



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Исследование антропогенных
и климатических изменений речного стока
с использованием показателя Херста**

Исполнитель Вагнер Ксения Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Гайдукова
(подпись)

кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

03 » марта 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК.....	8
1.1. Приведение рядов к многолетнему периоду	8
1.2. Проверка рядов на значимость линейного тренда.....	9
1.3. Проверка рядов на случайность.....	9
1.4. Проверка рядов на однородность	10
1.5. Построение суммарных и разностных интегральных кривых	12
1.6. Эмпирический закон Хёрста	12
1.7. Показатель Хёрста для случайного процесса с независимыми сечениями (белого шума)	16
2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЁРСТА НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕВЕРО- ЗАПАДА РФ	18
2.1. Физико-географическая и климатическая характеристика территории Северо-Запада РФ.....	18
2.1.1. Географическое положение	18
2.1.2. Рельеф и геологическое строение	19
2.1.3. Почвенный покров	19
2.1.4. Растительность	20
2.1.5. Гидрографическая сеть.....	21
2.1.6. Климат	23
2.2. Комплексный статистический анализ рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада РФ	25
2.2.1. Исходные данные	25
2.2.2. Оценка значимости линейных трендов	26
2.2.3. Проверка рядов на однородность	29
2.2.4. Проверка рядов на случайность	31
2.2.5. Анализ суммарных и разностных интегральных кривых	33

2.2.6. Сравнительный анализ показателя Хёрста для рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада РФ	34
3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЁРСТА НА ПРИМЕРЕ РЕК БАССЕЙНА Р. ТЕРЕК.....	37
3.1. Физико-географическая и климатическая характеристика территории бассейна реки Терек	37
3.1.1. Географическое положение	37
3.1.2. Рельеф и геологическое строение	38
3.1.3. Почвенный покров	41
3.1.4. Растительность	42
3.1.5. Гидрографическая сеть.....	44
3.1.6. Климат	47
3.2. Комплексный статистический анализ рядов максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна реки Терек.....	50
3.2.1. Исходные данные	50
3.2.2. Оценка значимости линейных трендов	52
3.2.3. Проверка рядов на однородность	54
3.2.4. Проверка рядов на случайность	54
3.2.5. Анализ суммарных и разностных интегральных кривых	55
3.2.6. Сравнительный анализ показателя Хёрста для рядов максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна реки Терек	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	59
ПРИЛОЖЕНИЯ	62
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Сводная таблица проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада Российской Федерации на однородность, стационарность и случайность.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Хронологические кривые максимальных расходов воды весеннего половодья рек Северо-Запада Российской Федерации.....	64

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Хронологические кривые максимальных расходов воды весеннего половодья рек бассейна Терек.....	83
---	----

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Суммарные кривые максимальных расходов воды весеннего половодья рек Северо-Запада Российской Федерации.	86
--	----

ВВЕДЕНИЕ

В результате изменений климата и возрастающей антропогенной нагрузки на речные водосборы многие гидрологические ряды являются неоднородными и нестационарными.

В настоящее время для проверки рядов на однородность, стационарность и независимость используется целый набор критериев. Для проверки однородности – критерии Стьюдента и Фишера, для оценки выбросов – критерии Диксона и Смирнова-Граббса, для оценки трендов – критерий значимости коэффициента корреляции зависимости $x = f(t)$, для проверки случайности – критерий значимости выборочного коэффициента автокорреляции.

В этой ситуации в качестве универсального критерия может использоваться показатель Хёрста, который позволяет оценить соответствует исследуемый ряд модели случайной величины или нет.

Опыт показывает, что ряды максимального стока при отсутствии климатических изменений и при отсутствии антропогенного воздействия описываются моделью случайной величины или моделью случайного процесса с независимыми сечениями (белый шум). Исключение составляют только реки, вытекающие из озер и крупные реки с широкой поймой, которая оказывает регулирующее влияние на максимальный сток.

Поскольку показатель Хёрста является характеристикой, в том числе, и трендоустойчивости нестационарные ряды всегда будут иметь показатель Хёрста отличный от показателя Хёрста белого шума.

Цель настоящей работы – оценить возможность использования показателя Хёрста для оценки неоднородности и нестационарности рядов максимальных расходов весеннего половодья на примере нескольких регионов Российской Федерации. В качестве тестовых регионов были выбраны Северо-Западный регион РФ и бассейн реки Терек, которые имеют существенные различия по большинству гидрометеорологических показателей.

В связи с этим решались следующие задачи.

- Собрать данные о максимальных расходах рек исследуемых регионов за весь период наблюдений, включая последние годы.
- Выполнить проверку рядов на однородность и стационарность с использованием критериев, рекомендуемых действующими нормативными документами.
- Для всех рядов рассчитать показатель Хёрста и оценить возможность его применения в качестве универсального критерия.

Настоящая работа является расширением и продолжением исследований, которые были выполнены автором при подготовке ВКР бакалавра в 2022 году [1].

Магистерская диссертация состоит из 3 глав введения и заключения.

В первой главе дано описание всех расчетных методик, которые использовались в данном исследовании: методика приведения коротких рядов к многолетнему периоду; методика проверки рядов на значимость линейного тренда; методика проверки рядов на случайность; методика проверки рядов на однородность; методика построения суммарных и разностных интегральных кривых; методика определения показателя Херста.

Во второй главе данной работы проводилось исследование рядов максимальных расходов с помощью показателя Хёрста на примере рек Северо-Запада РФ. Был выполнен статистический анализ рядов и написана физико-географическая характеристика района. В этой главе также был проведен анализ суммарных и разностных интегральных кривых и выявлена точка перелома условий формирования речного стока.

В третьей главе исследовались ряды максимального стока рек бассейна р. Терека. Дана краткая характеристика природных условий исследуемого региона. Выполнен полный статистический анализ рядов максимальных расходов рек бассейна Терека. Для всех рядов вычислен показатель Херста. Показана возможность использования этого показателя в качестве универсального критерия при проверке рядов на однородность и стационарность.

В заключении приводятся основные результаты проделанной работы.

Магистерская диссертация содержит 25 рисунков, 16 таблиц, 8 приложений и список использованных источников из 25 наименований. Общий объем работы 107 страниц.

1. ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК

1.1. Приведение рядов к многолетнему периоду

Для приведения коротких рядов к многолетнему периоду использовался метод гидрологической аналогии. При выборе рек-аналогов учитывались требования Свода Правил СП 529.1325800.2023 [2], учитывались следующие условия [2]:

- однотипность стока реки-аналога и исследуемой реки;
- географическая близость расположения водосборов;
- однородность условий формирования стока, сходство климатических условий, однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий, близкая степень озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
- средние высоты водосборов не должны существенно отличаться;
- отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной-сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды).

В качестве реки-аналога принималась река, для которой выполнялись следующие условия:

$$n \geq 6 \div 10; \quad |R| \geq 0,7; \quad |R| / \sigma_R \geq 2; \quad |a| / \sigma_a \geq 2, \quad (1.1)$$

где n – совместный период наблюдений; R – коэффициент парной корреляции; a – коэффициент регрессии; σ_R и σ_a – соответственно стандартные ошибки коэффициента корреляции и коэффициента регрессии.

Для того, чтобы избежать преуменьшения дисперсии восстановленного ряда значения полученные по уравнению регрессии корректировались с использованием формулы:

$$Q_i = \frac{\tilde{Q}_i - \bar{Q}_n}{R} + \bar{Q}_n, \quad (1.2)$$

где $\tilde{Q}_i$ – значение расхода воды, полученное по уравнению регрессии.

1.2. Проверка рядов на значимость линейного тренда

Трендом называется плавное и устойчивое изменение уровня явления во времени. Проверка значимости линейных трендов в рядах гидрологических характеристик выполнялась с использованием критерия значимости коэффициента корреляции для зависимости $x = f(t)$, где x – значение исследуемой характеристики в i -том году; t – время (годы).

Тренд считался незначимым, если выполнялось условие:

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha}, \quad (1.3)$$

где $t_{2\alpha}$ – нормированная ордината распределения Стьюдента при уровне значимости 2α и числе степеней свободы $\nu = n - 2$.

σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \frac{\sqrt{1 - R^2}}{\sqrt{n - 2}}. \quad (1.4)$$

1.3. Проверка рядов на случайность

Для проверки ряда на случайность использовался критерий значимости выборочного коэффициента автокорреляции (r).

Автокорреляция – это взаимосвязь между величинами ряда, сдвинутыми по времени. Считается, что в подавляющем большинстве случаев ряды максимальных расходов воды соответствуют модели случайной величины, то есть r – статистически незначим. Но при этом предполагается, что ряды однородны и стационарны.

Для неоднородных и нестационарных рядов коэффициент автокорреляции может оказаться статистически значимым, например, если анализируется ряд с хорошо выраженным трендом.

В настоящей работе коэффициент автокорреляции принимался статистически незначимым, если выполняется условие:

$$\frac{|r - m_r|}{\sigma_r} < t_{2\alpha}, \quad (1.5)$$

где $t_{2\alpha}$ – нормированная ордината распределения Стьюдента при уровне значимости 2α и числе степеней свободы $\nu = n - 2$.

m_r – математическое ожидание выборочного коэффициента автокорреляции.

σ_r – стандартная ошибка выборочного коэффициента автокорреляции.

Параметры m_r и σ_r определялись по формулам:

$$m_r = -1 / (n - 1). \quad (1.6)$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{n(n-3)}{(n+1)(n-1)^2}}. \quad (1.7)$$

1.4. Проверка рядов на однородность

Оценку однородности рядов гидрологических наблюдений осуществляют на основе генетического и статистического анализов исходных данных наблюдений. Определение расчетных гидрологических характеристик производят по данным за весь период наблюдений.

Определение однородности рядов осуществлялось с помощью двух критериев Стьюдента и Фишера.

Критерий Фишера позволяет оценить однородность ряда по дисперсии. Эмпирическое значение статистике Фишера рассчитывалось по формуле:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*} \quad (1.8)$$

где D_1^* и D_2^* – дисперсии по первой и второй частям анализируемого ряда, при этом в качестве первой дисперсии обычно рассматривают ту, которая больше ($D_1^* \geq D_2^*$).

Критическое значение статистики Фишера рекомендуется определять по таблицам, опубликованным в [2], в зависимости от числа степеней свободы ν_1

$= n_1 - 1, v_2 = n_2 - 1$ при уровне значимости $2\alpha = 5 \%$ (n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда).

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялись условие:

$$F^* < F_{2\alpha} \quad (1.9)$$

Критерий Стьюдента позволяет оценить однородность ряда по среднему значению. Эмпирическое значение Статистика Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t^* = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{S} \sqrt{\frac{mn}{m+n}} \quad (1.10)$$

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

σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда;

S – стандартное отклонение объединенного ряда, определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (1.11)$$

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

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялись условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (1.12)$$

В настоящей работе проверка однородности проводилась с использованием пакета анализа MS Excel.

1.5. Построение суммарных и разностных интегральных кривых

Для выявления дат нарушения стационарности гидрометеорологических рядов строились нормированные суммарные кривые (1.13) и разностные интегральные кривые (1.14). Разностные интегральные кривые использовались также при оценке показателя Хёрста.

$$\sum_{i=T_n}^T \frac{x_i - x_{\min}}{\sigma_x} = f(T), \quad (1.13)$$

$$\sum_{i=T_n}^T \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} = f(T), \quad (1.14)$$

где x_i – значение исследуемой характеристики в i -том году;
 $x_{\min}$ – минимальное значение исследуемой характеристики;
 σ_x – стандартное отклонение для ряда X ;
 $\bar{x}$ – среднее значение;
 T – время (годы);
 T_n – год начала наблюдений.

1.6. Эмпирический закон Хёрста

В последние годы для описания вероятностной структуры гидрологических рядов стали использовать показатель Хёрста, названный в честь британского гидролога Гарольда Эдвина Хёрста (1880-1978).

Хёрст долгие годы работал в Египте, где изучал водный режим реки Нил и получил прозвище Абу-Нил («отец Нила»).

Изучив записи о наводнениях на реке Нил за 800 лет, Хёрст обнаружил в них закономерность: за годом с высоким уровнем воды обычно следовал еще один год с высоким уровнем, а за годом с низким уровнем воды – еще один год с низким уровнем. Это было похоже на циклы с непредсказуемым периодом.

Для описания таких рядов Хёрст разработал собственную теорию, которую сейчас называют эмпирическим законом Хёрста. Для сравнения различных типов временных рядов Хёрст ввел следующее соотношение:

$$R / S = N^H , \quad (1.15)$$

где R/S – нормированный размах разностной интегральной кривой; N – число наблюдений; H – показатель Хёрста.

Если в двойных логарифмических координатах найти наклон R/S как функцию от N , то тем самым получим оценку H . Эта оценка не связана с какими-либо предположениями относительно лежащего в основе распределения, т. е. является непараметрической.

Из формулы (1.15) следует, что показатель Хёрста равен

$$H = \frac{\lg(R/S)}{\lg(N)} . \quad (1.16)$$

В настоящее время принята следующая классификация для показателя Хёрста:

1) $H = 0,5$. Указывает на случайный ряд. События случайны и некоррелированы. Настоящее не влияет на будущее.

2) $0 \leq H < 0,5$. Данный диапазон соответствует антиперсистентным рядам. Такой тип системы часто называют – «возврат к среднему». Если система демонстрирует «рост» в предыдущий период, то, скорее всего, в следующем периоде начнется спад. И наоборот, если шло снижение, то вероятен близкий подъем. Такой ряд более изменчив, чем ряд случайный, так как состоит из частых реверсов спад-подъем.

3) $0,5 < H < 1,0$. Имеем персистентные, или трендоустойчивые ряды. Если ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то, вероятно, что он будет сохранять эту тенденцию какое-то время в будущем. Чем ближе H к 0,5, тем более зашумлен ряд и тем менее выражен его тренд.

Показатель Хёрста может быть преобразован во фрактальную размерность D с помощью следующей формулы:

$$D = 2 - H . \quad (1.17)$$

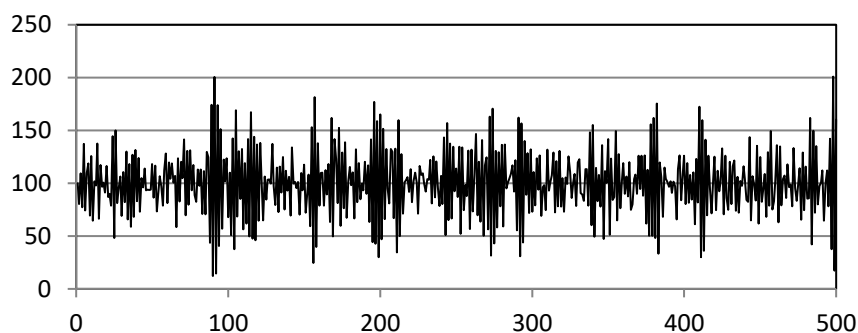
Фрактальная размерность временного ряда, или накопленных изменений при случайном блуждании, равна 1,5. Фрактальная размерность кривой линии равна 1, а фрактальная размерность геометрической плоскости равна 2. Таким образом, фрактальная размерность случайного блуждания лежит между кривой линией и плоскостью.

Если $H = 0,5$, то $D = 1,5$. Обе величины характеризуют независимую случайную последовательность.

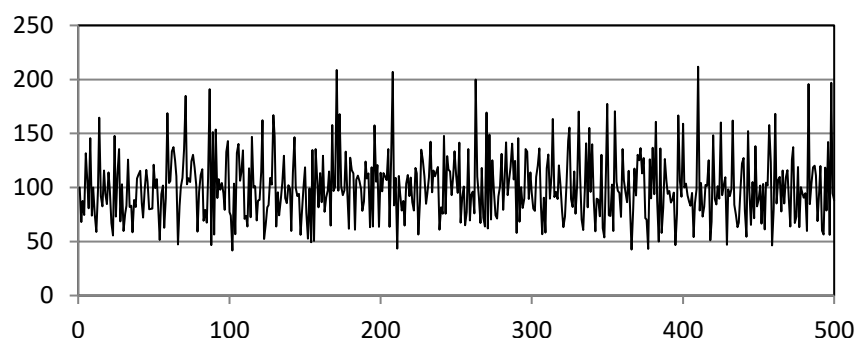
Величина $0,5 < H \leq 1$ будет соответствовать фрактальной размерности, более близкой к кривой линии. Это персистентный временной ряд, дающий более гладкую, менее зазубренную линию, нежели случайное блуждание.

Антиперсистентная величина H ($0 < H < 0,5$) дает соответственно более высокую фрактальную размерность и более прерывистую линию, чем случайное блуждание, и, следовательно, характеризует систему, более подверженную переменам (рисунок 1.1).

1. Антиперсистентный ряд, $H < 0,5$



2. Белый шум, $H = 0,5$



3. Персистентный ряд, $H > 0,5$

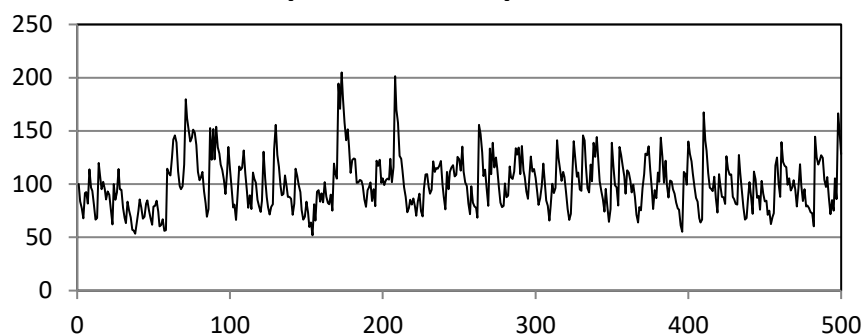


Рисунок 1.1 – Основные типы процессов по показателю Хёрста (из книги Б. Мандельброта и Р.Л. Хадсона «(Не)послушные рынки: фрактальная революция в финансах»).

Оказалось, что показатель Хёрста для уровней Нила существенно выше 0,5 (для р. Нил $H = 0,73$) и, следовательно, этот ряд нельзя рассматривать, как реализацию случайного процесса с независимыми сечениями. Аналогичную структуру имели ряды и многих других природных явлений. В общей сложности Хёрст изучил 51 различное природное явление и почти во всех случаях показатель Хёрста превышал 0,5 (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – R/S анализ Хёрста для различных природных рядов

Явление	Свойства K на основании природных явлений						Коэфф. автокорреляции
	Диапазон N лет	Число		K		Диапазон	
		Явления	Множества	Среднее	Станд. откл.		
Речной сбор	10-100	39	94	0,72	0,091	0,50-0,94	0,025±0,26 n=15 0,07±0,08* n=65
Roda Gauge	80-1.080	1	66	0,77	0,055	0,58-0,86	
Уровни рек и озер	44-176	4	13	0,71	0,082	0,59-0,85	
Количество осадков	24-211	39	173	0,70	0,088	0,46-0,91	
Годичные донные отложения							
Озеро Саки	50-2.000	1	114	0,69	0,064	0,56-0,87	-0,07±0,11 n=39
Моеи и Тамискаминг	50-1.200	2	90	0,77	0,094	0,50-0,95	
Коринтос и Хейлибери	50-650	2	54	0,77	0,098	0,51-0,91	
Температура	29-60	18	120	0,68	0,087	0,46-0,92	
Давление	29-96	8	28	0,63	0,070	0,51-0,76	
Число солнечных пятен	38-190	1	15	0,75	0,056	0,65-0,85	0,025±0,26 n=15 0,07±0,08* n=65
Годовые кольца и еловый индекс	50-900	5	105	0,79	0,076	0,56-0,94	
Суммарные и средние значения разделов							
Водная статистика		83	346	0,72	0,08	0,46-0,94	
Годичные донные отложения		5	258	0,74	0,09	0,50-0,95	
Метеорология и деревья		32	268	0,72	0,08	0,46-0,94	-0,07±0,11 n=39
Итоговые суммарные и средние значения	10-2.000	120	872	0,726	0,082	0,46-0,95	

Было высказано предположение, что эти ряды имеют так называемую «долговременную» или даже «бесконечную» память в отличие рядов с короткой памятью – типа авторегрессии первого или второго порядка $AR(1)$ и $AR(2)$.

1.7. Показатель Хёрста для случайного процесса с независимыми сечениями (белого шума)

В 1951 году Хёрст предложил формулу для оценки математического ожидания отношения (R/S) от длины выборки (n) для случайной последовательности типа белого шума.

$$\overline{(R/S)} = (n\pi/2)^{0,5}. \quad (1.18)$$

Однако, как показали дальнейшие исследования эта формула дает систематическую погрешность при малых значениях n . Много лет спустя Эннис и Ллойд (1976) для устранения систематической погрешности вывели следующее выражение:

$$\overline{(R/S)} = \frac{\Gamma[0,5(n-1)]}{\pi^{0,5}\Gamma(0,5n)} \sum_k^{n-1} \sqrt{\frac{n-k}{k}}. \quad (1.19)$$

Это выражение можно рекомендовать при $n < 300$. При больших значениях n выражение (1.19) использовать затруднительно, так как значение Γ -функции становится слишком большим для памяти большинства персональных компьютеров. Для $n > 300$ можно рекомендовать другую формулу:

$$\overline{(R/S)} = (n\pi/2)^{-0,5} \sum_k^{n-1} \sqrt{\frac{n-k}{k}}. \quad (1.20)$$

Позже Э.Э. Петерс показал, что формула (1.19) при малых значениях n все еще дает небольшое завышение параметра (R/S) и предложил эмпирическую поправку к формулам (1.19-1.20).

$$\delta = \frac{n-0,5}{n}. \quad (1.21)$$

В окончательном виде формулы (1.19-1.20) с учетом поправки (1.21) принимают вид:

$$\overline{(R/S)} = \frac{\Gamma[0,5(n-1)]}{\pi^{0,5}\Gamma(0,5n)} \sum_k^{n-1} \sqrt{\frac{n-k}{k}} \left(\frac{n-0,5}{n} \right), \quad (1.22)$$

$$\overline{(R/S)} = (n\pi/2)^{-0,5} \sum_k^{n-1} \sqrt{\frac{n-k}{k}} \left(\frac{n-0,5}{n} \right). \quad (1.23)$$

Математическое ожидание для эмпирической оценки показателя Хёрста в этом случае приближенно определяется по формуле

$$\overline{H} = \frac{\lg(\overline{R/S})}{\lg(N)}, \quad (1.24)$$

где $\overline{(R/S)}$ рассчитывается по формулам (1.22-1.23).

Формула (1.24) дает небольшую смещённость оценки показателя Хёрста, так в ней вместо среднего логарифма (R/S) используется логарифм среднего.

В настоящее время нет общепринятой формулы для оценки стандартной ошибки эмпирического значения показателя Хёрста. Поэтому в данной работе использовалась формула, полученная методом статистических испытаний (методом Монте-Карло) в ВКР студентов Цай А.А (2014 г.) и Петрова И.С (2018 г.):

$$\sigma_H = 14N^{-0,23} \quad (1.25)$$

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЁРСТА НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ

2.1. Физико-географическая и климатическая характеристика территории Северо-Запада РФ

2.1.1. Географическое положение

Территория Северо-Запада Российской Федерации находится на северо-западе Европейской равнины, которая занимает около 400 тыс. км².

Данный регион включает в себя республику Карелию, Ленинградскую область, Новгородскую и Псковскую области.



Рисунок 2.1 – Карта района исследований.

2.1.2. Рельеф и геологическое строение

Данный район может похвастаться своим разнообразным рельефом и это связано с его геологическим строением. Вся территория делится на два района: Карелию и Северо-Запад.

Карелия представлена холмисто-равнинным рельефом с небольшими абсолютными отметками (около 200 метров над уромнем моря). Она представляет собой область распространения древнейших кристаллических пород архейско-протерозойского комплекса.

Территория Северо-Запада расположена в пределах Прибалтийской низменности, уходящей на западе на территорию Эстонии и Латвии, а на севере и северо-востоке – в Карелию. Абсолютные отметки поверхности в среднем составляют 50-100 м, однако наиболее значительные возвышенности достигают 200-300 м. Данная область сложена в основном осадочными породами палеозойского комплекса.

2.1.3. Почвенный покров

В данном районе существует несколько основных процессов на которые стоит обратить внимание: заболачивание и подзолообразование.

Одной из главных преимуществ заболачивания почвы является ее природная удобренность. Заболаченная почва позволяет получить более высокие урожаи и повысить качество сельскохозяйственных культур. заболачивание почвы оказывает серьезное влияние на экосистему. Оно может привести к потере биологического разнообразия, изменению физико-химических свойств почвы и негативным последствиям для водных экосистем и источников питьевой воды.

Высокая влажность, заболоченность земель, малое количество органики в грунте в сочетании с холодным климатом сделали выращивание сельхозпродукции в областях Северо-Западного района сложным процессом. Поддержание оптимальной температуры является обязательным для содержания различных культур, а также внедрение в почву различных удобрений.

2.1.4. Растительность

Территория Северо-Запада Российской Федерации занимает большую часть лесной зоны. По виду растительности его территория делится на две подзоны: хвойных лесов - к северу от Пскова и смешанных лесов - на юг от этого города.

В подзоне смешанных лесов больше всего встречаются хвойно-широколиственные массивы, где к хвойным породам в значительном количестве примешаны липа, дуб, ясень, клен, ольха.

Растительный покров Северо-Запада значительно меняется. Сейчас более двух пятых территории занято сельскохозяйственными угодьями, одна пятая - болотами, остальные площади - лесами и кустарниками.



Рисунок 2.2 — Растительность Северо-Запада.

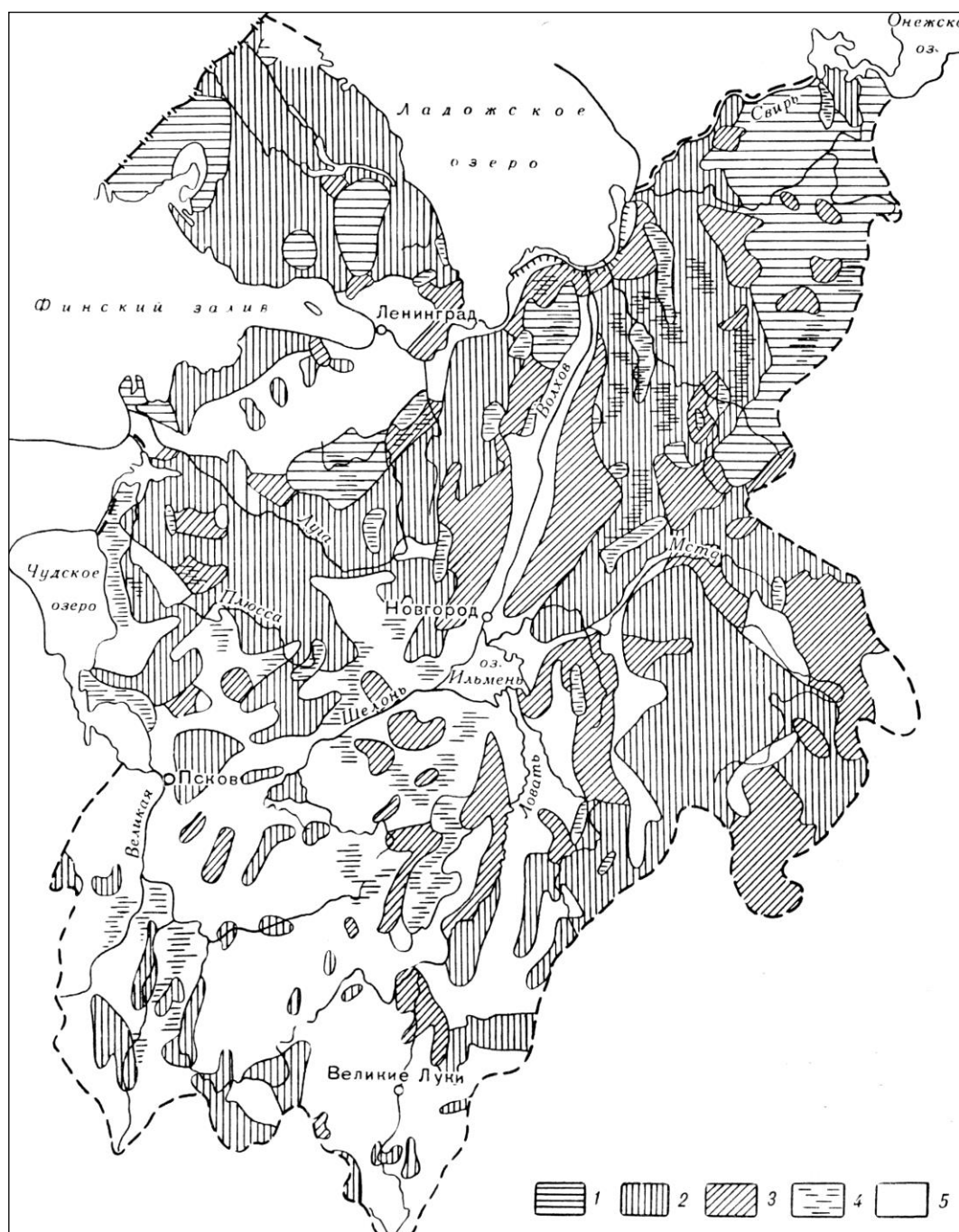


Рисунок 2.3 – Схематическая карта растительного покрова Северо-Запада.

1 – еловые леса, 2 – сосновые леса, 3 – березовые и осиновые леса, 4 – леса на болотах, 5 – сельскохозяйственные земли.

2.1.5. Гидрографическая сеть

Водные ресурсы округа представлены речной сетью протяжённостью около 1 177,04 тыс. км, озёрами и искусственными водоёмами площадью около 83,22 тыс. км², болотами и заболоченными землями общей площадью 256 817 км².

На территории Северо-Западного федерального округа расположены бассейны девяти крупнейших рек России – Северной Двины, Печоры, Невы, Мезени, Онеги, Нарвы, Немана и крайне незначительные части бассейнов Верхней Волги и Оби. Главной водной артерией района является р. Нева с площадью водосбора 281 000 км², значительная часть которой расположена на территории Карелии.

Гидрографической особенностью региона является большое количество болот, которые засыпаны, а в ближайших округах создают необычные пейзажи. Болота подразделяются на верховые с безлесной поверхностью или разреженными сосновыми насаждениями, практически без воды, и низинные травянисто-камышовые с редкими деревьями и большими пространствами воды. Как и озера, болота имеют большое значение в регулировании водного баланса. Гидрографическая среда широко освоена в хозяйственном отношении: построено много ГЭС, большое количество запруд и плотин с прудами и воохранилищами, многие реки судоходны. Практически все водоемы используются для водоснабжения и в технических целях. Некоторое количество очистных сооружений в городах и поселках являются причиной загрязнения водоемов, что создает сложные экологические ситуации.

Рельеф так же сильно повлиял на особенности гидрографической сети Карелии. На значительной ее части реки прокладывают свой путь в направлении с северо-запада на юго-восток; так же ориентирована большая часть озер. Более крупные реки в северной части территории текут преимущественно в широтном, в южной – в меридиональном направлении.

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

Подземные воды на территории Карелии заключены в породах кристаллического фундамента и перекрывающей их толще четвертичных отложений.

Основным источником подземного питания рек описываемой территории являются грунтовые воды, часто гидравлически связанные с рекой, и напорные подземные воды.

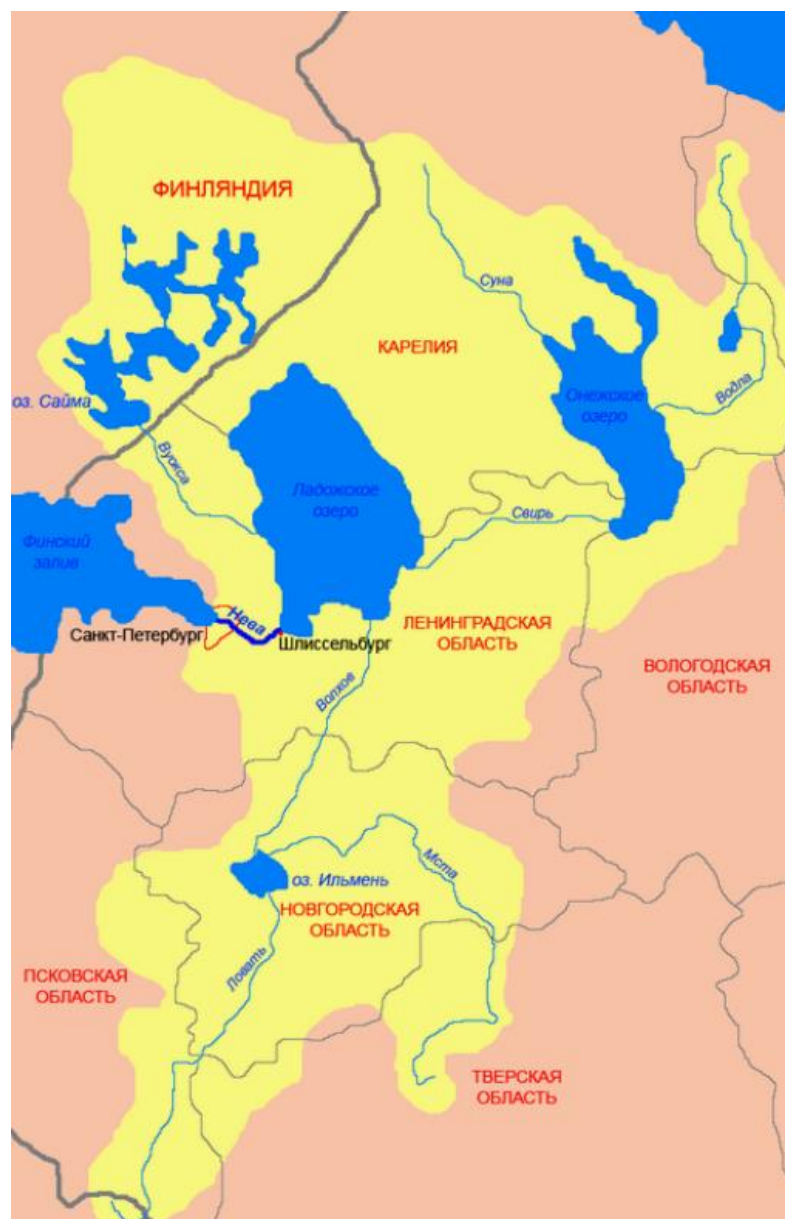


Рисунок 2.4 – Бассейн реки Невы.

2.1.6. Климат

Территория данного района имеет климат умеренно континентальный и субарктический. На климат влияют моря Северного Ледовитого и Атлантического океанов.

На большей части территории Северо-Западного федерального округа годовые суммы осадков более чем на 100 мм превышают возможное испарение. В Псковской и Новгородской областях, на юге Ленинградской области, а также на большей части республики Коми разность годовых сумм осадков и годовой суммы испаряемости составляет почти 300 мм. По показателю увлажнения вся территория района входит в зону избыточного увлажнения

Частая смена воздушных масс, а также циклоны объясняют типичную для региона неустойчивую погоду. Особенно резкие и частые изменения погоды характерны прилегающим к Балтийскому морю районам, северному и восточному побережью Кольского полуострова, а в переходные сезоны также и Архангельскому Северу.

Абсолютный минимум температур -55°C зафиксирован в Ижме и Усть-Щугоре. Средние июльские температуры в материковой части изменяются от $+18, +19^{\circ}\text{C}$ на юге, до $+8^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке. Более низкие температуры июля наблюдаются на островах Новой Земли ($+5^{\circ}\text{C}$) и на Земле Франца-Иосифа (0°C).

Среднегодовая температура воздуха в Санкт-Петербурге составляет 5°C , в западных районах области $3,8-5^{\circ}\text{C}$, в восточных районах $2,7-3,5^{\circ}\text{C}$ [23].

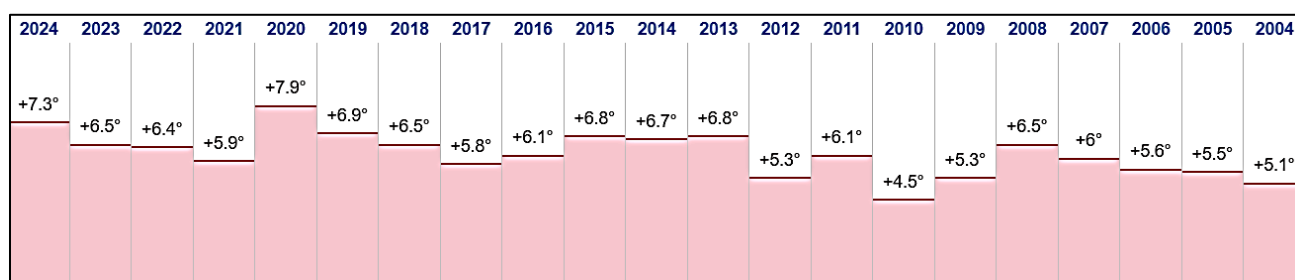


Рисунок 2.5 – среднегодовая температура воздуха в Санкт-Петербурге.

Если посмотреть на график среднегодовых температур за последние 20 лет, то можно проследить небольшую цикличность холодных и теплых периодов в данном районе [23].

2.2. Комплексный статистический анализ рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада РФ

2.2.1. Исходные данные

В качестве исходных данных использовались ряды максимальных расходов воды весеннего половодья рек Северо-Запада России. В общей сложности проанализировано 62 ряда. Распределение рядов по грациям площадей водосбора представлено в таблице 2.1, по продолжительности наблюдений – в таблице 2.2. Схема расположения постов показана на рисунке 2.6.

Таблица 2.1 – Распределение постов по грациям площадей водосборов

Диапазон площадей водосборов	$F < 200$	$200 < F \leq 1000$	$1000 < F \leq 5000$	$5000 < F \leq 20000$	$F > 20000$
Количество	4	30	17	9	2

Таблица 2.2 – Распределение постов по продолжительности рядов наблюдений

Продолжительность рядов, n	$n \leq 60$	$60 < n \leq 80$	$80 < n \leq 100$	$n > 100$	Всего
Количество	3	40	17	2	62
%	4.88	64.5	27.4	3.22	100

Как видно из таблицы 2.2, 95% рядов имеют продолжительность более 60 лет.

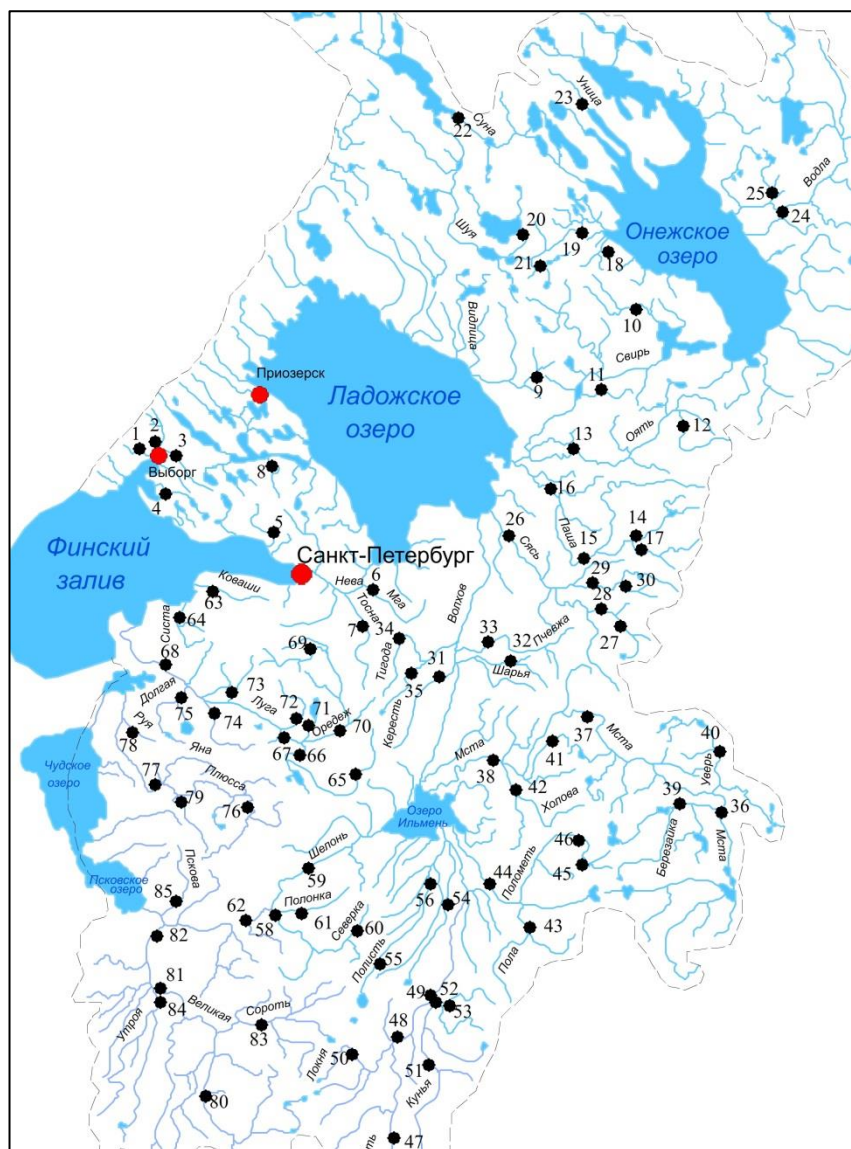


Рисунок 2.6 — Схема расположения гидрологических постов.

2.2.2. Оценка значимости линейных трендов

Проверка рядов Северо-Запада Российской Федерации проводилась с помощью гидрологических характеристик с использованием критерия значимости коэффициента корреляции в соответствии с методикой, описанной в пункте 1.2 данной работы.

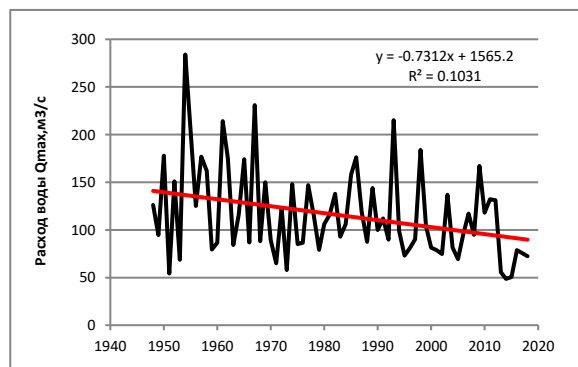
Хронологические графики максимальных расходов весеннего половодья представлены в приложении Б. Результаты проверки рядов на значимость тренда представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада РФ на значимость тренда.

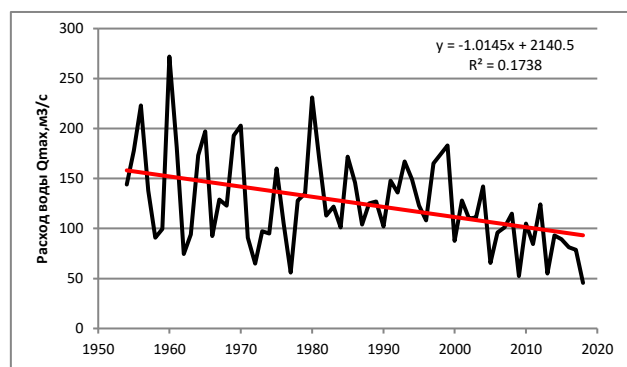
№	Река - Створ	n	R ²	R	s _R	R/s _R	t _{2a}	H ₀ : R = 0
1	Авлога - Матокса	65	0.10	0.31	0.12	2.58	2.00	опроверг
2	Большой тудер - Бабяhtiно	74	0.06	0.25	0.11	2.22	1.99	опроверг
4	Великая - Гуйтово	75	0.15	0.39	0.11	3.64	1.99	опроверг
3	Великая - Опочка	70	0.10	0.32	0.11	2.80	2.00	опроверг
5	Великая - Пятаново	85	0.13	0.36	0.10	3.51	1.99	опроверг
6	Видлица - Большие Горы	84	0.04	0.19	0.11	1.77	1.99	не опров
7	Воложба - Воложба	79	0.00	0.04	0.11	0.36	1.99	не опров
8	Воложба - Пареево	68	0.05	0.23	0.12	1.95	2.00	не опров
9	Вьон - Запорожское	65	0.04	0.21	0.12	1.67	2.00	не опров
10	Гороховка - Токарево	71	0.02	0.14	0.12	1.19	1.99	не опров
11	Дымка - Долмачево	71	0.03	0.17	0.12	1.40	1.99	не опров
12	Ивина - Ладва	65	0.17	0.42	0.11	3.64	2.00	опроверг
13	Капша - Еремина Гора	66	0.00	0.07	0.12	0.54	2.00	не опров
14	Кересть - Сябраницы	76	0.00	0.07	0.12	0.58	1.99	не опров
15	Коваши - Лендовщина	66	0.06	0.24	0.12	1.98	2.00	не опров
16	Кудеб - Севериково	68	0.26	0.51	0.11	4.78	2.00	опроверг
17	Кунья - Уварово	57	0.12	0.35	0.13	2.73	2.00	опроверг
18	Кунья - Холм	65	0.04	0.20	0.12	1.59	2.00	не опров
20	Ловать - Великие Луки	84	0.15	0.39	0.10	3.83	1.99	опроверг
21	Ловать - Узкое	75	0.15	0.38	0.11	3.55	1.99	опроверг
19	Ловать - Холм	98	0.08	0.29	0.10	2.97	1.98	опроверг
22	Локня - Бородино	62	0.24	0.49	0.11	4.36	2.00	опроверг
23	Лососинка - Петрозаводск	59	0.16	0.40	0.12	3.32	2.00	опроверг
24	Луга - Кингисепп	76	0.11	0.34	0.11	3.08	1.99	опроверг
25	Луга - Луга	81	0.03	0.16	0.11	1.49	1.99	не опров
26	Луга - Толмачево	100	0.15	0.38	0.09	4.11	1.98	опроверг
27	Мга - Горы	82	0.02	0.13	0.11	1.17	1.99	не опров
28	Мерега - Куйтежа	71	0.04	0.21	0.12	1.75	1.99	не опров
29	Мста - Девкино	86	0.05	0.22	0.11	2.08	1.99	опроверг
30	Мста - Потерпелицы	68	0.02	0.14	0.12	1.16	2.00	не опров
31	Нева - Новосаратовка	160	0.00	0.00	0.08	0.06	1.98	не опров
32	Немина - Немино	62	0.10	0.31	0.12	2.52	2.00	опроверг
33	Оредеж - Вырица	81	0.01	0.07	0.11	0.66	1.99	не опров
34	Орлинка - Орлинка	66	0.09	0.30	0.12	2.55	2.00	опроверг
35	Охта - Новое Девяткино	75	0.09	0.30	0.11	2.72	1.99	опроверг
36	Оять - Мининская	74	0.00	0.07	0.12	0.57	1.99	не опров
37	Оять - Шангиничи (Акулова гора)	77	0.03	0.19	0.11	1.64	1.99	не опров
38	Паша - Дуброво	85	0.00	0.02	0.11	0.16	1.99	не опров
39	Паша - Часовенское	85	0.01	0.09	0.11	0.81	1.99	не опров
40	Перехода - Подсосонье	73	0.14	0.38	0.11	3.46	1.99	опроверг
41	Перовка - Гончарово	71	0.16	0.4	0.11	3.65	1.99	опроверг
42	Петровка - Дружноселье	70	0.27	0.52	0.10	5.00	2.00	опроверг
43	Плюсса - Брод	81	0.07	0.27	0.11	2.53	1.99	опроверг
44	Плюсса - Плюсса	81	0.12	0.35	0.11	3.29	1.99	опроверг

№	Река - Створ	n	R ²	R	s _R	R/s _R	t _{2a}	H ₀ : R = 0
45	Пола - Налючи	70	0.01	0.12	0.12	0.99	2.00	не опров
46	Пчевжа - Белая	77	0.06	0.25	0.11	2.28	1.99	опроверг
47	Пяльма - Пяльма	67	0.07	0.26	0.12	2.17	2.00	опроверг
48	Рагнукса - Харловская	64	0.11	0.33	0.12	2.74	2.00	опроверг
49	Систа - Среднее райково	74	0.11	0.33	0.11	3.00	1.99	опроверг
50	Ситня - Пески	65	0.11	0.33	0.12	2.79	2.00	опроверг
51	Сороть - Осинкино	87	0.18	0.42	0.10	4.27	1.99	опроверг
52	Тигода - Любань	75	0.04	0.21	0.11	1.85	1.99	не опров
53	Тихвинка - Горелуха	138	0.07	0.26	0.08	3.09	1.98	опроверг
54	Тосна - Тосно	75	0.01	0.10	0.12	0.84	1.99	не опров
55	Уверь - Меглецы	83	0.01	0.10	0.11	0.91	1.99	не опров
56	Уза - Дубская	72	0.28	0.53	0.10	5.27	1.99	опроверг
57	Уница - Уница	70	0.00	0.04	0.12	0.31	2.00	не опров
58	Утроя - Б. Губа	81	0.24	0.49	0.10	5.03	1.99	опроверг
59	Цна - Жилотково	58	0.01	0.08	0.13	0.59	2.00	не опров
60	Шелонь - Порхов	64	0.08	0.28	0.12	2.28	2.00	опроверг
61	Шуя - Бесовец	84	0.00	0.05	0.11	0.43	1.99	не опров
62	Ящера - Долговка	68	0.07	0.26	0.12	2.21	2.00	опроверг

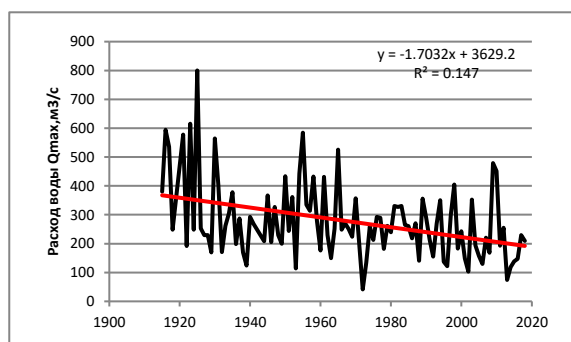
Как видно из таблицы 2.3, из 62 рядов 35 имеют значимый тренд (на понижение), что составляет 56% от общего числа рядов. Примеры рядов со значимым трендом представлены на рисунке 2.2.



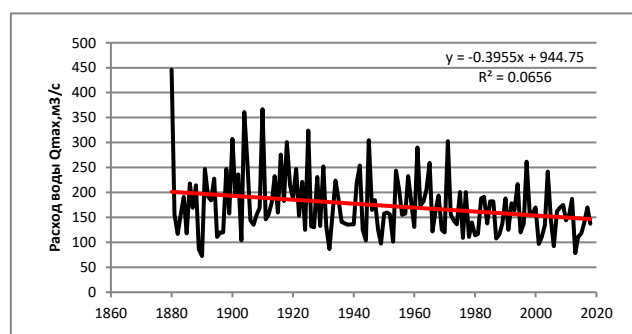
Великая - Опочка



Ивина - Ладва



Луга - Толмачево



Тихвинка - Горелуха

Рисунок 2.7 – Хронологические графики максимальных расходов весеннего половодья со значимым трендом.

2.2.3. Проверка рядов на однородность

Проверка рядов рассматриваемой территории проводилась с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Методика описана в пункте 1.4 данной работы.

В настоящей работе проверка однородности проводилась с использованием пакета анализа MS Excel. Результаты проверки представлены в таблице 2.4 и в обобщенном виде – в таблице 2.5.

Таблица 2.4 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на однородность

№	Река - Створ	n	Статистика Стьюдента			Статистика Фишера		
			t*	t _{2α}	H ₀ : Q ₁ = Q ₂	F*	F _{2α}	H ₀ : D ₁ = D ₂
1	Авлога - Матокса	65	0.48	2.00	не опроверг	1.34	2.04	не опроверг
2	Большой тудер - Бабяхино	74	1.58	1.99	не опроверг	1.31	1.94	не опроверг
4	Великая - Гуйтово	75	2.41	1.99	опровер	2.62	1.93	опровер
3	Великая - Опочка	70	1.70	2.00	не опроверг	1.76	1.98	не опроверг
5	Великая - Пятаново	85	2.76	1.99	опровер	3.07	1.85	опровер
6	Видлица - Большие Горы	84	-2.37	1.99	опровер	1.26	1.86	не опроверг
7	Воложба - Воложба	79	0.43	1.99	не опроверг	1.19	1.90	не опроверг
8	Воложба - Пареево	68	-2.10	2.00	опровер	2.72	2.00	опровер
9	Вьюн - Запорожское	65	0.91	2.00	не опроверг	5.22	2.04	опровер
10	Гороховка - Токарево	71	1.35	1.99	не опроверг	1.82	1.97	не опроверг
11	Дымка - Долмачево	71	2.07	1.99	опровер	1.98	1.97	опровер
12	Ивина - Ладва	65	2.50	2.00	опровер	2.17	2.04	опровер
13	Капша - Еремина Гора	66	-0.083	2.00	не опроверг	2.31	2.02	опровер
14	Кересь - Сябренцы	76	0.43	1.99	не опроверг	2.82	1.92	опровер

№	Река - Створ	n	Статистика Стьюдента			Статистика Фишера		
			t*	t _{2n}	H ₀ : Q ₁ = Q ₂	F*	F _{2n}	H ₀ : D ₁ = D ₂
15	Коваши - Лендовщина	66	0.74	2.00	не опроверг	3.44	2.02	опровер
16	Кудеб - Севериково	68	3.31	2.00	опровер	7.61	2.00	опровер
17	Кунья -Уварово	57	1.45	2.00	не опроверг	1.79	2.15	не опроверг
18	Кунья -Холм	65	0.65	2.00	не опроверг	1.26	2.03	не опроверг
19	Ловать - Великие Луки	84	2.87	1.99	опровер	2.90	1.86	опровер
21	Ловать - Узкое	75	2.25	1.99	опровер	1.89	1.94	не опроверг
20	Ловать - Холм	98	3.34	1.98	опровер	1.39	1.77	не опроверг
22	Локня - Бородино	62	2.57	2.00	опровер	3.13	2.07	опровер
23	Лососинка - Петрозаводск	59	-4.04	2.00	опровер	1.18	2.11	не опроверг
24	Луга - Кингисепп	76	2.09	1.99	опровер	1.08	1.92	не опроверг
25	Луга - Луга	81	1.03	1.99	не опроверг	1.05	1.89	не опроверг
26	Луга - Толмачево	100	3.57	1.98	опровер	2.51	1.76	опровер
27	Мга - Горы	82	-0.38	1.99	не опроверг	1.08	1.88	не опроверг
28	Мерега - Куйтежа	71	1.05	1.99	не опроверг	2.03	1.97	опровер
29	Мста - Девкино	86	2.08	1.99	опровер	1.68	1.85	не опроверг
30	Мста - Потерпелицы	68	0.16	2.00	не опроверг	1.44	2.00	не опроверг
31	Нева - Новосаратовка	160	0.85	1.98	не опроверг	1.25	1.56	не опроверг
32	Немина - Немино	62	1.53	2.00	не опроверг	1.24	2.07	не опроверг
33	Оредеж - Вырица	81	-0.31	1.99	не опроверг	3.93	1.88	опровер
34	Орлинка - Орлинка	66	1.72	2.00	не опроверг	1.41	2.02	не опроверг
35	Охта - Новое Девяткино	75	3.62	1.99	опровер	2.66	1.94	опровер
36	Оять - Мининская	74	-1.40	1.99	не опроверг	1.93	1.94	не опроверг
37	Оять - Шангиничи (Акулова гора)	77	-1.65	1.99	не опроверг	1.16	1.92	не опроверг
38	Паша - Дуброво	85	-0.78	1.99	не опроверг	1.10	1.86	не опроверг
39	Паша - Часовенское	85	-0.75	1.99	не опроверг	1.03	1.86	не опроверг
40	Перехода - Подсосонье	73	2.54	1.99	опровер	3.12	1.95	опровер
41	Перовка - Гончарово	71	2.76	1.99	опровер	3.78	1.97	опровер
42	Петровка - Дружноселье	70	3.89	2.00	опровер	2.44	1.98	опровер
43	Плюсса - Брод	81	1.95	1.99	не опроверг	1.81	1.89	не опроверг
44	Плюсса - Плюсса	81	2.71	1.99	опровер	3.00	1.89	опровер
45	Пола - Налючи	70	0.69	2.00	не опроверг	1.30	1.98	не опроверг
46	Пчевжа - Белая	77	2.89	1.99	опровер	6.51	1.92	опровер
47	Пяльма - Пяльма	67	1.80	2.00	не опроверг	1.36	2.02	не опроверг
48	Рагнукса - Харловская	64	1.46	2.00	не опроверг	1.79	2.05	не опроверг
49	Систа - Среднее райково	74	2.27	1.09	опровер	2.93	1.94	опровер
50	Ситня - Пески	65	1.84	2.00	не опроверг	1.98	2.04	не опроверг
51	Сороть - Осинкино	87	2.69	1.99	опровер	2.31	1.84	опровер
52	Тигода - Любань	75	2.07	1.99	опровер	1.71	1.94	не опроверг
53	Тихвинка - Горелуха	138	2.43	1.98	опровер	2.49	1.62	опровер
54	Тосна - Тосно	75	0.66	1.99	не опроверг	1.42	1.94	не опроверг
55	Уверь - Меглецы	83	-0.47	1.99	не опроверг	1.36	1.87	не опроверг
56	Уза - Дубская	72	4.35	1.99	опровер	13.9	1.97	опровер
57	Уница - Уница	70	-0.16	2.00	не опроверг	1.95	1.98	не опроверг
58	Утроя - Б. Губа	81	3.45	1.99	опровер	3.31	1.89	опровер
59	Цна - Жилотково	58	0.22	2.00	не опроверг	2.01	2.13	не опроверг
60	Шелонь - Порхов	64	1.36	2.00	не опроверг	1.42	2.05	не опроверг

№	Река - Створ	n	Статистика Стьюдента			Статистика Фишера		
			t*	t _{2α}	H ₀ : Q ₁ = Q ₂	F*	F _{2α}	H ₀ : D ₁ = D ₂
61	Шуя - Бесовец	84	0.40	1.99	не опроверг	1.85	1.86	не опроверг
62	Ящера - Долговка	68	1.97	2.00	не опроверг	1.65	2.00	не опроверг

Таблица 2.5 Число случаев опровержения гипотезы об однородности для рядов максимальных расходов весеннего половодья

Опровержение нулевой гипотезы по критериям					
Стьюдента		Фишера		Стьюдента и (или) Фишера	
абсолютное	в, %	абсолютное	в, %	абсолютное	в, %
27	44	26	42	33	53

Как видно из таблицы 2.4 гипотеза об однородности опровергается более, чем для половины рассмотренных рядов.

2.2.4. Проверка рядов на случайность

Проверка рядов Северо-Запада РФ производилась с помощью критерия значимости выборочного коэффициента автокорреляции (r). Методика расчетов описана в пункте 1.3 данной работы.

Результаты проверки рядов на случайность представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на значимость коэффициента автокорреляции

№	Река - Створ	n	r(1)	m _r	σ _r	[r-m _r]/σ _r	t _{2α}	H ₀ : r(1) = 0
1	Авлога - Матокса	65	0.13	-0.016	0.12	1.16	2.00	не опроверг
2	Большой тудер - Бабяхино	74	0.27	-0.014	0.11	2.48	1.99	опровер
4	Великая - Гуйтово	75	0.12	-0.014	0.11	1.20	1.99	не опроверг
3	Великая - Опочка	70	-0.07	-0.014	0.12	-0.45	2.00	не опроверг
5	Великая - Пятаново	85	0.13	-0.012	0.11	1.33	1.99	не опроверг
6	Видлица - Большие Горы	84	-0.07	-0.012	0.11	-0.51	1.99	не опроверг
7	Воложба - Воложба	79	0.02	-0.013	0.11	0.26	1.99	не опроверг
8	Воложба - Пареево	68	0.29	-0.015	0.12	2.56	2.00	опровер
9	Вьун - Запорожское	65	0.35	-0.016	0.12	3.00	2.00	опровер
10	Гороховка - Токарево	71	0.26	-0.014	0.12	2.32	1.99	опровер
11	Дымка - Долмачево	71	-0.15	-0.014	0.12	-1.12	1.99	не опроверг
12	Ивина - Ладва	65	0.30	-0.016	0.12	2.62	2.00	опровер
13	Капша - Еремина Гора	66	0.20	-0.015	0.12	1.77	2.00	не опроверг
14	Кересть - Сябраницы	76	0.21	-0.013	0.11	2.00	1.99	опровер
15	Коваши - Лендовщина	66	0.07	-0.015	0.12	0.73	2.00	не опроверг
16	Кудеб - Севериково	68	0.23	-0.015	0.12	2.08	2.00	опровер
17	Кунья - Уварово	57	0.13	-0.018	0.13	1.15	2.00	не опроверг

№	Река - Створ	n	r(1)	m _r	σ _r	[r-m _r]/σ _r	t _{2α}	H ₀ : r(1) = 0
18	Кунья - Холм	65	-0.07	-0.016	0.12	-0.44	2.00	не опроверг
20	Ловать - Великие Луки	84	0.15	-0.012	0.11	1.47	1.99	не опроверг
21	Ловать - Узкое	75	0.14	-0.014	0.11	1.37	1.99	не опроверг
19	Ловать - Холм	98	-0.10	-0.01	0.10	-0.87	1.98	не опроверг
22	Локня - Бородино	62	0.15	-0.016	0.12	1.34	2.00	не опроверг
23	Лососинка - Петрозаводск	59	0.30	-0.017	0.13	2.45	2.00	опровер
24	Луга - Кингисепп	76	0.26	-0.013	0.11	2.40	1.99	опровер
25	Луга - Луга	81	0.24	-0.013	0.11	2.26	1.99	опровер
26	Луга - Толмачево	100	0.10	-0.010	0.10	1.13	1.98	не опроверг
27	Мга - Горы	82	-0.10	-0.012	0.11	-0.80	1.99	не опроверг
28	Мерега - Куйтежа	71	0.15	-0.014	0.12	1.45	1.99	не опроверг
29	Мста - Девкино	86	0.09	-0.012	0.11	1.00	1.99	не опроверг
30	Мста - Потерпелицы	68	0.23	-0.015	0.12	2.02	2.00	опровер
31	Нева - Новосаратовка	160	0.45	0.006	0.08	5.78	1.98	опровер
32	Немина - Немино	62	0.13	-0.016	0.12	1.17	2.00	не опроверг
33	Оредеж - Вырица	81	0.18	-0.013	0.11	1.75	1.99	не опроверг
34	Орлинка - Орлинка	66	0.28	-0.015	0.12	2.43	2.00	опровер
35	Охта - Новое Девятино	75	0.15	-0.014	0.11	1.44	1.99	не опроверг
36	Оять - Мининская	74	0.27	-0.014	0.11	2.44	1.99	опровер
37	Оять - Шангиничи (Акулова гора)	77	0.33	-0.013	0.11	3.02	1.99	опровер
38	Паша - Дуброво	85	0.19	-0.012	0.11	1.85	1.99	не опроверг
39	Паша - Часовенское	85	0.02	-0.012	0.11	0.30	1.99	не опроверг
40	Перехода - Подсосонье	73	-0.07	-0.014	0.12	-0.46	1.99	не опроверг
41	Перовка - Гончарово	71	0.29	-0.014	0.12	2.57	1.99	опровер
42	Петровка - Дружноселье	70	0.41	-0.014	0.12	3.60	2.00	опровер
43	Плюсса - Брод	81	0.27	-0.013	0.11	2.55	1.99	опровер
44	Плюсса - Плюсса	81	0.25	-0.013	0.11	2.40	1.99	опровер
45	Пола - Налючи	70	0.19	-0.014	0.12	1.76	2.00	не опроверг
46	Пчевжа - Белая	77	0.14	-0.013	0.11	1.34	1.99	не опроверг
47	Пяльма - Пяльма	67	-0.08	-0.015	0.12	-0.52	2.00	не опроверг
48	Рагнукса - Харловская	64	0.23	-0.016	0.12	1.98	2.00	не опроверг
49	Систа - Среднее райково	74	0.15	-0.014	0.11	1.41	1.99	не опроверг
50	Ситня - Пески	65	0.16	-0.016	0.12	1.47	2.00	не опроверг
51	Сороть - Осинкино	87	0.04	-0.012	0.11	0.53	1.99	не опроверг
52	Тигода - Любань	75	0.06	-0.014	0.11	0.62	1.99	не опроверг
53	Тихвинка - Горелуха	138	-0.06	-0.007	0.08	-0.65	1.98	не опроверг
54	Тосна - Тосно	75	0.08	-0.014	0.11	0.81	1.99	не опроверг
55	Уверь - Меглецы	83	0.20	-0.012	0.11	1.98	1.99	не опроверг
56	Уза - Дубская	72	0.24	-0.014	0.12	2.19	1.99	опровер
57	Уница - Уница	70	0.02	-0.014	0.12	0.29	2.00	не опроверг
58	Утроя - Б. Губа	81	0.26	-0.013	0.11	2.47	1.99	опровер
59	Цна - Жилотково	58	0.36	-0.018	0.13	2.92	2.00	опровер
60	Шелонь - Порхов	64	0.14	-0.016	0.12	1.26	2.00	не опроверг
61	Шуя - Бесовец	84	-0.08	-0.012	0.11	-0.65	1.99	не опроверг
62	Ящера - Долговка	68	0.17	-0.015	0.12	1.53	2.00	не опроверг

Как видно из таблицы 2., значимые коэффициенты автокорреляции выявлены у 22 рядов из 62, что составляет 35% от общего числа рядов.

2.2.5. Анализ суммарных и разностных интегральных кривых

Для выявления дат изменений условий формирования максимального весеннего стока на реках Северо-Запада строились суммарные и разностные интегральные кривые. Графики суммарных кривых представлены в приложении Г и на рисунке 2.8, Графики разностно-интегральных кривых представлены в приложении И. Как видно на рисунках точка перелома приходится на начало 70-х годов XX века.

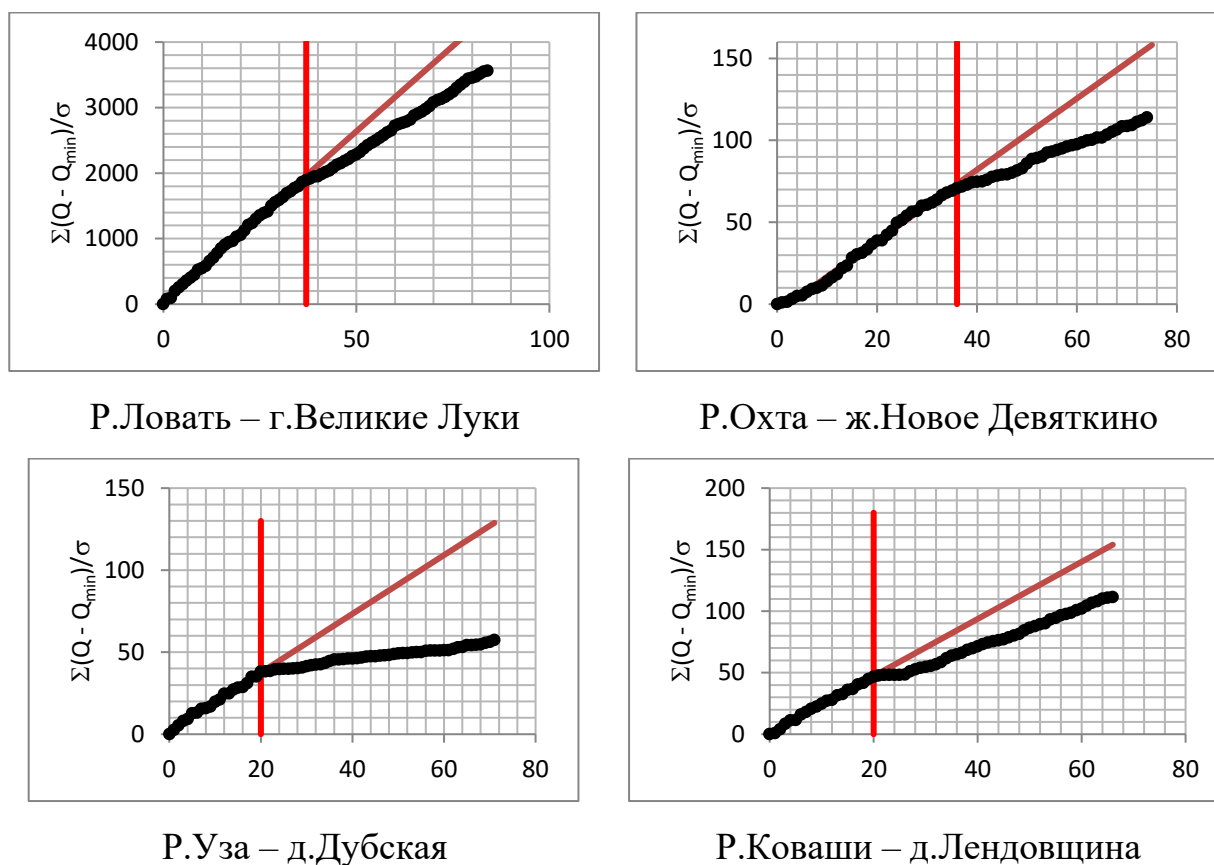


Рисунок 2.8 – Суммарные кривые максимальных расходов весеннего половодья с характерными точками перелома.

2.2.6. Сравнительный анализ показателя Хёрста для рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада РФ

Для всех исследуемых рек Северо-Запада РФ была выполнена оценка показателя Хёрста по формуле (1.16). Гипотеза о случайности ряда по критерию Хёрста не опровергалась, если выполнялось условие:

$$\frac{H^* - \bar{H}}{\sigma_H} < t_{2\alpha} \quad (2.1)$$

где H^* – эмпирическое значение показателя Хёрста; $\bar{H}$ – среднее значение показателя Хёрста, определяемое по формуле (1.24); σ_H – стандартная ошибка показателя Хёрста, определяемая по формуле (1.25); $t_{2\alpha}$ – статистика Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ и числе степеней свободы $(n - 1)$.

Результаты расчета представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на случайность с использованием показателя Хёрста

№	Река - Створ	n	H*	H	σ_H	$(H^* - H)/\sigma_H$	$t_{2\alpha}$	$H_0: H \approx 0,5$
6	Авлога - Матокса	65	0.56	0.53	0.054	0.56	2.00	не опр.
7	Большой тудер - Бабяхтино	74	0.68	0.53	0.052	2.88	1.99	опроверг.
9	Великая - Гуйтово	75	0.66	0.53	0.052	2.51	1.99	опроверг.
1	Великая - д. Пятаново	85	0.67	0.53	0.050	2.78	1.99	опроверг.
8	Великая - Опочка	70	0.56	0.53	0.053	0.57	2.00	не опр.
10	Видлица - Большие Горы	84	0.57	0.53	0.051	0.79	1.99	не опр.
11	Воложба - Воложба	79	0.55	0.53	0.051	0.39	1.99	не опр.
12	Воложба - Пареево	68	0.59	0.53	0.053	1.13	2.00	не опр.
13	Вьюн - Запорожское	65	0.59	0.53	0.054	1.12	2.00	не опр.
14	Гороховка - Токарево	71	0.59	0.53	0.053	1.14	1.99	не опр.
15	Дымка - Долмачево	71	0.62	0.53	0.053	1.71	1.99	не опр.
16	Ивина - Ладва	65	0.62	0.53	0.054	1.68	2.00	не опр.
17	Капша - Еремина Гора	66	0.66	0.53	0.053	2.43	2.00	опроверг.
18	Кересь - Сябраницы	76	0.56	0.53	0.052	0.58	1.99	не опр.
19	Коваши - Лендовщина	66	0.62	0.53	0.053	1.69	2.00	не опр.
20	Кудеб - Севериково	68	0.69	0.53	0.053	3.02	2.00	опроверг.
4	Кунья -Уварово	57	0.65	0.52	0.055	2.35	2.00	опроверг.
5	Кунья -Холм	65	0.58	0.53	0.054	0.93	2.00	не опр.
3	Ловать - Великие Луки	84	0.65	0.53	0.051	2.37	1.99	опроверг.
21	Ловать - Узкое	75	0.63	0.53	0.052	1.93	1.99	не опр.
2	Ловать - Холм	98	0.61	0.53	0.049	1.64	1.98	не опр.
22	Локня - Бородино	62	0.66	0.53	0.054	2.40	2.00	опроверг.
23	Лососинка - Петрозаводск	59	0.68	0.52	0.055	2.92	2.00	опроверг.

№	Река - Створ	n	H*	H	σ_H	$(H^* - H)/\sigma_H$	$t_{2\alpha}$	H ₀ : H ≈ 0,5
24	Луга - Кингисепп	76	0.60	0.53	0.052	1.35	1.99	не опр.
25	Луга - Луга	81	0.55	0.53	0.051	0.39	1.99	не опр.
26	Луга - Толмачево	100	0.62	0.53	0.049	1.85	1.98	не опр.
27	Мга - Горы	82	0.60	0.53	0.051	1.38	1.99	не опр.
28	Мерега - Куйтежа	71	0.64	0.53	0.053	2.09	1.99	опроверг.
29	Мста - Девкино	86	0.62	0.53	0.050	1.79	1.99	не опр.
30	Мста - Потерпелицы	68	0.58	0.53	0.053	0.94	2.00	не опр.
31	Нева - Новосаратовка	160	0.51	0.53	0.044	-0.46	1.98	не опр.
32	Немина - Немино	62	0.58	0.53	0.054	0.92	2.00	не опр.
33	Оредеж - Вырица	81	0.60	0.53	0.051	1.37	1.99	не опр.
34	Орлинка - Орлинка	66	0.62	0.50	0.053	2.25	2.00	опроверг.
35	Охта - Новое Девяткино	75	0.67	0.53	0.052	2.70	1.99	опроверг.
36	Оять - Мининская	74	0.63	0.53	0.052	1.92	1.99	не опр.
37	Оять - Шангиничи (Акулова гора)	77	0.68	0.53	0.052	2.91	1.99	не опр.
38	Паша - Дуброво	85	0.62	0.53	0.050	1.79	1.99	не опр.
39	Паша - Часовенское	85	0.59	0.53	0.050	1.19	1.99	не опр.
40	Перехода - Подсосонье	73	0.61	0.53	0.052	1.53	1.99	не опр.
41	Перовка - Гончарово	71	0.64	0.53	0.053	2.09	1.99	опроверг.
42	Петровка - Дружноселье	70	0.64	0.53	0.053	2.09	2.00	опроверг.
43	Плюсса - Брод	81	0.63	0.53	0.051	1.96	1.99	не опр.
44	Плюсса - Плюсса	81	0.65	0.53	0.051	2.36	1.99	опроверг.
45	Пола - Налючи	70	0.59	0.53	0.053	1.14	2.00	не опр.
46	Пчевжа - Белая	77	0.66	0.53	0.052	2.52	1.99	опроверг.
47	Пяльма - Пяльма	67	0.63	0.53	0.053	1.88	2.00	не опр.
48	Рагнукса - Харловская	64	0.63	0.53	0.054	1.86	2.00	не опр.
49	Систа - Среднее райково	74	0.63	0.53	0.052	1.92	1.99	не опр.
50	Ситня - Пески	65	0.59	0.53	0.054	1.12	2.00	не опр.
51	Сороть - Осинкино	87	0.67	0.53	0.050	2.79	1.99	опроверг.
52	Тигода - Любань	75	0.60	0.53	0.052	1.35	1.99	не опр.
53	Тихвинка - Горелуха	138	0.58	0.53	0.045	1.11	1.98	не опр.
54	Тосна - Тосно	75	0.55	0.53	0.052	0.39	1.99	не опр.
55	Уверь - Меглецы	83	0.54	0.53	0.051	0.20	1.99	не опр.
56	Уза - Дубская	72	0.73	0.53	0.052	3.82	1.99	опроверг.
57	Уница - Уница	70	0.55	0.53	0.053	0.38	2.00	не опр.
58	Утроя - Б. Губа	81	0.70	0.53	0.051	3.34	1.99	опроверг.
59	Цна - Жилотково	58	0.54	0.52	0.055	0.36	2.00	не опр.
60	Шелонь - Порхов	64	0.64	0.53	0.054	2.04	2.00	опроверг.
61	Шуя - Бесовец	84	0.46	0.53	0.051	-1.39	1.99	не опр.
62	Ящера - Долговка	68	0.57	0.53	0.053	0.75	2.00	не опр.

Поскольку показатель Хёрста является характеристикой, в том числе, к трендоустойчивости нестационарные ряды всегда будут иметь показатель Хёрста отличный от показателя Хёрста белого шума. В настоящей работе ис-

следовалась возможность использования показателя Хёрста для оценки неоднородности и нестационарности рядов максимальных расходов весеннего половодья на примере рек Северо-Запада РФ.

Был выполнен сравнительный анализ показателя Хёрста для однородных и неоднородных рядов. Результаты представлены в приложении А и в таблице 2.8, а также на рисунке 2.9.

Таблица 2.8 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на однородность, стационарность и случайность.

№	Статистический критерий	Число неоднородных (нестационарных) рядов	
		абсолютное	в процентах, %
	Всего рядов	62	100
1	Значимость тренда	35	56
2	Критерий Стьюдента	27	44
3	Критерий Фишера	26	42
4	Критерий Фишера или Стьюдента	33	53
5	Всего неоднородных рядов (опровержение хотя бы по одному из критериев: 1,2 или 3)	45	73
6	Неоднородность по трем критериям одновременно (1,2 и 3)	18	29
7	Значимость k -та автокорреляции	22	35
8	Ряд не случаен по Хёрсту	21	34
9	Ряд не случаен по Хёрсту, но однороден	1	

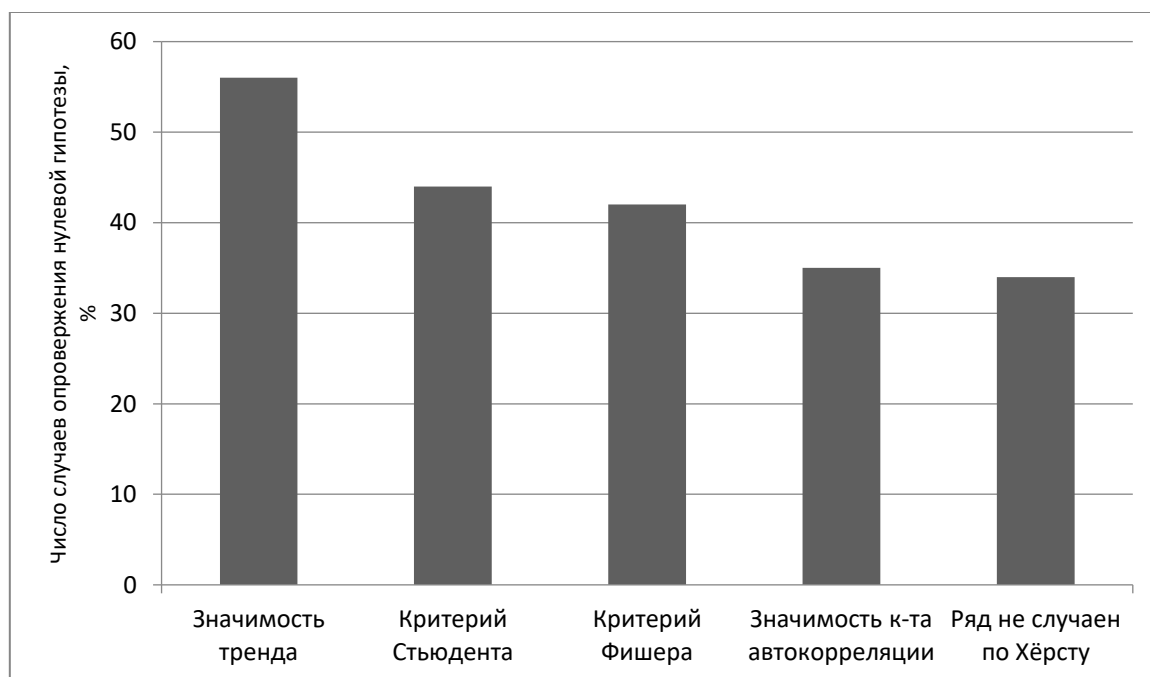


Рисунок 2.9 – Число случаев опровержения нулевой гипотезы, %.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЁРСТА НА ПРИМЕРЕ РЕК БАССЕЙНА Р. ТЕРЕК

3.1. Физико-географическая и климатическая характеристика территории бассейна реки Терек

3.1.1. Географическое положение

Территория Северо-Кавказа Российской Федерации расположена в южной части Европейской части России, между Черным и Каспийским морями. Регион охватывает северную часть Большого Кавказа и Предкавказья.

Северо-Кавказский регион занимает площадь 170 000 км². Он охватывает 7 субъектов Российской Федерации: Республику Дагестан, Ингушетию, Чечню, Северную Осетию-Аланию, Карачаево-Черкесскую Республику, Кабардино-Балкарскую Республику и Ставропольский край.

Это большой геополитический район, который граничит с такими соседними странами как Азербайджан, Грузия и Украина. Одной из важнейших особенностей рассматриваемой территории является выход к морю. Это позволяет России иметь большой «транспортный коридор» в этот район и имеет хорошо развитую сухопутную и морскую инфраструктуру.



Рисунок 3.1 – Территория Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации

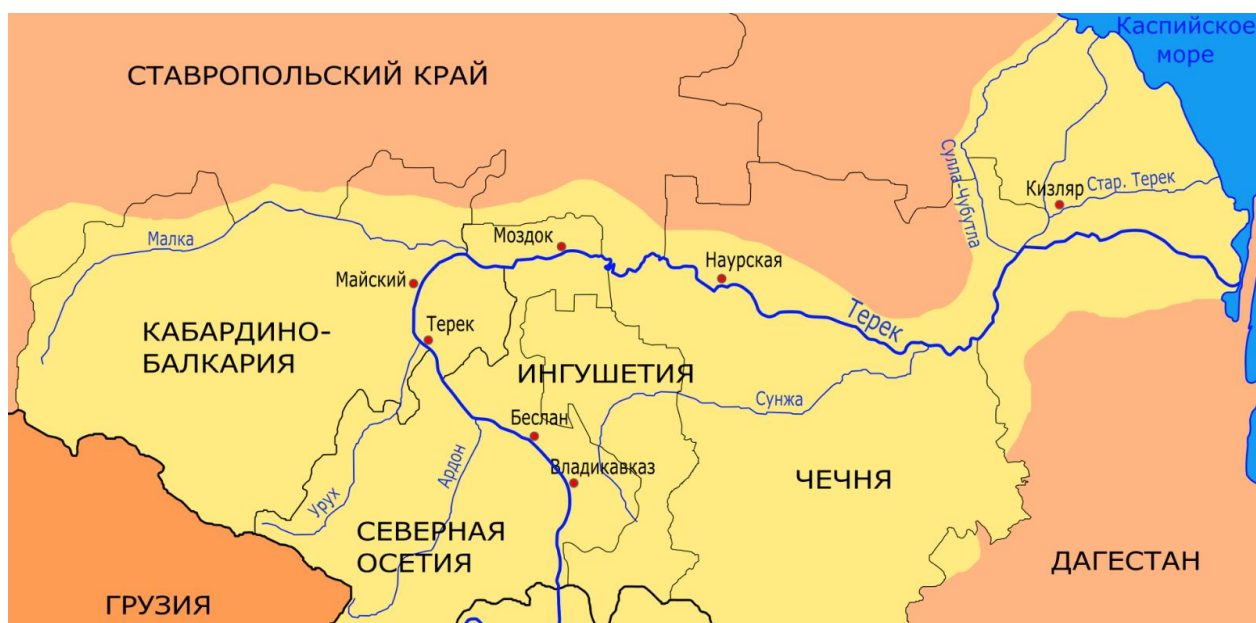


Рисунок 3.2 – Бассейн реки Терек.

3.1.2. Рельеф и геологическое строение

Две основные части Северо-Кавказа – это горы и равнины.

Равнина расположена на северо-западе и представляет собой Ставропольскую возвышенность и Кубано-Приазовскую низменность.

Средняя высота Ставропольской возвышенности составляет 831 метр. Эта возвышенность состоит из глины, песка, извести и суглинка. На возвышенности берут начала такие реки как Калаус, Томузловка и Егорлык.

Кубано-Азовская низменность простирается более чем на 350 километров, а ее высота может достигать 156 метров. Здесь есть газовые скважины, и эта низменность представлена глиной и суглинками, а также осадочными породами.

Местность в основном покрыта черноземом.

Южную и юго-восточную части региона занимают Кавказские горы, на которых преобладают альпийские и субальпийские луга, лесные массивы и ледники.

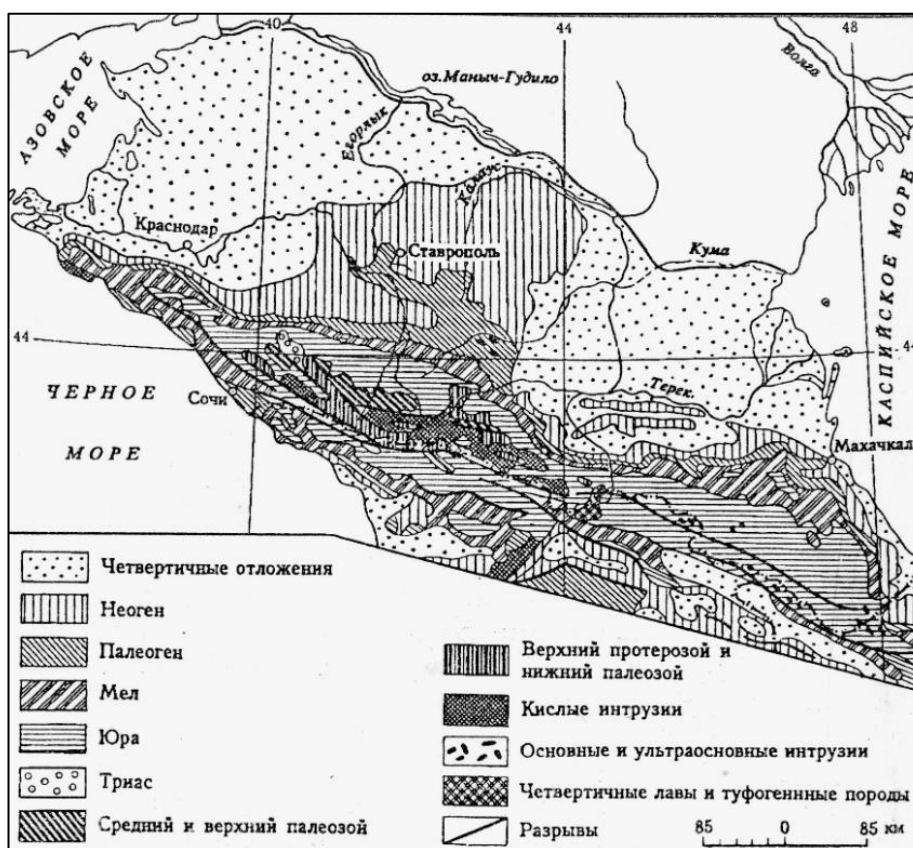


Рисунок 3.3 – Геологическая карта региона

Горы Кавказа имеют широтное положение и средняя высота составляет 2-3,5 тысячи метров. Самые популярные вершины - Эльбрус (5 642 м) и Казбек

(5 033 м). С этих гор берут свое начало такие более известные реки как Терек, Кума, Самур и Сулак.

Большой Кавказ простирается с запада на северо-запад до востока на юго-восток. На северном склоне от подгорных равнин поднимаются структурно-денудационные хребты – Лесистые горы, Пастбищный и Скалистый хребты, которые сложены осадочными породами.

От реки Белая до реки Баксы располагается Передовой хребет, образованный осадочными и метаморфическими породами. Боковой хребет (гора Эльбрус) имеет крутые склоны и достигает высот 4000-5000 метров с палео- и современным гляциальным рельефом. Западная часть Большого Кавказа известна своим преобладанием низкогорного и среднегорного эрозионно-денудационный рельефа. полезны благодаря новым, современным и ледниковым рельефам. Северный склон расчленён глубокими консеквентными и субсеквентными долинами. На южном склоне протягиваются отдельные короткие хребты.



Рисунок 3.4 – пойма реки Баксан в Приэльбрусье (Кабардино-Балкария, Россия)

С постоянно происходящими экзогенными процессами, в том числе катастрофическими, связано формирование разных форм рельефа: в высокогорьях – лавинных, селевых, гляциальных, мерзлотных, в среднегорьях – обвально-осыпных, оползневых, в низкогорьях – эрозионных.

3.1.3. Почвенный покров

Северо-Кавказский федеральный округ около 26% приходится на каштановые земли, более 25% – лугово-черноземные почвы, более 6% – луговые, более 4% – коричневые и лугово-коричневые почвы и еще 3% приходится на пойменные почвы. Пески составляют около 4% территории района. Чуть больше 7% приходится на бурые почвы, более 20% – это горно-луговые и горно-лугово-степные.

Большое влияние на термический режим рек оказывают чернозёмы и каштановые почвы, а также горно-лесные и горно-луговые, которые среди названных типов занимают наибольшую площадь распространения. Наличие небольшой мощности, пористости и скважности горно-лесных и горно-луговых почв, помогают быстрому стеканию талых и дождевых вод.

Около 10% всей рассматриваемой территории не развито орошаемое земледелие, но несмотря на оставшейся части территории можно выращивать пшеницу, кукурузу на зерно и подсолнечник.

Почвы Северо-Кавказа имеют отличительную особенность – они имеют значительную мощность гумусовых горизонтов (до 140-200 см) и относительно небольшим содержанием гумуса.

Северный склон Большого Кавказа имеют свою зональность почв. Так в западной и центральной его части северного склона до высоты 800-1300 метров – горные чернозёмы, на востоке же они распространены на высоте 400-500 метров.

На востоке сформировались горные каштановые почвы. В них меньше гумуса примерно 3-5% и много солей.

Следующим распространенным поясом является пояс горно-лесных почв. На высотах от 2-2,4 тыс м до 3-3,5 тыс м представлены горно-луговые почвы. Содержание гумуса 18-20% в зоне субальпийских лугов, 10-12% — альпийских.

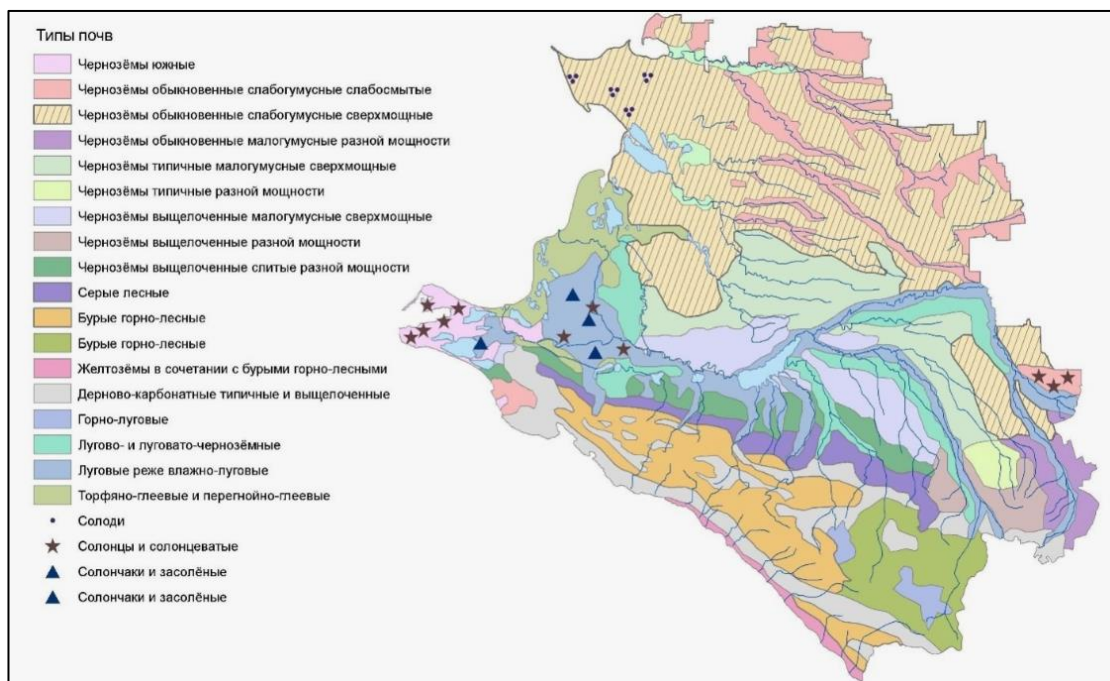


Рисунок 3.5 – Почвенная карта Северного Кавказа.

3.1.4. Растительность

Северный Кавказ богат своим растительным миром и это связано с особенностями рельефа, который, в свою очередь, позволил создать на территории района несколько климатических зон.

На равнинах региона, а в особенности в Ставропольском крае и Кубанской низменности, преобладают степи. Там растут множество видов ковылей, типчаков, злаков и бобовых растений.

В предгорьях и на нижних склонах распространены широколиственные и хвойные леса. В низинах преобладают дуб, бук, граб, липа и каштан, а на склонах гор встречаются пихта, ель, сосна и тис. В лесах Северо-Кавказа множество редких видов растений, таких как кавказская примула или кавказский подснежник, те, которые больше нигде не встречаются.

В высокогорьях леса заменяются субальпийским и альпийским лугам. Там растут редкие виды растений, которые адаптировались к экстремальным суровым условиям – рододендрон, горные лилии и альпийские анемоны. В этих районах также можно найти лекарственные растения – арнику, душицу или тимьян.

Северный Кавказ известен большим количеством редких и эндемичных видов растений, которые не встречаются в других регионах. Например, пион кавказский, белая сосна, виды орхидей и множество разновидностей луковичных растений.

Северный Кавказ по природным условиям похож на Азию и именно поэтому здесь хорошо приживаются представители субтропической флоры.



Рисунок 3.6 – Кавказские горы. Карачаево-Черкесия, Западный Кавказ



Рисунок 3.7 – карта растительности и животного мира

3.1.5. Гидрографическая сеть

Речная сеть рассматриваемого региона распределяется между тремя морями: Черным, Азовским и Каспийским. Бассейны Черного и Азовского морей разделяют Главный кавказский водораздел, бассейны Азовского и Каспийского — водораздел, отходящий от Главного в районе Эльбруса и идущий к Манычскому водоразделу, отделяющему Восточный Маныч от Западного Маныча.

Река Пшада является одной из самых крупных рек района. Она впадает в Черное море.

Река Туапсе немного крупнее Пшады и простирается с гор Агой и Лисой в районе перевала Гойтх. Намного крупнее является бассейн руки Шахе.

Бассейн Азовского моря занимает всю западную часть Предкавказской равнины и северного склона Кавказа от меридиана Эльбруса. От Главного водораздела отходит водораздел между Азовским и Каспийским морями и идет через вершину Эльбруса, горы Кум-баши и Стрижамент до Ставрополя.

Дальше он идет между бассейнами реки Егорлыка и Калауса до Маныча. Самый крупный по площади (57 000 км²) и количеству воды. Данный бассейн принадлежит системе реки Кубани, которая собирает воды почти всего северного склона Западного Кавказа.

К бассейну Каспийского моря относятся в основном степные реки Калаус и Кума, также те, которые берут свое начало в горных областях. Вся центральная часть северного склона Кавказа — от Эльбруса до Диклос-Мта — является бассейном реки Терека, слева в него впадают реки Малка, Баксан, Чегем, Нальчик, Черек, Ираф, Ардон, Фиат-дон и Гизель-дон, справа, в Терек впадают реки Арм-хи и Хумаладжи-дон.

В горах и предгорьях Северного Кавказа имеется много минеральных источников, рядом с которыми открыто множество курортов, имеющих мировую известность – Кисловодск, Минеральные Воды, Пятигорск, Ессентуки, Мацеста. Воды минеральных источников разнообразны по своему химическому составу, температуре, а также являются очень полезными для организма человека. Вода улучшает работу почек, печени, ЖКТ и нормализует деятельность всего организма в целом.

Помимо рек имеются очень много озёр, которые можно разделить на 2 категории: равнинные и горные озера. Равнинные образовались из-за преобладания испарения над осадками. К ним относятся прибрежные озера – лиманные (затопленные и отделенные пересыпями устьевые части долин) и лагунные (отгороженные заливы), с соленостью выше или ниже морской.

Озера горной области имеют гляциальное, и каровое происхождение. На склонах Эльбруса есть группы горных ледниковых водоемов, так же много ледниковых озер в верховьях рек Бзыби и Гумисты на южном склоне Главного Хребта в районе горы Кизгич, на северных склонах хребта Абишир-Ахуба в верховьях рек Большой Зеленчук и Уруп. В гидрографии Кавказа имеются уникальные карстовые озёра – Голубые озёра и Шадхурей. Озёра произошли из-за карстовых провалов, то есть они образовались в ходе выщелачивания известняков из-под песчаников.

По водному режиму рек рассматриваемая территория разделена на восемь районов, границы которых делятся следующим образом:

- I район, куда входят бассейны рек восточного склона возвышенности Ергени и бассейн р. Калаус;
- II район – бассейн р. Кумы;
- III район, охватывающий среднее и нижнее течение р. Терек с притоками;
- IV район, включающий верхнее течение р. Терек с притоками;
- V район, куда входит бассейн р. Акташ;
- VI район, включает высокогорную часть бассейнов р.р. Сулак и Самур;
- VII район, охватывает среднее и нижнее течения р.р. Сулак и Самур;
- VIII район – бассейны рек Прикаспийской низменности.

Если сравнивать горные и равнинные районы Северного Кавказа, то равнинная часть «бедна» реками. Они маловодны и большинство из них после прохождения весенних паводков мелеют или пересыхают.

В данной работе я буду рассматривать бассейн реки Терека. Протяженность реки 623 км. Тянется от склона Главного Кавказского хребта, который разделяет Северную Осетию и Грузию, и протекает через все регионы СКФО до устья, впадающего в Каспийское море.



Рисунок 3.8 – река Терек.

3.1.6. Климат

Климат района Северного Кавказа разный – где-то он умеренно-континентальный, а где-то он субтропический. Лето жаркое с температурами +25–27 °С. Зима мягкая с температурами +3–5 °С.

Климат региона разделяется на несколько зон от умеренного континентального климата равнин и предгорий до высокогорного климата альпийских зон. Одну из самых главных ролей играют Кавказские горы. Они создают перепады высот и выступают барьером воздушных масс. Именно из-за этого погодные условия в разных частях округа разные.

Чёрное море смягчает климат, принося тёплые и влажные воздушные массы. Каспийское море оказывает более контрастное влияние. В летние месяцы оно может способствовать формированию сухого и жаркого климата, особенно в Дагестане. На высотах свыше 2000 метров климат становится альпийским, с коротким и прохладным летом и длинной снежной зимой. Средние летние температуры здесь почти не поднимаются выше +10 °С, а зимой температуры могут опускаться до –20 °С и ниже.

На высотах свыше 2000 метров климат становится альпийским, с коротким и прохладным летом и длинной снежной зимой. Средние летние температуры здесь почти не поднимаются выше $+10^{\circ}\text{C}$, а зимой температуры могут опускаться до -20°C и ниже.

Западные районы получают воздушные массы из Атлантики, в свое время восточные приходу воздушных масс с востока.

Погода фронтального типа в данной регионе имеет наибольшую повторяемость летом. Черноморские циклоны характеризуются наибольшей повторяемостью зимой. Максимальная повторяемость циклонов и антициклонов бывает весной и именно из-за этого характер погоды весной обычно неустойчивый. Наиболее распространенными процессами зимой являются антициклонические вторжения и черноморские циклоны, для лета — юго-западные антициклоны и западные антициклоны. Северо-западный поток охватывает 50 % всех летних дней.

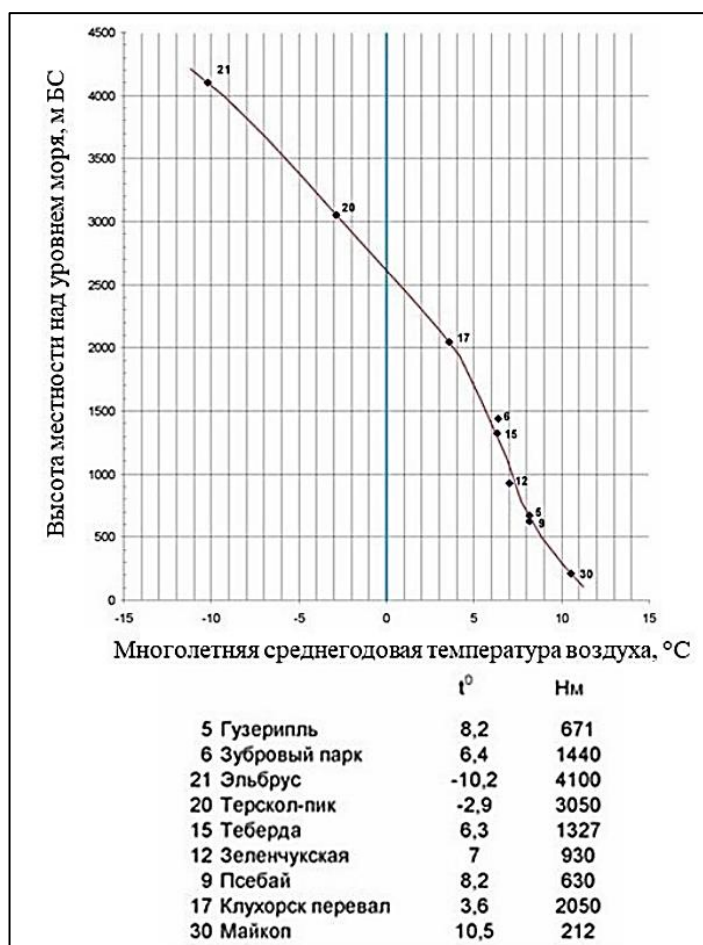


Рисунок 3.9 – Зависимость многолетней среднегодовой температуры воздуха от высоты местности для Северного склона Кавказа.

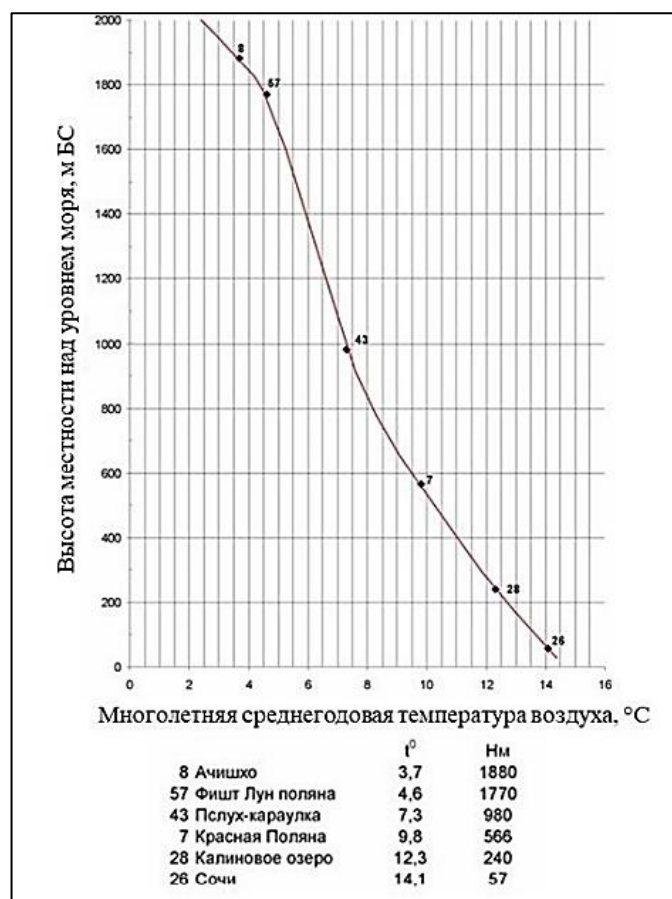


Рисунок 3.10 – Зависимость многолетней среднегодовой температуры воздуха от высоты местности для Черноморского склона Кавказа.

Анализируя рисунки 3.8 и 3.9 видно, что для каждого из этих склонов имеется свой климат, который находится в строгом соответствии с вертикальной зональностью [25].

Осадки по территории Северного кавказа распределяются неравномерно. Западная часть получает большее количество влаги, до 500 – 550 мм. При движении на восток количество осадков уменьшается до 400 мм и менее. Барьером на пути движения влажного воздуха служит Ставропольская возвышенность.

На западных склонах Кавказа количество осадков приближается к 2500 мм и более.

По оценкам ученых географического факультета МГУ и учеными из Института водных проблем РАН у реки Терек будет снижаться ледниковое питание, то есть площадь оледенения уменьшится на 55% к 2080 году. При этом по прогнозам будут увеличиваться осадки.

3.2. Комплексный статистический анализ рядов максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна реки Терек

3.2.1. Исходные данные

В качестве исходных данных использовались ряды максимальных расходов воды весеннего половодья рек Северо-Кавказа России. В данной работе рассматривался бассейн реки Терека. В общей сложности проанализировано 24 ряда. Распределение рядов по грациям площадей водосбора представлено в таблице 3.1, по продолжительности наблюдений – в таблице 3.2. Схема расположения постов показана на рисунке 3.11.

Таблица 3.1 – Распределение постов по грациям площадей водосборов

Диапазон площадей водосборов	$F < 200$	$200 < F \leq 1000$	$1000 < F \leq 5000$	$5000 < F \leq 20000$	$F > 20000$
Количество	3	4	10	4	3

Таблица 3.2 – Распределение постов по продолжительности рядов наблюдений

Продолжительность рядов, n	$n \leq 60$	$60 < n \leq 80$	$80 < n \leq 100$	$n > 100$	Всего
Количество	13	6	5	0	24
%	54.2	25	20.8	0	100

Как видно из таблицы 3.2, больше 50% рядов имеют продолжительность менее 60 лет.

Для того, чтобы была возможность оценить как работают разные критерии на рядах, с помощью метода аналогии была выполнено удлинение рядов.

Для получения более корректных данных использовались восстановленные ряды, которые имеют более продолжительный период наблюдений.

По полученным расчётам получилось 10 рядов, которые в данной работе в дальнейшем и рассматриваются.

Из проанализированных рядов один ряд восстанавливать нельзя, т.к. тяжёлая точка вытянула весь ряд. Несмотря на то что R хорошая. Таким образом, в данной работе использовалось 9 удлиненных рядов.

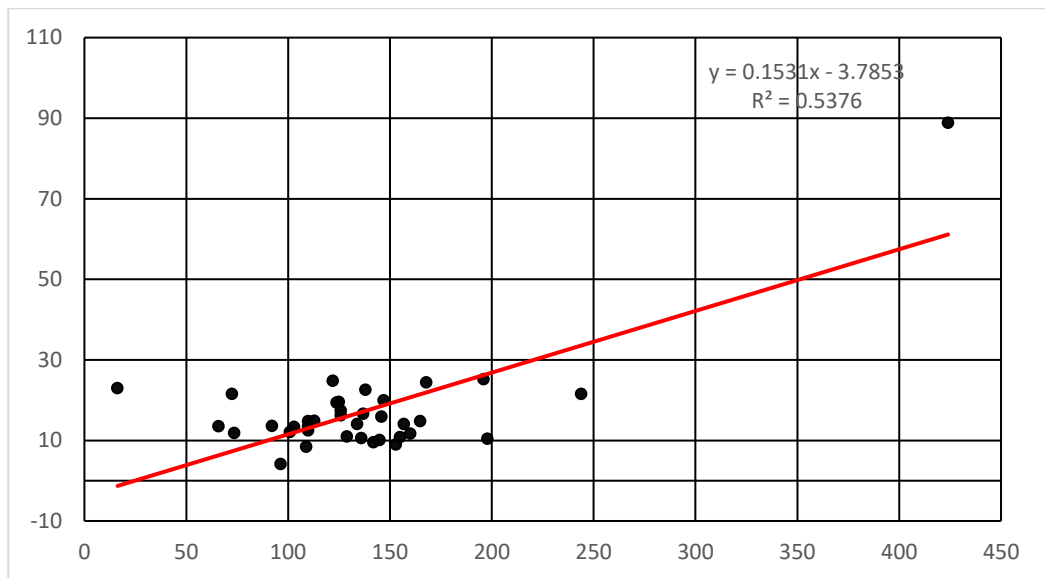


Рисунок 3.11 – Ряд с утяжеляющей точкой (расчетная река Геналдон – Кармандон. Аналог Терек – Орджоникидзе)

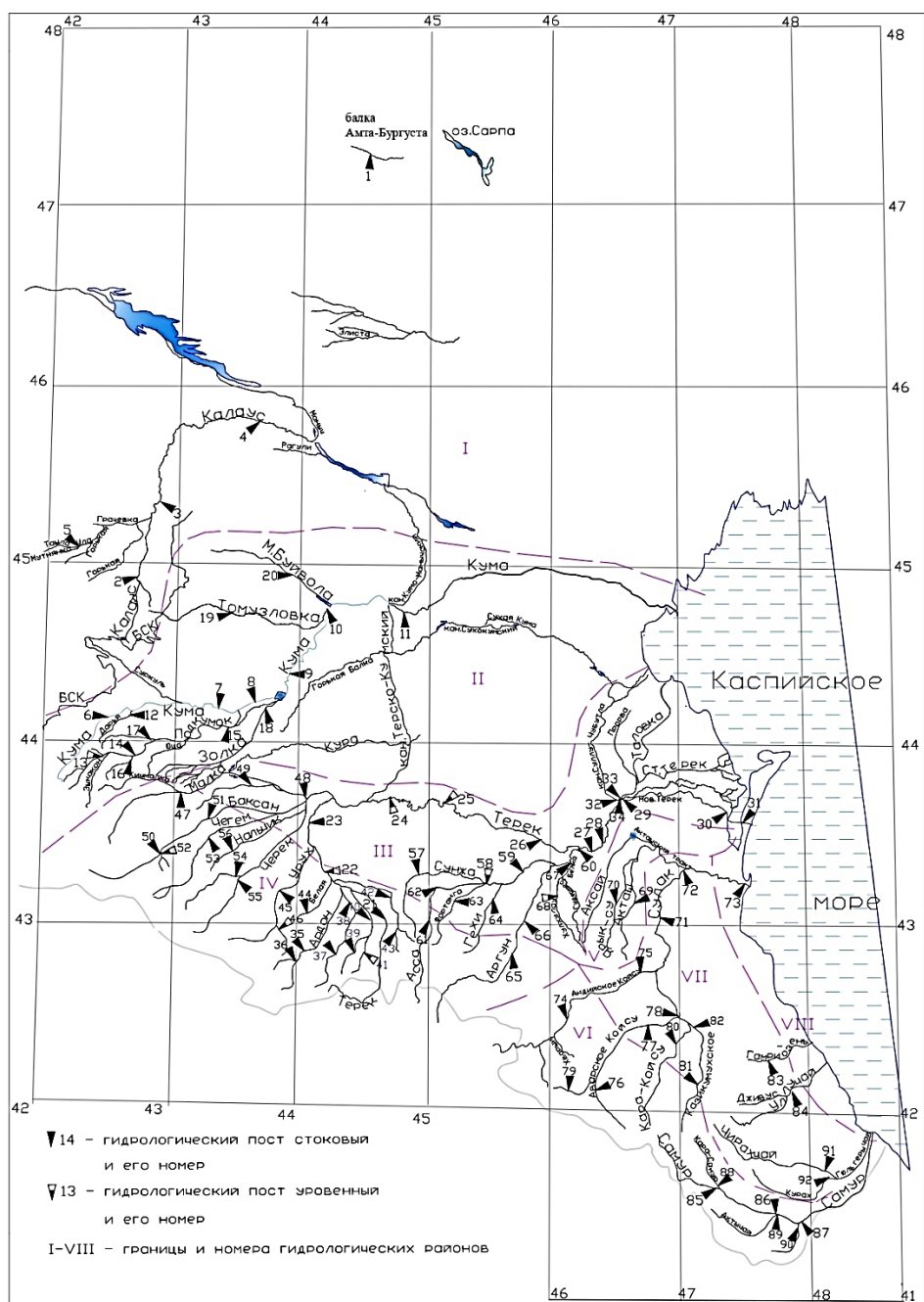


Рисунок 3.12 – Схема расположения гидрологических постов.

3.2.2. Оценка значимости линейных трендов

Проверка рядов рассматриваемой территории проводилась с помощью гидрологических характеристик с использованием критерия значимости коэффициента корреляции в соответствии с методикой, описанной в пункте 1.2 данной работы.

Хронологические графики максимальных расходов весеннего половодья представлены в приложении В. Результаты проверки рядов на значимость тренда представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Кавказа РФ на значимость тренда.

№	Река-Створ	n	R ²	R	s _R	R/s _R	t _{2α}	Значим/не значим
1	Р. Аргун – с. Советское	89	0,039	0,20	0,11	1,87	1,99	Не значим
2	Р.Малка – г. Прохладный	90	0,003	0,05	0,11	0,47	1,99	Не значим
3	Р.Сунжа – г. Грозный	66	0,001	0,032	0,13	0,25	2,00	Не значим
4	Р.Сунжа – Брагуны	95	0,026	0,16	0,10	1,58	1,88	Не значим
5	Р.Терек – с.Каргалинская	93	0,003	0,062	0,11	0,59	1,99	Не значим
6	Р.Терек – с.Эльхотово	92	0,018	0,14	0,10	1,29	1,99	Не значим
7	Р.Терек – г.Моздок	90	0,016	0,13	0,11	1,21	1,99	Не значим
8	Р.Терек – с.Степное	95	0,036	0,19	0,10	1,87	1,99	Не значим
9	Р.Аргун – с.Дубар-Юрт	69	0,12	0,35	0,12	3,01	2,00	Значим

Как видно из таблицы 3.3, из 9 рядов 1 имеет значимый тренд (на понижение), что составляет 11% от общего числа рядов. Пример ряда со значимым трендом представлен на рисунке 3.12.

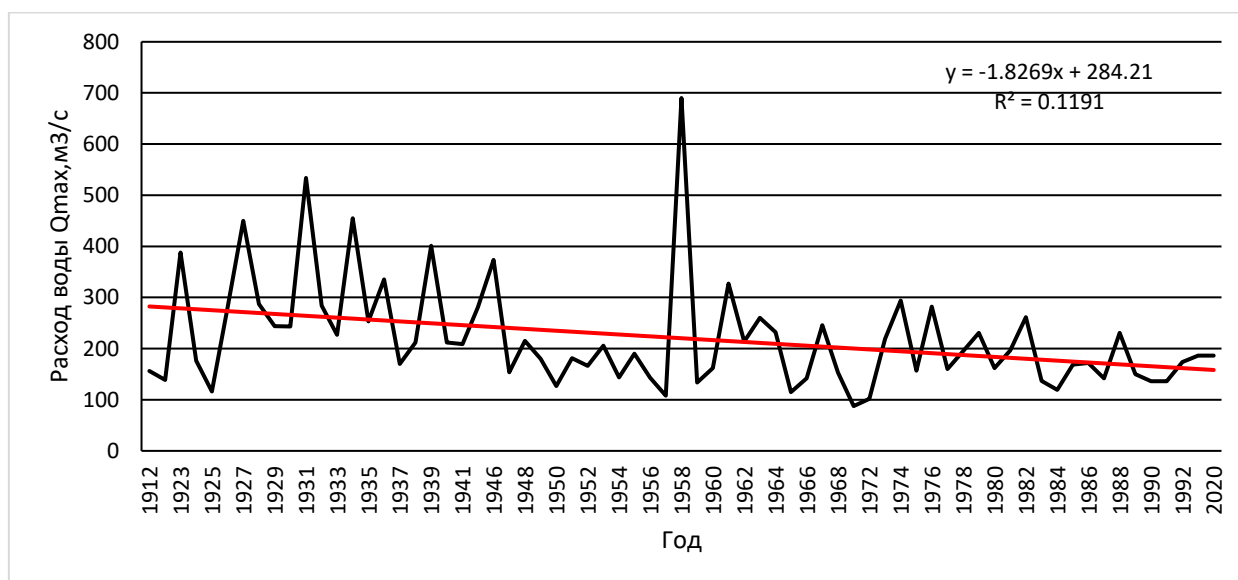


Рисунок 3.13 – Хронологический график максимальных расходов весеннего половодья со значимым трендом (на понижение)

3.2.3. Проверка рядов на однородность

Проверка рядов рассматриваемой территории проводилась с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Методика описана в пункте 1.4 данной работы.

В настоящей работе проверка однородности проводилась с использованием пакета анализа MS Excel. Результаты проверки представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на однородность

№	Река-Створ	n	Статистика Стьюдента			Статистика Фишера		
			t*	t _{2a}	H ₀ : Q ₁ = Q ₂	F*	F _{2a}	H ₀ : D ₁ = D ₂
1	Р. Аргун – с. Советское	89	2.70	2.00	Опроверг	1.94	1.83	Опроверг
2	Р.Малка – г. Прохладный	90	0.68	1.99	Не опровер	0.62	0.55	Опроверг
3	Р.Сунжа – г. Грозный	66	0.81	2.00	Не опровер	2.79	2.02	Опроверг
4	Р.Сунжа – Брагуны	95	0.85	1.99	Не опровер	2.02	1.79	Опроверг
5	Р.Терек – с.Каргалинская	93	0.79	1.99	Не опровер	1.87	1.80	Опроверг
6	Р.Терек – с.Эльхотово	92	0.65	1.99	Не опровер	1.47	1.81	Не опровер
7	Р.Терек – г.Моздок	90	0.97	1.99	Не опровер	1.42	1.82	Не опровер
8	Р.Терек – с.Степное	95	2.04	1.99	Опроверг	2.38	1.79	Опроверг
9	Р.Аргун – с.Дубар-Юрт	69	1.73	2.00	Не опровер	1.08	1.99	Не опровер

Как видно из таблицы 3.4 гипотеза об однородности опровергается более, чем для половины рассмотренных рядов по критерию Фишера и не опровергается больше чем для половины рассмотренных рядов по критерию Стьюдента.

3.2.4. Проверка рядов на случайность

Проверка рядов Северо-Кавказа РФ производилась с помощью критерия значимости выборочного коэффициента автокорреляции (r). Методика расчетов описана в пункте 1.3 данной работы.

Результаты проверки рядов на случайность представлены в таблице 3.5.

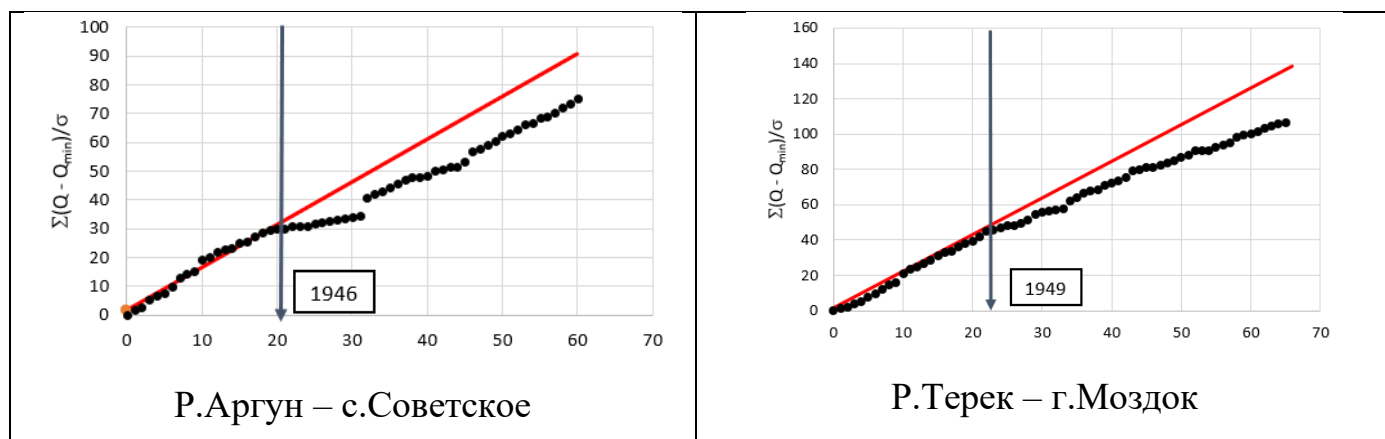
Таблица 3.5 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на значимость коэффициента автокорреляции

№	Река-Створ	n	r(1)	m _r	s _r	[r(1)-m _r]/s _r	t _{2a}	Значим/не значим
1	Р. Аргун – с. Советское	89	0.28	-0.01	0.11	2.77	1.99	Значим
2	Р.Малка – г. Прохладный	90	0.13	-0.01	0.10	1.34	1.99	Не значим
3	Р.Сунжа – г. Грозный	66	0.17	-0.02	0.12	1.56	2.00	Не значим
4	Р.Сунжа – Брагуны	95	0.06	-0.01	0.10	0.67	1.99	Не значим
5	Р.Терек – с.Каргалинская	93	0.13	-0.01	0.10	1.36	1.99	Не значим
6	Р.Терек – с.Эльхотово	92	-0.06	-0.01	0.10	-0.51	1.99	Не значим
7	Р.Терек – г.Моздок	90	-0.02	-0.01	0.10	-0.09	1.99	Не значим
8	Р.Терек – с.Степное	95	0.06	-0.01	0.10	0.66	1.99	Не значим
9	Р.Аргун – с.Дубар-Юрт	69	0.03	-0.02	0.12	0.41	2.00	Не значим

Как видно из таблицы 3.5, значимые коэффициенты автокорреляции выявлены у 2 рядов из 9, что составляет 22% от общего числа рядов.

3.2.5. Анализ суммарных и разностных интегральных кривых

Для выявления дат изменений условий формирования максимального весеннего стока на реках Северо-Кавказа РФ строились суммарные и разностные интегральные кривые. Графики разностно-интегральных кривых представлены в приложении Ж, графики суммарных кривых в приложении Д и на рисунке 3.13. Как видно на рисунках точка перелома приходится в большинстве случаев на 1945-1949 года.



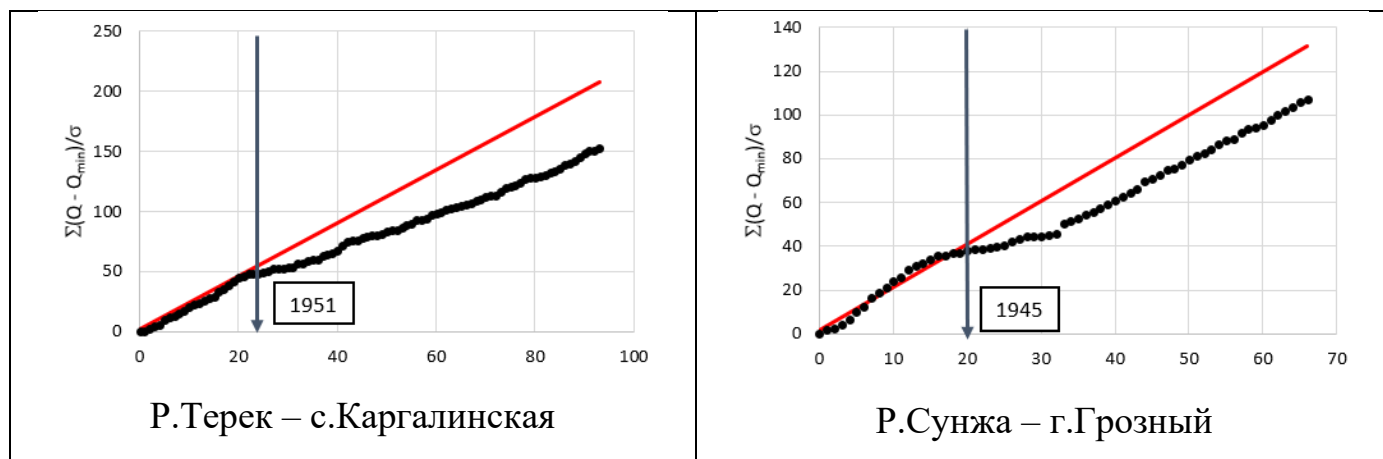


Рисунок 3.14 – Суммарные кривые максимальных расходов весеннего половодья с характерными точками перелома.

3.2.6. Сравнительный анализ показателя Хёрста для рядов максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна реки Терек

Для всех исследуемых рек Северо-Кавказа РФ была выполнена оценка показателя Хёрста по формуле (1.16).

Результаты расчета представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на случайность с использованием показателя Хёрста

№	Река - Створ	n	H*	H	s _H	(H* - H)/s _H	t _{2α}	H ₀ : H » 0,5
1	Р. Аргун – с. Советское	89	0.66	0.53	0.05	2.61	1.99	опров.
2	Р.Малка – г. Прохладный	90	0.56	0.53	0.05	0.60	1.99	не опров.
3	Р.Сунжа – г. Грозный	66	0.66	0.5	0.05	3.00	2.00	опров.
4	Р.Сунжа - Брагуны	95	0.56	0.53	0.05	0.61	1.99	не опров.
5	Р.Терек-с.Каргалинская	93	0.62	0.53	0.05	1.82	1.99	не опров.
6	Р.Терек – с.Эльхотово	92	0.55	0.53	0.05	0.40	1.99	не опров.
7	Р.Терек – г.Моздок	90	0.5	0.53	0.05	-0.60	1.99	не опров.
8	Р.Терек – с.Степное	95	0.57	0.53	0.05	0.81	1.99	не опров.
9	Р.Аргун – с.Дубар-Юрт	69	0.62	0.53	0.05	1.70	2.00	не опров.

Поскольку показатель Хёрста является характеристикой, в том числе, к трендоустойчивости нестационарные ряды всегда будут иметь показатель Хёрста отличный от показателя Хёрста белого шума. В настоящей работе ис-

следовалась возможность использования показателя Хёрста для оценки неоднородности и нестационарности рядов максимальных расходов весеннего половодья на примере рек Северо-Кавказа РФ.

Был выполнен сравнительный анализ показателя Хёрста для однородных и неоднородных рядов. Результаты представлены в приложении Е и в таблице 3.7, а также на рисунке 3.14.

Таблица 3.7 – Результаты проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на однородность, стационарность и случайность.

№	Статистический критерий	Число неоднородных (нестационарных) рядов	
		абсолютное	в процентах, %
	Всего рядов	9	100
1	Значимость тренда	1	11
2	Критерий Стьюдента	1	11
3	Критерий Фишера	6	66
4	Критерий Фишера или Стьюдента	4	44
5	Всего неоднородных рядов (опровержение хотя бы по одному из критериев: 1,2 или 3)	7	77
6	Неоднородность по трем критериям одновременно (1,2 и 3)	0	0
7	Значимость k -та автокорреляции	2	22
8	Ряд не случаен по Хёрсту	3	33
9	Ряд не случаен по Хёрсту, но однороден	0	0

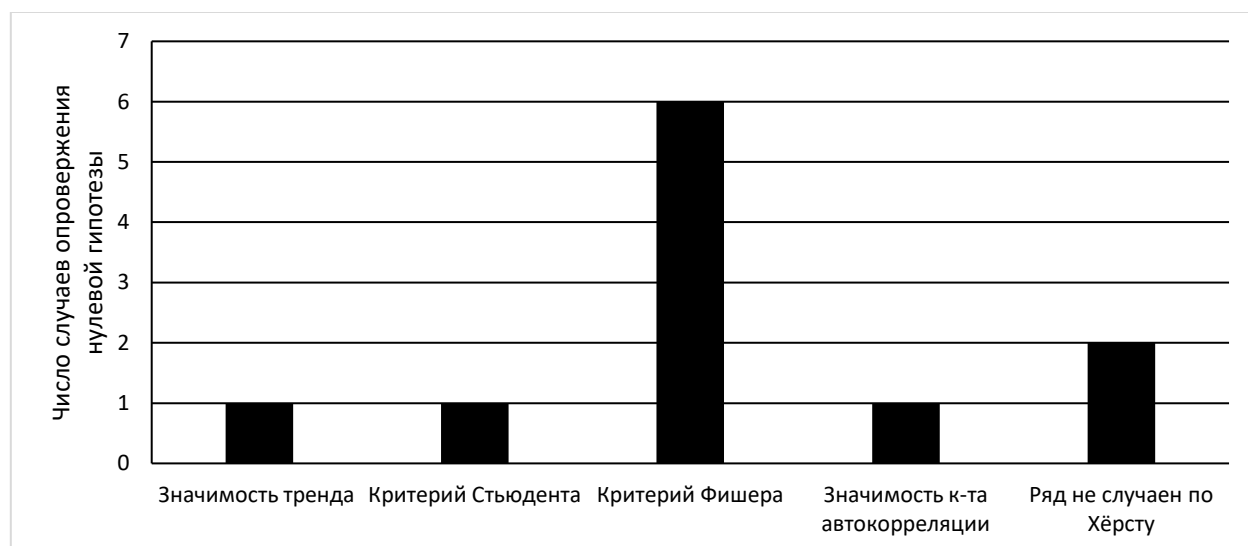


Рисунок 3.15 – Число случаев опровержения нулевой гипотезы, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью настоящей работы являлась оценка возможности использования показателя Хёрста в качестве универсального критерия для выявления неоднородности и нестационарности рядов максимальных расходов весеннего половодья.

Исследование было проведено по двум регионам – по Северо-Западу РФ и по бассейну реки Терек.

По Северо-Западу мною было проанализировано 62 ряда, по бассейну реки Терек – 9 рядов. Ряды проверялись на значимость трендов и на однородность по критериям Фишера и Стьюдента. Анализ показал, что для территории Северо-Запада 73% рядов максимальных расходов воды являются неоднородными хотя бы по одному из критериев, а в 29 % случаев ряды являются неоднородными по трем критериям одновременно. Для бассейна Терека 77% рядов являются неоднородными хотя бы по одному из критериев.

Было установлено, что если ряд не соответствует модели «белого шума» по критерию Хёрста, то он практически всегда неоднороден. Поскольку показатель Хёрста является характеристикой, в том числе, и трендоустойчивости неоднородные и нестационарные ряды в большинстве случаев будут иметь показатель Хёрста отличный от показателя Хёрста «белого шума». Учитывая сказанное, показатель Хёрста можно рекомендовать как универсальный критерий для оценки неоднородности и нестационарности временных рядов, вызванных антропогенными факторами и изменением климата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.	Вагнер К.В., Исследование вероятностной структуры рядов максимальных расходов воды весеннего половодья с использованием показателя Хёрста [Текст]: бак. Работа: защищена 27.06.22: утв. 20.06.22 / Автор Вагнер Ксения Владимировна. – Б., 2022 – 81 с. – Библиогр.: с.1-81.
2.	СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
3.	Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
4.	Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Главная - АИС ГМВО . Дата обращения 10.11.2024.
5.	<i>Богословский Б.Б.</i> Общая гидрология: учебник для студ. ВУЗов/ Богословский Б.Б. [и др.] – Л.: Гидрометеиздат, 1984.–356 с.
6.	<i>Владимиров А.М.</i> Гидрологические расчёты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
7.	Все реки. Информационный сайт о реках России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Реки по бассейнам — Все реки . Дата обращения 01.10.2024.
8.	<i>Евстигнеев В. М.</i> Речной сток и гидрологические расчеты.– М.: Изд-во МГУ,1990. – 304 с.
9.	Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 248 с.
10.	Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.

11.	Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. РСФСР. Выпуск 5. Бассейны рек Балтийского моря, Онежского и Ладожского озер. Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 688 с.
12.	Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации. - СПб.:ООО "РИАЛ", 2021. - 190 стр. Режим доступа: https://hydrology.ru/storage/files/publications/spravochnik_ogh_reki_2021.pdf (дата обращения 26.10.2024).
13.	Основные гидрологические характеристики. Том 2 – Л.: Гидрометиздат, (до 1962 г.), (1963-1970), (1971-1975).
14.	Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
15.	Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 527 с.
16.	Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
17.	Свод правил СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. // Минстрой России: офиц. сайт. – Режим доступа: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/323116/ (дата обращения 26.10.2024).
18.	<i>Сикан А.В.</i> Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 286 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_87d638c890a947f99fcec9099b397e64.pdf (дата обращения 26.10.2024).
19.	<i>Сикан А.В.</i> Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.–279 с.

20.	<i>Сикан А.В., Малышева Н.Г., Винокуров И.О.</i> Лабораторный практикум «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации» [Текст] – СПб: РГГМУ, 2014. – 75 с.
21.	Геращенко, И. Н. Особенности гидрографии и гидрологии Северного Кавказа / И.Н. Геращенко // Таврический научный обозреватель. — 2017. — №3(20). — С. 106–113.
22.	Специализированные массивы для климатических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.shtml (дата обращения 26.10.2024).
23.	Архив погода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arhivpogodi.ru/arhiv/sankt-peterburg/srednegodovaya-temperatura (дата обращения 20.02.2025).
24.	Погода и климат [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pogodaiklimat.ru/history.php (дата обращения 24.12.2025)
25.	Климат горной страны Кавказ. Климатические характеристики Фиштоштенской горной группы и плато Лагонаки [Электронный ресурс]. Режим доступа – https://hydro-sphere.ru/files/2020-2-7.pdf (дата обращения 10.01.2025)

ПРИЛОЖЕНИЯ

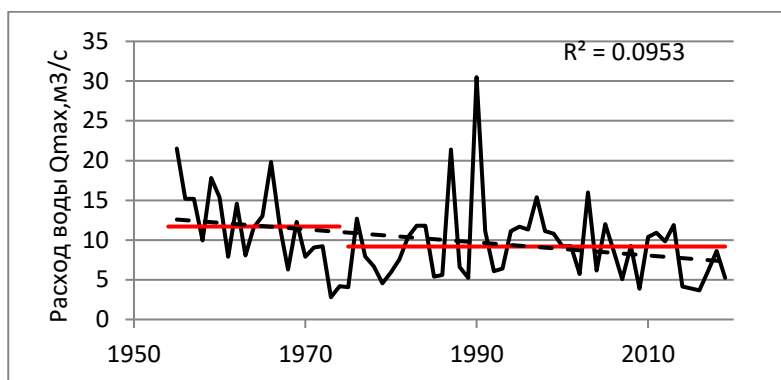
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Сводная таблица проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада Российской Федерации на однородность, стационарность и случайность.

№	Река - Створ	n	Опровержение (1) или неопровержение нулевой гипотезы				
			Херст	Тренд	Стьюдент	Фишер	Автокорреляция
			$H_0: N \gg 0,5$	$H_0: R = 0$	$H_0: Q_1 = Q_2$	$H_0: D_1 = D_2$	$H_0: r(1) = 0$
1	Авлога - Матокса	65		1			
2	Большой тудер - Бабяхино	74	1	1			1
3	Великая - Гуйтово	75	1	1	1	1	
4	Великая - Опочка	70	1	1			
5	Великая - Пятаново	85		1	1	1	
6	Видлица - Большие Горы	84			1		
7	Воложба - Воложба	79					
8	Воложба - Пареево	68			1	1	1
9	Вьюн - Запорожское	65				1	1
10	Гороховка - Токарево	71					1
11	Дымка - Долмачево	71			1	1	
12	Ивина - Ладва	65		1	1	1	1
13	Капша - Еремина Гора	66	1			1	
14	Кересть - Сябреницы	76				1	1
15	Коваши - Лендовщина	66				1	
16	Кудеб - Севериково	68	1	1	1	1	1
17	Кунья - Уварово	57	1	1			
18	Кунья -Холм	65					
19	Ловать - Великие Луки	84	1	1	1	1	
20	Ловать - Узкое	75		1	1		
21	Ловать - Холм	98		1	1		
22	Локня - Бородино	62	1	1	1	1	
23	Лососинка - Петрозаводск	59	1	1	1		1
24	Луга - Кингисепп	76		1	1		1
25	Луга - Луга	81					1
26	Луга - Толмачево	100		1	1	1	
27	Мга - Горы	82					
28	Мерега - Куйтежа	71	1			1	
29	Мста - Девкино	86		1	1		
30	Мста - Потерпелицы	68					1
31	Нева - Новосаратовка	160					1
32	Немина - Немино	62		1			
33	Оредеж - Вырица	81				1	
34	Орлинка - Орлинка	66	1	1			1
35	Охта - Новое Девяткино	75	1	1	1	1	
36	Оять - Мининская	74					1

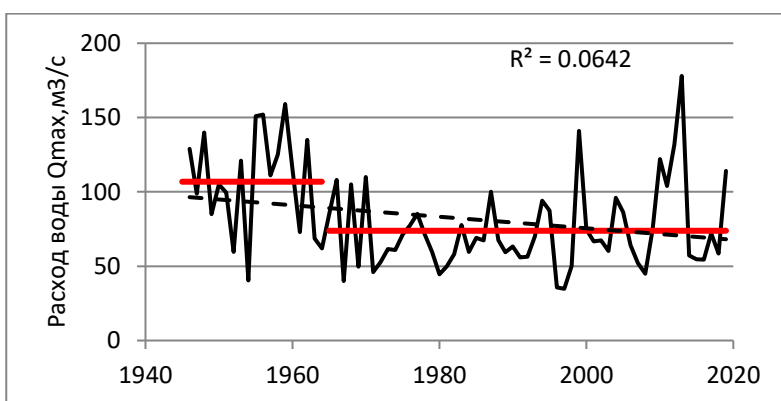
№	Река - Створ	n	Опровержение (1) или неопровержение нулевой гипотезы				
			Херст	Тренд	Стьюдент	Фишер	Автокорреляция
			$H_0: H \gg 0,5$	$H_0: R = 0$	$H_0: Q_1 = Q_2$	$H_0: D_1 = D_2$	$H_0: r(1) = 0$
37	Оять - Шангиничи (Акулова гора)	77	1				1
38	Паша - Дуброво	85					
39	Паша - Часовенское	85					
40	Перехода - Подсосонье	73		1	1	1	
41	Перовка - Гончарово	71	1	1	1	1	1
42	Петровка - Дружноселье	70	1	1	1	1	1
43	Плюсса - Брод	81		1			1
44	Плюсса - Плюсса	81	1	1	1	1	1
45	Пола - Налючи	70					
46	Пчевжа - Белая	77	1	1	1	1	
47	Пяльма - Пяльма	67		1			
48	Рагнуksa - Харловская	64		1			
49	Систа - Среднее райково	74		1	1	1	
50	Ситня - Пески	65		1			
51	Сороть - Осинкино	87	1	1	1	1	
52	Тигода - Любань	75			1		
53	Тихвинка - Горелуха	138		1	1	1	
54	Тосна - Тосно	75					
55	Уверь - Меглецы	83					
56	Уза - Дубская	72	1	1	1	1	1
57	Уница - Уница	70					
58	Утроя - Б. Губа	81	1	1	1	1	1
59	Цна - Жилотково	58					1
60	Шелонь - Порхов	64	1	1			
61	Шуя - Бесовец	84					
62	Ящера - Долговка	68		1			

Знак 1 означает, что гипотеза об однородности и стационарности опровергается.

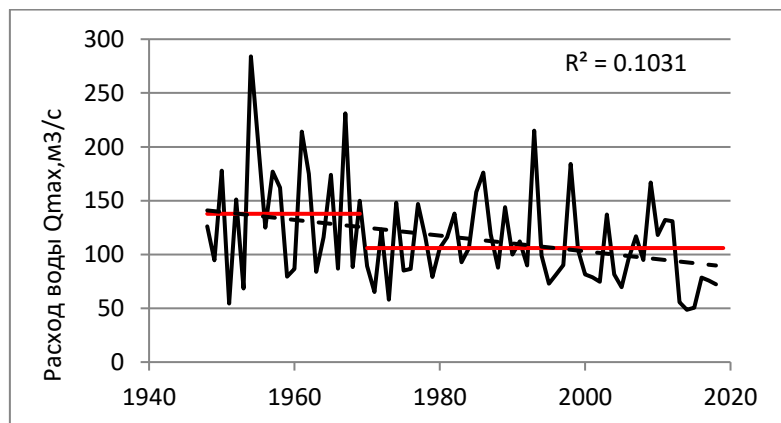
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Хронологические кривые максимальных расходов воды весеннего половодья рек Северо-Запада Российской Федерации.



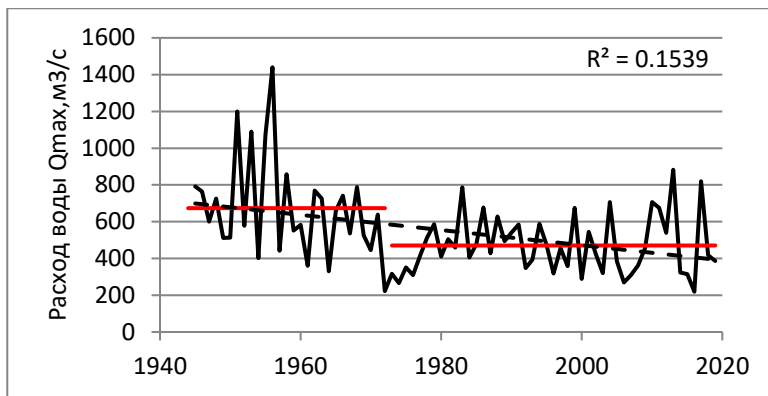
Р.Авлога – д. Матокса;
Тренд значим



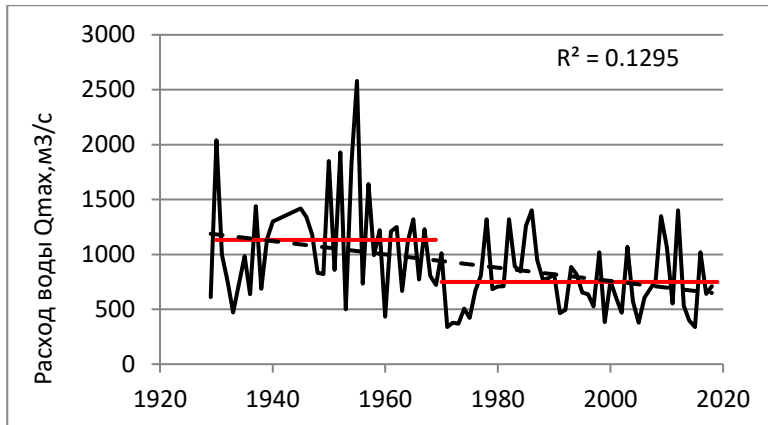
Р.Большой Тудер – д.
Бабяхтино;
Тренд значим



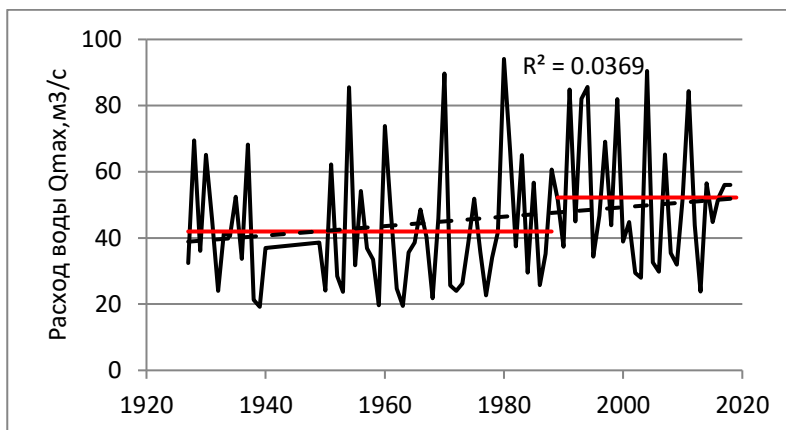
Р.Великая – г. Опочка;
Тренд значим



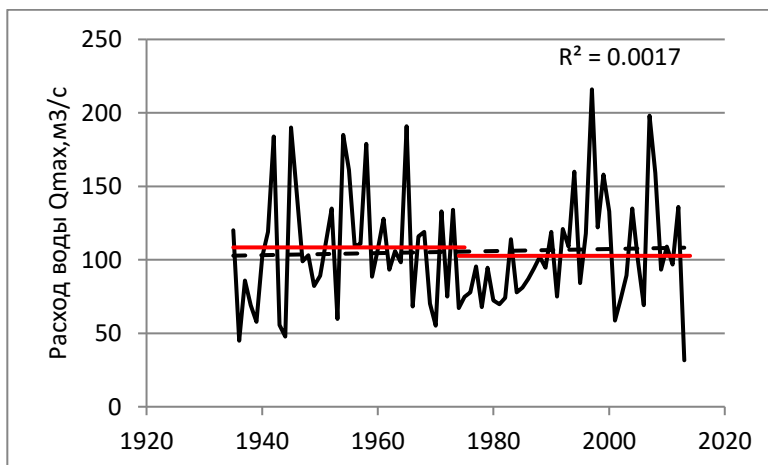
Р.Великая – д. Гуйтово;
Тренд значим



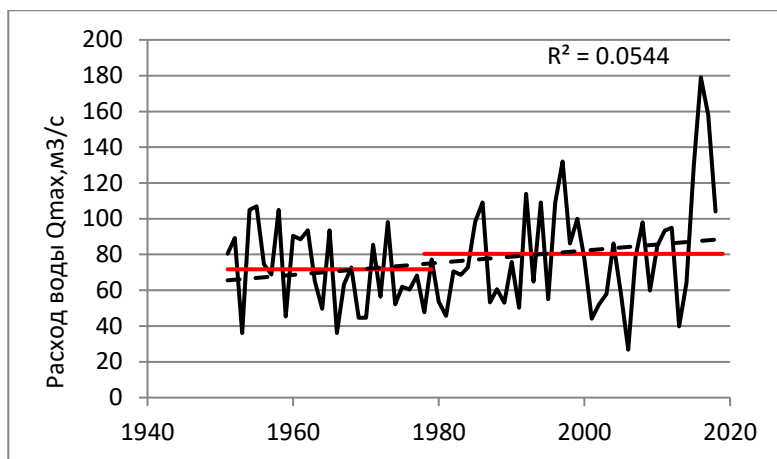
Р.Великая – д. Пятаново;
Тренд значим



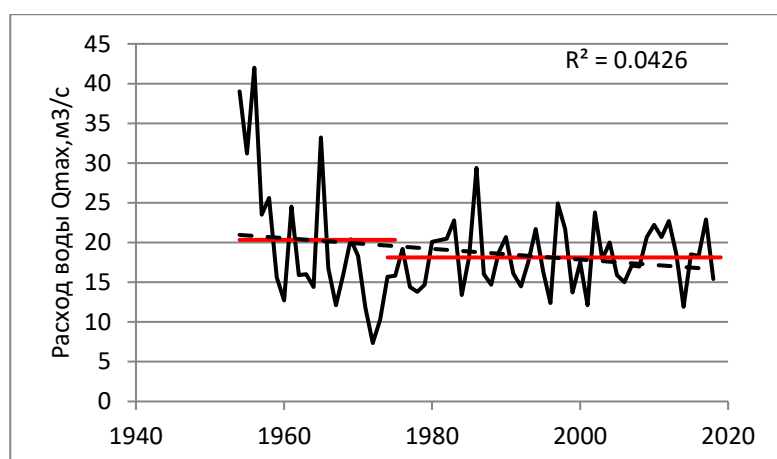
Р.Видлица – с. Большие Горы;
Тренд незначим



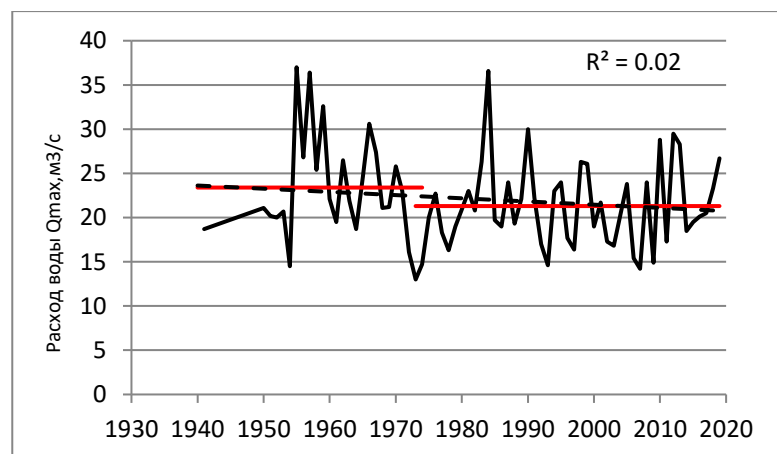
Р.Воложба – д. Воложба;
Тренд незначим



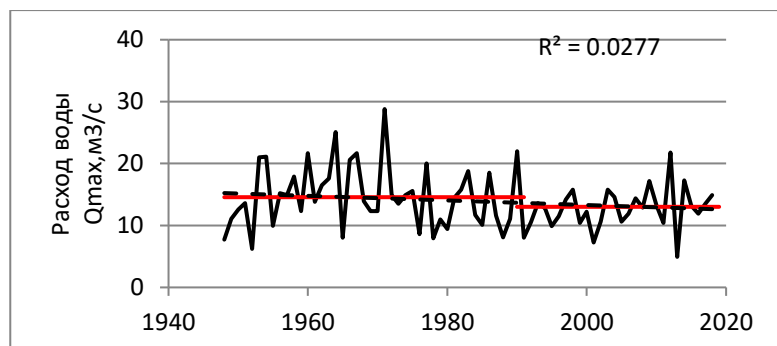
Р.Воложба – д. Пареево;
Тренд незначим



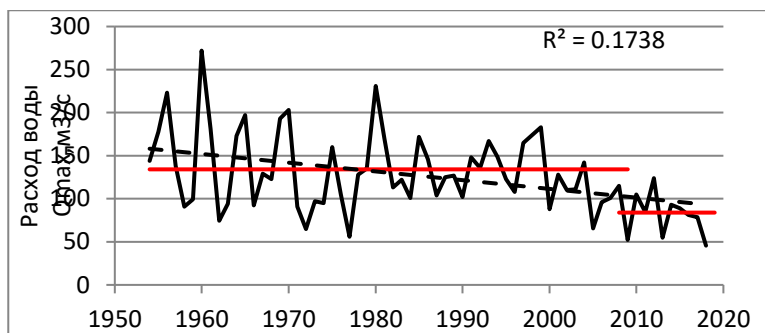
Р.Вьюн – д. Запорожское;
Тренд незначим



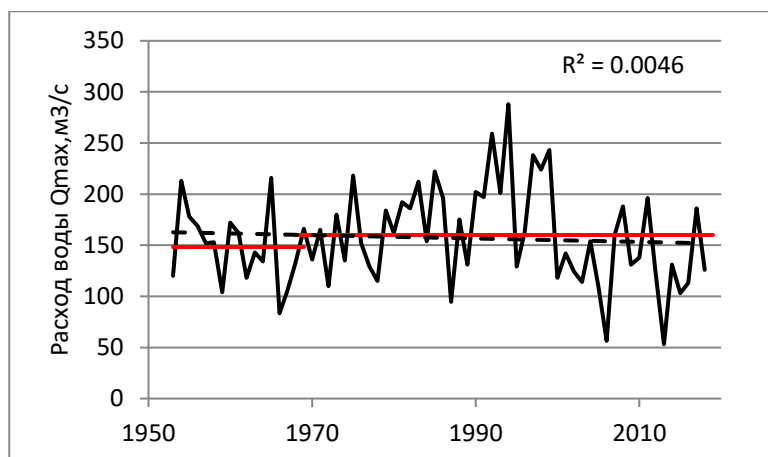
Р.Гороховка – п. Токарево;
Тренд незначим



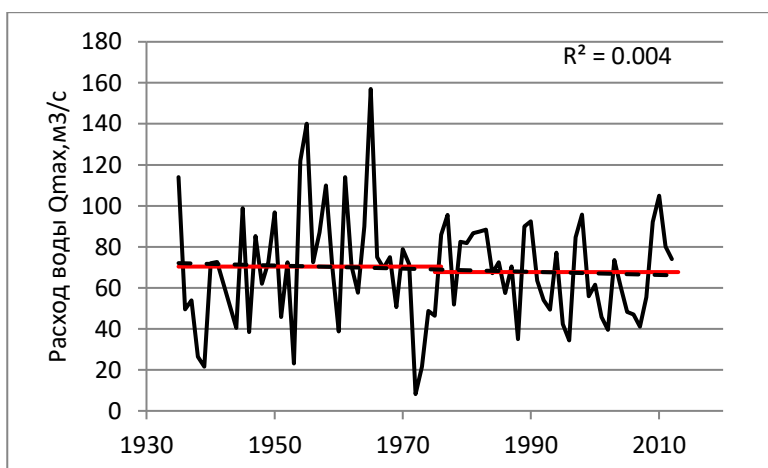
Р.Дымка – д. Долмачево;
Тренд незначим



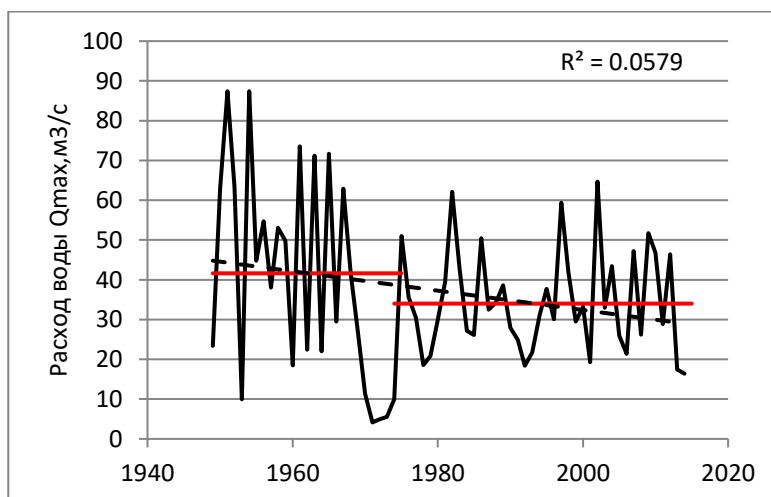
Р.Ивина – пгт. Ладва;
Тренд значим



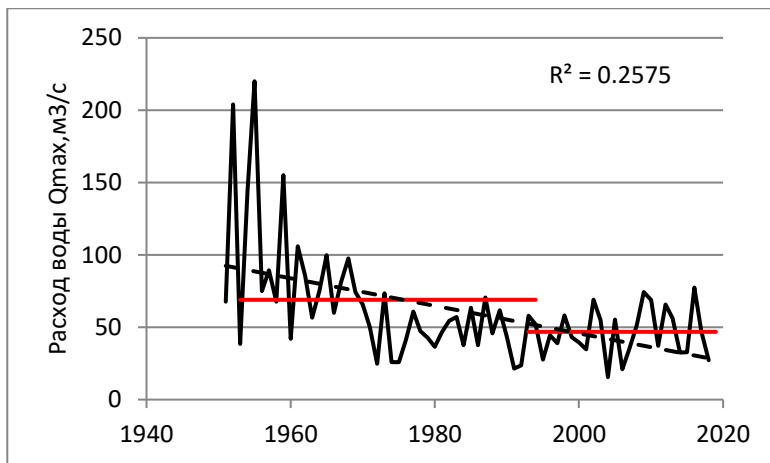
Р.Капша – д. Еремина
Гора;
Тренд незначим



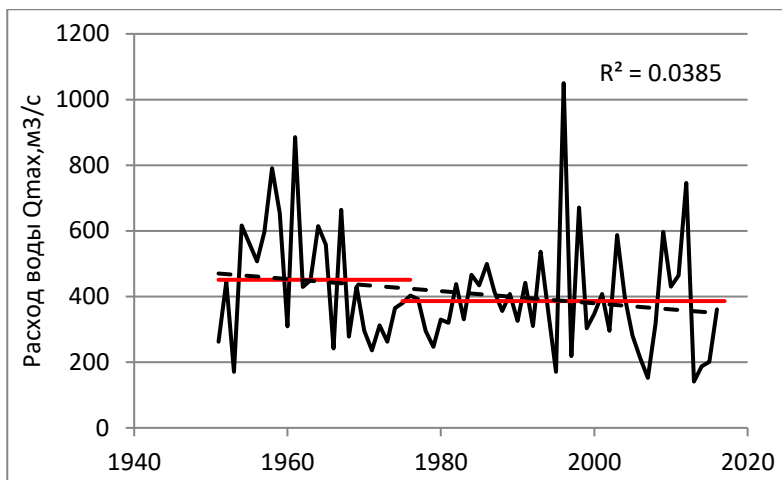
Р.Кересть – с.Сябре-
ницы;
Тренд незначим



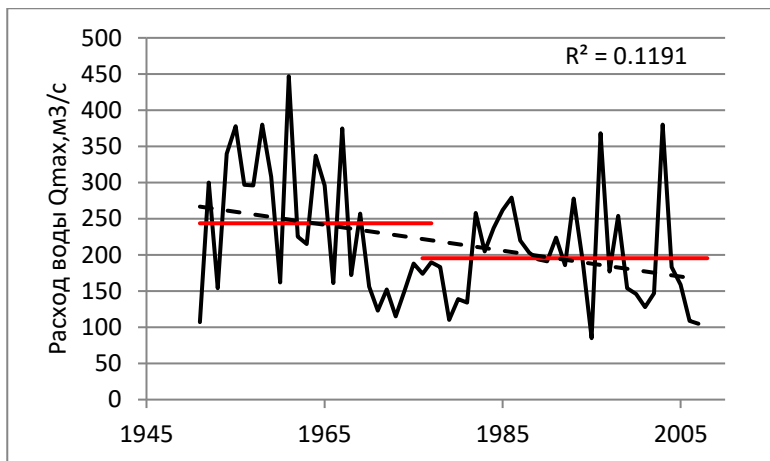
Р.Коваши – д. Лендов-
щина;
Тренд незначим



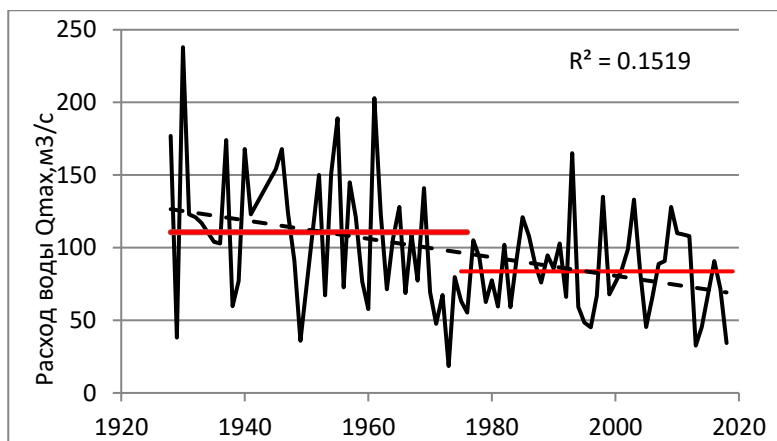
Р.Кудеб – д. Севери-
КОВО;
Тренд значим



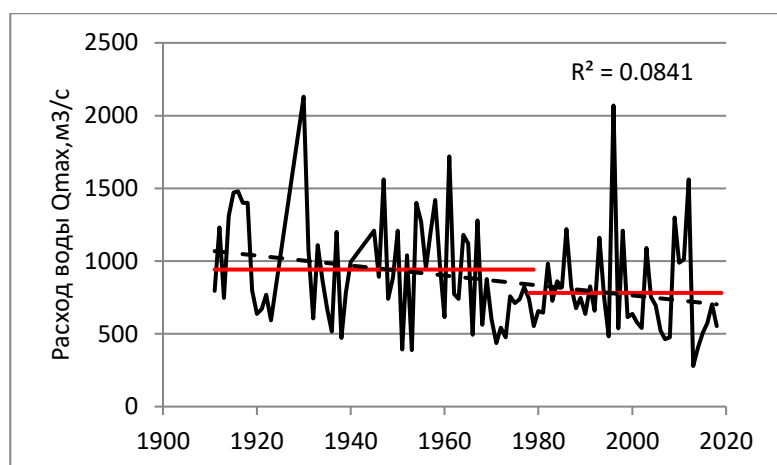
Р.Кунья – г. Холм;
Тренд незначим



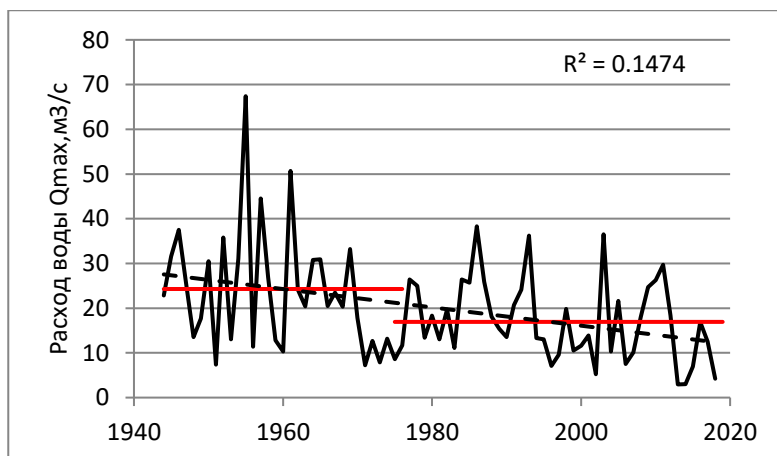
Р.Кунья – д. Уварово;
Тренд значим



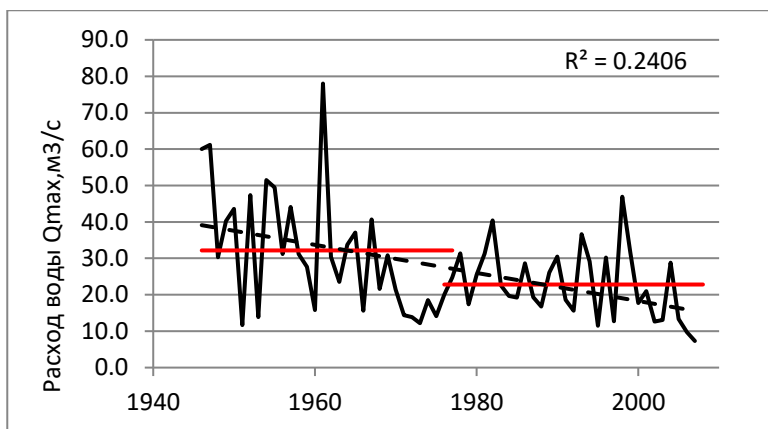
Р.Ловать – г. Великие
Луки;
Тренд значим



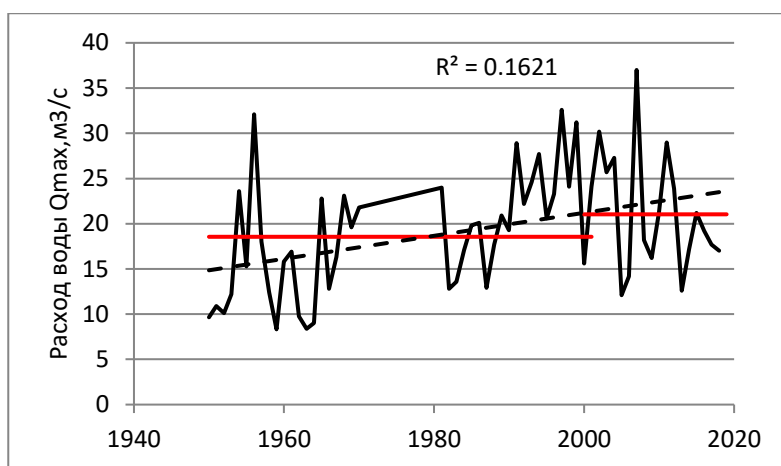
Р.Ловать – г. Холм;
Тренд значим



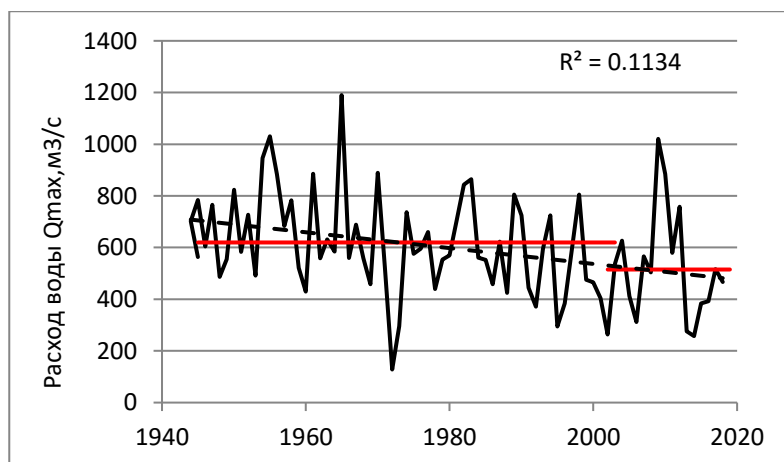
Р.Ловать – д. Узкое;
Тренд значим



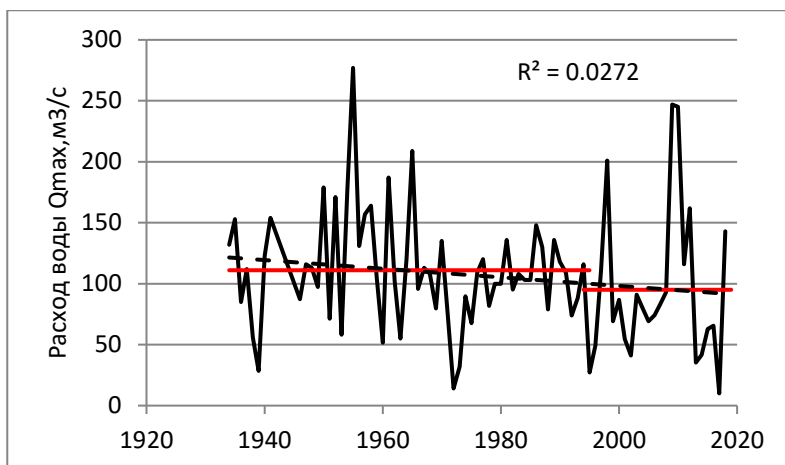
Р.Локня – д. Бородино;
Тренд значим



Р.Лососинка – г. Петро-
заводск;
Тренд значим

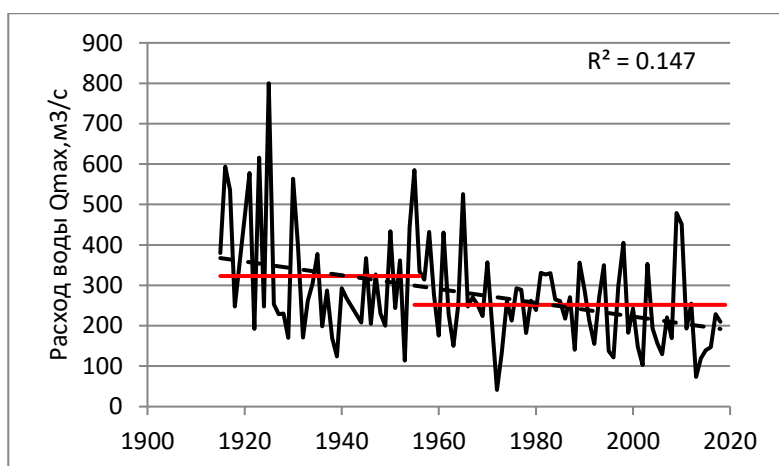


Р.Луга – г. Кингисепп;
Тренд значим



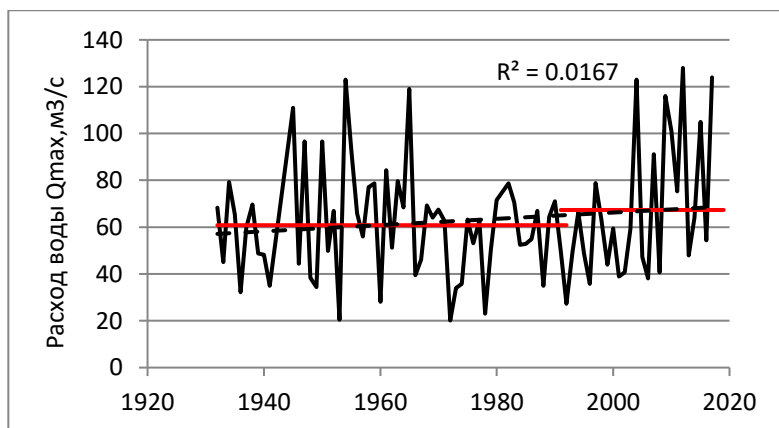
Р.Луга – г. Луга;

Тренд незначим



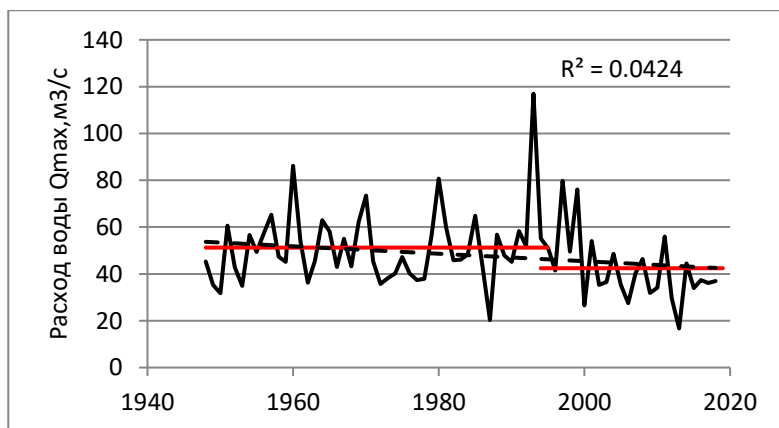
Р.Луга – ст. Толмачево;

Тренд значим



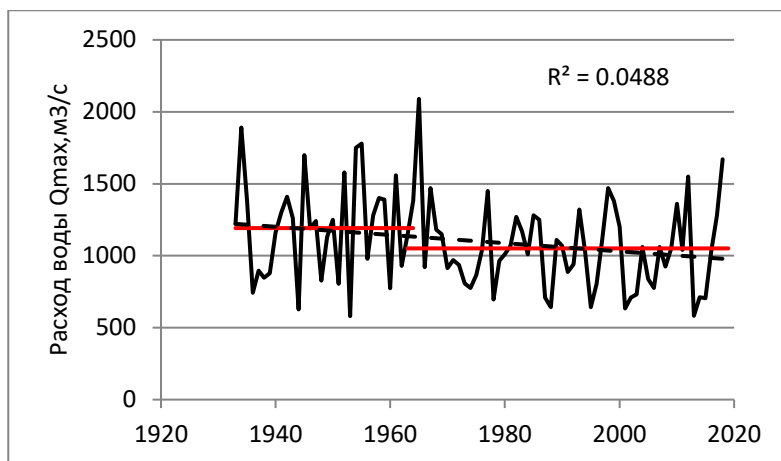
Р.Мга – д. Горы;

Тренд значим

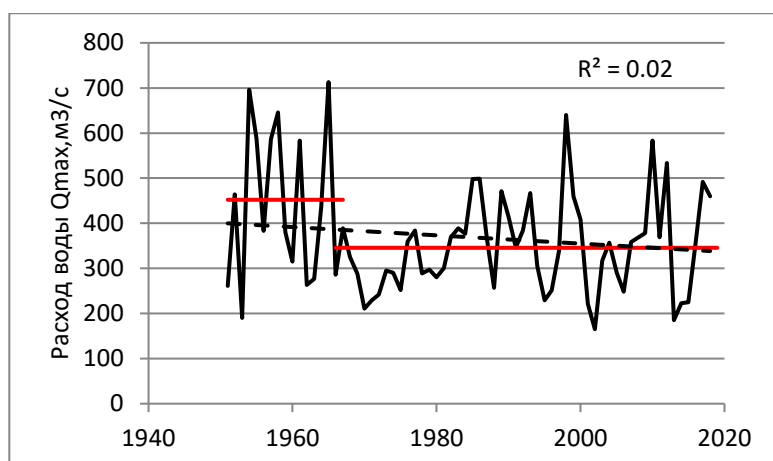


Р.Мерега – д. Куйтежа;

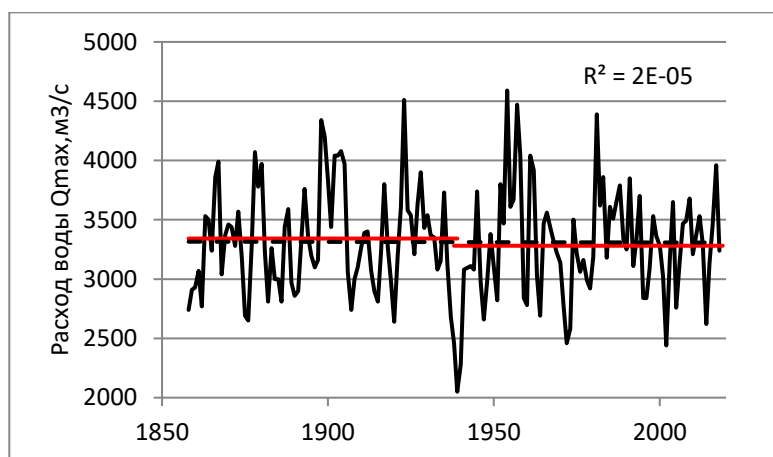
Тренд незначим



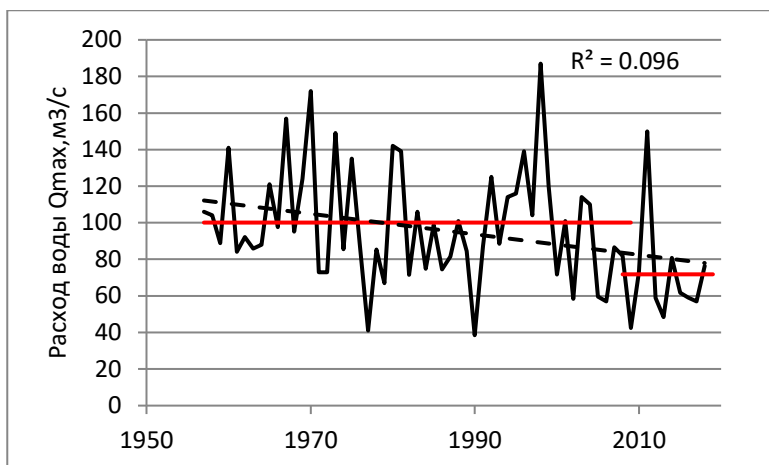
Р.Мста – д. Девкино;
Тренд значим



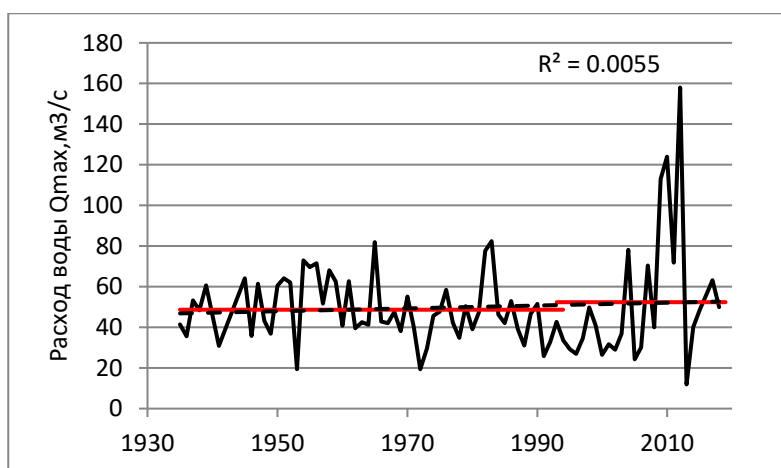
Р.Мста – д. Потерпе-
лицы;
Тренд незначим



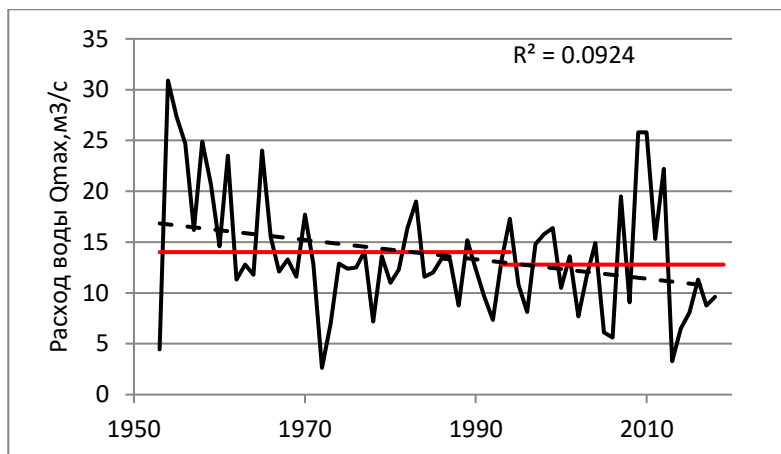
Р.Нева – д. Новосара-
товка;
Тренд незначим



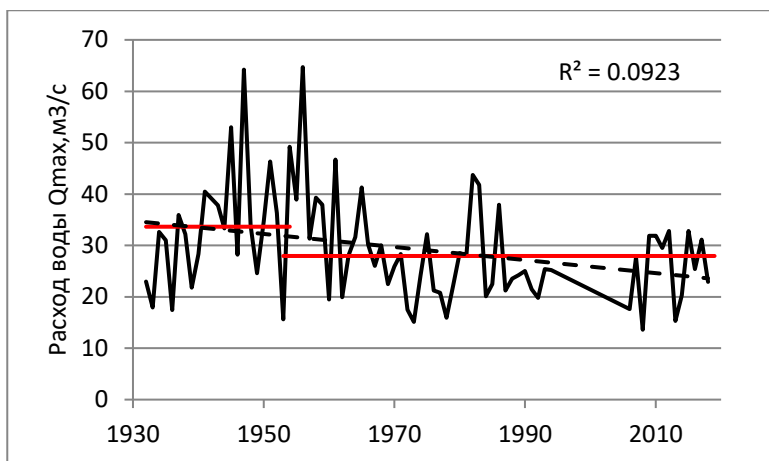
Р.Немина – п. Немино;
Тренд значим



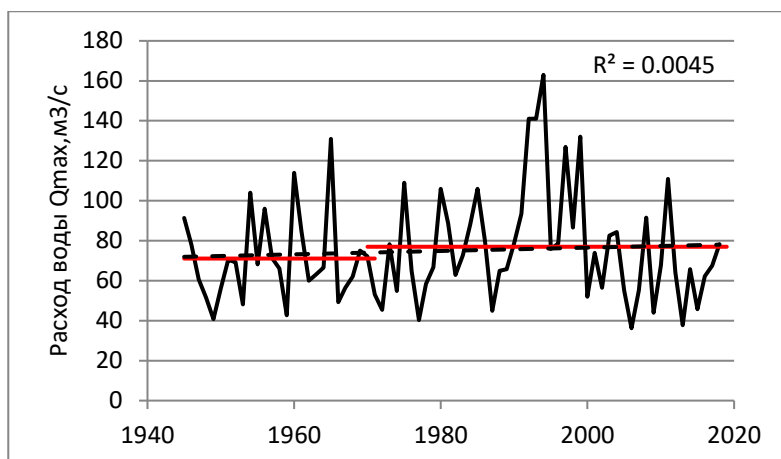
Р.Оредеж – пгт. Вы-
рица;
Тренд незначим



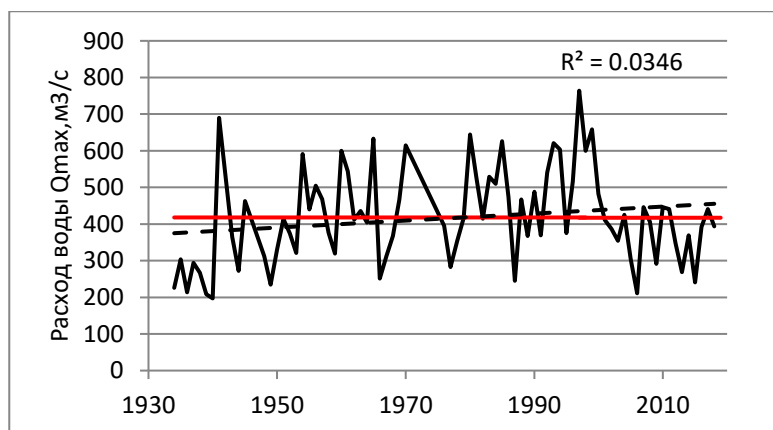
Р.Орлинка – уроч. Ор-
линка;
Тренд значим



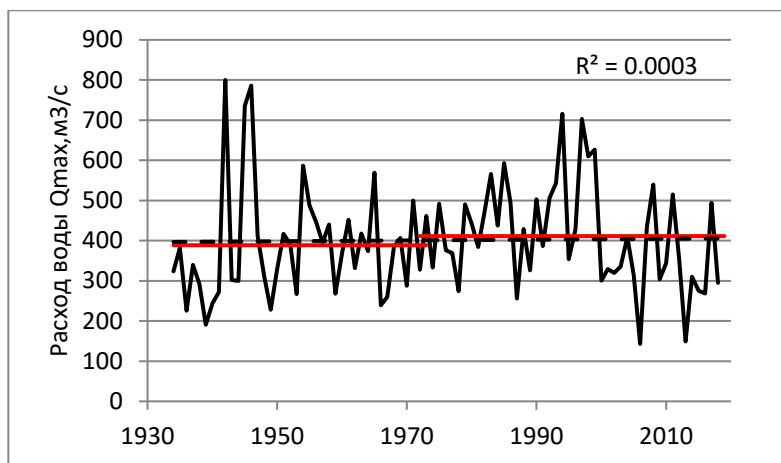
Р.Охта – ж. Новое Де-
вяткино;
Тренд значим



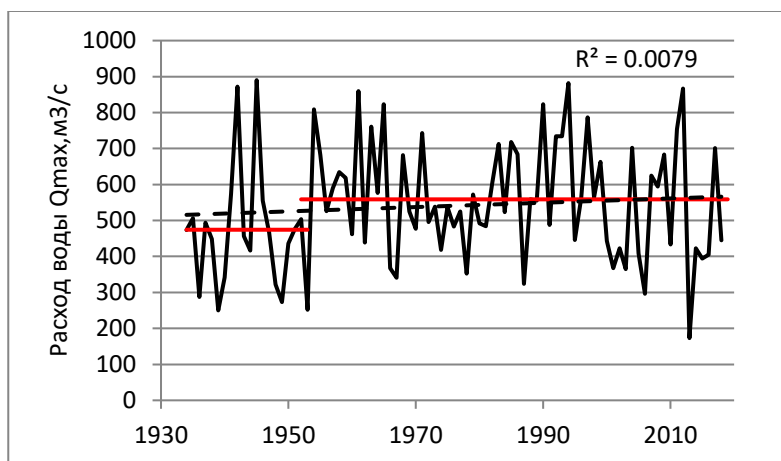
Р.Оять – д. Мининская;
Тренд незначим



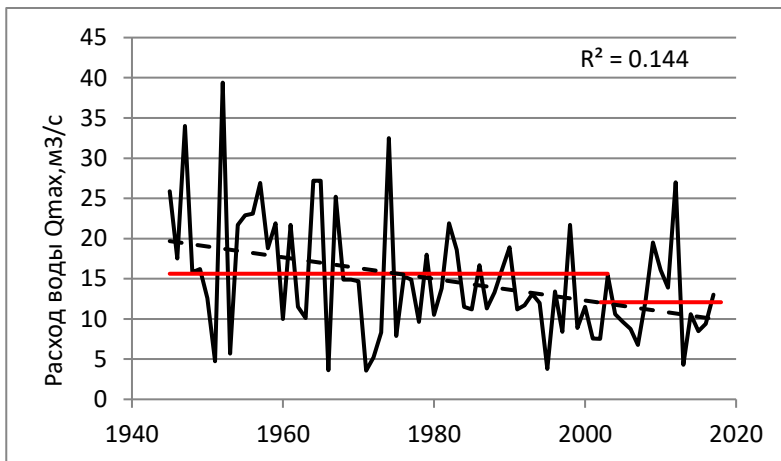
Р.Оять – д. Акулова
Гора;
Тренд незначим



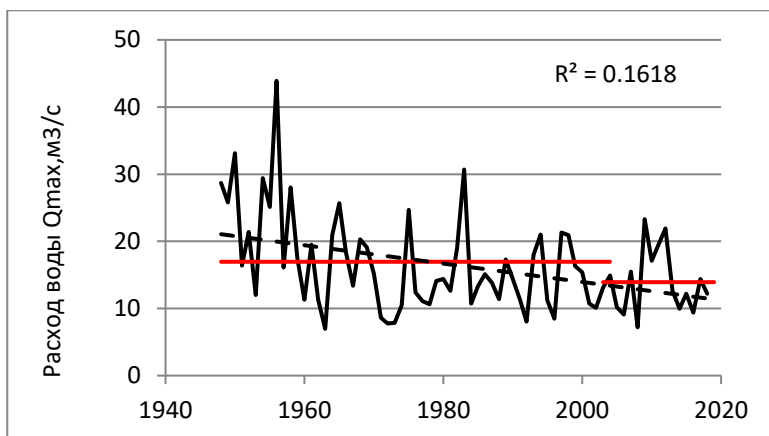
Р.Паша – д. Дуброво;
Тренд незначим



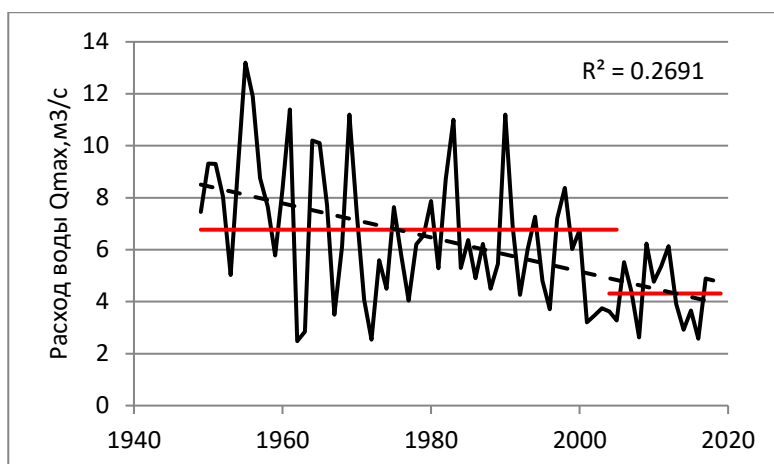
Р.Паша – с.Часовен-
ское;
Тренд незначим



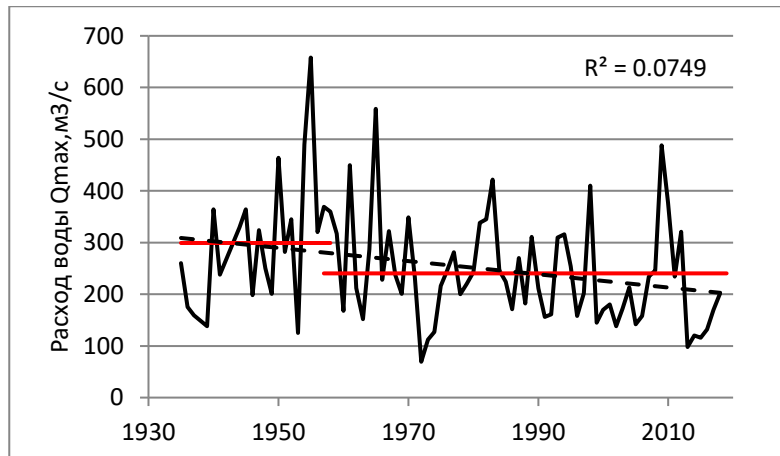
Р.Перехода – д. Подсо-
сонье;
Тренд значим



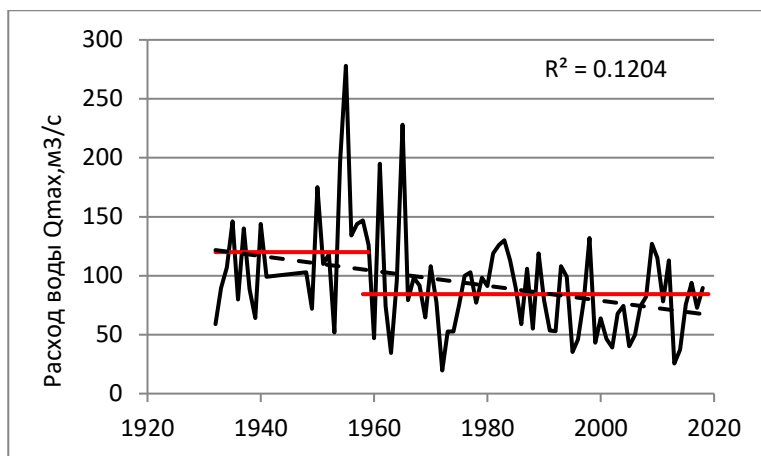
Р.Петровка – п. Гончарово;
Тренд значим



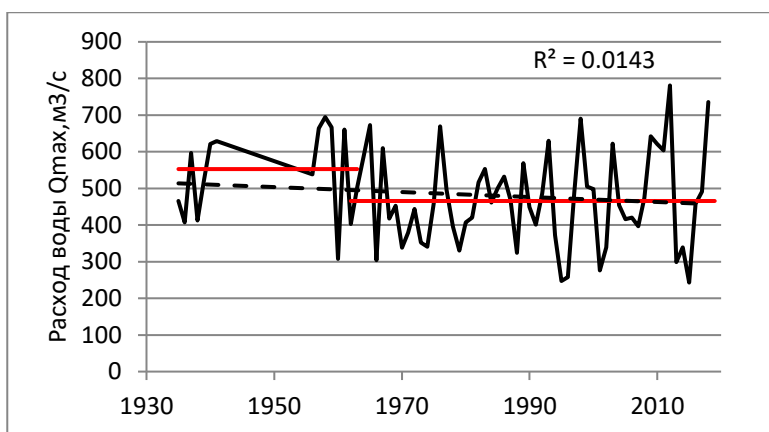
Р.Петровка – п. Дружноселье;
Тренд значим



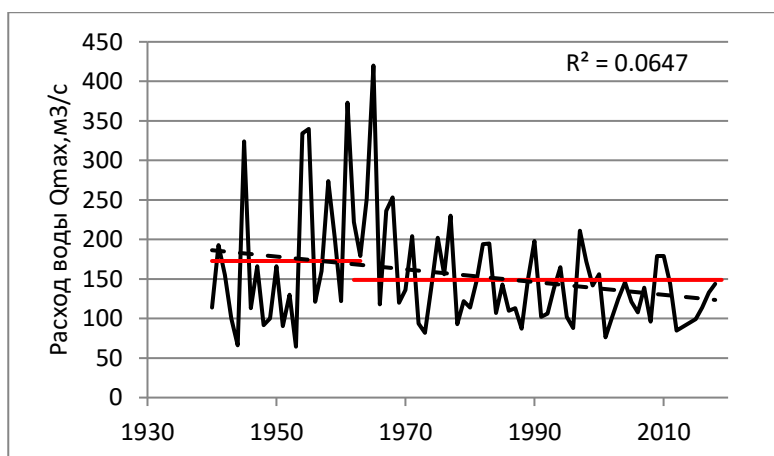
Р.Плюсса – д. Брод;
Тренд значим



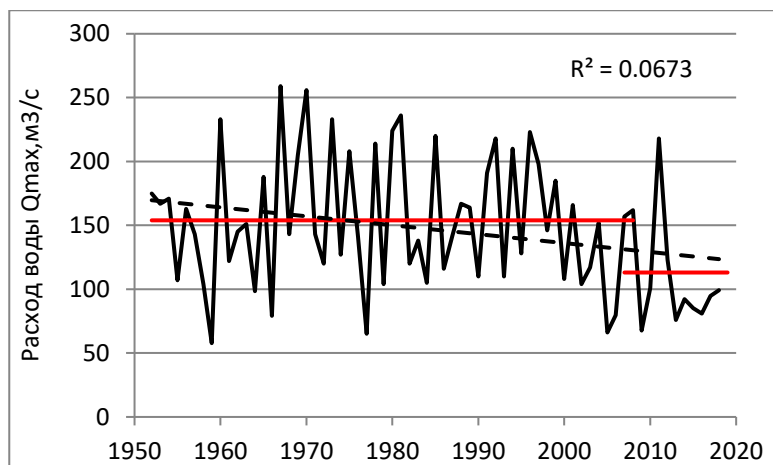
Р.Плюсса – с. Плюсса;
Тренд значим



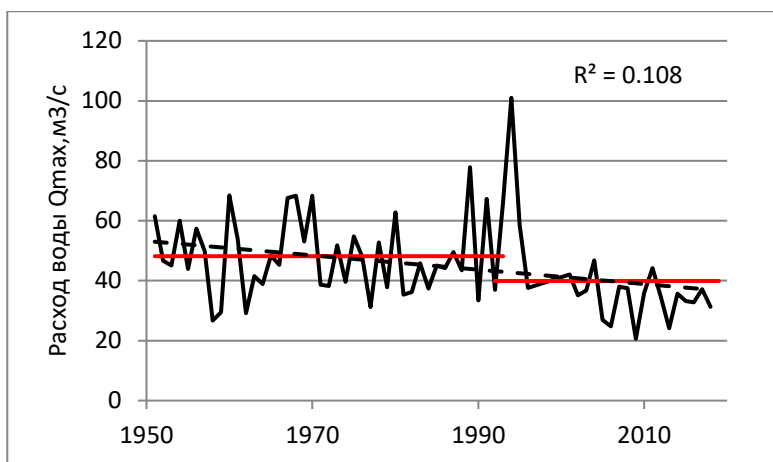
Р.Пола – д. Налючи;
Тренд незначим



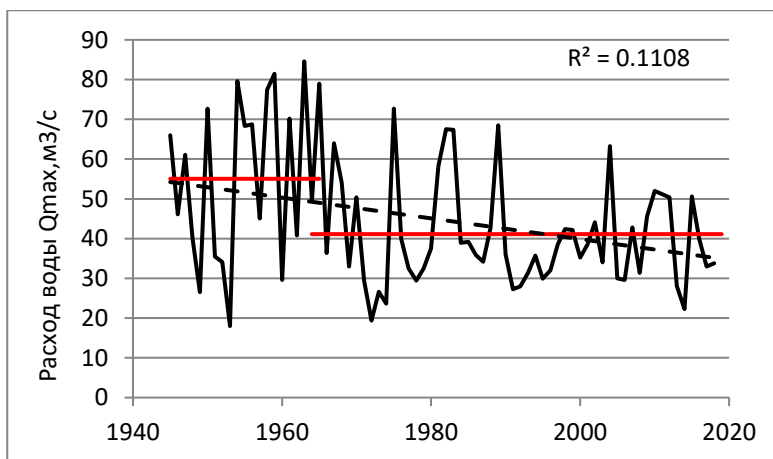
Р.Пчевжа – д. Белая;
Тренд значим



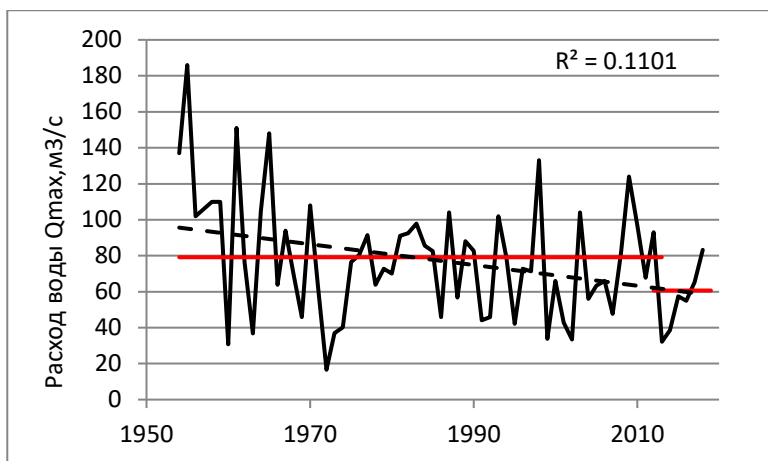
Р.Пяльма – д. Пяльма;
Тренд значим



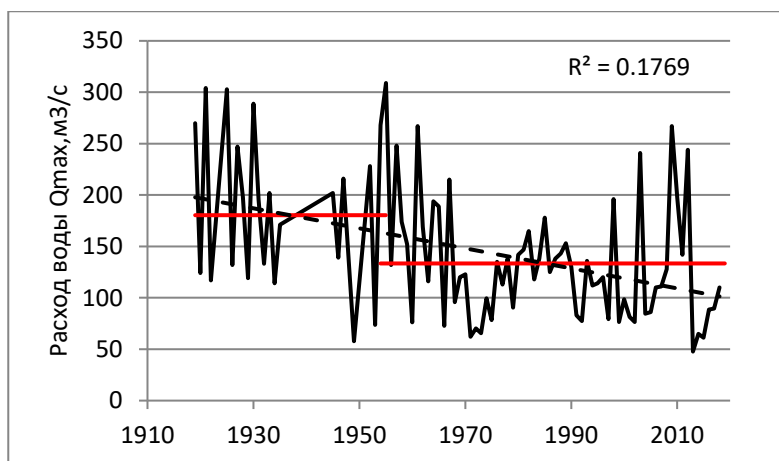
Р.Рагнукса – д. Харлов-
ская;
Тренд значим



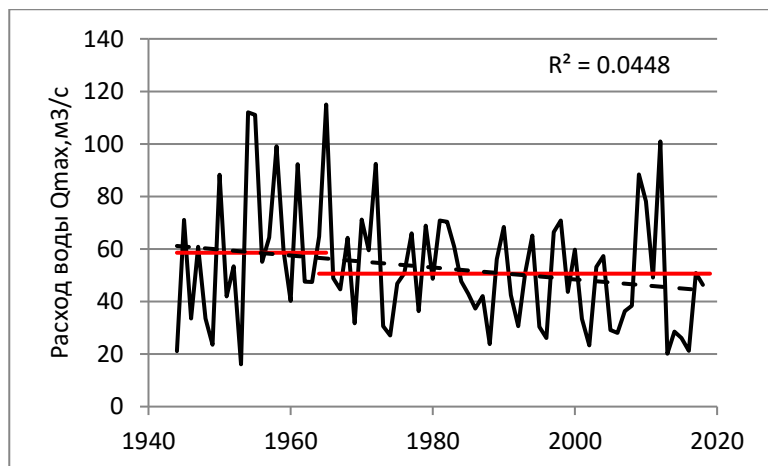
Р.Систа – д. Среднее
Райково;
Тренд значим



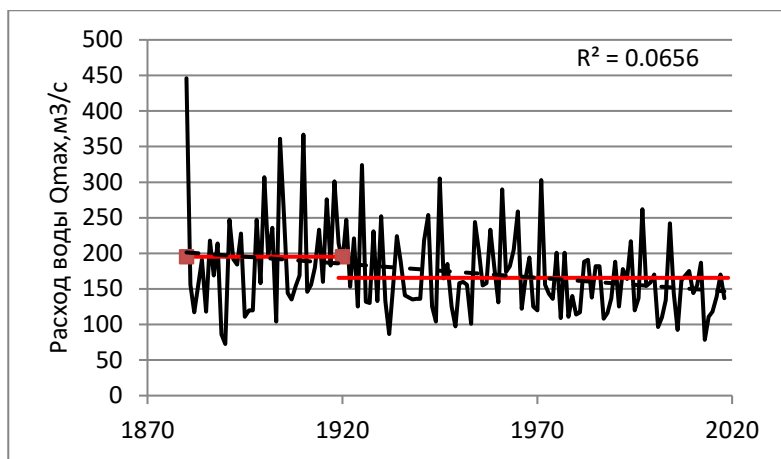
Р.Ситня – д. Песким;
Тренд значим



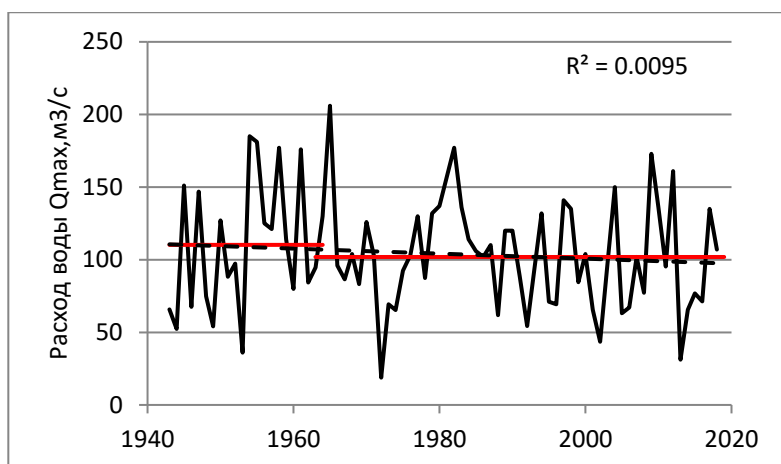
Р.Сороть – д. Осин-
кино;
Тренд значим



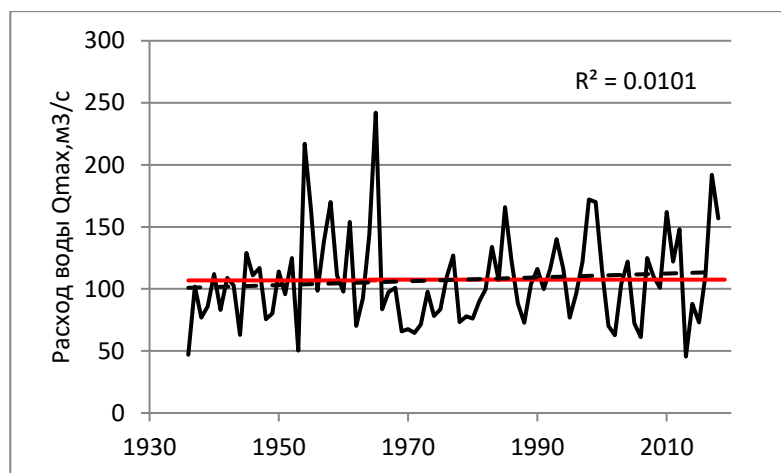
Р.Тигода – ст. Любань;
Тренд незначим



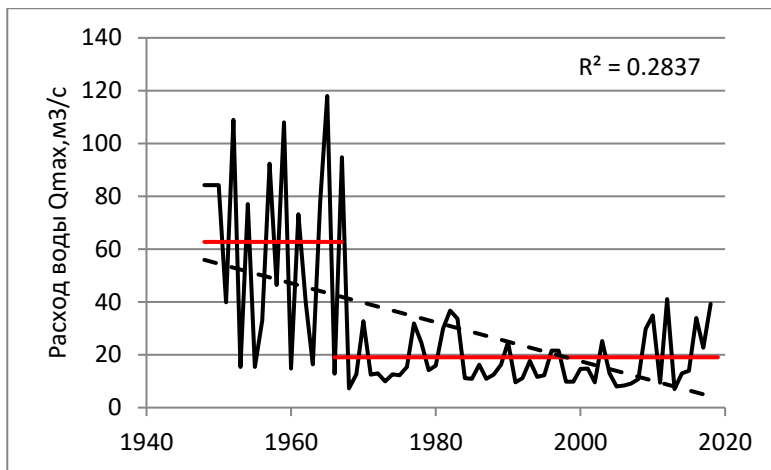
Р.Тихвинка – д. Горелуха;
Тренд значим



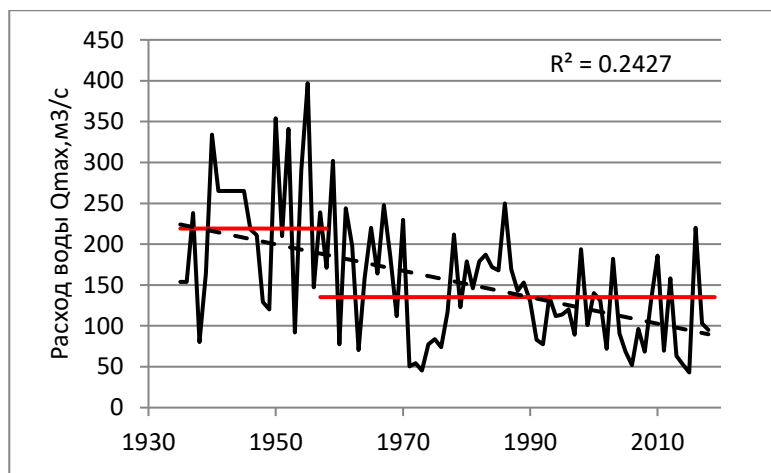
Р.Тосна – д. Тосно;
Тренд незначим



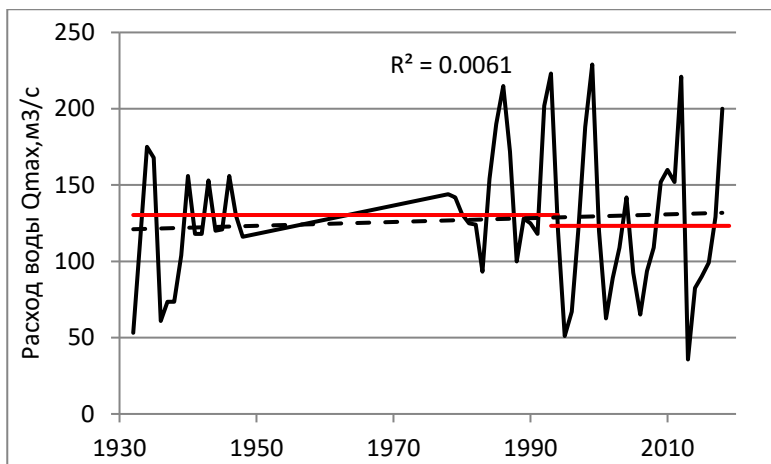
Р.Уверь – д. Меглецы;
Тренд незначим



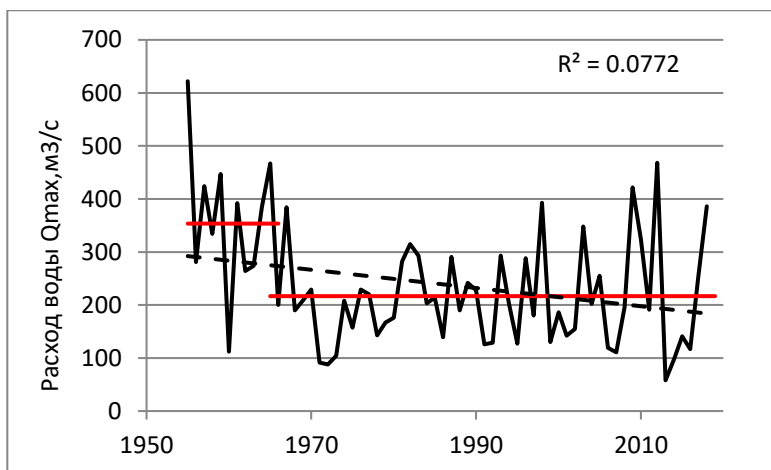
Р.Уза – д. Дубская;
Тренд значим



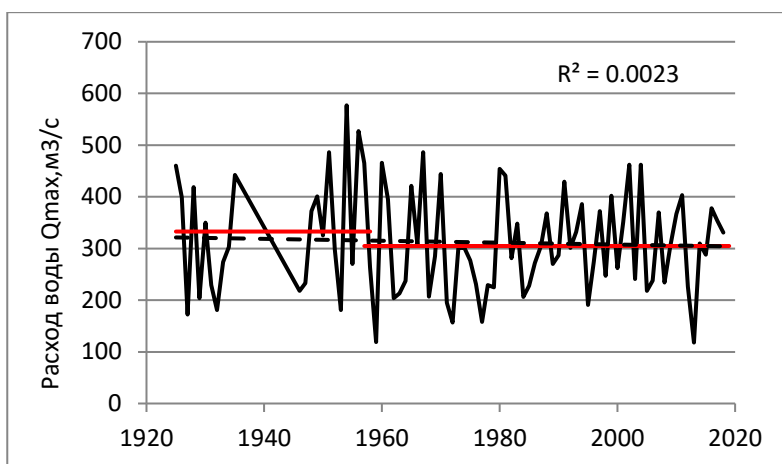
Р.Утря – д. Большая
Губа;
Тренд значим



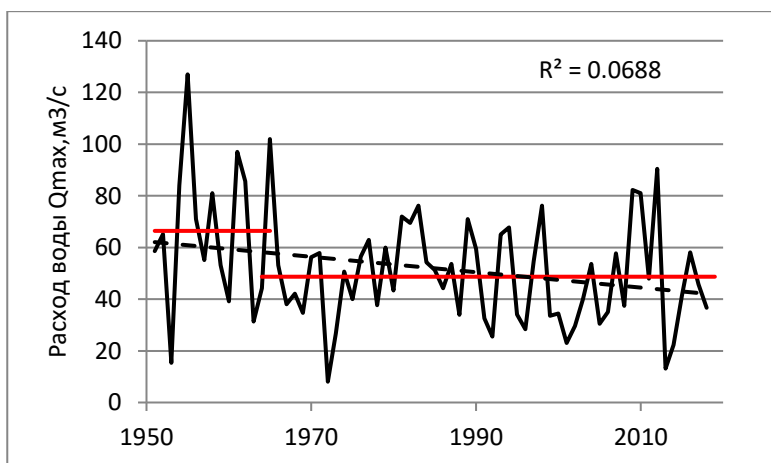
Р.Цна – д. Жилотково;
Тренд незначим



Р.Шелонь – г. Порхов;
Тренд значим

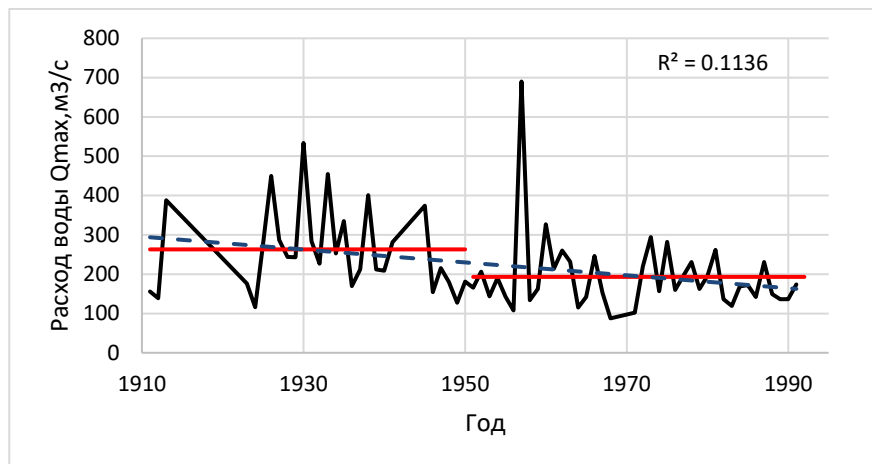


Р.Шуя – д. Бесовец;
Тренд незначим

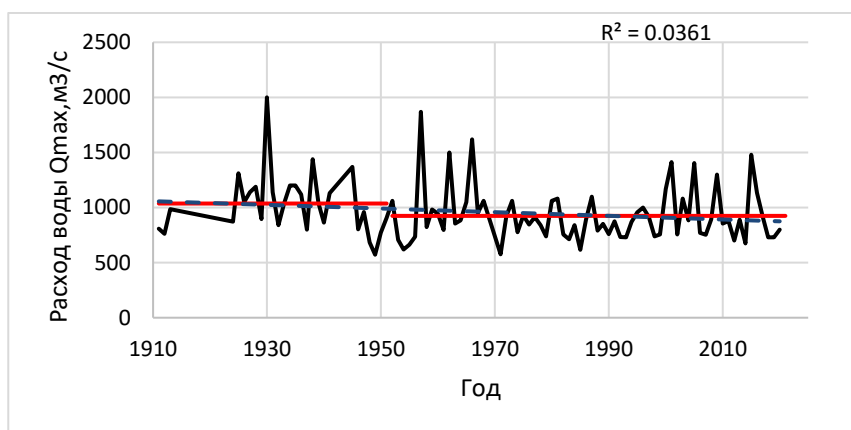


Р.Ящера – д. Долговка;
Тренд значим

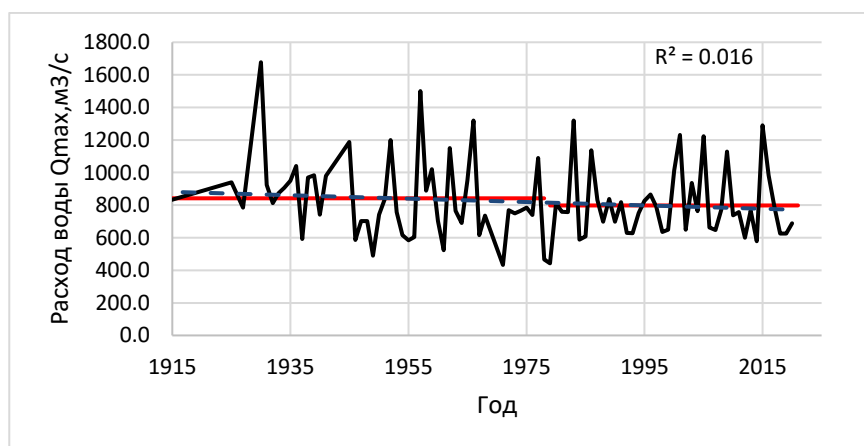
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Хронологические кривые максимальных
расходов воды весеннего половодья рек бассейна Терек.



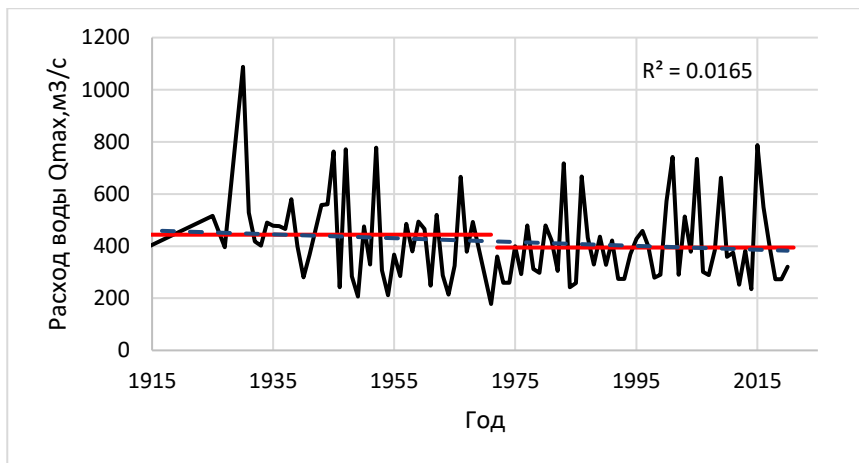
Р. Аргун – с.Дуба-
Юрт
Тренд значим



Р. Терек – с. Кот-
ляревская
Тренд не значим

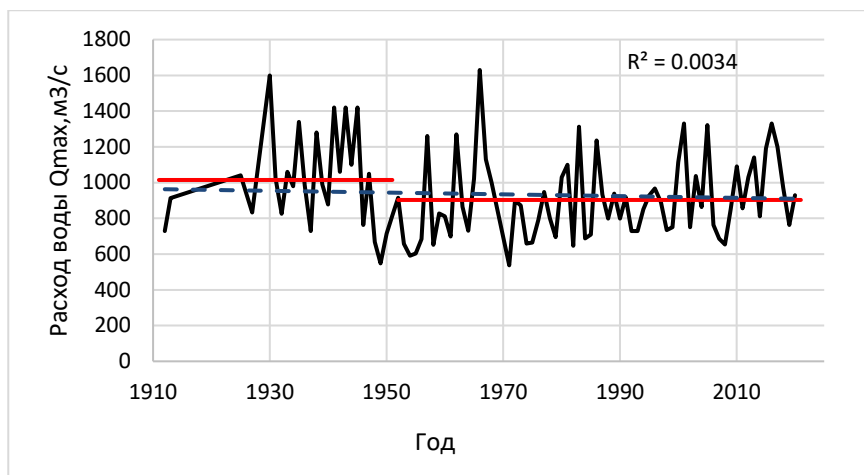


Р.Терек – г. Моз-
док
Тренд не значим



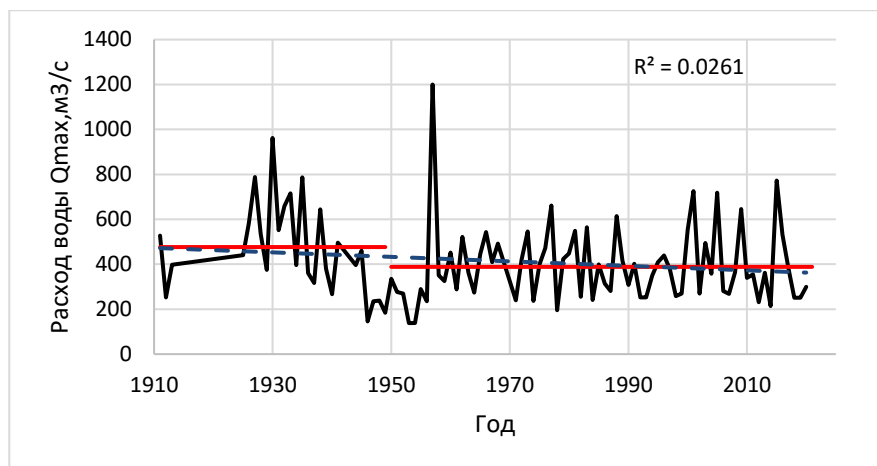
Р.Терек – с.Эль-
ХОВО

Тренд не значим



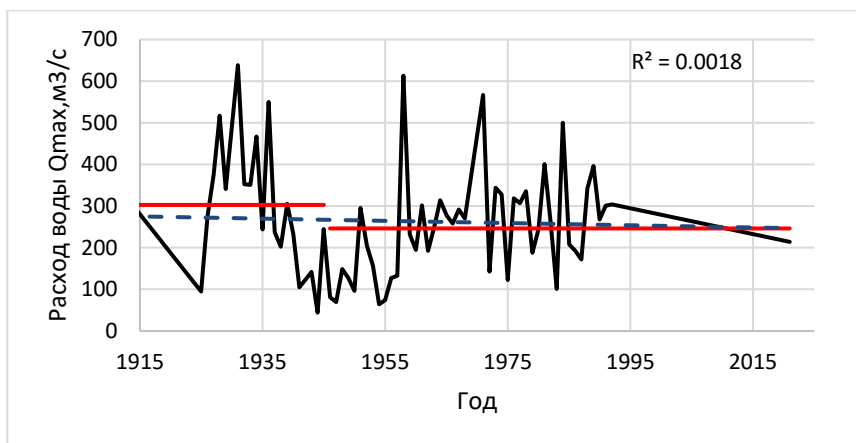
Р.Терек – с.Карга-
линская

Тренд не значим



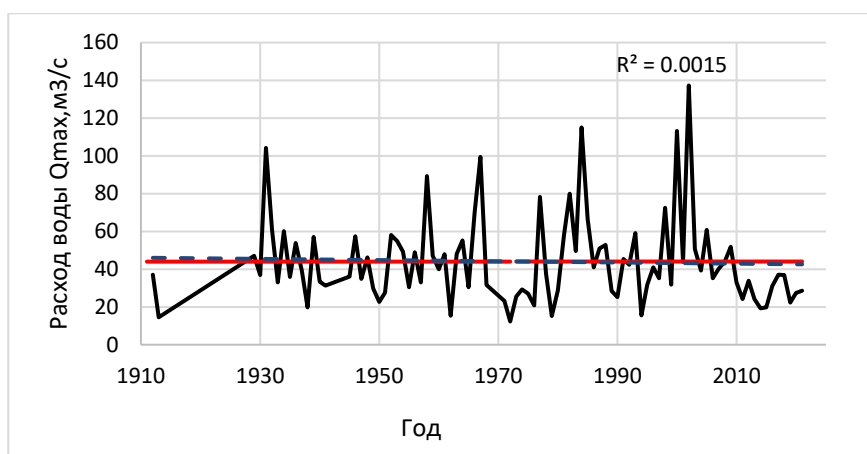
Р.Сунжа – с.Бра-
гуны

Тренд не значим



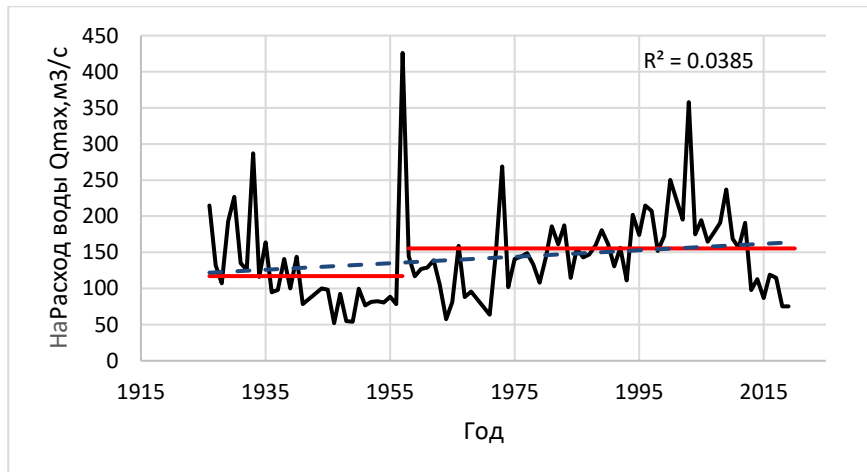
Р.Сунжа – г.Гроз-
ный

Тренд не значим



Р.Малка – г.Про-
хладный

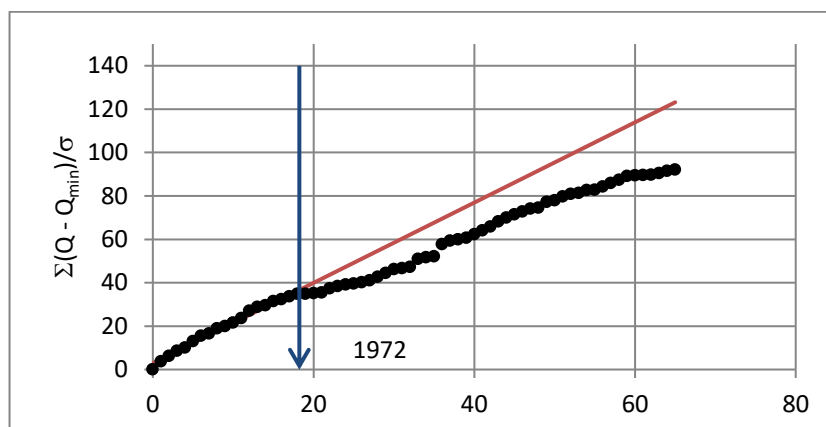
Тренд не значим



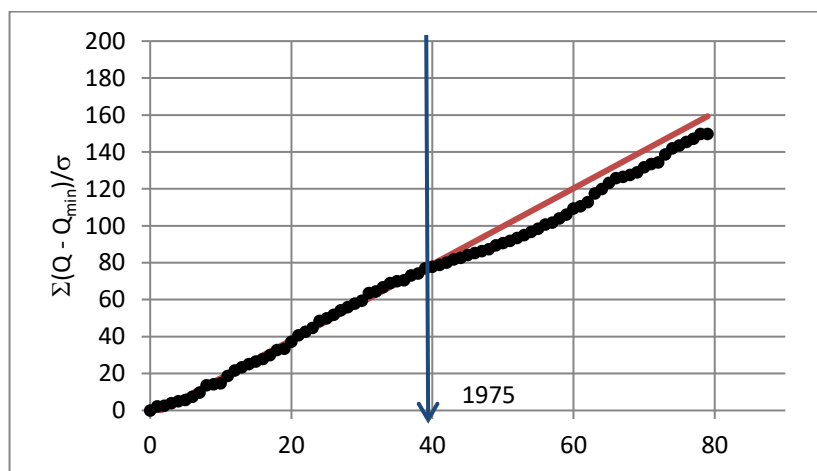
Р.Аргун – с.Со-
ветское

Тренд не значим

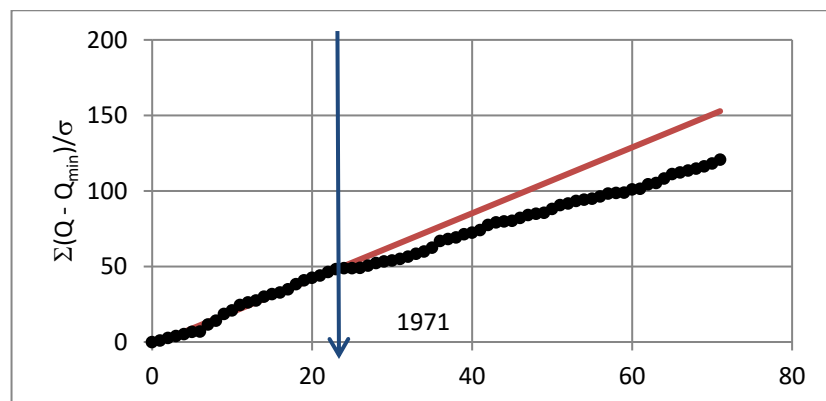
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Суммарные кривые максимальных расходов
 воды весеннего половодья рек Северо-Запада Российской
 Федерации.



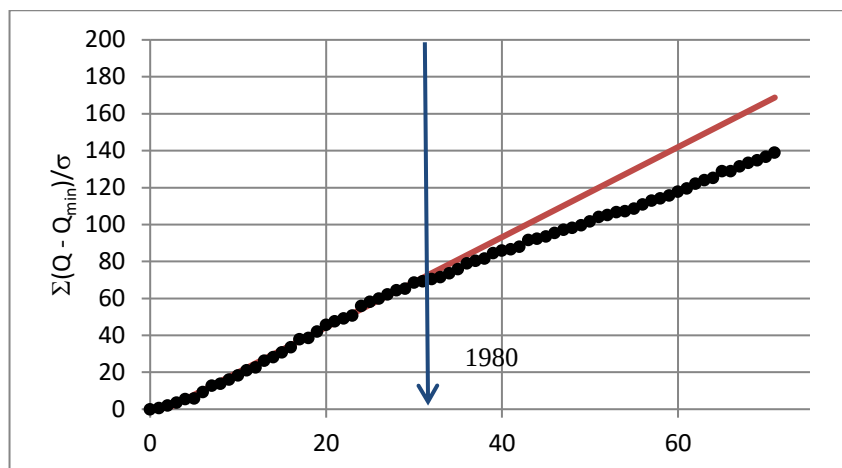
Авлога – д. Матокса



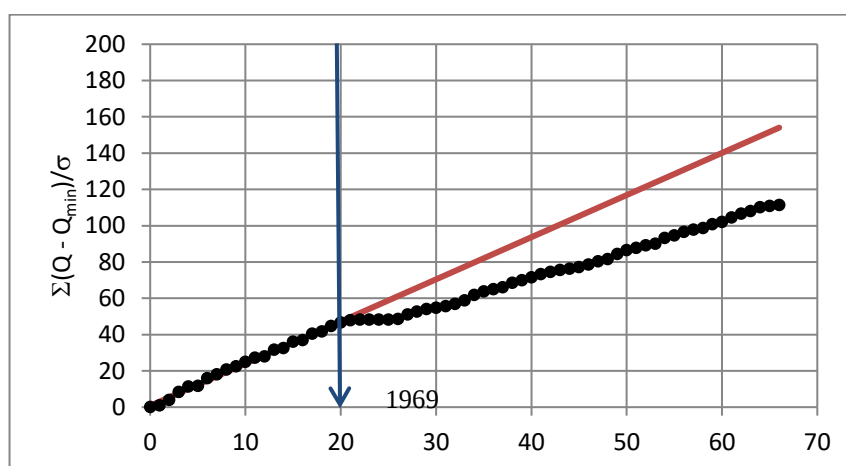
Воложба – д. Воложба



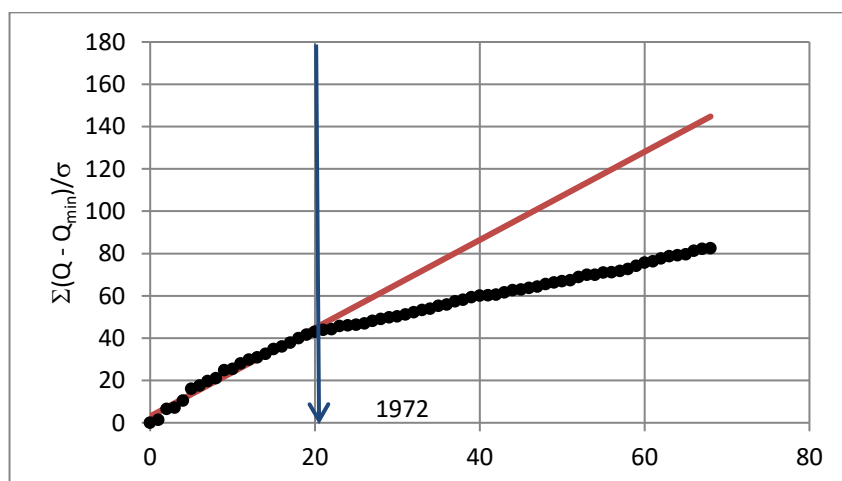
Гороховка – п. Токарево



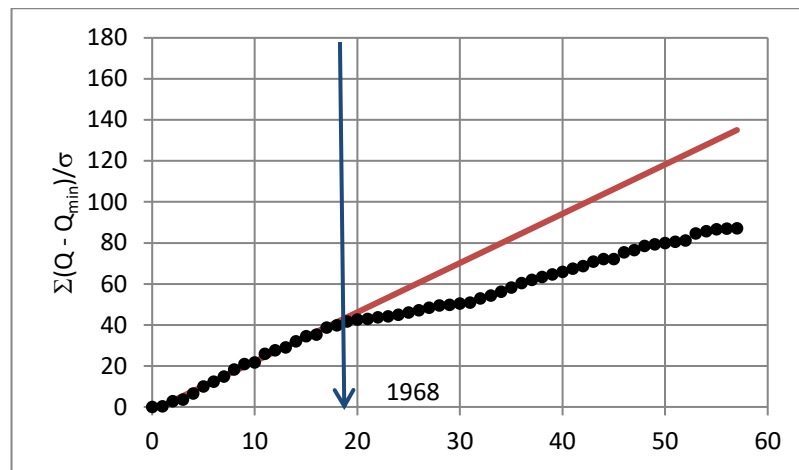
Дымка – д. Долмачево



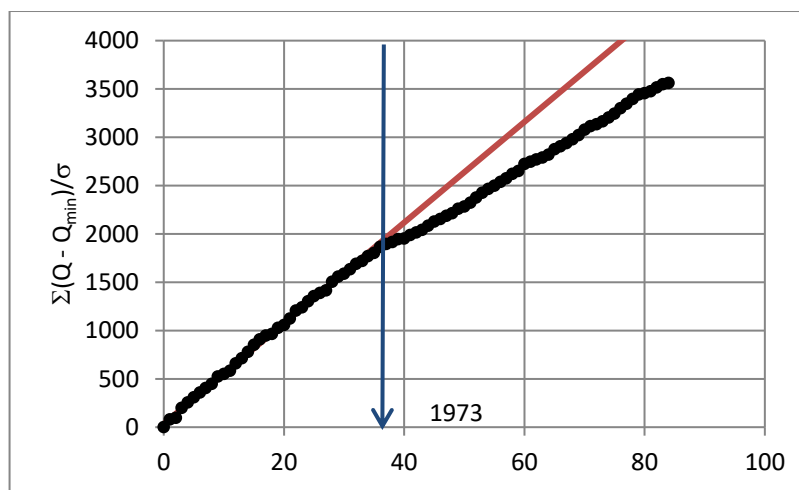
Коваши – д. Лендовщина



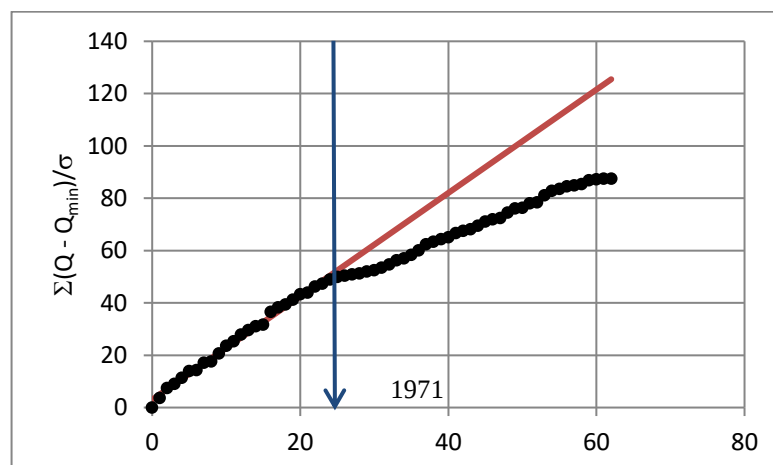
Кудеб – д.Севериково



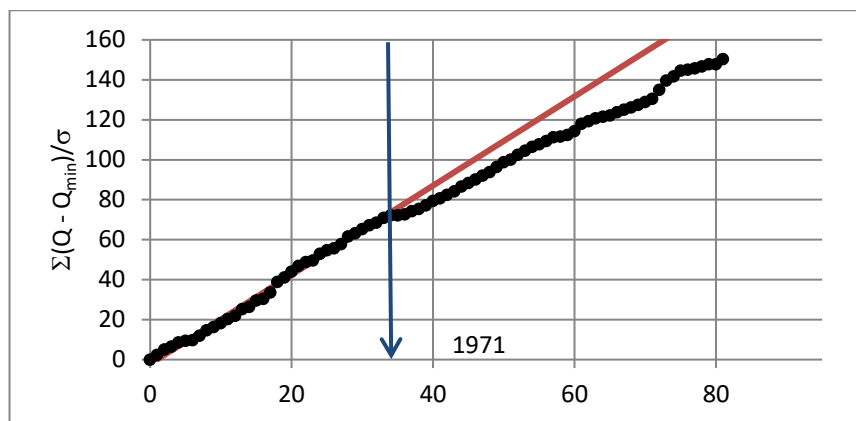
Кунья – д. Уварово



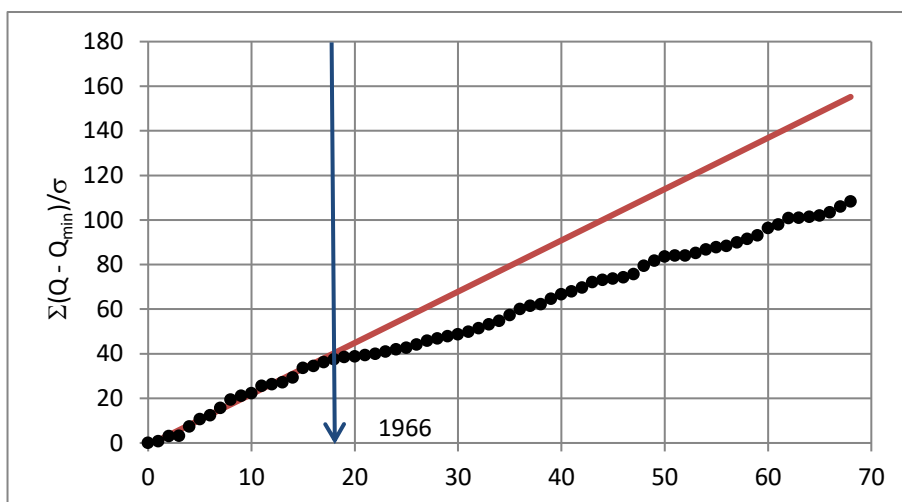
Ловать – г. Великие Луки



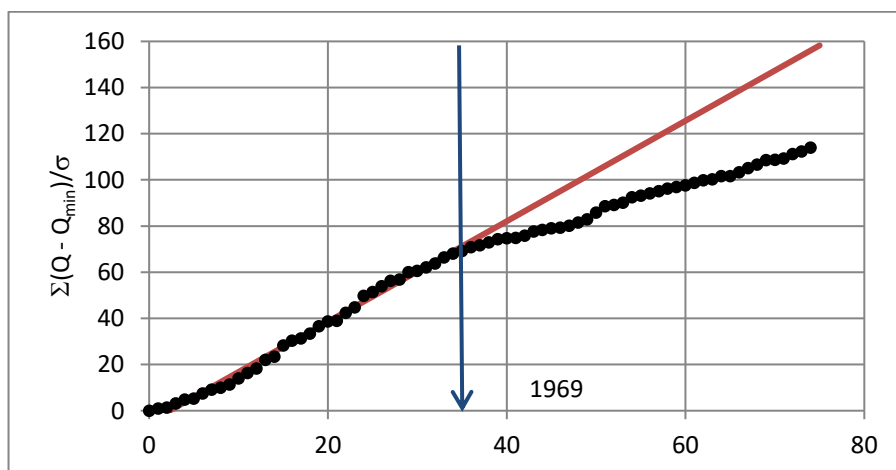
Локня – д. Бородино



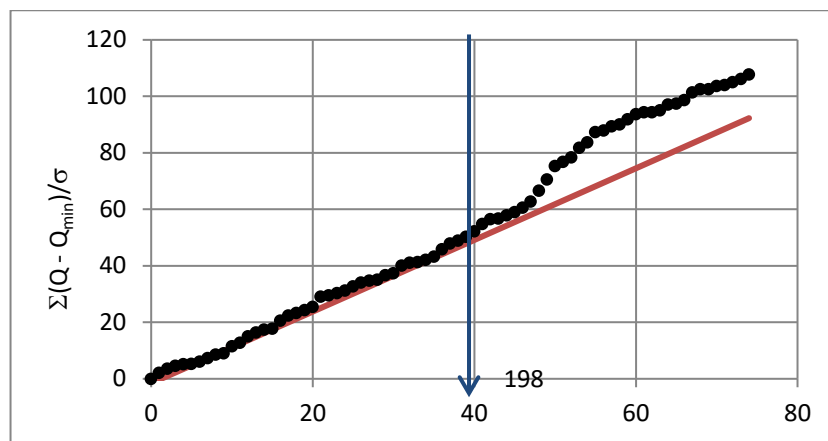
Луга – д. Луга



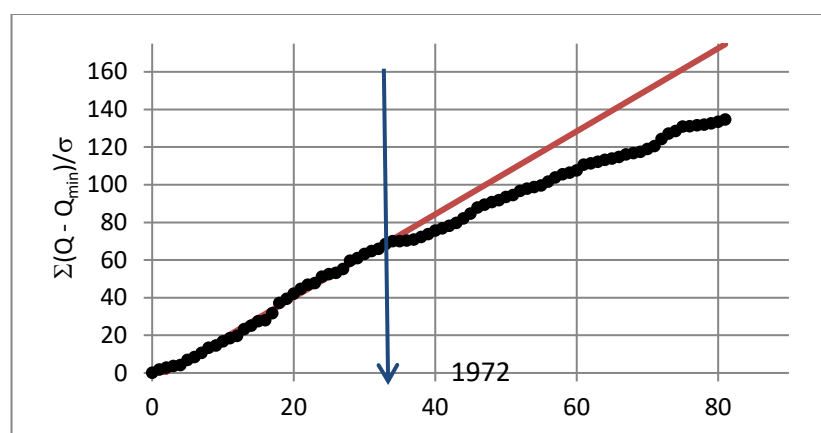
Мста – п. Потерпелицы



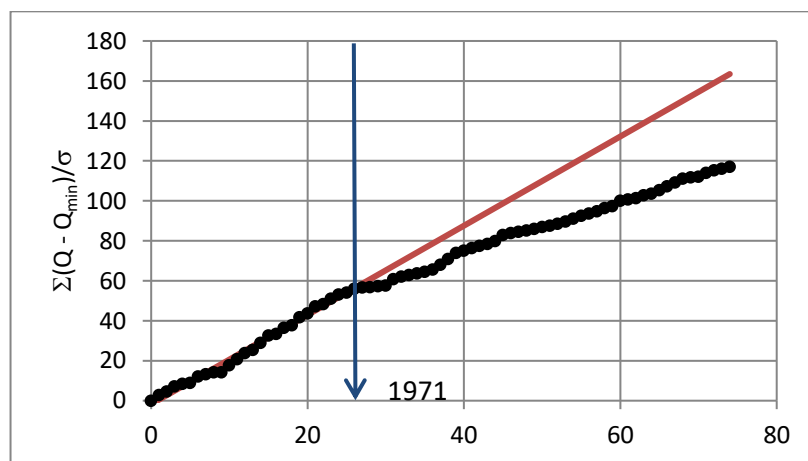
Охта – ж.Новое Девяткино



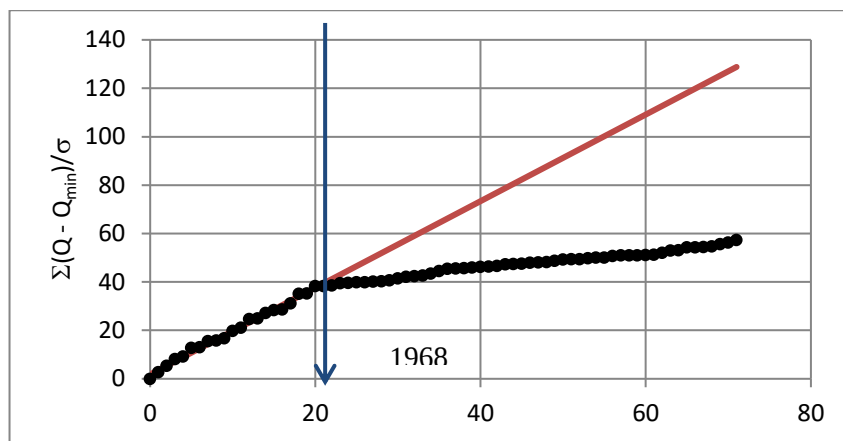
Оять – д. Мининская



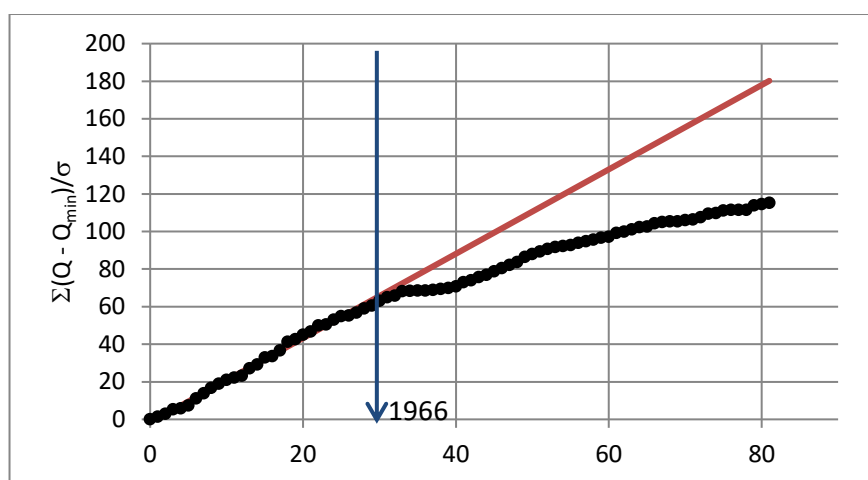
Плюсса – д. Брод



Систа – д. Среднее Райково

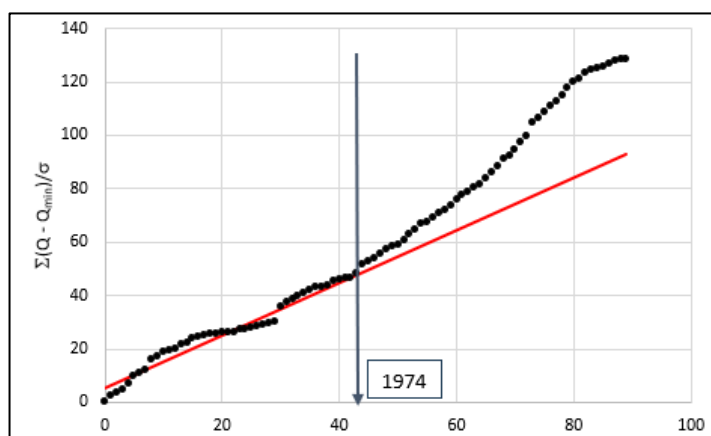


Уза – д. Дубская

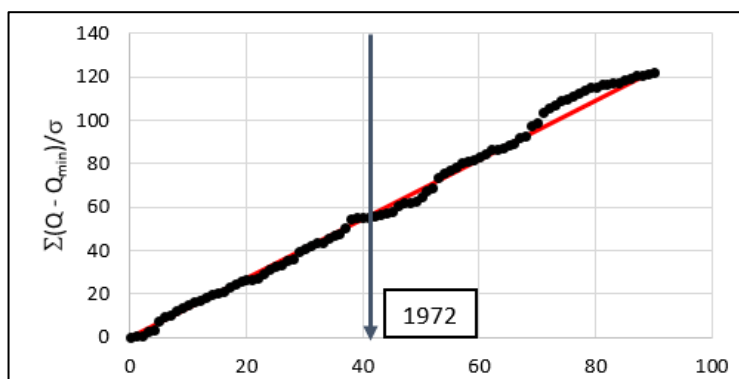


Утроя – д. Большая Губа

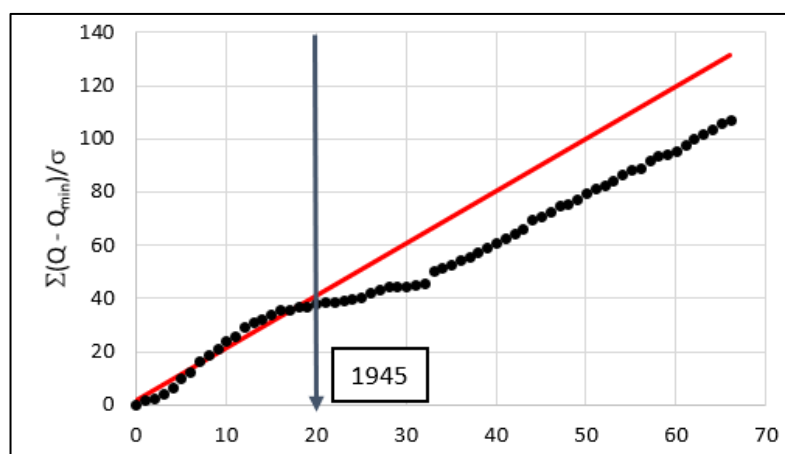
ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Суммарные кривые максимальных расходов воды весеннего половодья рек бассейна Терек.



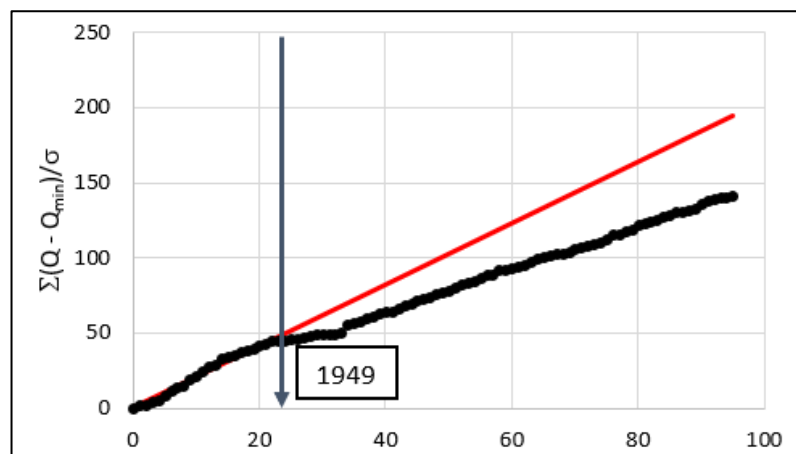
Р. Аргун – с. Советское



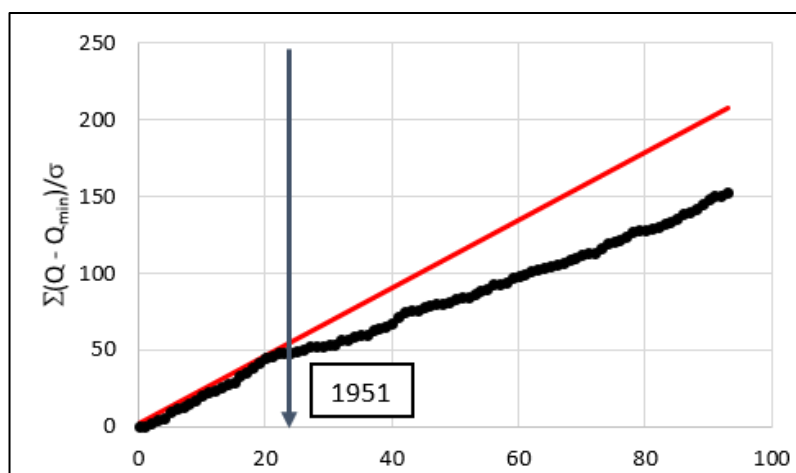
Р. Малка – г. Прохладный



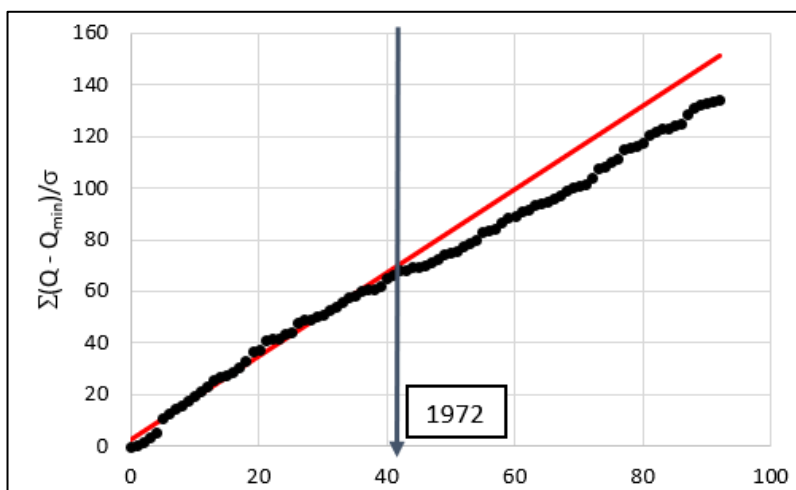
Р. Сунжа – г. Грозный



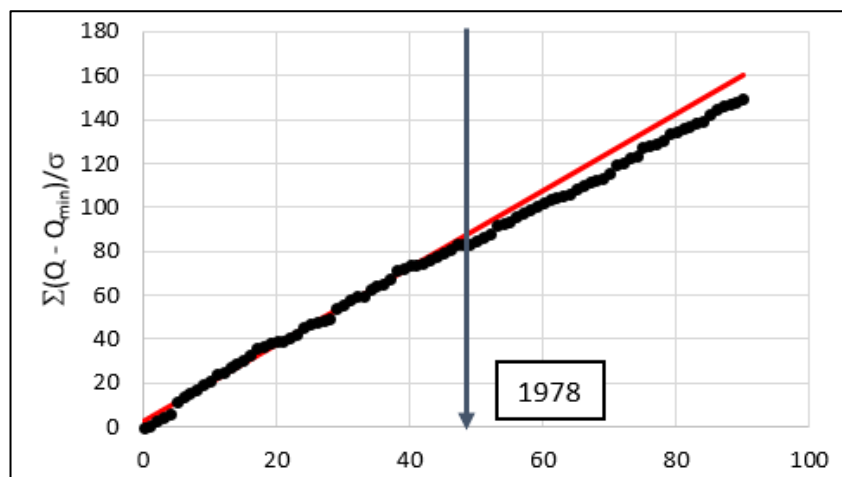
Р. Сунжа – с. Брагуны



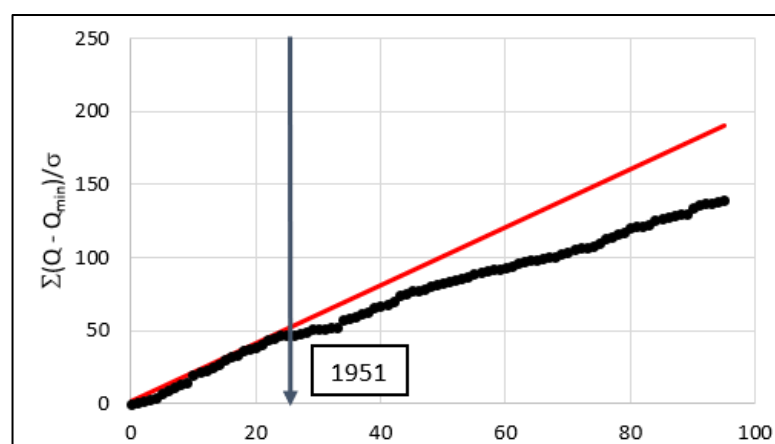
Р. Терек – с. Каргалинская



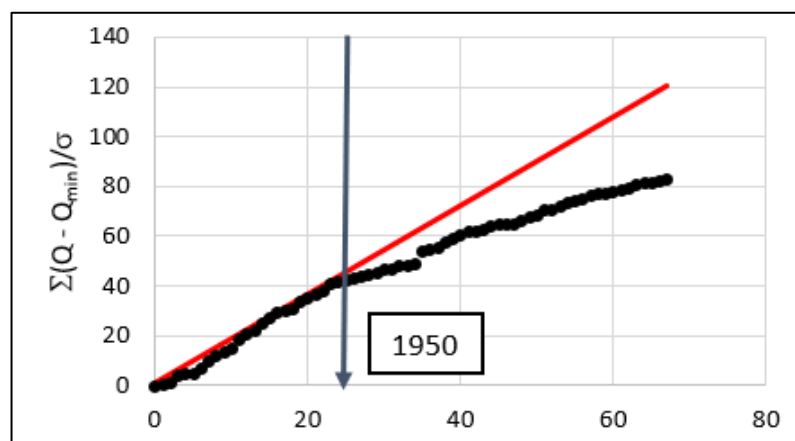
Р. Терек – с. Эльхотово



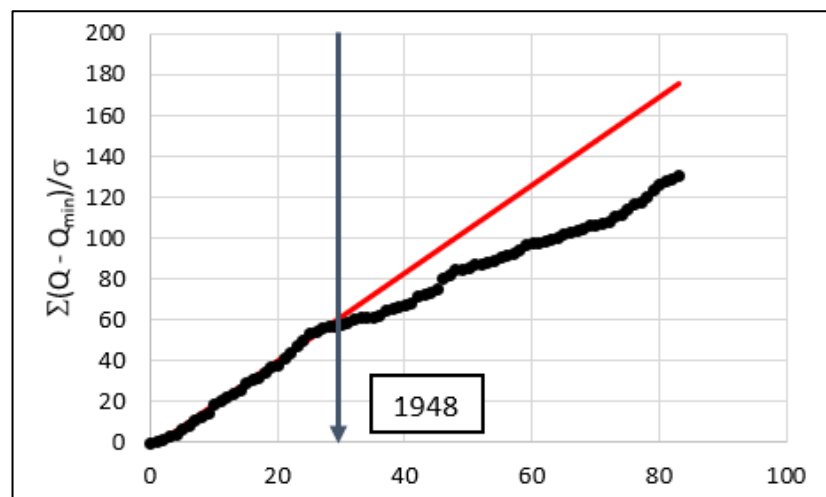
Р. Терек – г. Моздок



Р. Терек – с. Степное



Р. Аргун – с. Дуба-Юрт



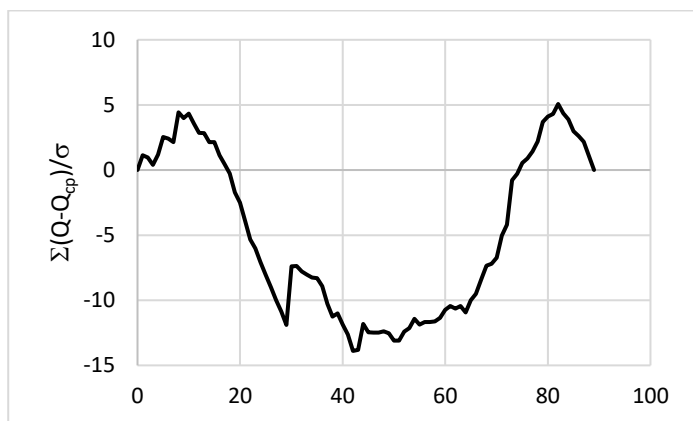
Р. Терек – с. Каргалинская

ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Сводная таблица проверки рядов максимальных расходов весеннего половодья на однородность, стационарность и случайность рек бассейна Терек.

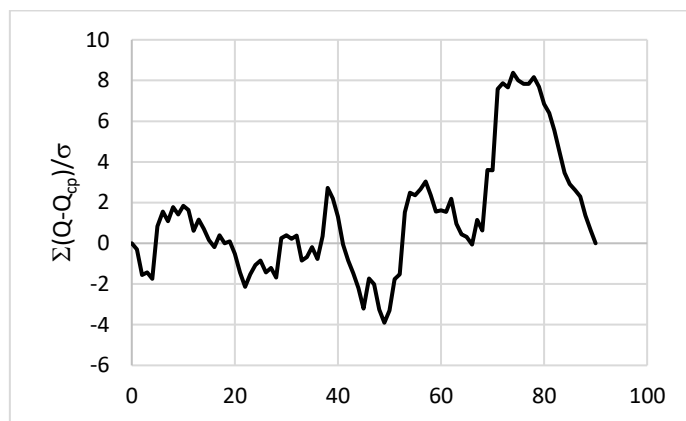
№	Река - Створ	n	Опровержение (1) или неопровержение нулевой гипотезы				
			Херст	Тренд	Стьюдент	Фишер	Автокорреляция
			$H_0: H \gg 0,5$	$H_0: R = 0$	$H_0: Q_1 = Q_2$	$H_0: D_1 = D_2$	$H_0: r(1) = 0$
1	Аргун - Советское	89	1		1	1	1
2	Малка - Прохладный	90				1	
3	Сунжа - Грозный	66	1			1	
4	Сунжа - Брагуны	95				1	
5	Терек-Каргалинская	93				1	
6	Терек - Эльхотово	92					
7	Терек - Моздок	90					
8	Терек - Степное	95			1	1	
9	Аргун-Дубар-Юрт	69		1			

Знак 1 означает, что гипотеза об однородности и стационарности опровергается.

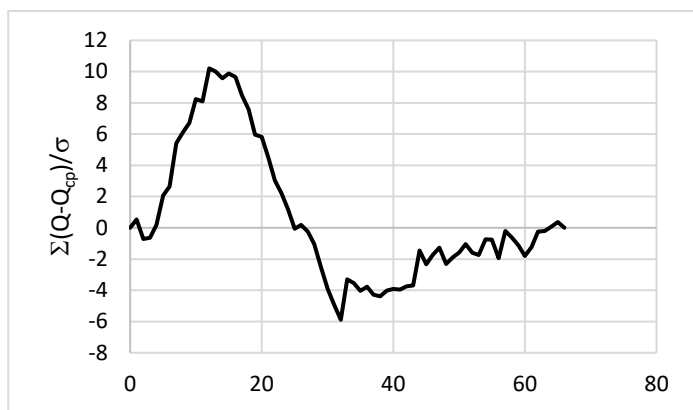
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – разностно-интеграл кривые максимальных расходов
 воды весеннего половодья бассейна реки Терек.



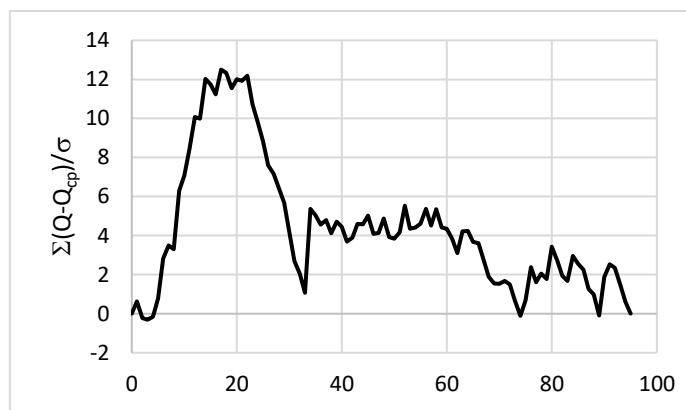
Р. Аргун – с. Советское



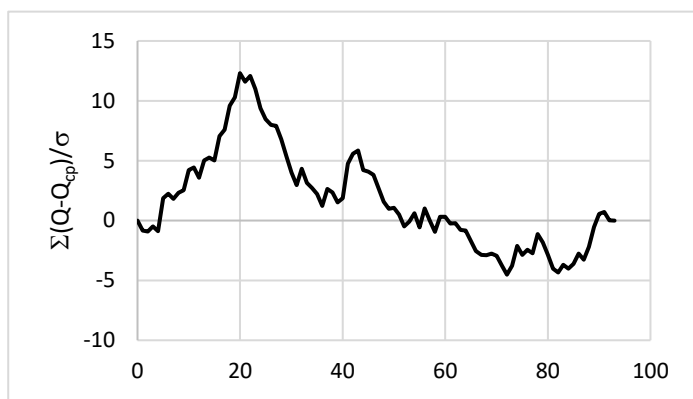
Р. Малка – г. Прохладный



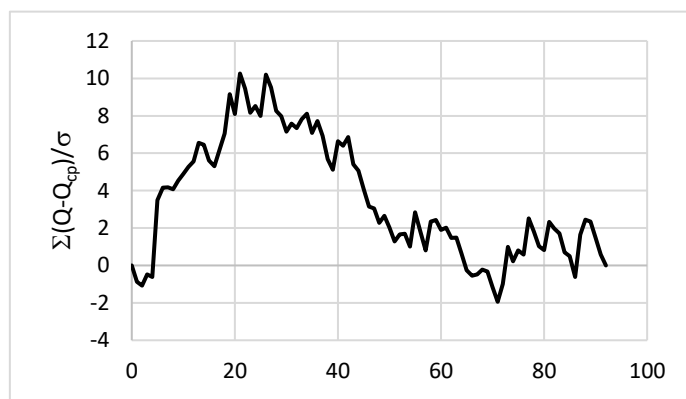
Р. Сунжа – г. Грозный



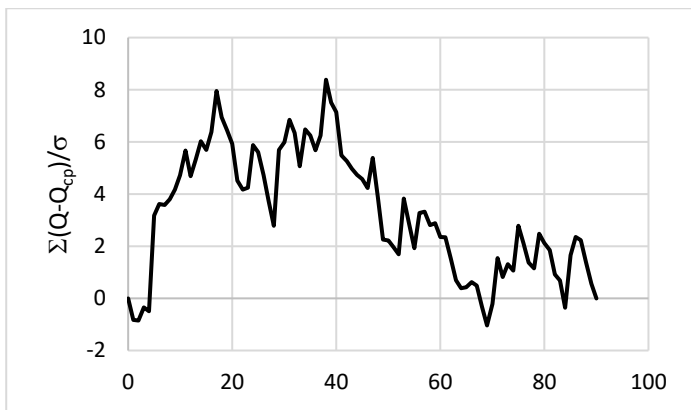
Р. Сунжа – с. Брагуны



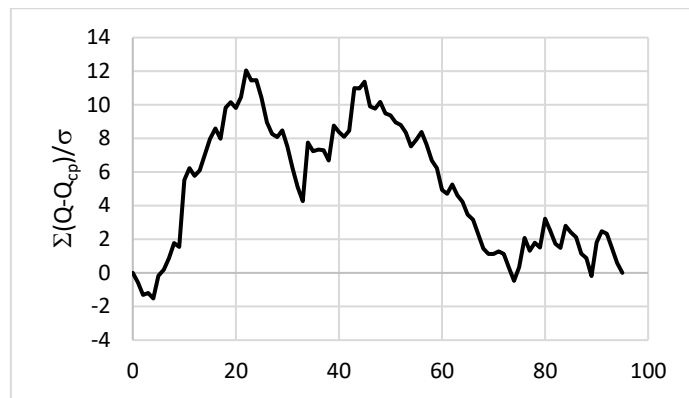
Р. Терек – с. Каргалинская



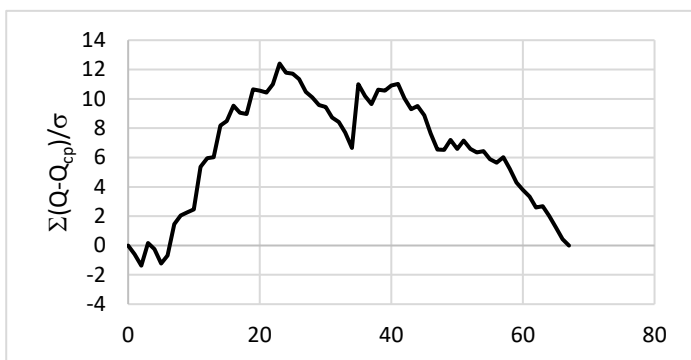
Р. Терек – с. Эльхотово



Р. Терек – г. Моздок

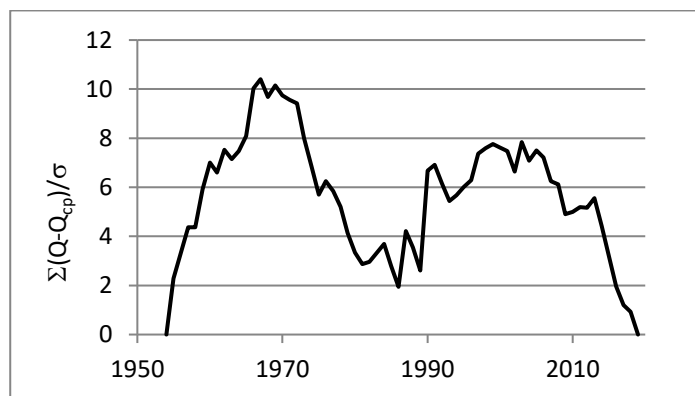


Р. Терек – с. Степное

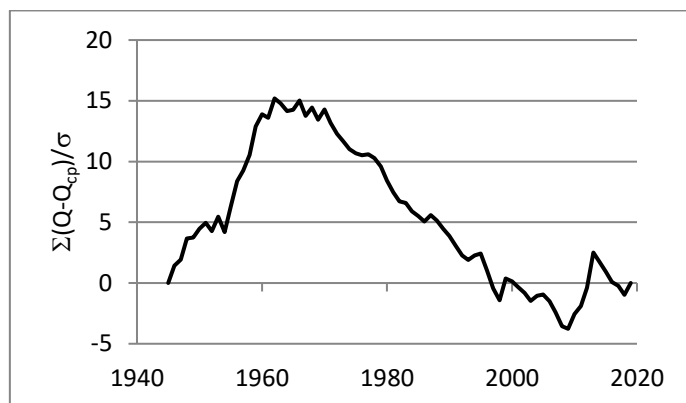


Р. Аргун – с. Дуба-Юрт

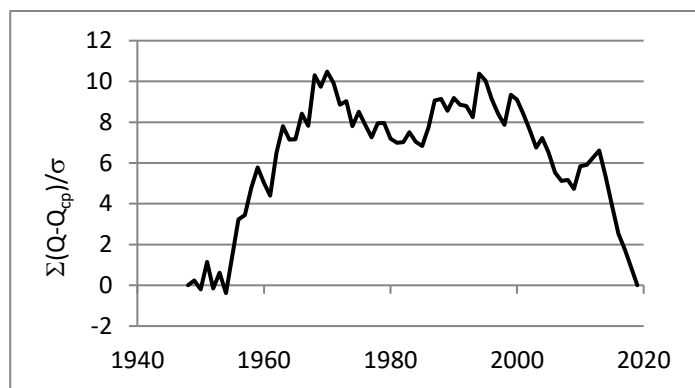
ПРИЛОЖЕНИЕ И – разностно-интеграл кривые максимальных расходов воды
весеннего половодья рек Северо-Запада РФ.



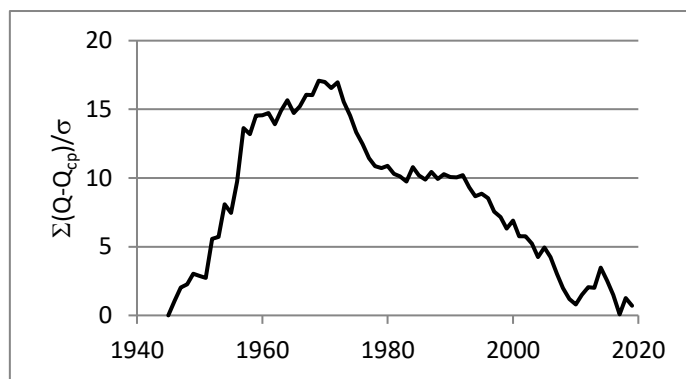
Авлога – д. Матокса



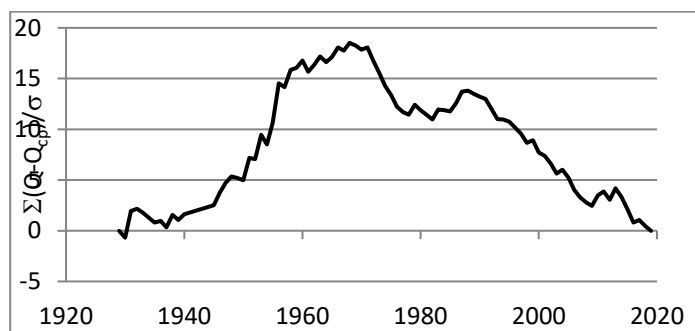
Большой Тудер – д. Бабяхтино



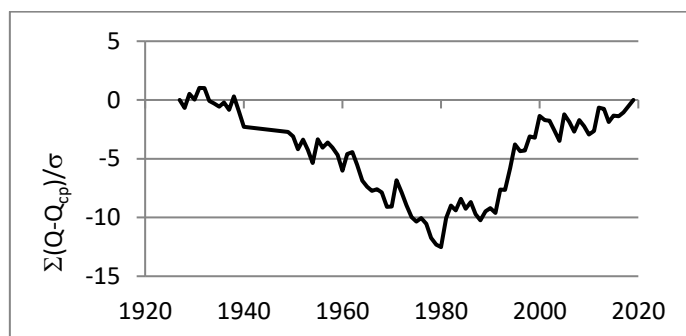
Великая – г. Опочка



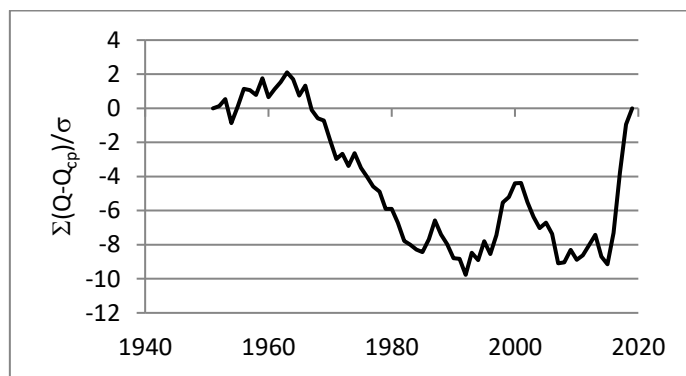
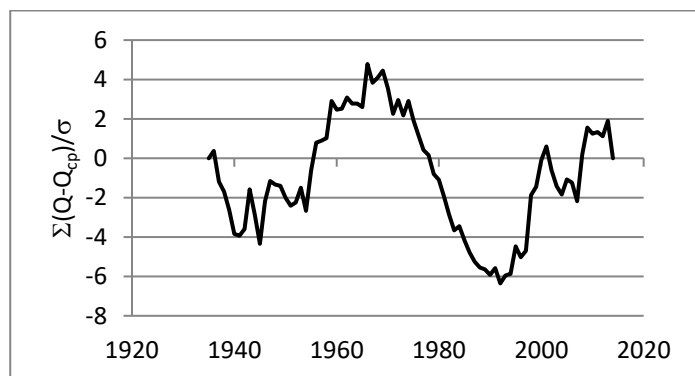
Великая – п. Гуйтово



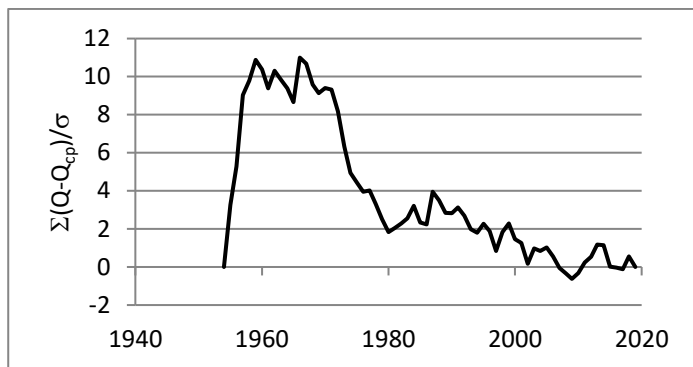
Великая – д. Пятаново



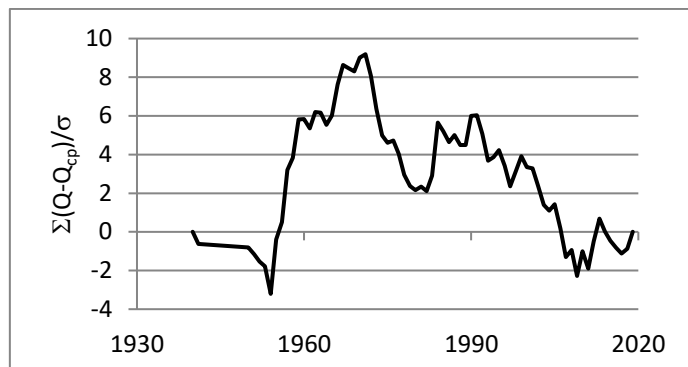
Видлица – с. Большие Горы



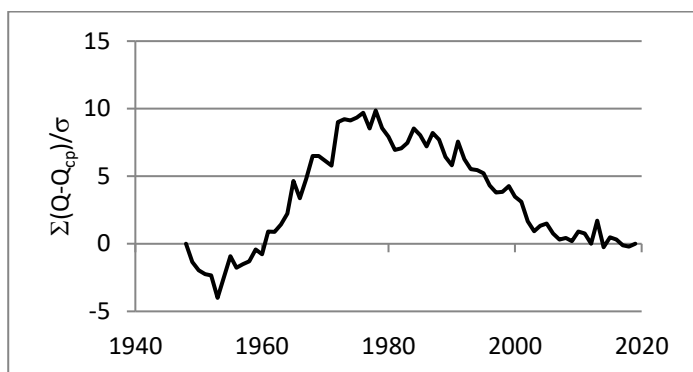
Воложба – д. Воложба



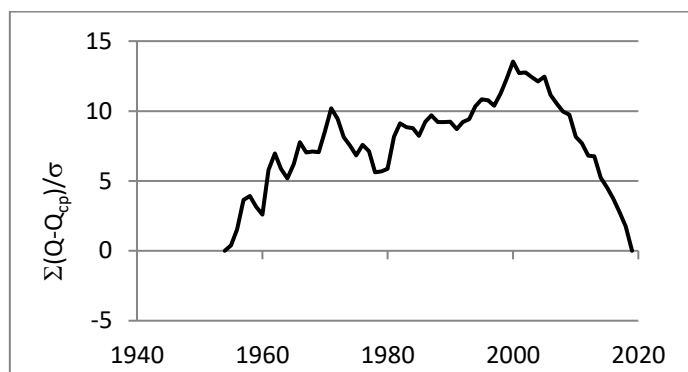
Воложба – д. Пареево



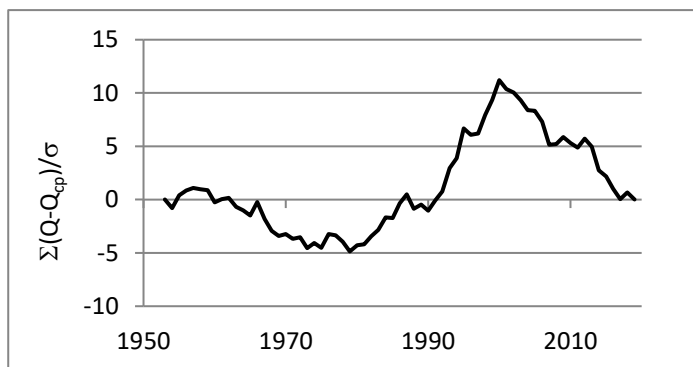
Вьюн – д. Запорожское



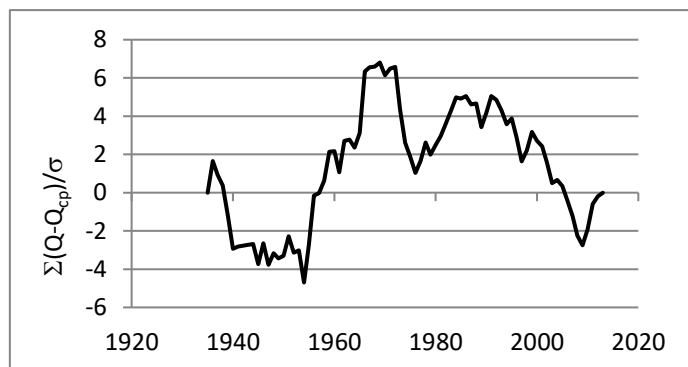
Гороховка – п. Токарево



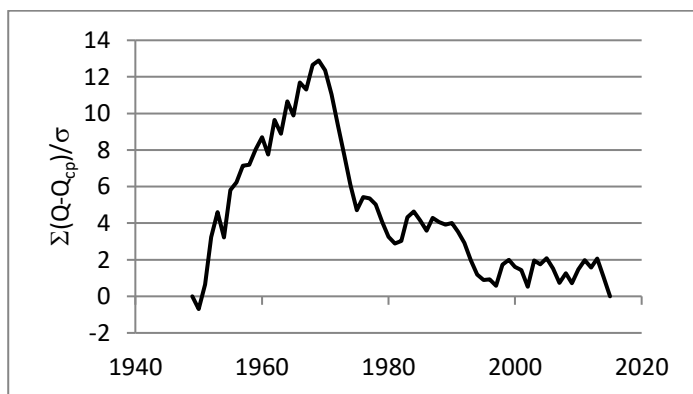
Дымка – д. Долмачево



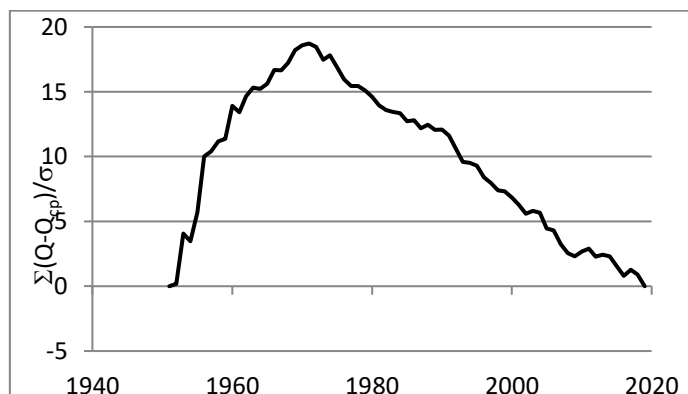
Ивина – пгт. Ладва



Капша – д. Еремина Гора

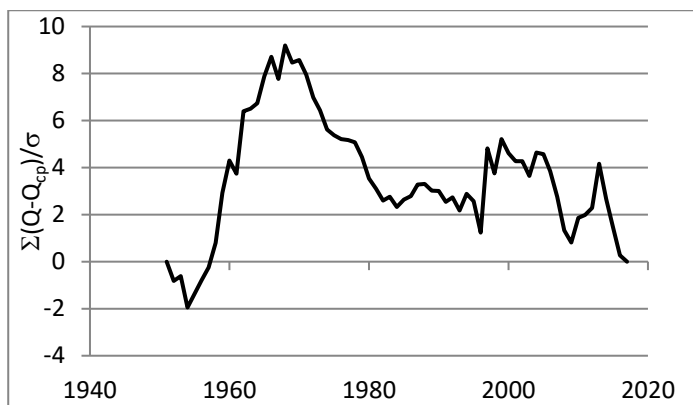


Кересть – д. Сяброницы

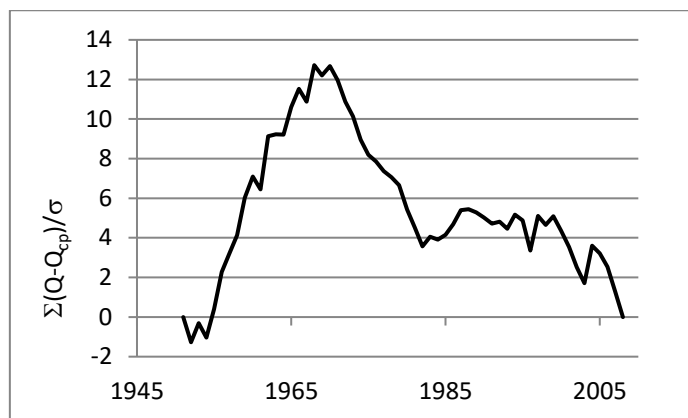


Коваши – д. Лендовщина

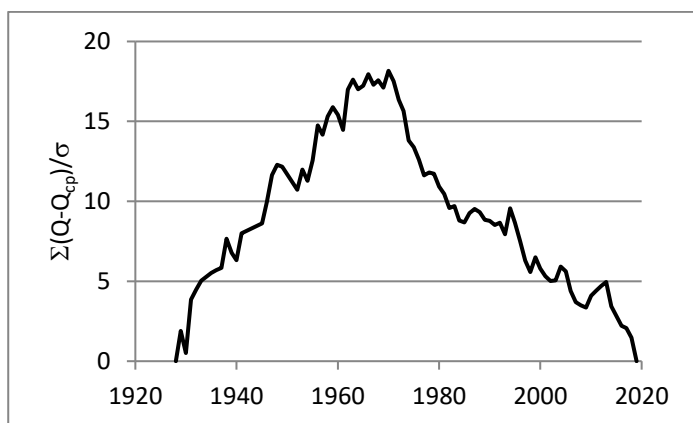
Кудеб – д. Севериково



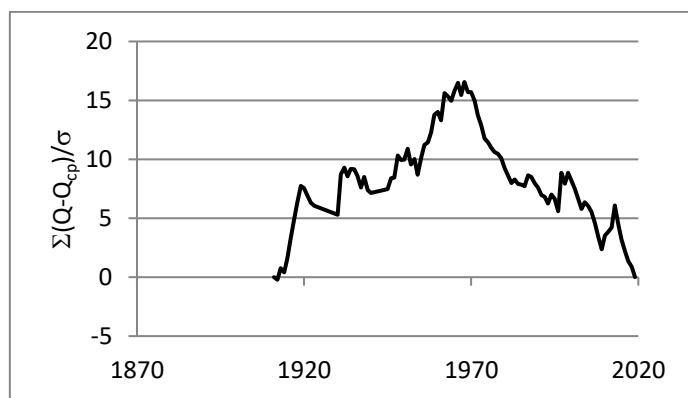
Кунья – г. Холм



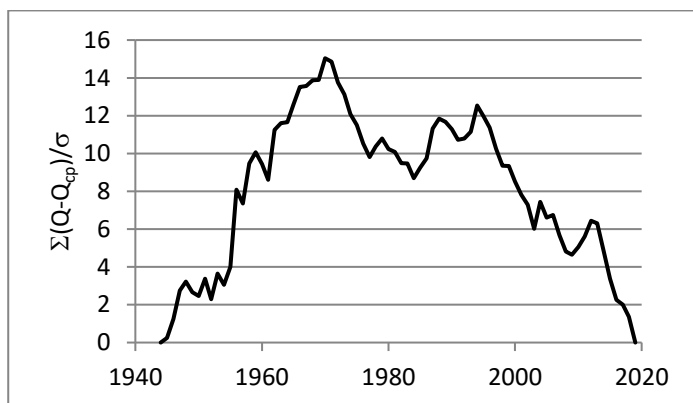
Кунья – д. Уварово



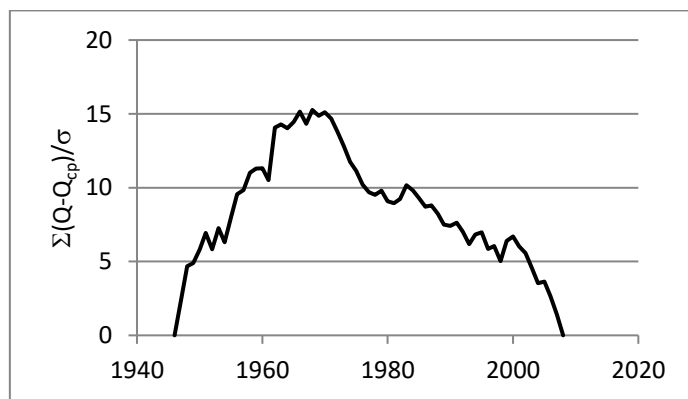
Ловать – г. Великие Луки



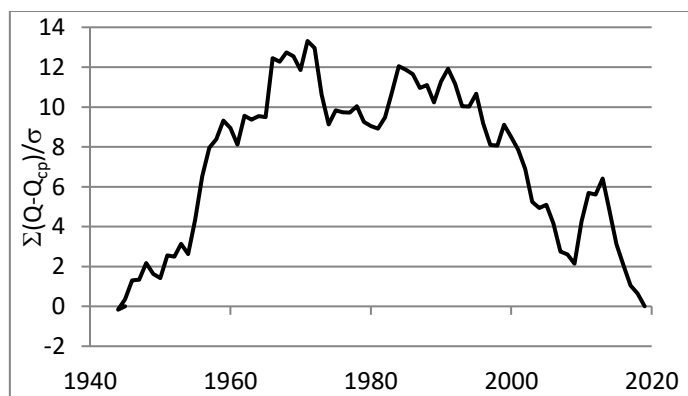
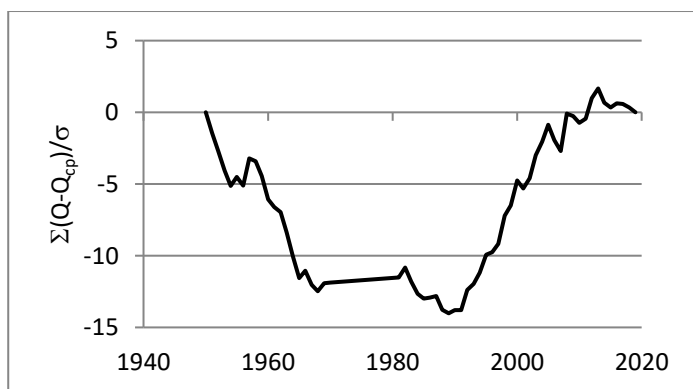
Ловать – г. Холм



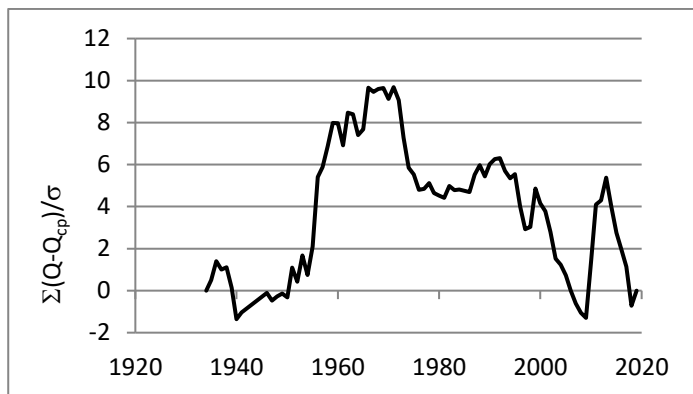
Ловать – д. Узкое



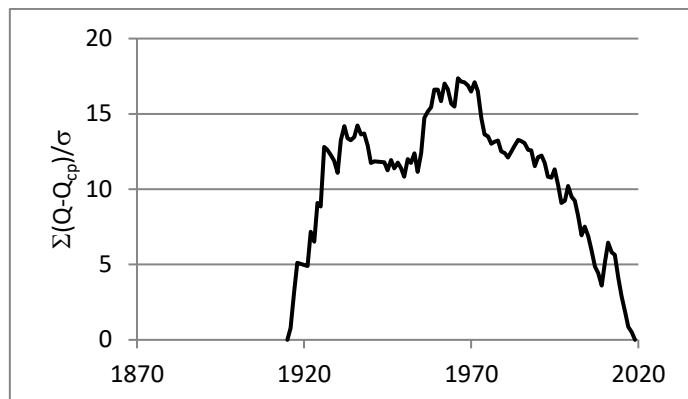
Локня – д. Бородино



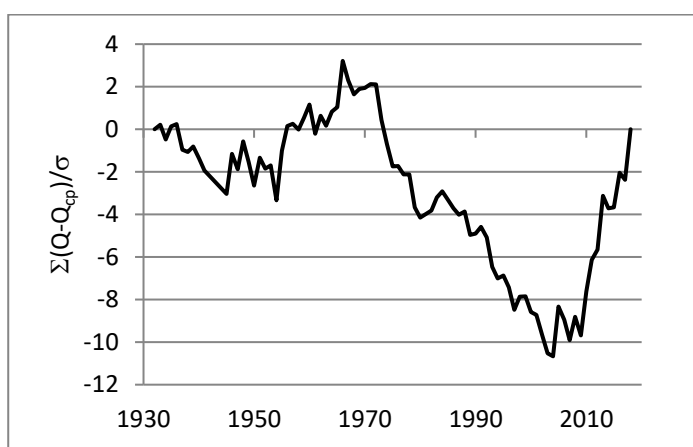
Лососинка – г. Петрозаводск



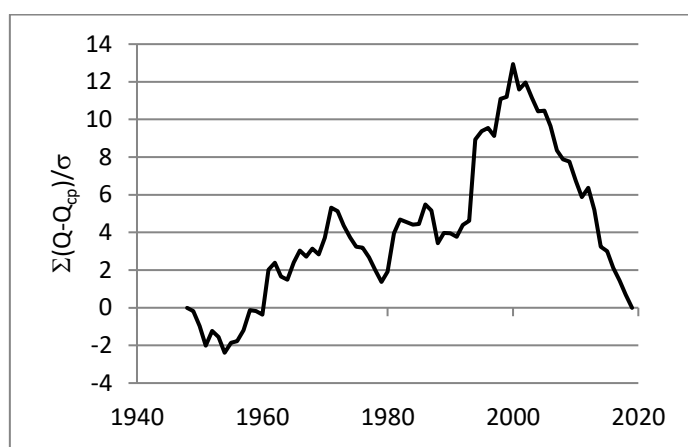
Луга – г. Кингисепп



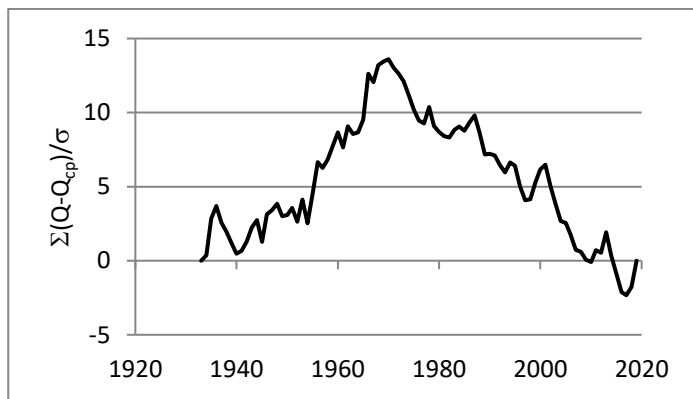
Луга – г. Луга



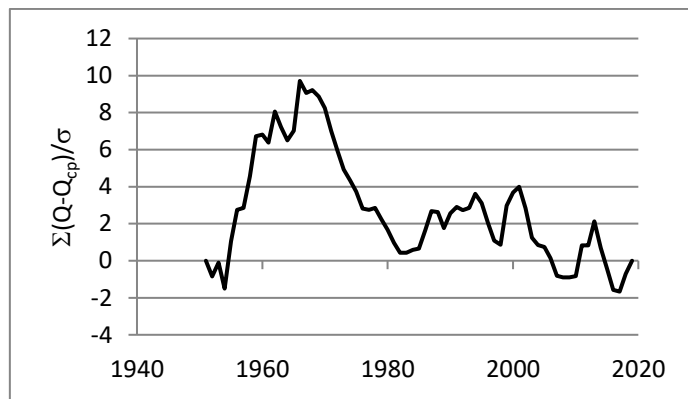
Луга – ст. Толмачево



Мга – д. Горы



Мерега – д. Куйтежа

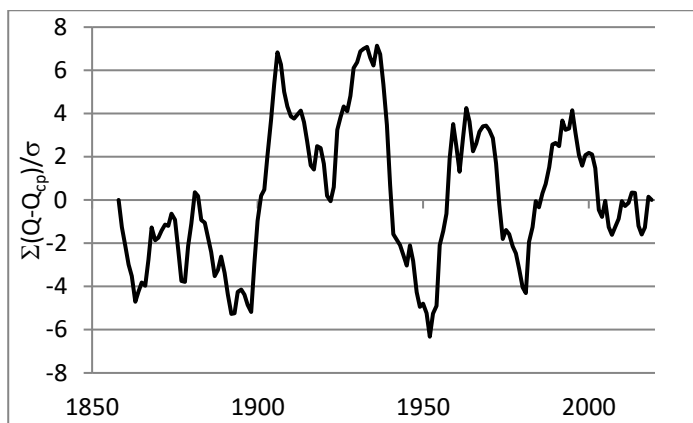


Мста – д. Девкино

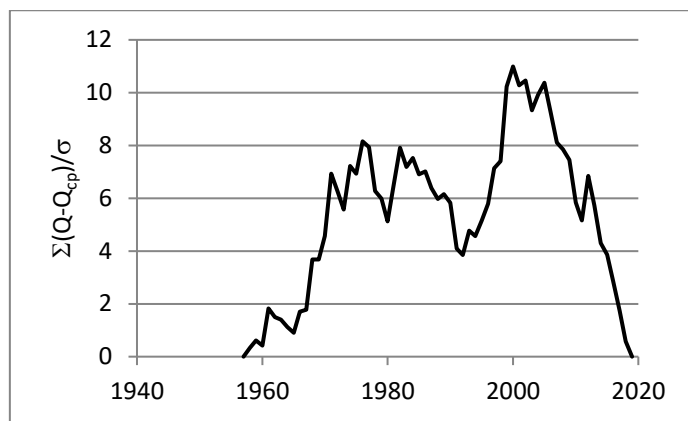


Мста – п. Потерпелицы

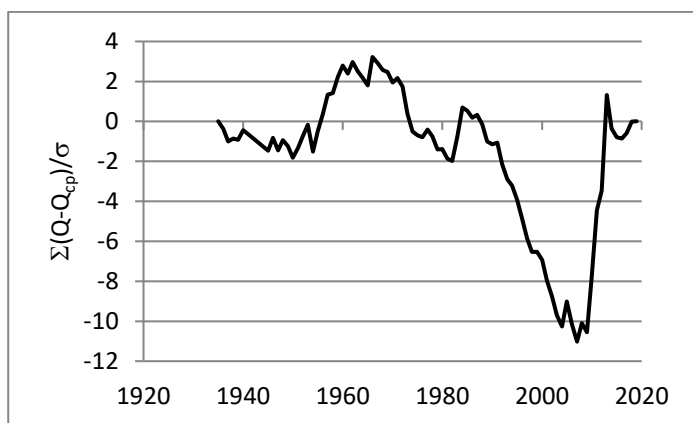




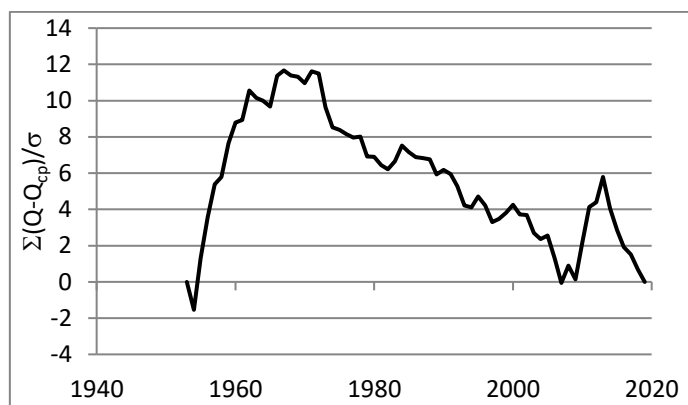
Нева – д. Новосаратовка



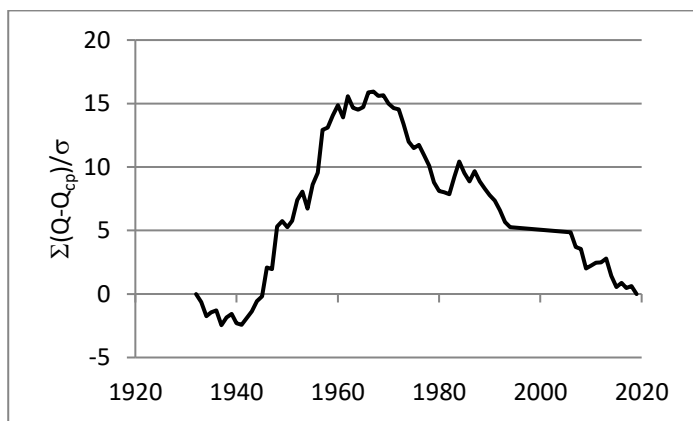
Немина – п. Немино



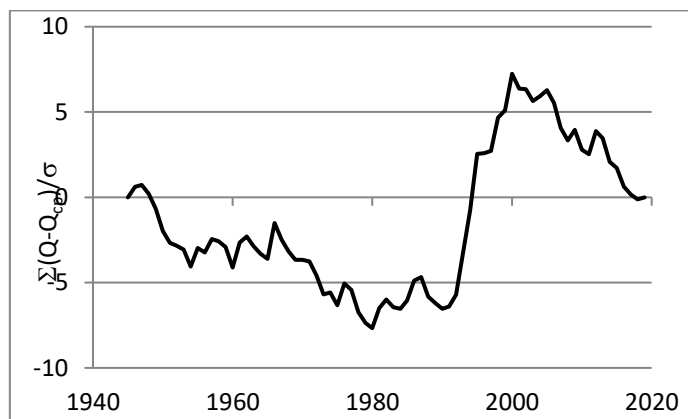
Ореж – пгт. Вырица



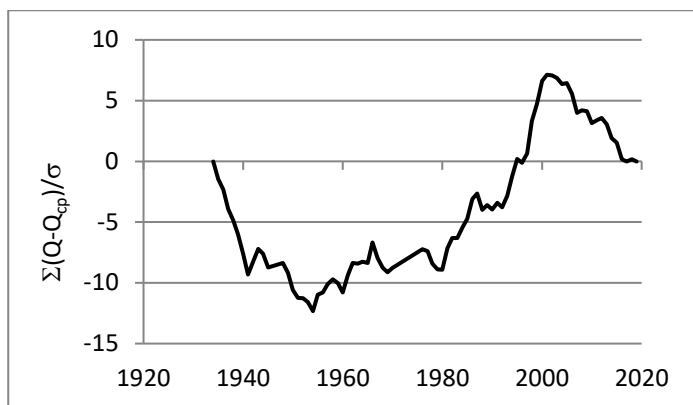
Орлинка – уроч. Орлинка



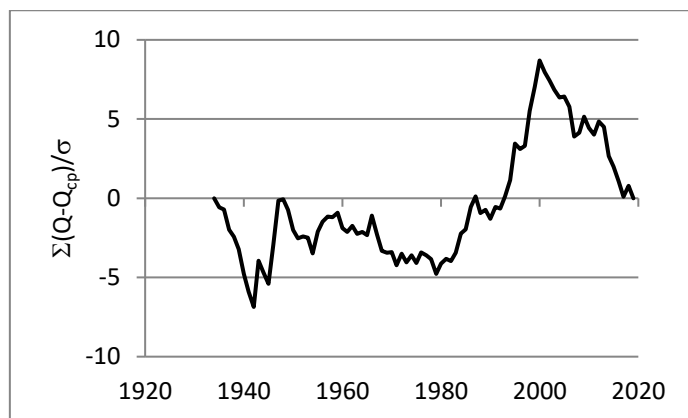
Охта – ж. Новое Десяткино



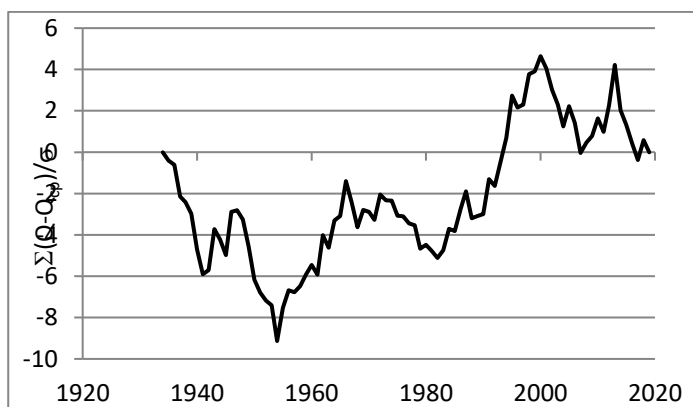
Оять – д. Мининская



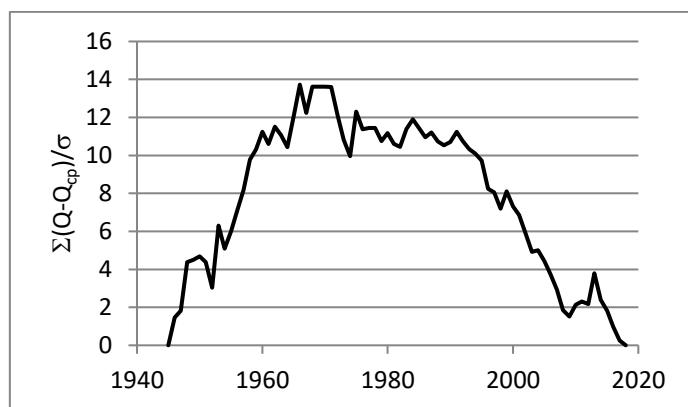
Оять – д. Акулова Гора



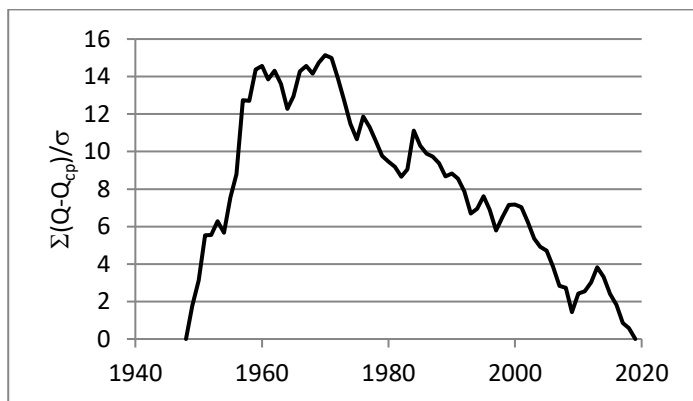
Паша – д. Дуброво



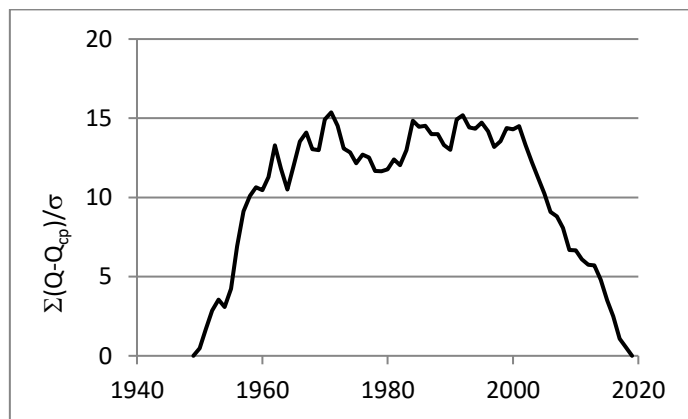
Паша – с. Часовенское



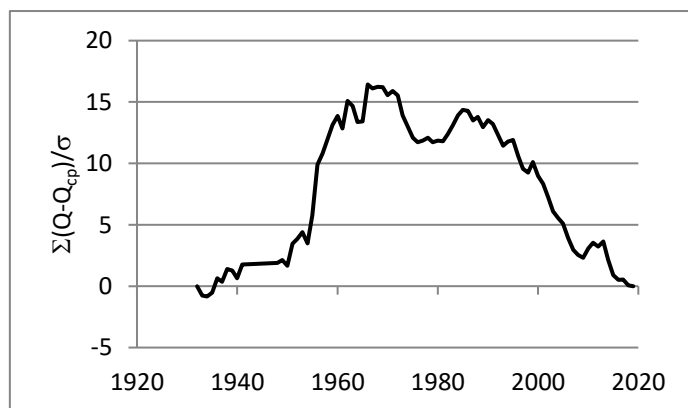
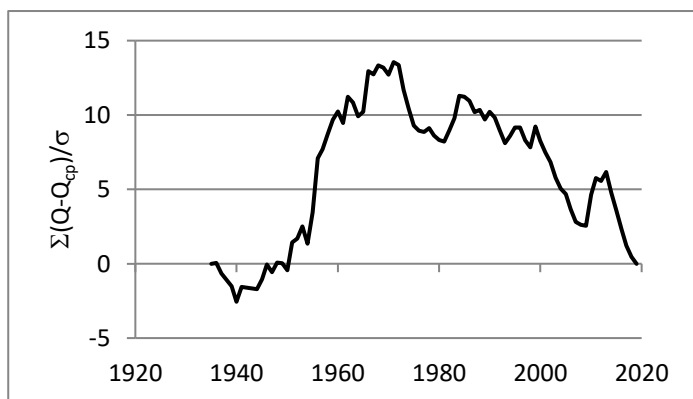
Перехода – д. Подсосонье



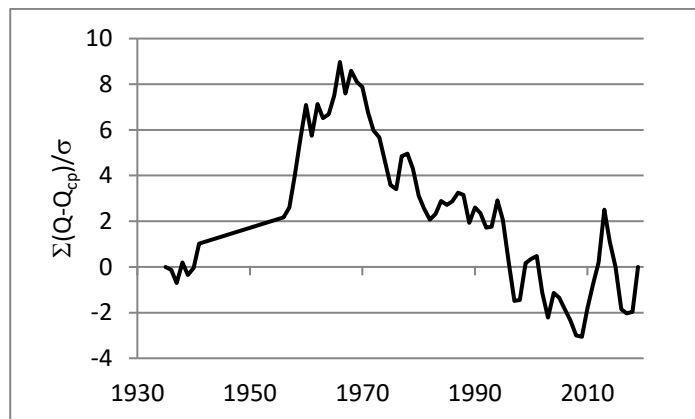
Петровка – п. Гончарово



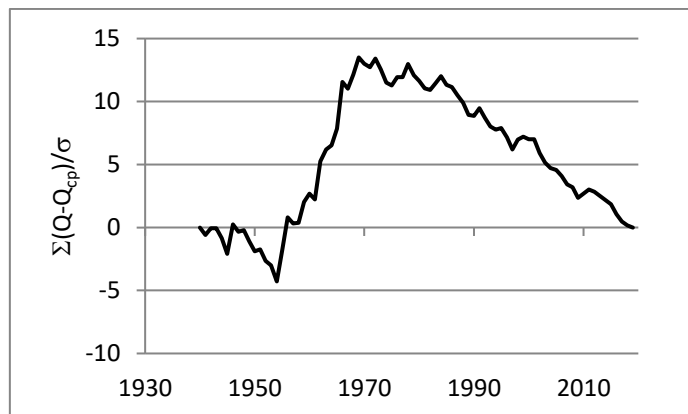
Петровка – п. Дружноселье



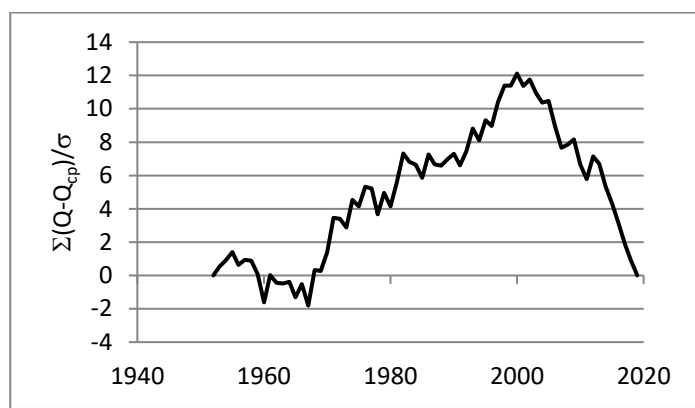
Плюсса – д. Брод



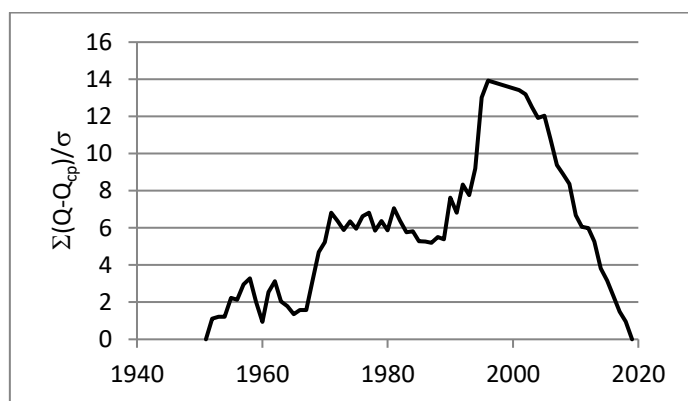
Плюсса – с. Плюсса



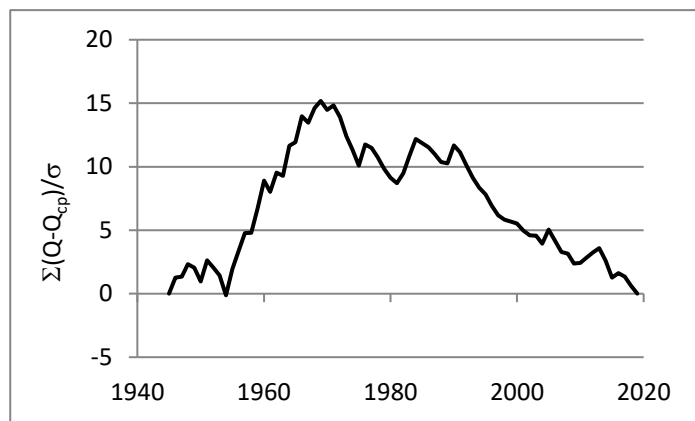
Пола – д. Налючи



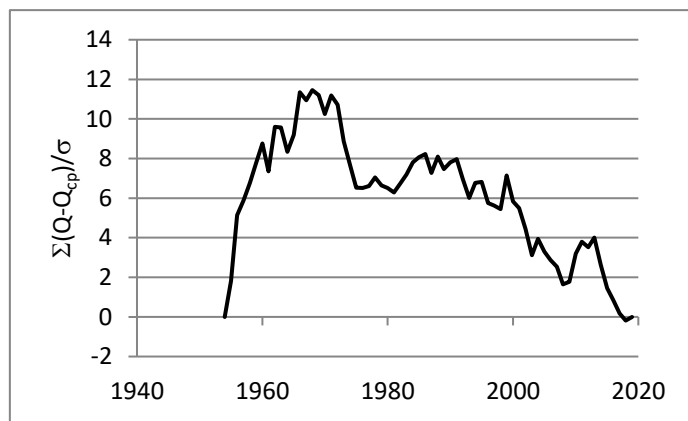
Пчевжа – д. Белая



Пяльма – д. Пяльма

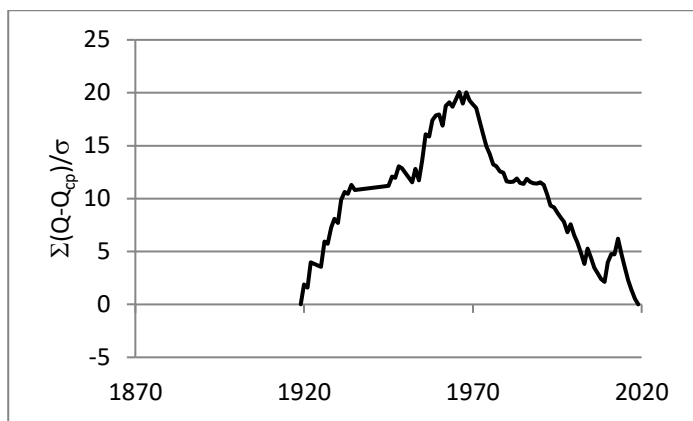


Рагнукса – д. Харловская

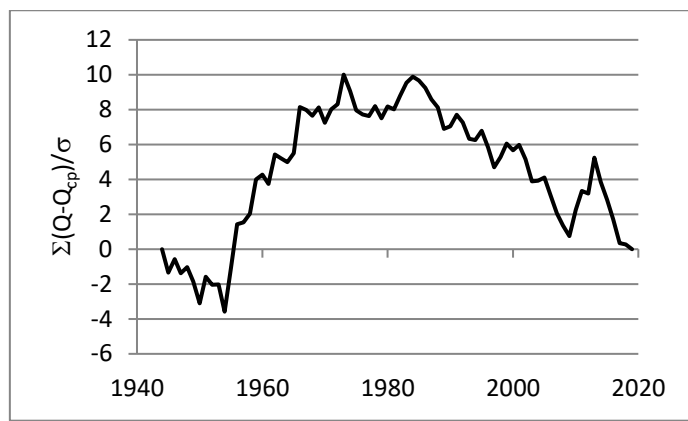


Систа – д. Среднее райково

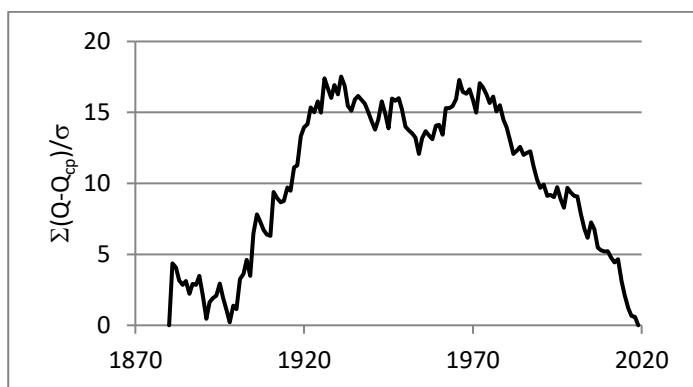
Ситня – д. Пески



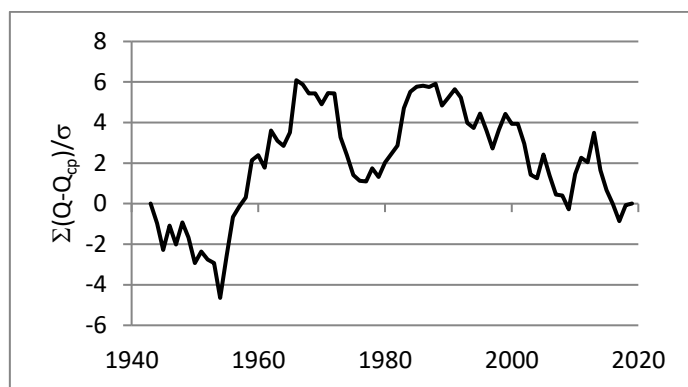
Сороть – д. Осинкино



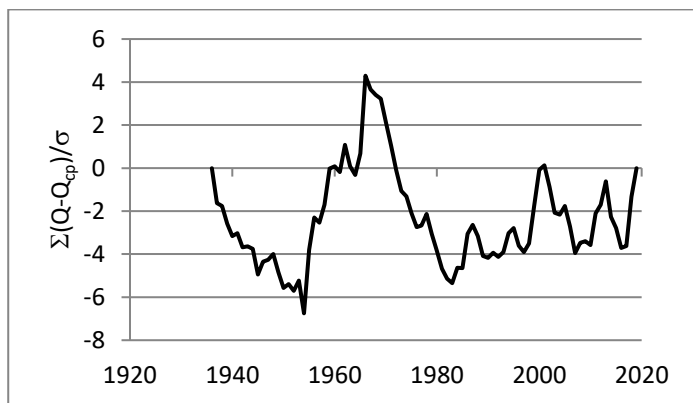
Тигода – ст. Любань



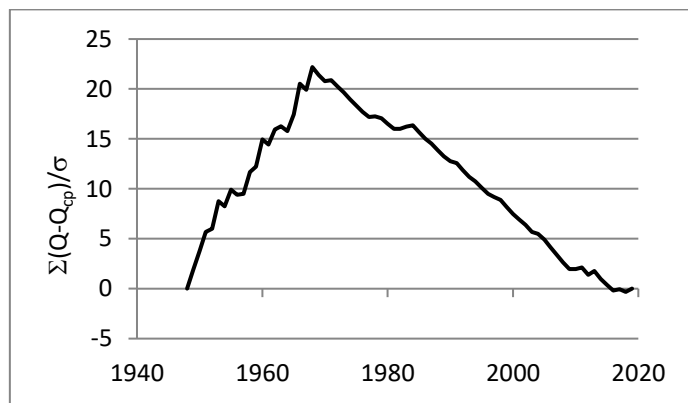
Тихвинка – д. Горелуха



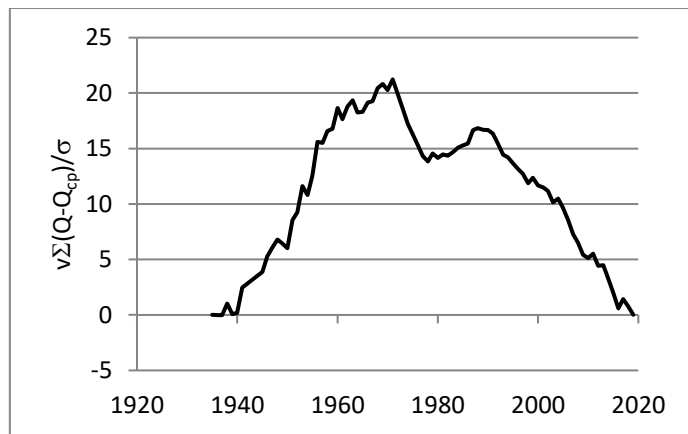
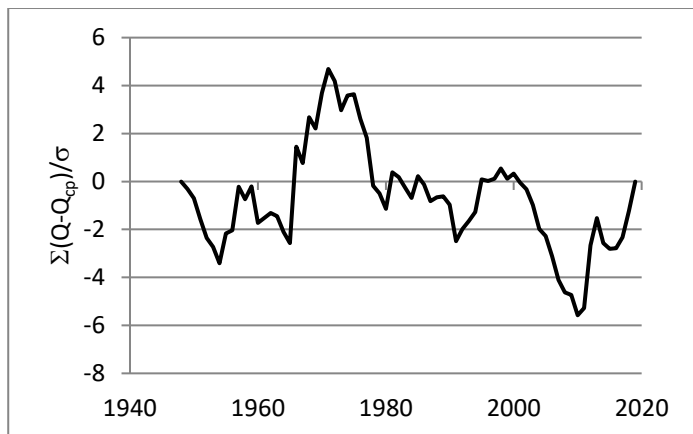
Тосна – ст. Тосно



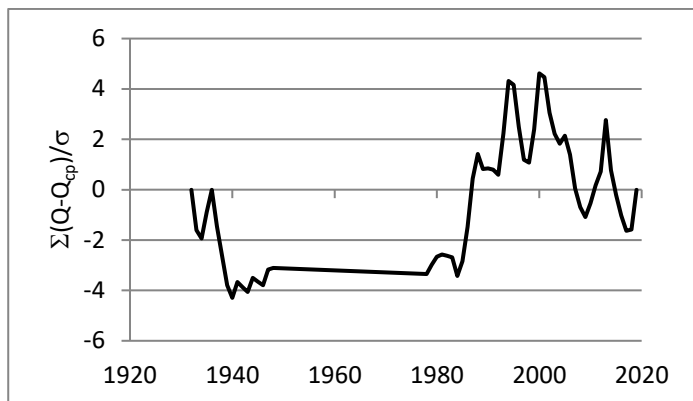
Уверь – д. Меглецы



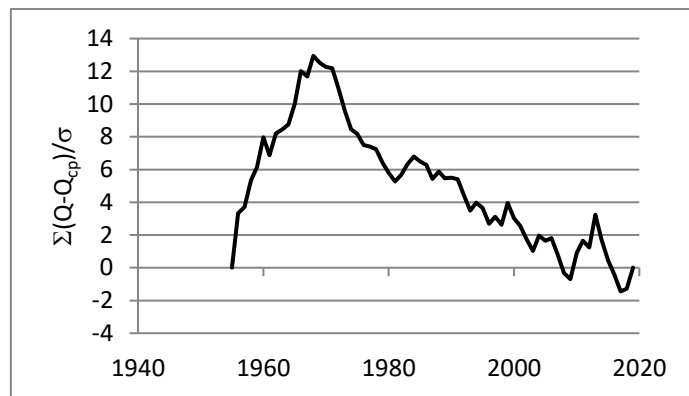
Уза – д. Дубская



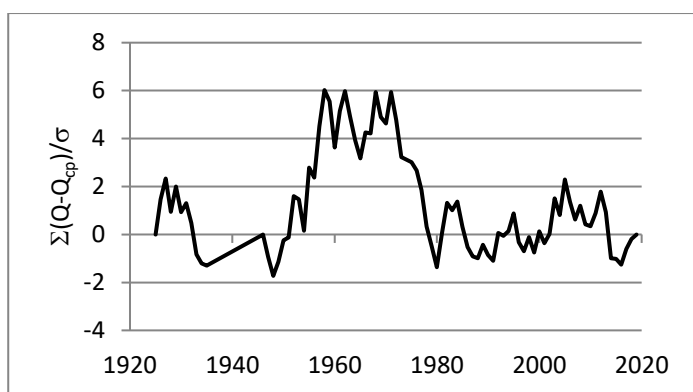
Уница – с. Уница



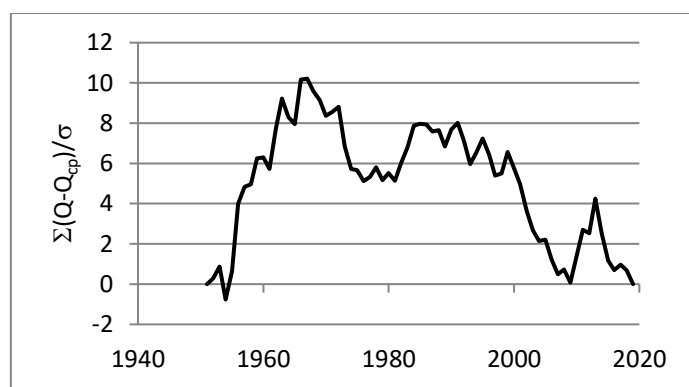
Утроя – д. Большая Губа



Цна – с. Жилотково



Шелонь – г. Порхов



Шуя – д. Бесовец

Ящера – д. Долговка

