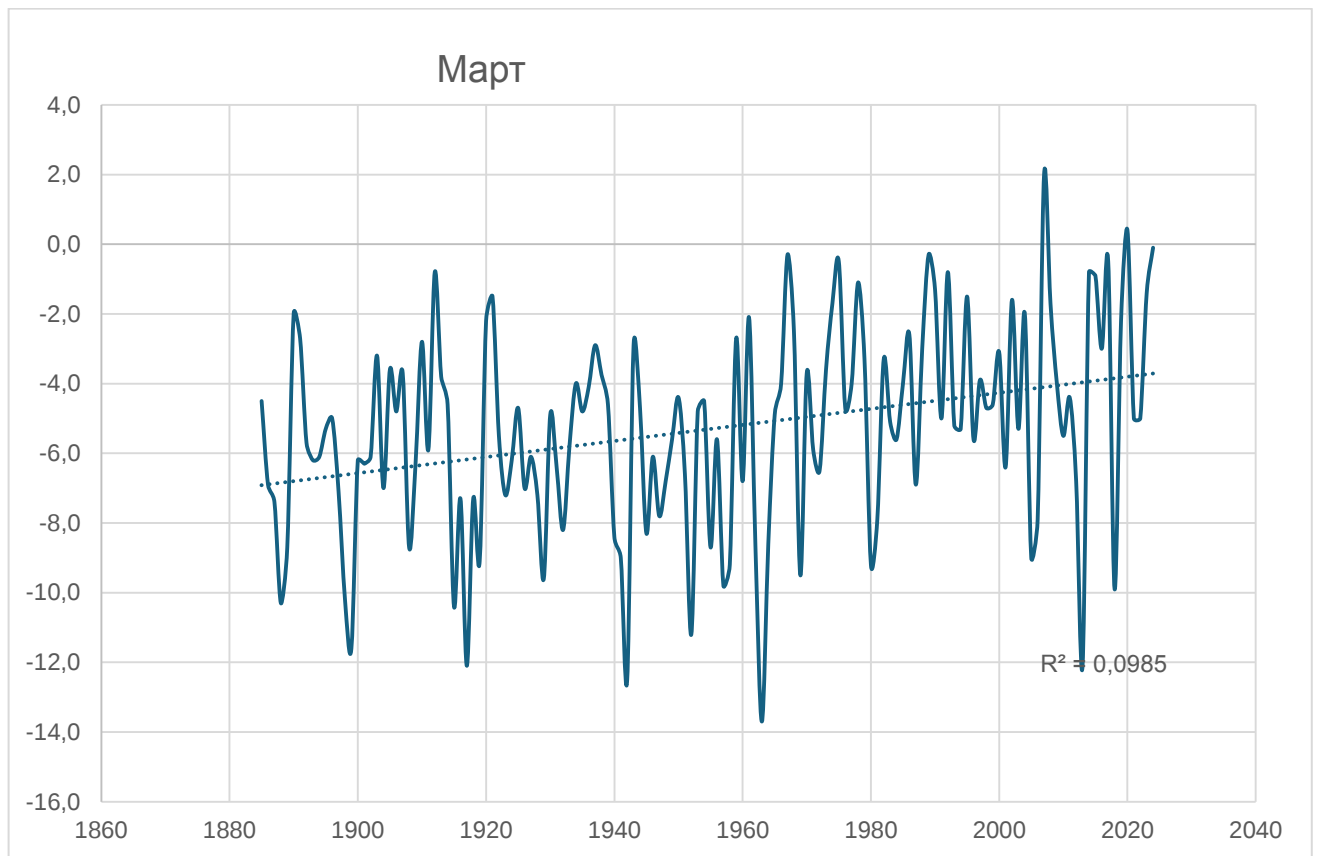


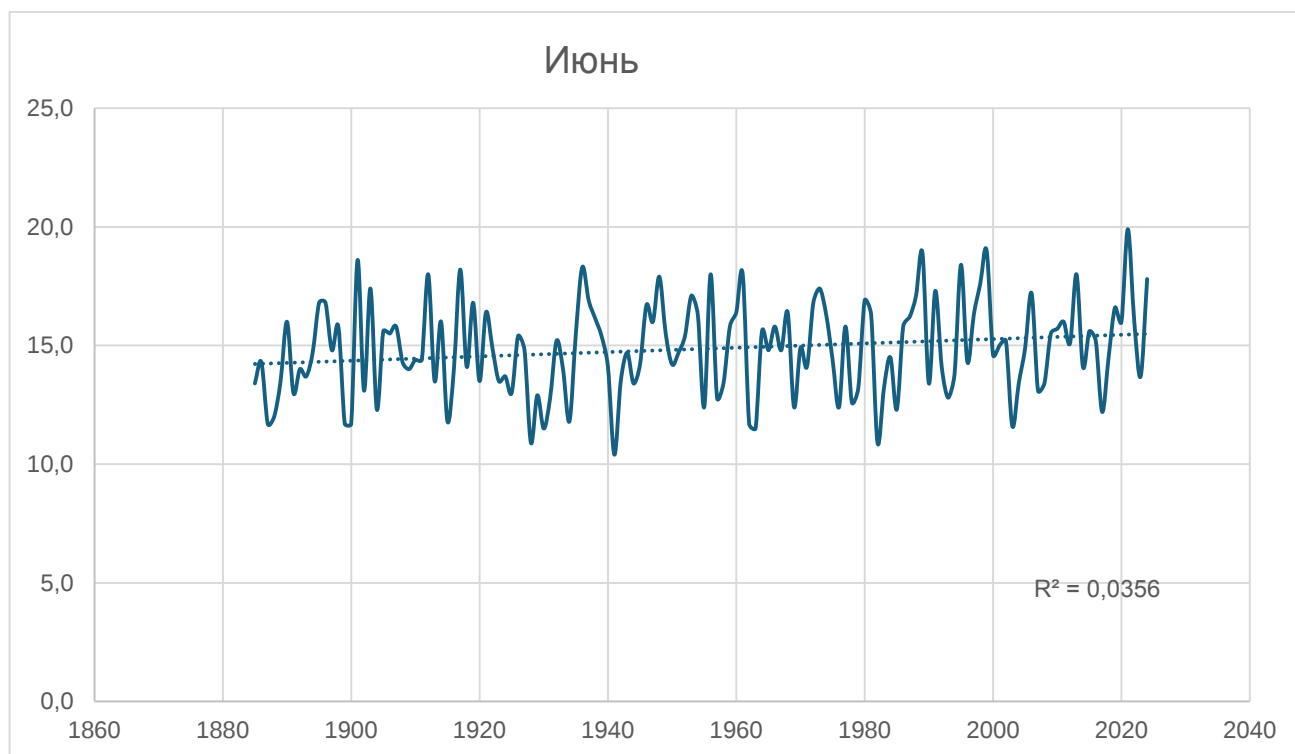
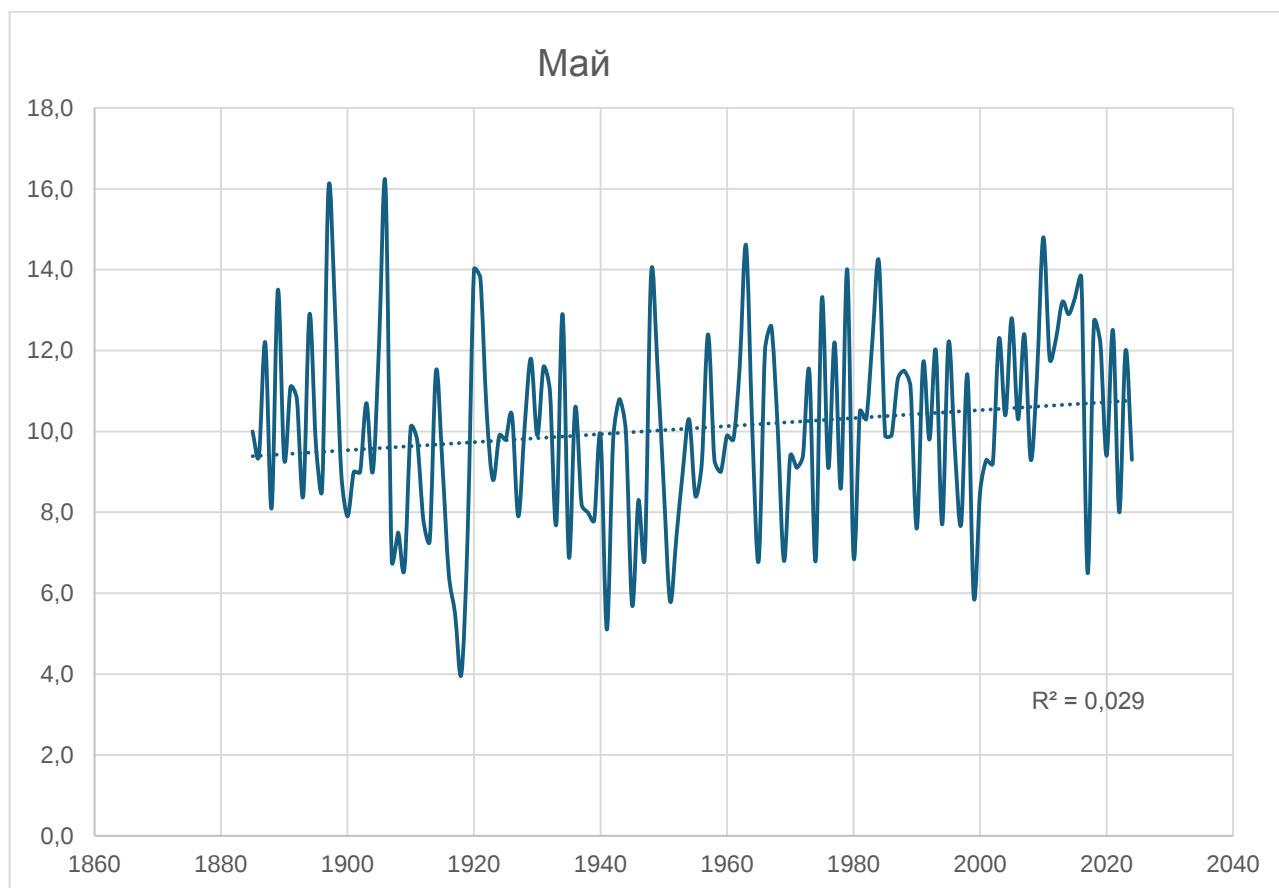


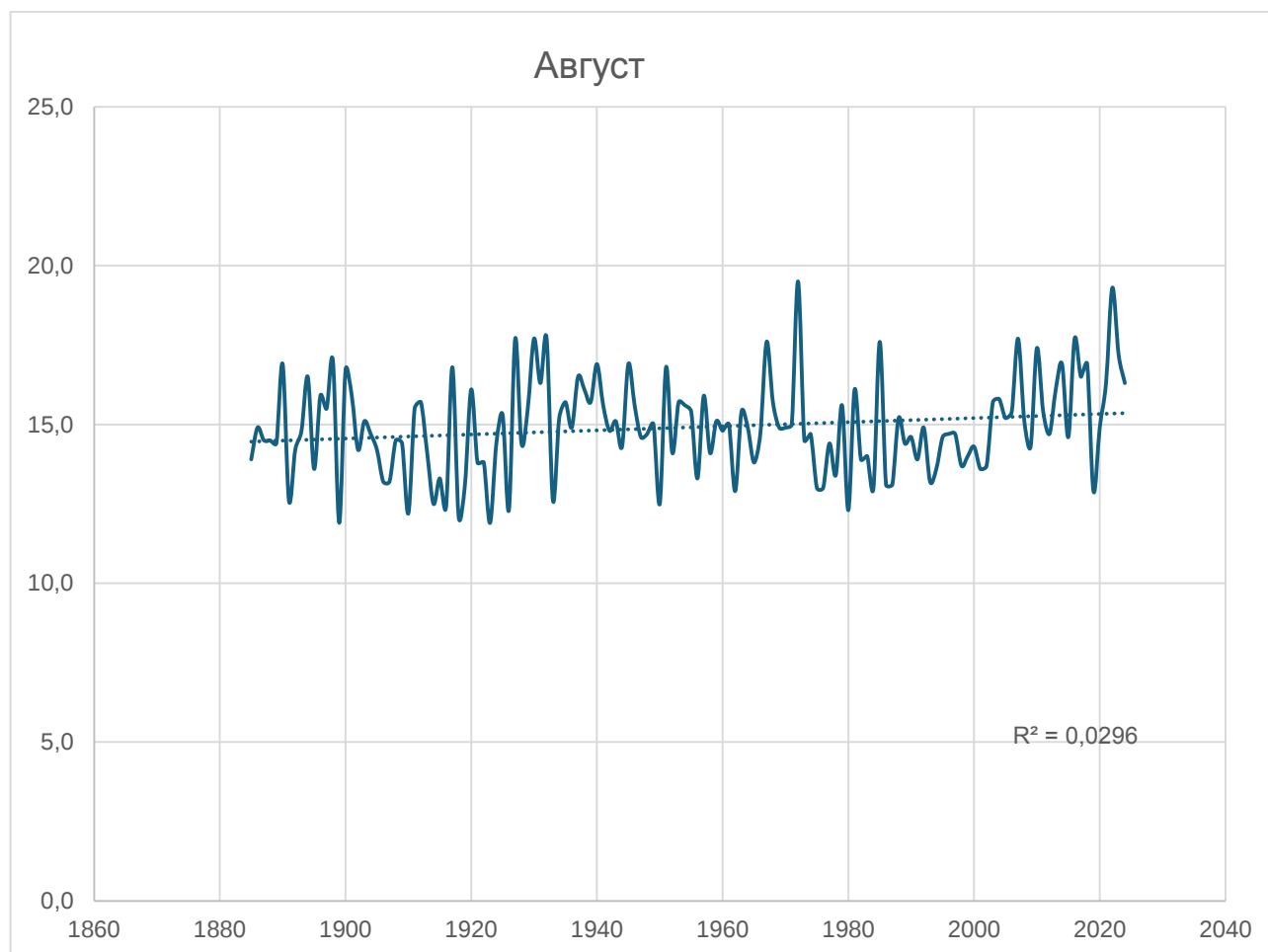
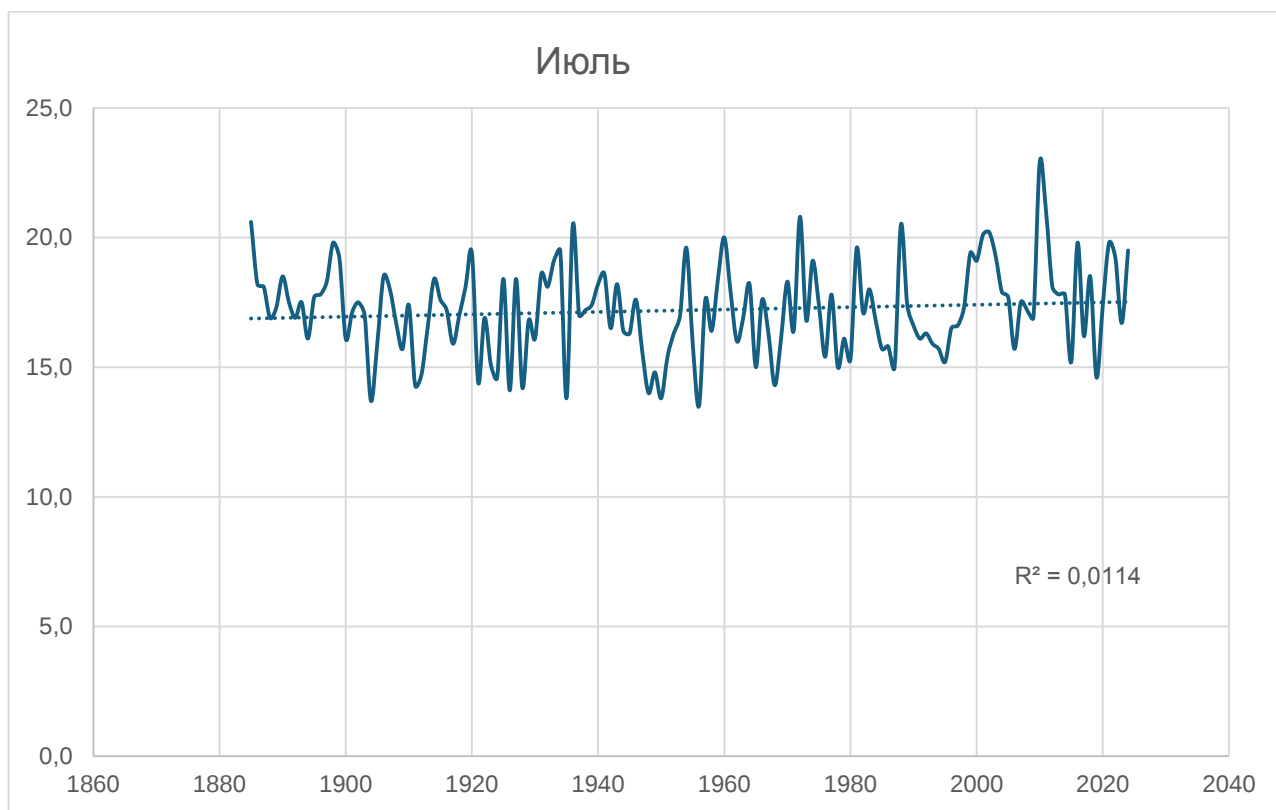


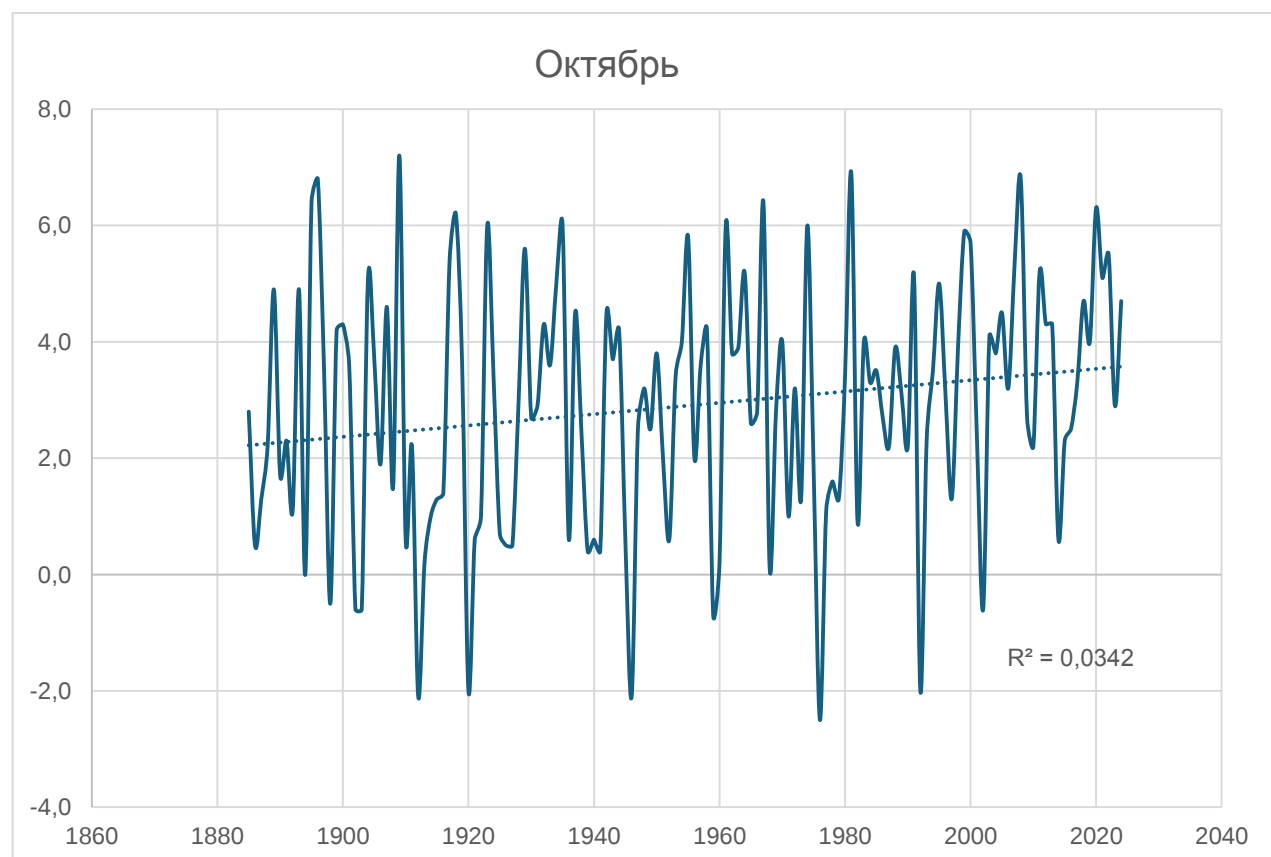
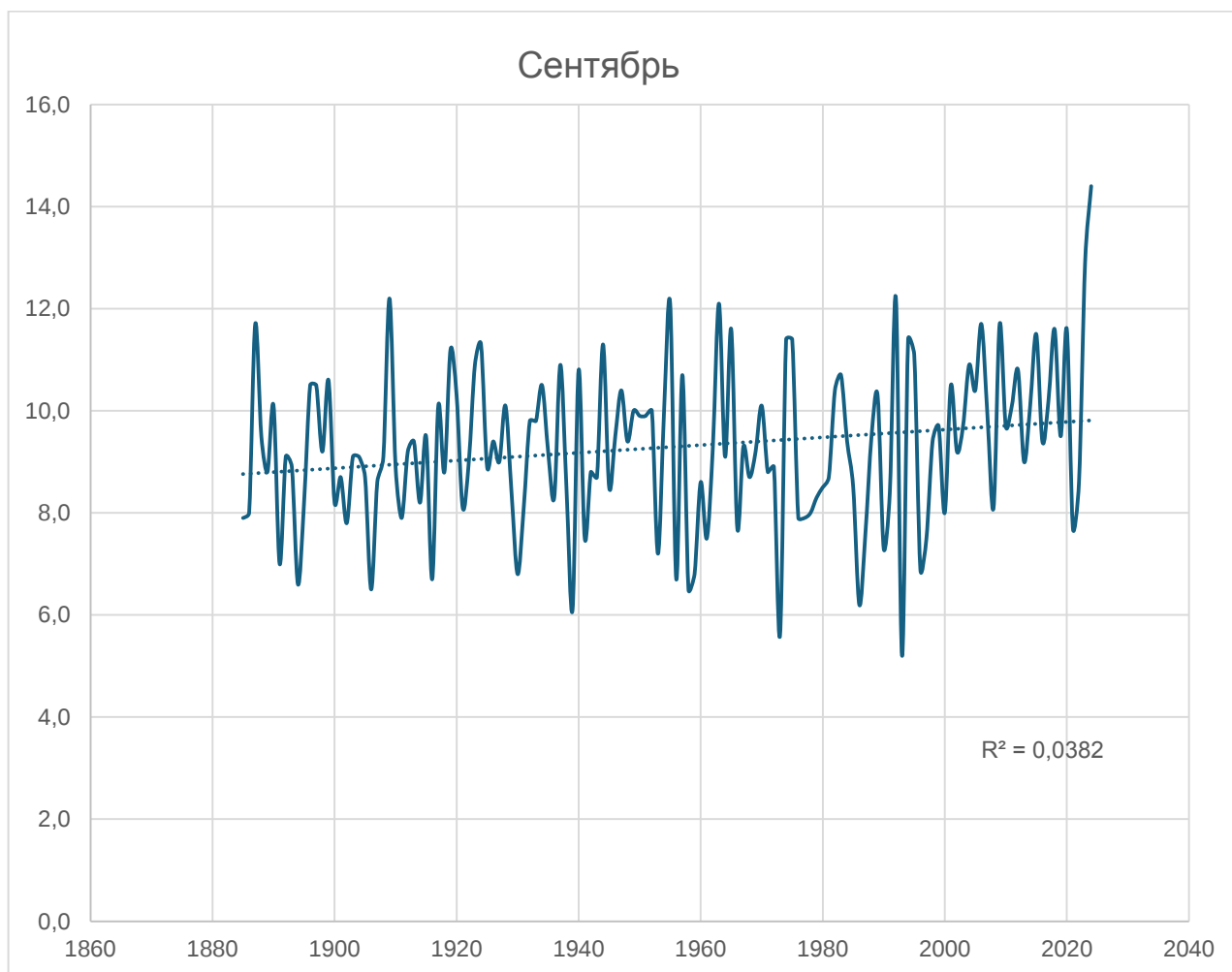
Графики хода многолетних среднемесячных температур по
метеорологической станции Вологда

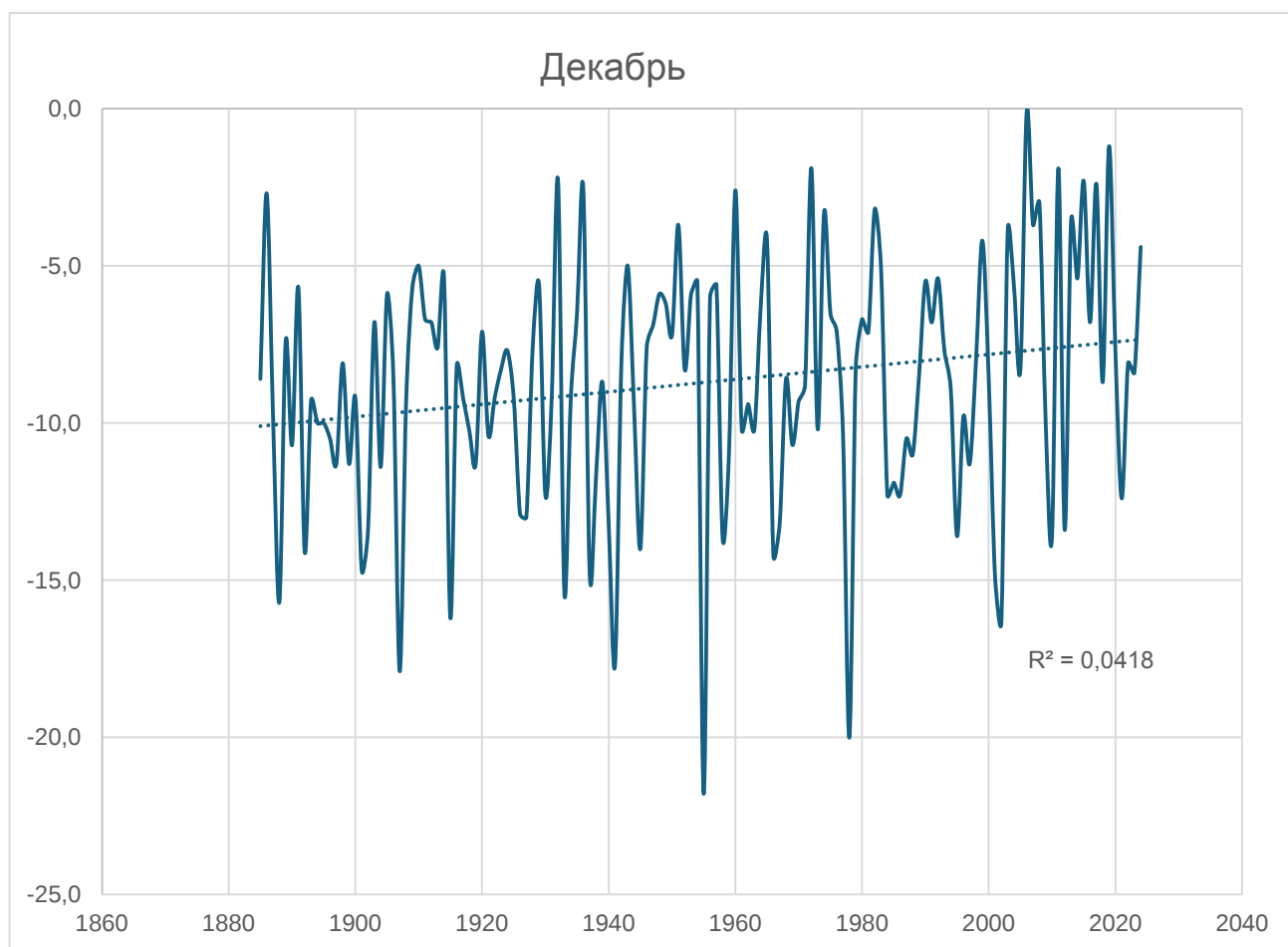
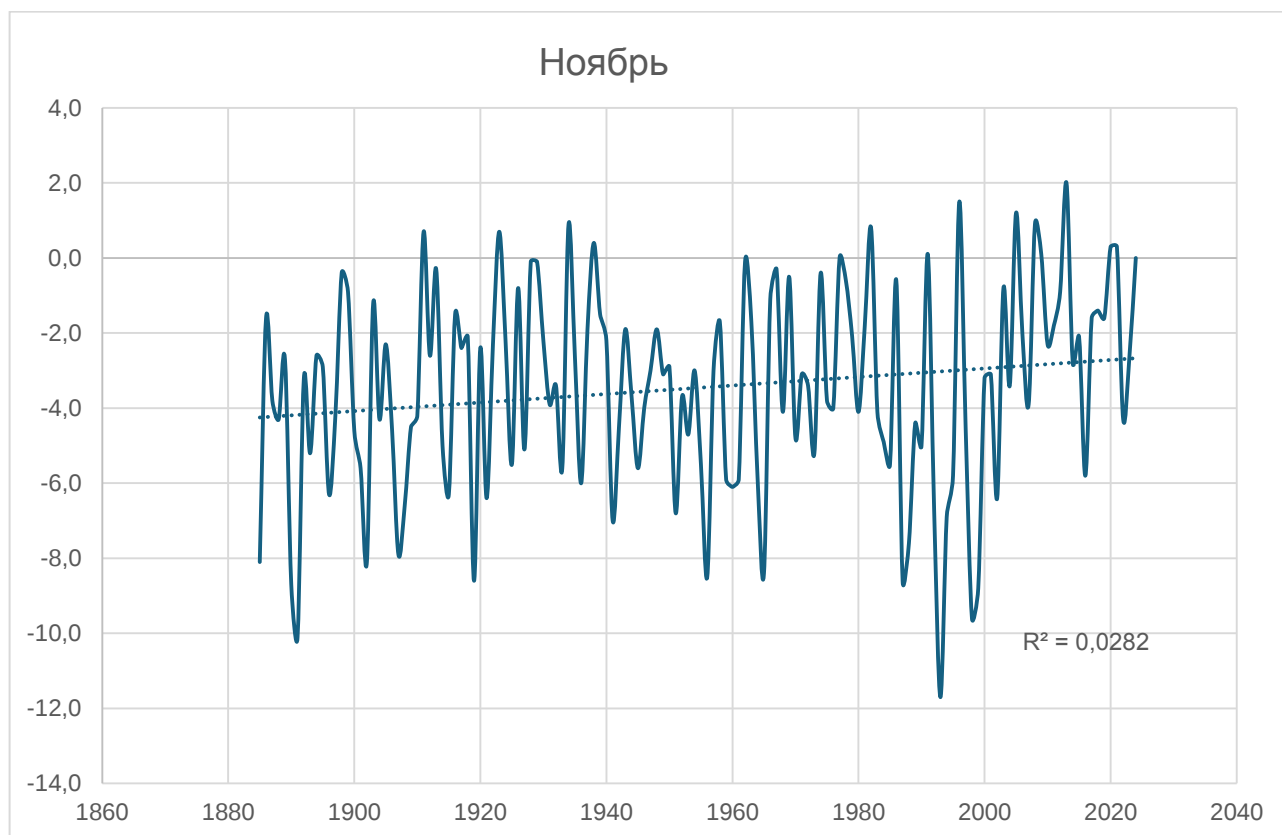












Оценка значимости линейного тренда

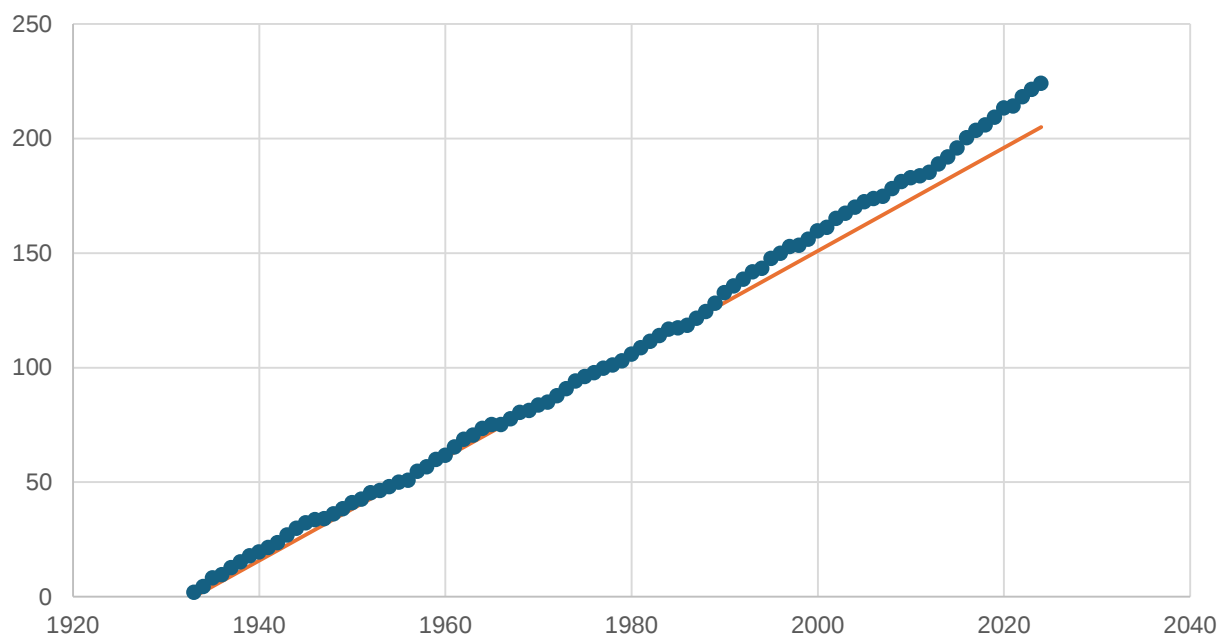
Метеорологическая станция - Котлас	
Месяц	Исследуемая характеристика – температура воздуха
Январь	не значим
Февраль	значим
Март	значим
Апрель	значим
Май	значим
Июнь	не значим
Июль	не значим
Август	не значим
Сентябрь	не значим
Октябрь	значим
Ноябрь	не значим
Декабрь	не значим
Метеорологическая станция - Вологда	
Месяц	Исследуемая характеристика – температура воздуха
Январь	не значим
Февраль	значим
Март	значим
Апрель	значим
Май	значим
Июнь	значим
Июль	не значим
Август	значим
Сентябрь	значим
Октябрь	значим
Ноябрь	значим
Декабрь	значим

Проверка на однородность

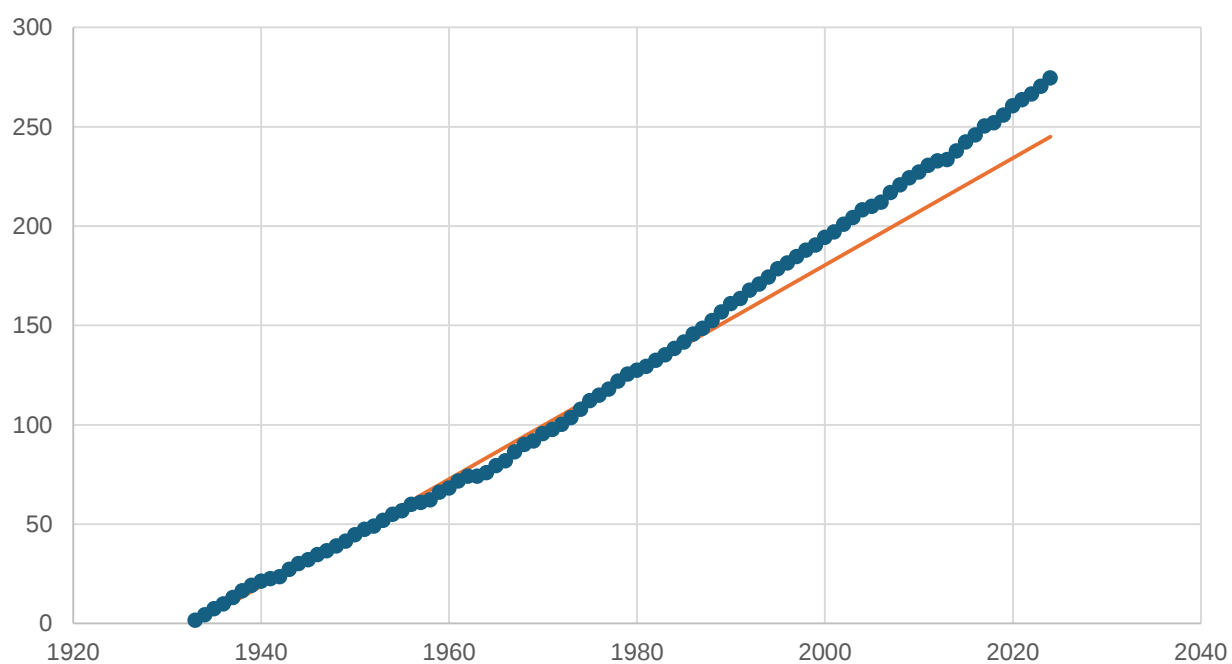
Метеорологическая станция - Котлас		
Месяц	Исследуемая характеристика – температура воздуха	
	Критерий Стьюдента	Критерий Фишера
Январь	однороден	однороден
Февраль	не однороден	однороден
Март	не однороден	однороден
Апрель	не однороден	однороден
Май	не однороден	однороден
Июнь	однороден	однороден
Июль	однороден	однороден
Август	однороден	однороден
Сентябрь	однороден	однороден
Октябрь	не однороден	однороден
Ноябрь	однороден	не однороден
Декабрь	однороден	однороден

Метеорологическая станция - Вологда		
Месяц	Исследуемая характеристика – температура воздуха	
	Критерий Стьюдента	Критерий Фишера
Январь	однороден	однороден
Февраль	однороден	однороден
Март	не однороден	однороден
Апрель	однороден	однороден
Май	не однороден	однороден
Июнь	однороден	однороден
Июль	однороден	однороден
Август	однороден	однороден
Сентябрь	однороден	не однороден
Октябрь	однороден	однороден
Ноябрь	однороден	однороден
Декабрь	однороден	однороден

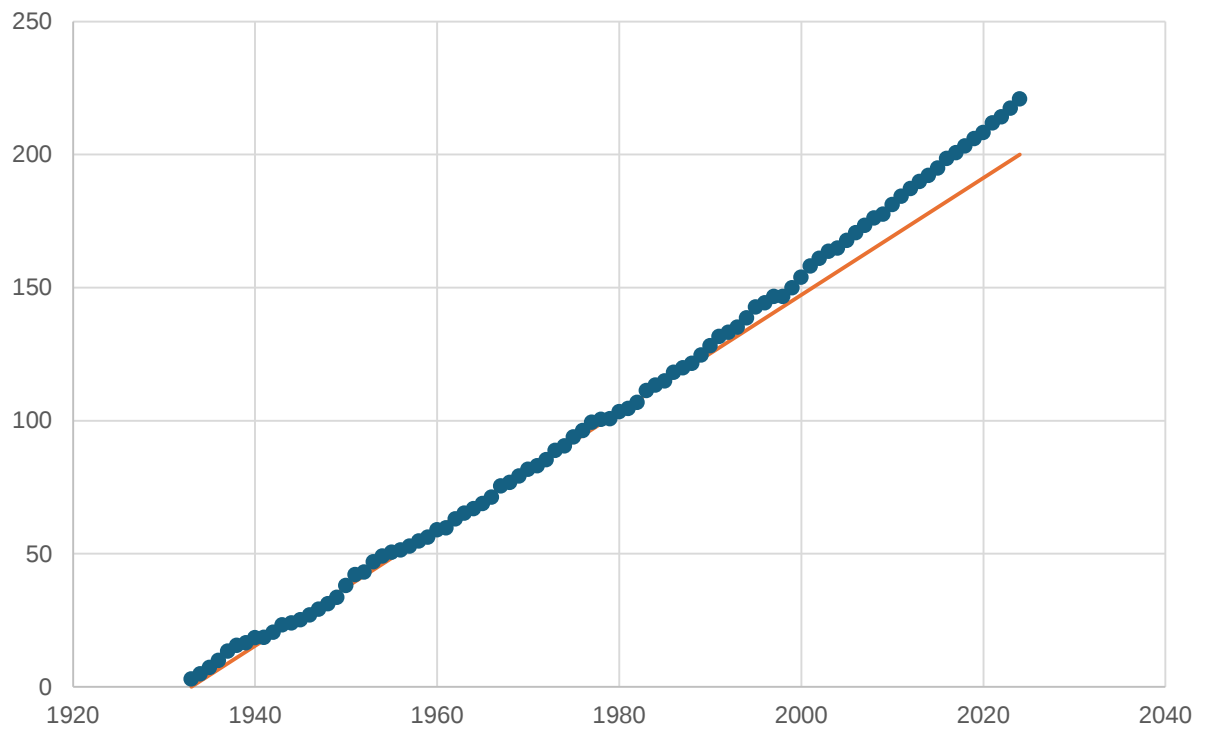
Февраль



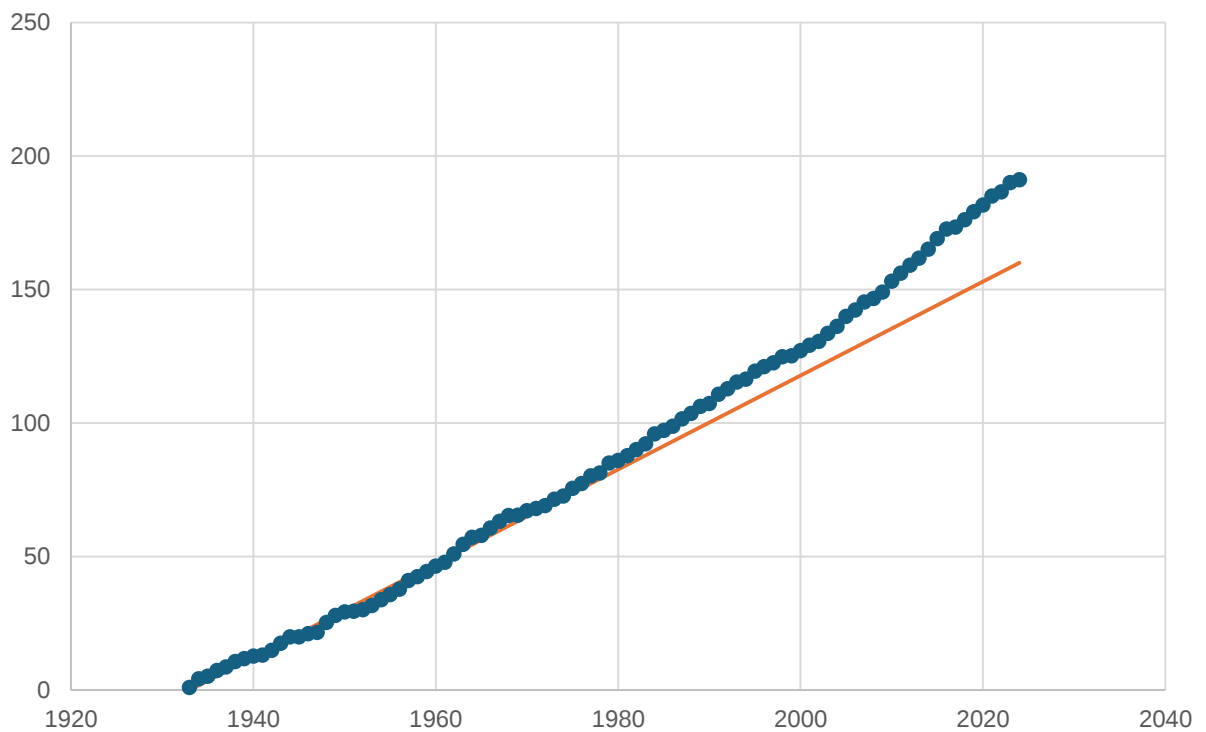
Март

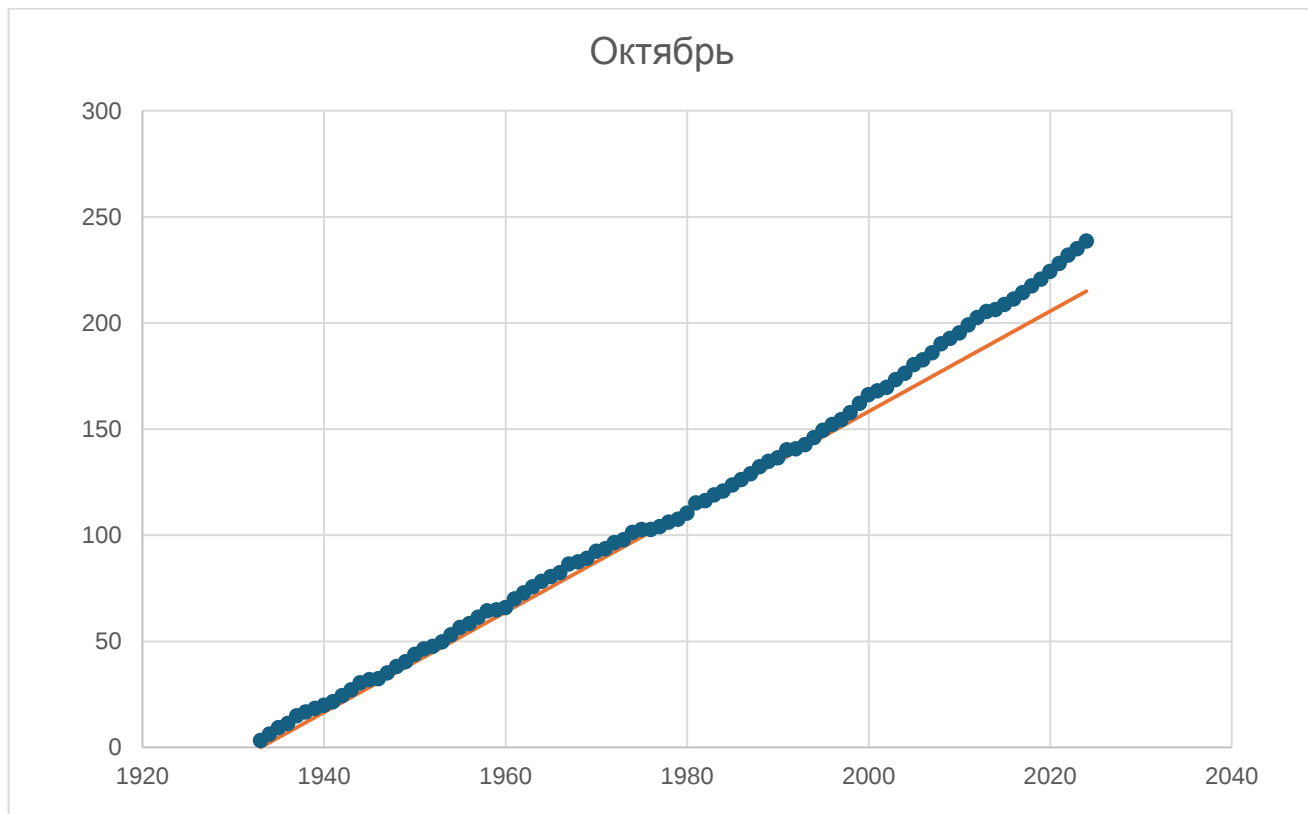


Апрель

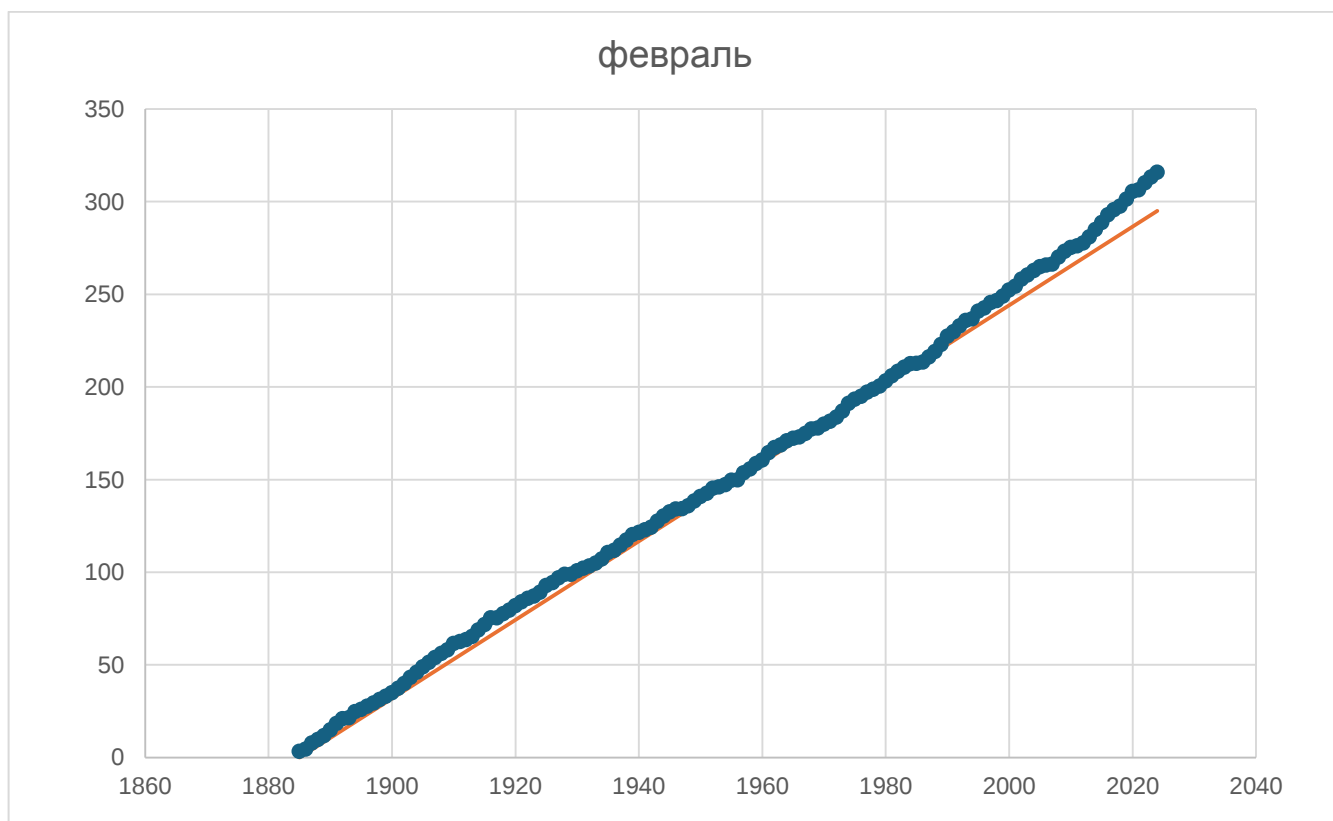


Май

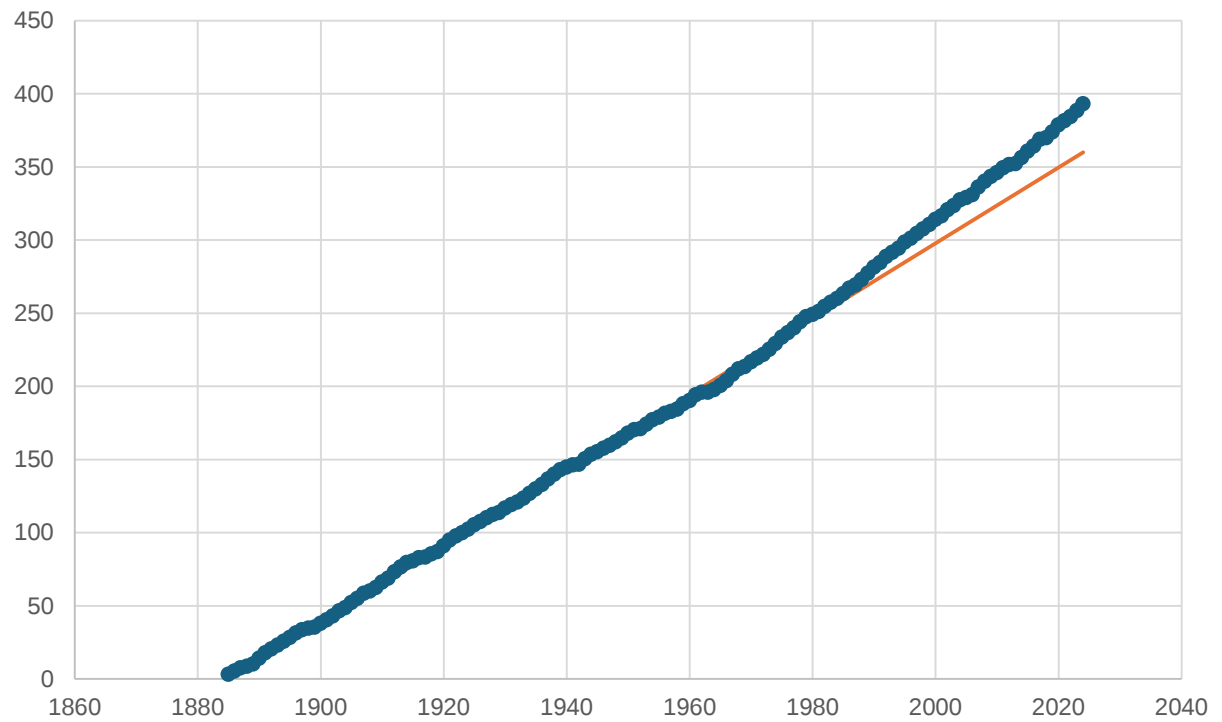




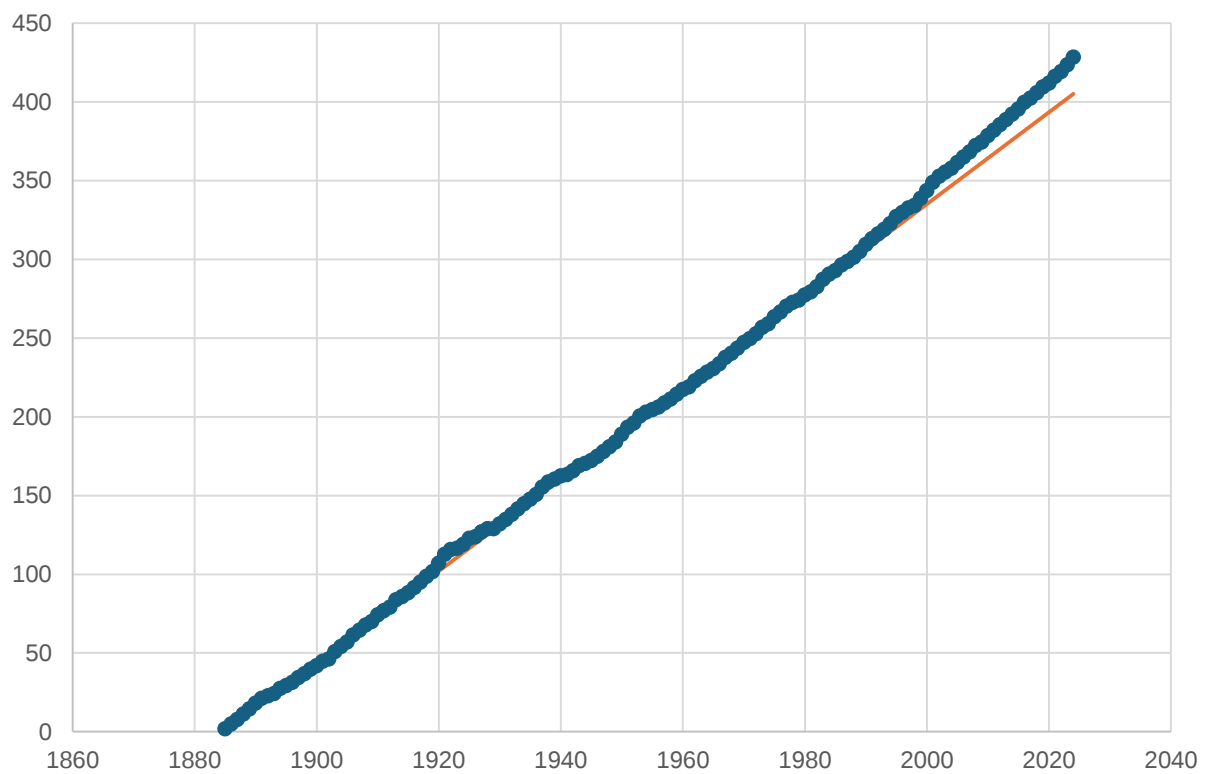
Интегральные кривые, метеорологическая станция Вологда



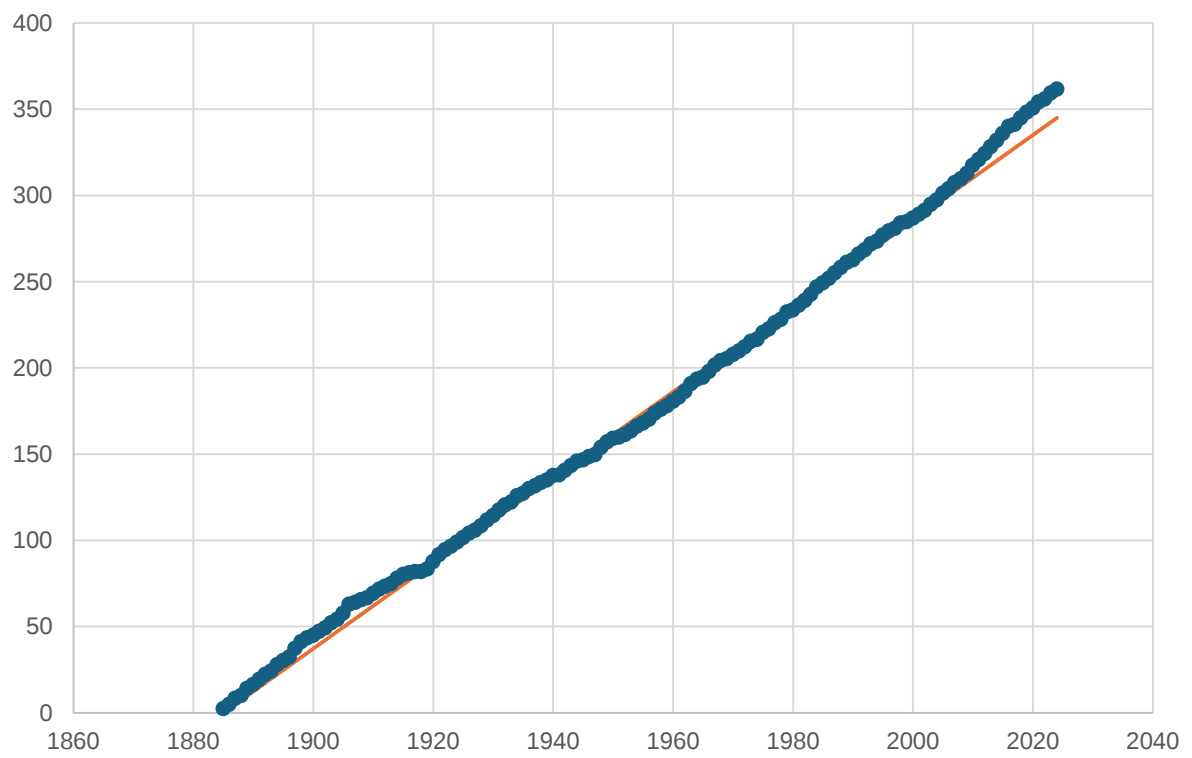
март



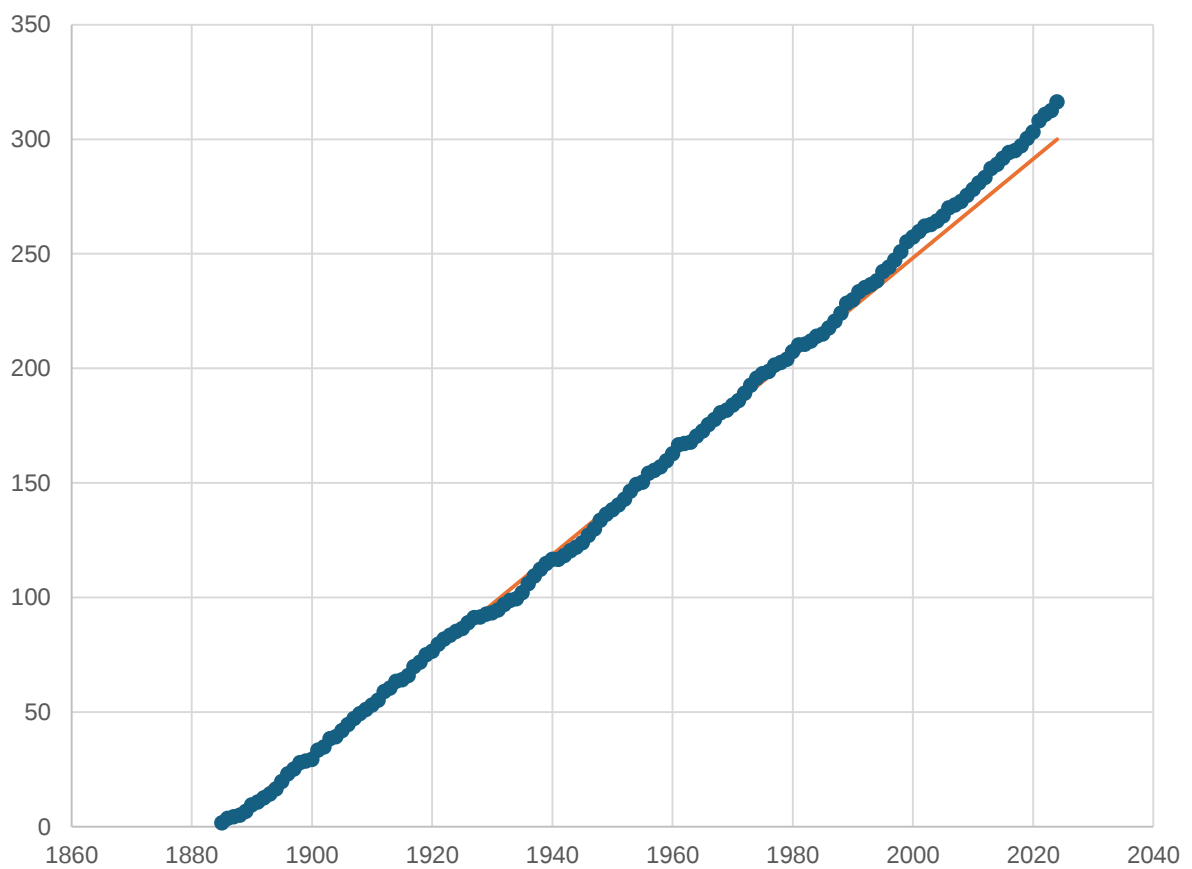
апрель



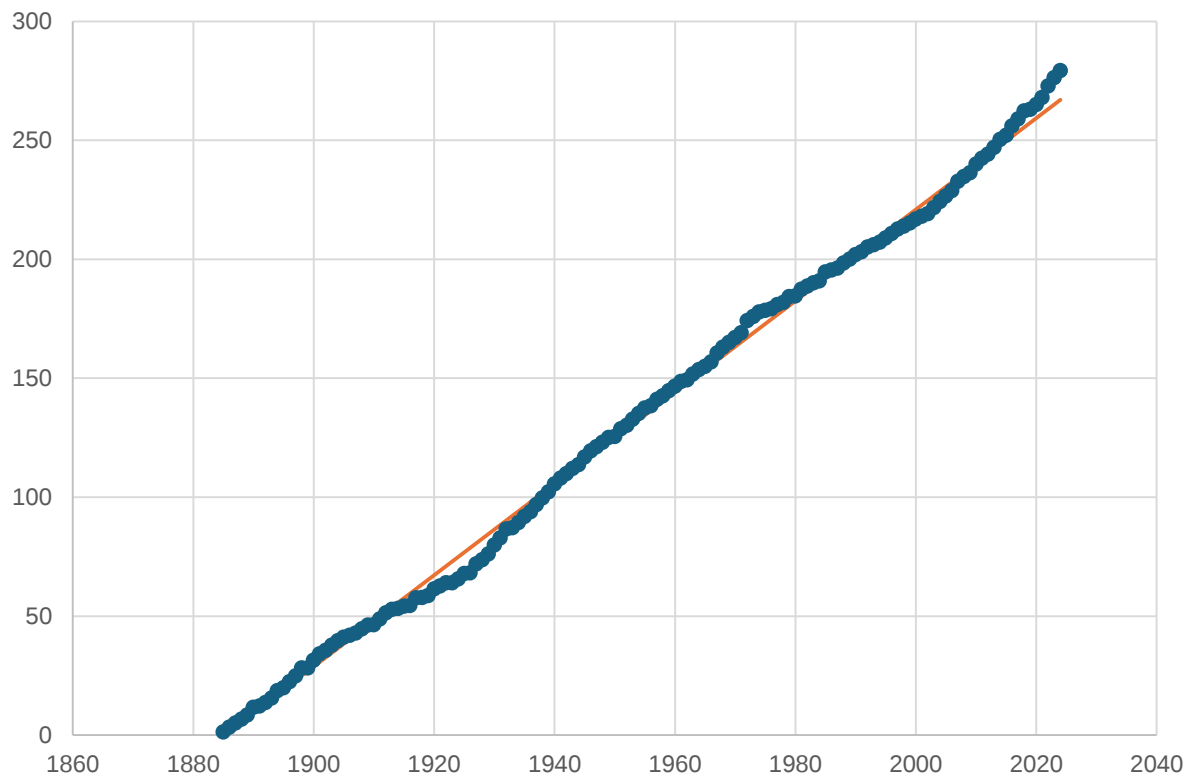
май



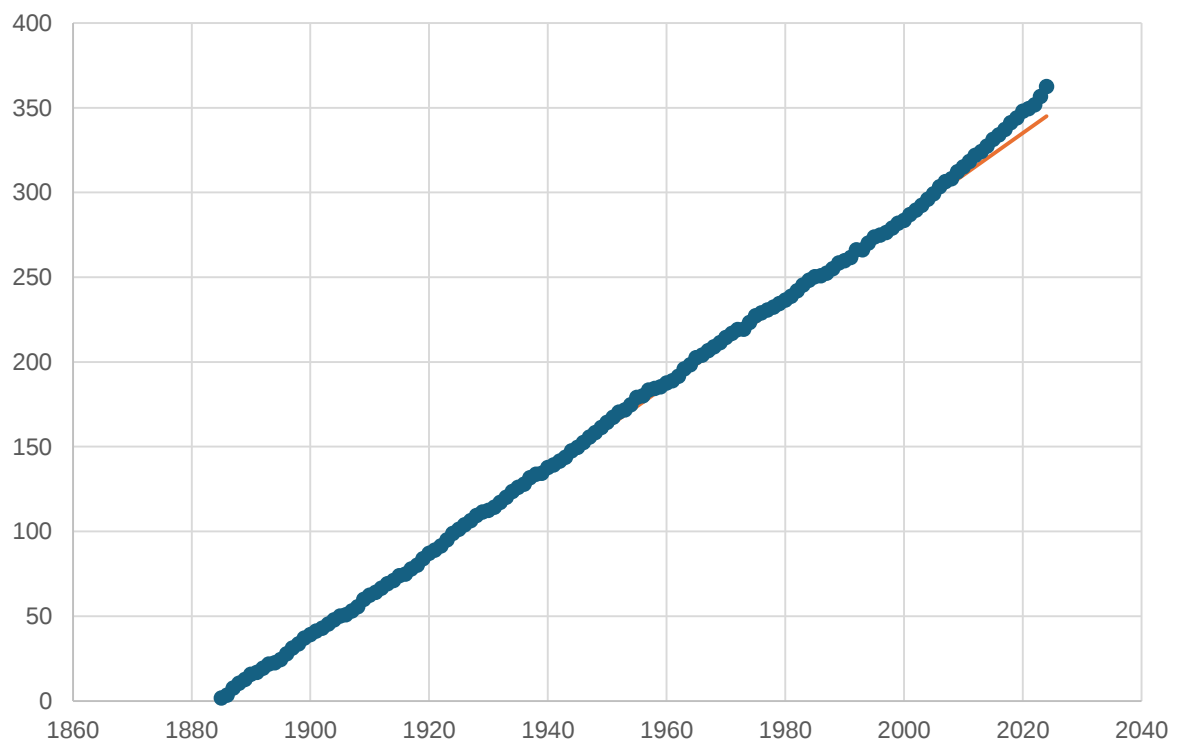
ИЮНЬ



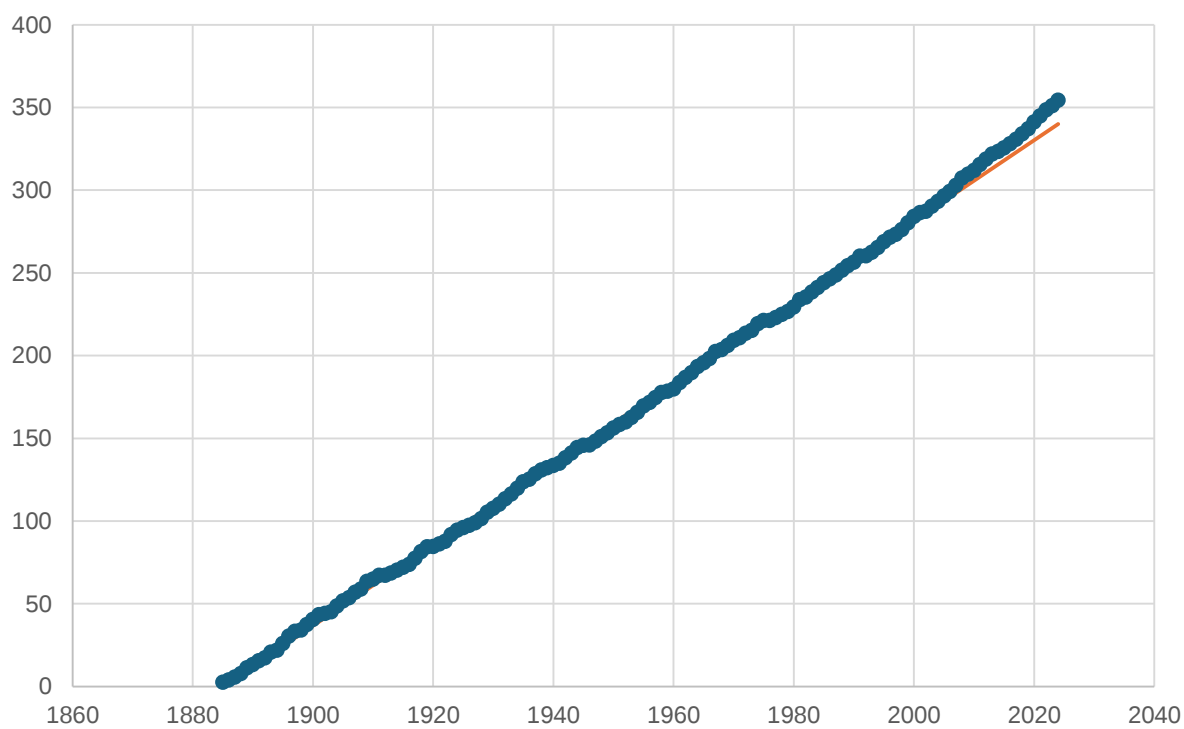
август



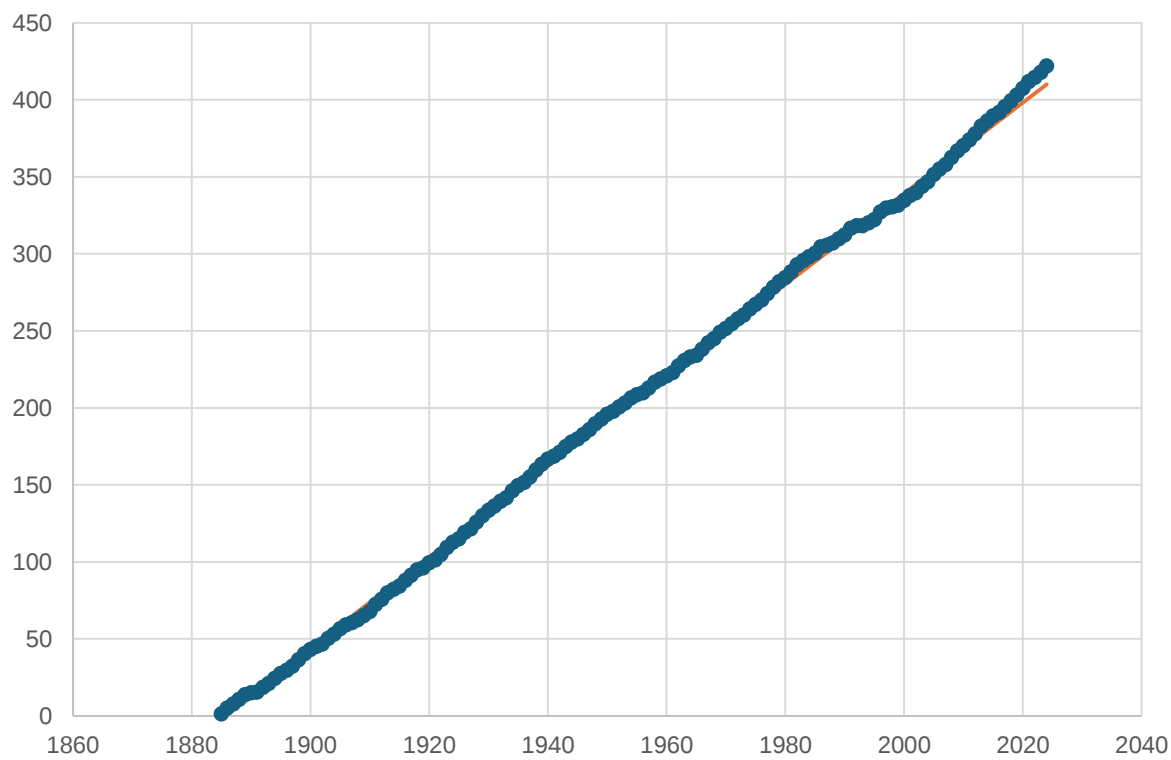
сентябрь



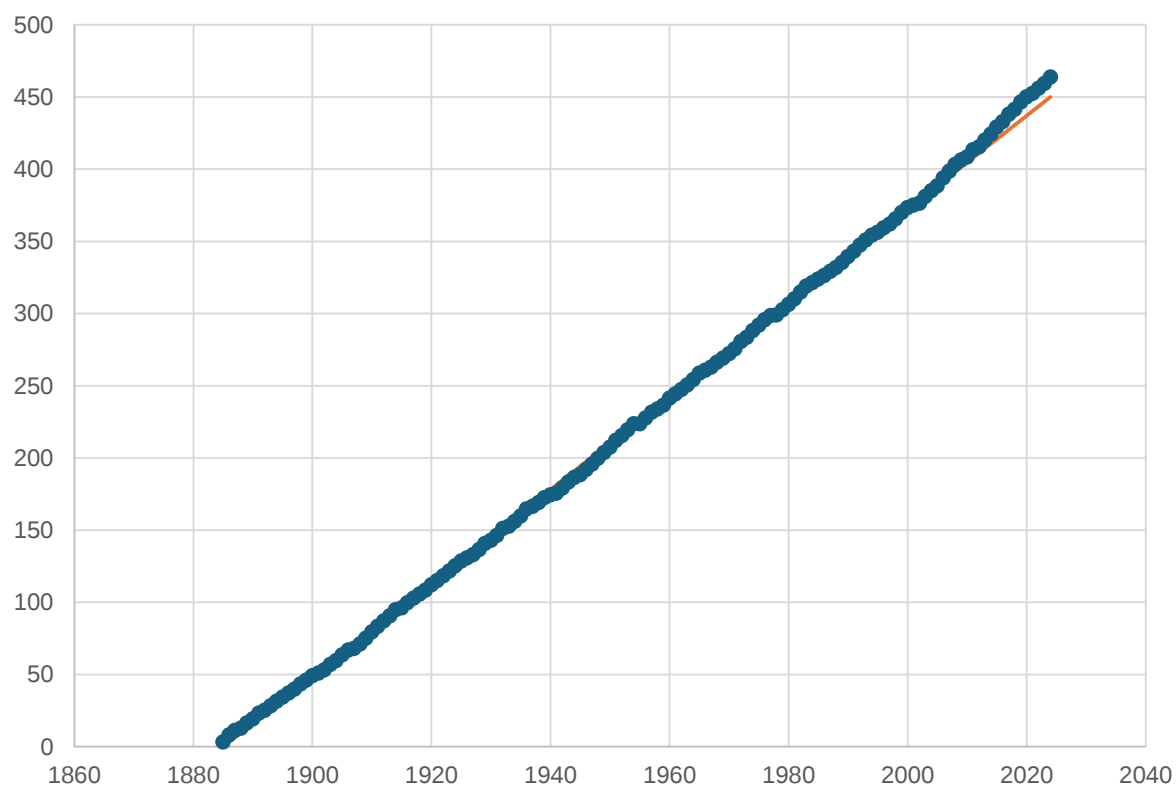
октябрь



ноябрь



декабрь



Уровень воды на реке Сухона за весь период наблюдений

№ п/п	Год	Уровень на гидрологическом посту			№ п/п	Год	Уровень на гидрологическом посту		
		Рабаньга	Тотьма	Каликино			Рабаньга	Тотьма	Каликино
1	1943	430	311	296	42	1984	422	419	406
2	1944	427	420	396	43	1985	422	324	284
3	1945	212	253	270	44	1986	530	417	364
4	1946	538	592	526	45	1987	452	350	314
5	1947	560	523	544	46	1988	388	296	291
6	1948	474	285	268	47	1989	451	341	327
7	1949	474	361	268	48	1990	461	336	348
8	1950	275	257	267	49	1991	503	487	447
9	1951	488	380	367	50	1992	507	446	452
10	1952	372	340	347	51	1993	517	356	338
11	1953	514	426	364	52	1994	531	390	340
12	1954	296	308	270	53	1995	549	494	454
13	1955	599	506	447	54	1996	232	345	348
14	1956	518	420	395	55	1997	412	527	394
15	1957	557	442	448	56	1998	546	381	375
16	1958	560	486	419	57	1999	496	366	424
17	1959	508	375	337	58	2000	502	381	357
18	1960	445	344	338	59	2001	476	339	338
19	1961	592	534	428	60	2002	396	315	326
20	1962	550	508	475	61	2003	413	450	433
21	1963	334	288	293	62	2004	458	305	248
22	1964	414	402	290	63	2005	486	356	293
23	1965	356	388	361	64	2006	307	236	211
24	1966	602	509	442	65	2007	360	248	415
25	1967	406	341	268	66	2008	464	382	408
26	1968	456	340	357	67	2009	411	283	252
27	1969	498	374	313	68	2010	501	398	348
28	1970	174	331	212	69	2011	405	319	297
29	1971	250	266	356	70	2012	525	419	436
30	1972	226	344	272	71	2013	479	392	320
31	1973	363	298	309	72	2014	196	222	262
32	1974	496	414	426	73	2015	196	159	186
33	1975	291	328	320	74	2016	398	379	216
34	1976	440	432	349	75	2017	472	313	280
35	1977	460	326	301	76	2018	505	324	274
36	1978	342	287	245	77	2019	454	317	332
37	1979	498	412	358	78	2020	547	339	278
38	1980	432	412	391	79	2021	497	415	389
39	1981	532	440	386	80	2022	481	332	323
40	1982	452	345	312	81	2023	459	280	258
41	1983	478	428	312					