МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Водный режим реки Шуя**

Исполнитель **Ермоленко Алеся Денисовна**
(фамилия, имя, отчество)

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

Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«1» июня 2026 г.

Санкт–Петербург
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ 4
1.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕКЕ ШУЯ 4
1.2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ 5
1.3. ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ 5
1.4. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 6
1.4.1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА 7
1.4.2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ 10
2. ПОДГОТОВКА И АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ 13
2.1. ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК БАССЕЙНА Р. ШУИ 13
2.2. ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕКИ ШУЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ 15
2.2.1. ВЛИЯНИЕ ИГНОЙЛИНСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ШУЯ 15
2.2.2. ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЙ Р. ШУИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА 17
2.3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ 18
2.4. ОПИСАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ 20
2.5. ПРИВЕДЕНИЕ КОРОТКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ К МНОГОЛЕТНЕМУ ПЕРИОДУ 23
2.5.1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЯДОВ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ 25
2.5.2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ 27
2.5.3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЯДОВ МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ЛЕТНЕ-ОСЕННИХ РАСХОДОВ ВОДЫ 29
3. ПРОВЕРКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ И СТАЦИОНАРНОСТЬ 32
3.1. ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК 32

3.1.1. ПРОВЕРКА РЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХВЫБОРОЧНОГО КРИТЕРИЯ СТЬЮДЕНТА 32
3.1.2. ПРОВЕРКА РЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХВЫБОРОЧНОГО КРИТЕРИЯ ФИШЕРА 32
3.1.3. ПРОВЕРКА РЯДОВ НА ЗНАЧИМОСТЬ ЛИНЕЙНОГО ТРЕНДА 33
3.2. ПРОВЕРКА РЯДОВ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ 33
3.3. ПРОВЕРКА РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ 37
3.4. ПРОВЕРКА РЯДОВ МИНИМАЛЬНЫХ ЛЕТНЕ-ОСЕННИХ СУТОЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ 39
3.5. ПРОВЕРКА РЯДОВ МИНИМАЛЬНЫХ ЗИМНИХ СУТОЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ 42
3.6. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ РЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ И СТАЦИОНАРНОСТЬ 47
3.7. ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ 48
4. РАСЧЕТ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ 51
4.1. РАСЧЕТ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ 51
4.2. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ 55
4.3. РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ЛЕТНЕ-ОСЕННИХ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ 58
4.4. РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ЗИМНИХ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ 60
4.5. РАСЧЕТ СРЕДНИХ РАЙОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНОГО СТОКА 63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 65
ПРИЛОЖЕНИЯ 68

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей водного режима реки Шуя и ее притоков.

Задачи работы:

- Дать краткую характеристику природных условий в бассейне реки Шуи.
- Выполнить проверку рядов метеорологических и гидрологических характеристик на однородность и стационарность.
- Оценить степень влияния климатических изменений на характеристики годового, максимального и минимального стока.

Работа состоит из 4 глав, введения и заключения.

В первой главе представлена физико-географическая и климатическая характеристика района исследований.

Во второй главе описаны особенности на водный режим рек бассейна р. Шуя, влияние антропогенных факторов и Онежского озера на водный режим рек. Также приведены исходные данные, описание гидрологических постов, описана методика восстановления рядов расходов для всех видов стока.

В третьей главе представлено описание расчетных методик и приведена проверка рядов на однородность с использованием критериев Стьюдента и Фишера, проверка рядов на значимость линейного тренда и оценка статистических характеристик и их погрешностей.

В четвертой главе представлен расчет расходов заданной обеспеченности всех видов стока.

В заключении представлены основные результаты проделанной работы.

Бакалаврская работа содержит 55 рисунков, 29 таблиц, 19 приложений и список использованных источников из 20 наименований. Общий объем работы 82 страниц.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Основные сведения о реке Шуя

Шуя – река бассейна Онежского озера на юге Карелии (рисунок 1.1). Берёт начало из озера Суоярви, впадает в озеро Логмозеро, соединённое узким проливом с Петрозаводской губой Онежского озера.



Рисунок 1.1 – Бассейн Онежского озера.

.

1.2. Природные условия района исследований

Бассейн Шуи находится в Восточной части Балтийского щита. большую часть его занимают грядово-холмистые озёрные и моренные равнины с многочисленными выходами кристаллических пород (граниты, диабазы, кварциты). В низовьях река протекает по Прибеломорской низменности, которая представляет собой ровную, заболоченную поверхность. На территории бассейна реки распространены подзолистые почвы с гумусово-железистым иллювиальным горизонтом, в районе нижнего течения реки встречаются таежные торфяно-глеевые почвы.

По ходу течения реки из растительности преобладают среднетаежные сосновые лишайниковые леса в сочетании с верховыми болотами. В районе устья реки растительность представлена еловыми лесами с примесью сосны и березы. В районе оз. Шотозеро наблюдается протяженный участок осиново-березовых лесов. Берега реки сухие, приподняты над водой на 2-4 м, местами и выше. В верхнем и среднем течении для р. Шуи характерно чередование плёсовых участков с порогами и перекатами.

1.3. Гидрографическая сеть

Бассейн реки Шуя насчитывает около 2,5 тысяч озер с площадью акватории более 1 км^2. Наиболее крупное из них озеро Сямозеро, его площадь зеркала 266 км^2. Озёрность водосбора составляет около 10%.

Река Шуя берёт начало из озера Суоярви и впадает в озеро Логмозеро, соединённое узким проливом с Петрозаводской губой Онежского озера. На своем пути река протекает через крупные озера Шотозеро и Вагатозеро. Длина реки 194 км, площадь бассейна 10,1 тыс. км^2. Основные притоки: Тарасйоки, Чална, Кутижма (правые); Пюхяйоки, Святрека, Вилга (левые) (рисунок 1.2).

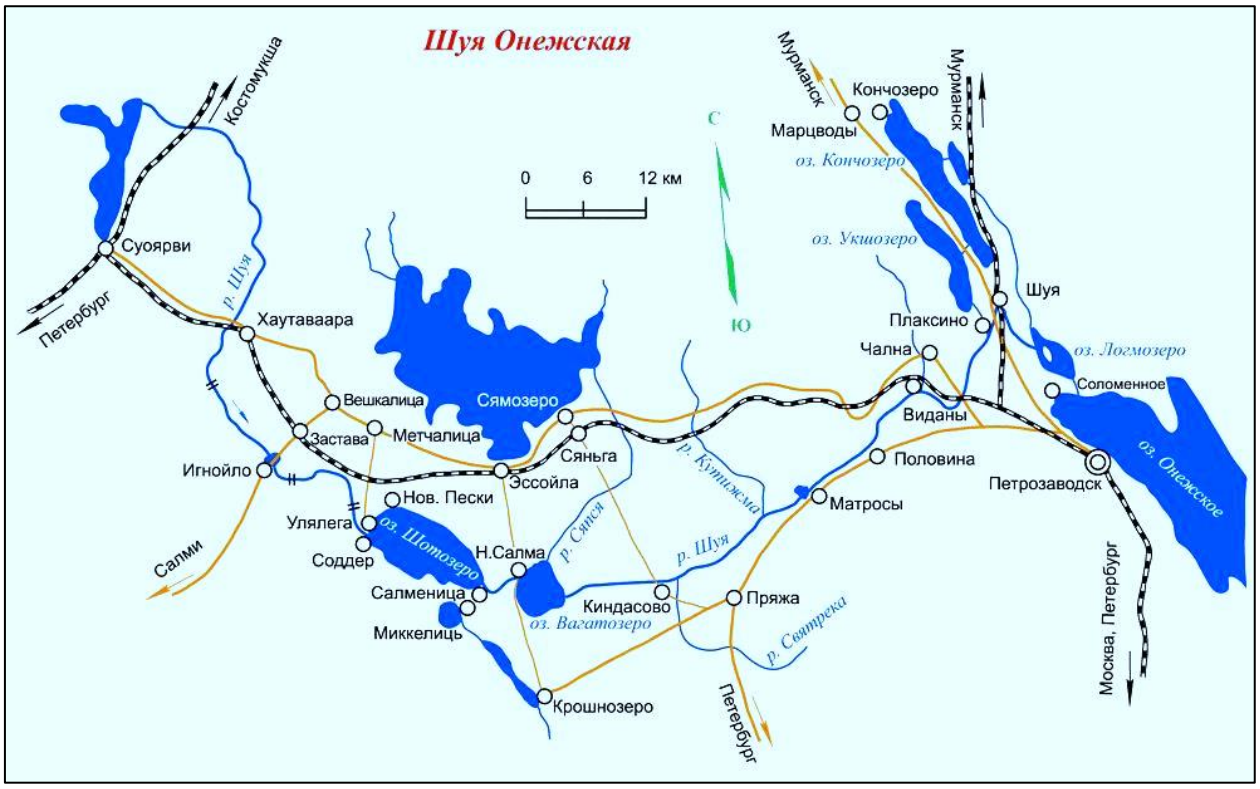


Рисунок 1.2 – Схема гидрографической сети в бассейне реки Шуя.

1.4. Климатическая характеристика

Зима в районе бассейна реки Шуя умеренно прохладная, длительная. Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Среднемесячная температура составляет -12°.Весна продолжительная, её начало наступает, когда происходит устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через нуль. В районе бассейна р. Шуя переход осуществляется в конце апреля. Весна характеризуется частыми возвращениями холодов и нередкими кратковременными установлениями снежного покрова. Лето на рассматриваемой территории Карелии наступает в конце мая. В начале лета нередко наблюдаются заморозки в первой декаде июня. Самым теплым месяцем в году является июль со средней температурой воздуха 14–15°. Осень на территории Карелии наступает в начале второй декады сентября. Предзимние месяцы (октябрь, ноябрь) характеризуются обильными дождями с мокрым снегом.

Район бассейна реки Шуя характеризуется избыточным увлажнением. Причинами этого служит небольшое количество прихода тепла и активная циклоническая деятельность. Относительная влажность в данном районе масс преобладает в течение всего года (80-90%). Наименьшая относительная влажность наблюдается в апреле-мае – 64-69%. За год выпадает около 600-700 мм осадков.

В настоящей работе основные климатические характеристики были рассчитаны по метеорологической станции г. Петрозаводск (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Схема расположения метеорологической станции г. Петрозаводск.

1.4.1. Температура воздуха

Исходные данные о температуре представлены в приложении А.

Холодный период на реках бассейна Шуи продолжается 5 месяцев (с ноября по март). Минимальная среднемесячная температура воздуха наблюдается в январе и составляет минус 8,3 С°. Максимальная среднемесячная температура воздуха наблюдается в июле: плюс 17 С° (рисунок 1.4).

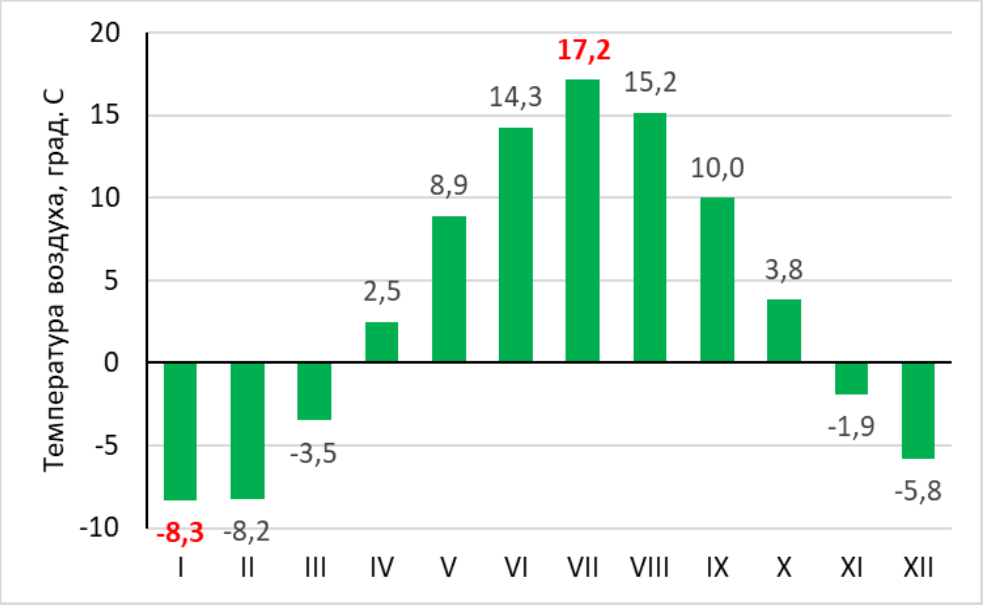


Рисунок 1.4 – Средние многолетние среднемесячные температуры воздуха за период с 1991 по 2023 г. по МС Петрозаводск

Ряд среднегодовых температур воздуха содержит значимый тренд на повышение (рисунок 1.5). Точка перелома на суммарной кривой приходится на начало 90-х годов XX века (рисунок 1.6-1.7).

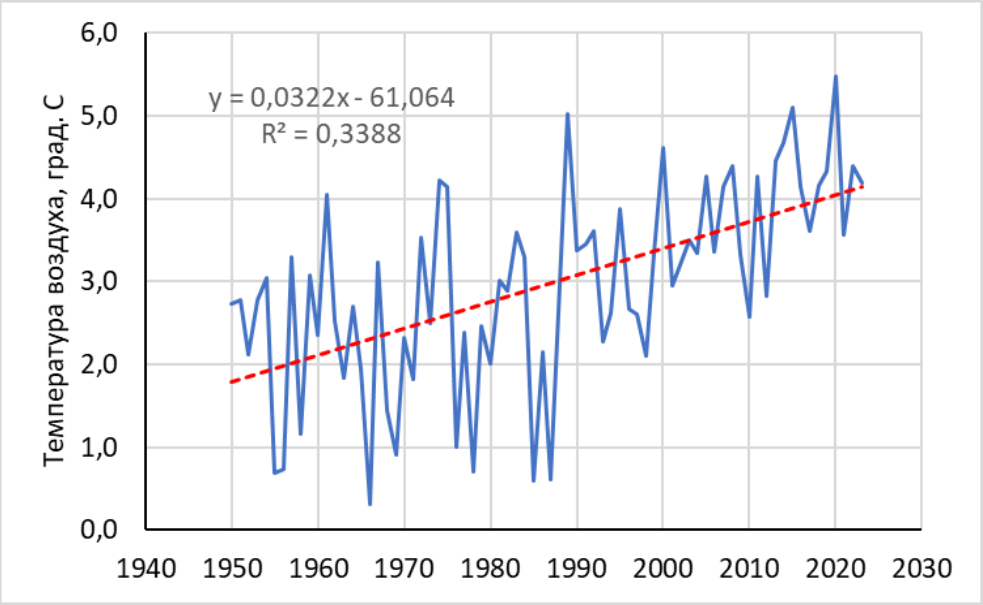


Рисунок 1.5 – Хронологический график среднегодовых температур по МС Петрозаводск.

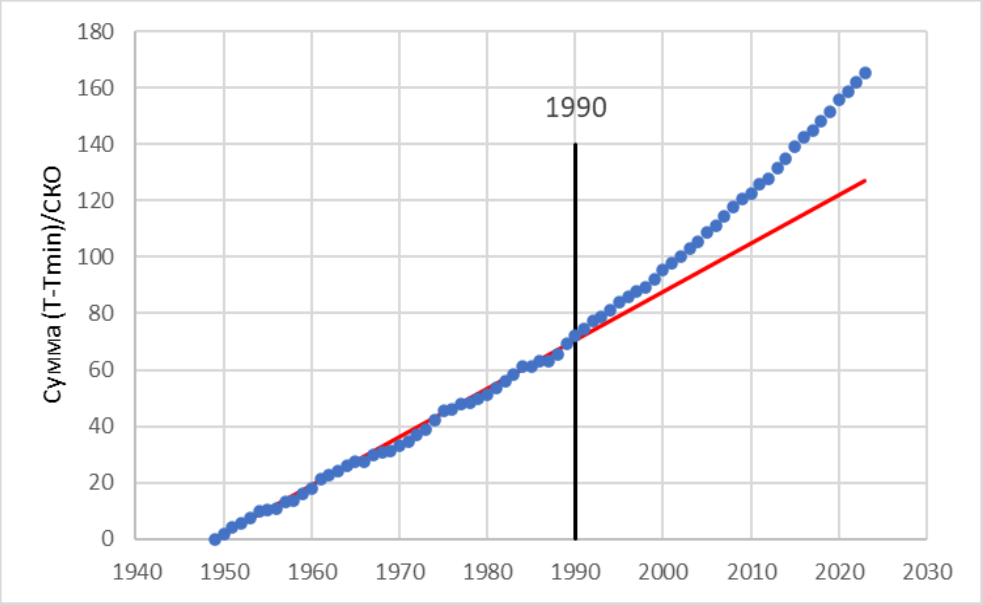


Рисунок 1.6 – Нормированная суммарная кривая среднегодовых температур воздуха по МС Петрозаводск.

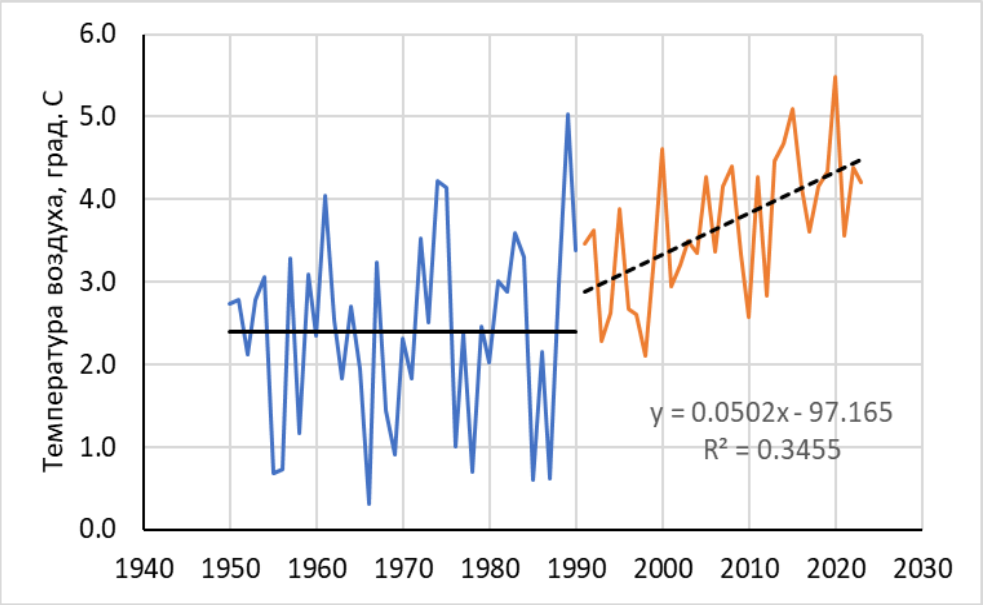


Рисунок 1.7 – Хронологический график среднегодовых температур по МС Петрозаводск; на интервале с 1950 по 1990 тренд незначим; на интервале с 1991 по 2023 г. тренд значим.

Повышение среднегодовой температуры произошло главным образом за счет потепления зим. За последние 33 года средняя температура холодного периода повысилась на 1,7 °С.

1.4.2. Атмосферные осадки

Исходные данные об осадках представлены в приложении Б.

Средняя многолетняя сумма осадков по метеостанции г. Петрозаводск за 1967-2023 составляет 629 мм.

Средняя многолетняя сумма осадков за холодный период (XI-III) – 196 мм, что составляет 31% от годовой суммы осадков. Суммарное количество осадков за теплый период (IV-X) – 433,3 мм (69%).

Самое большое количество осадков приходится на август, в среднем 61 мм. Наименьшее количество осадков выпадает в период февраля по апрель. (рисунок 1.8)

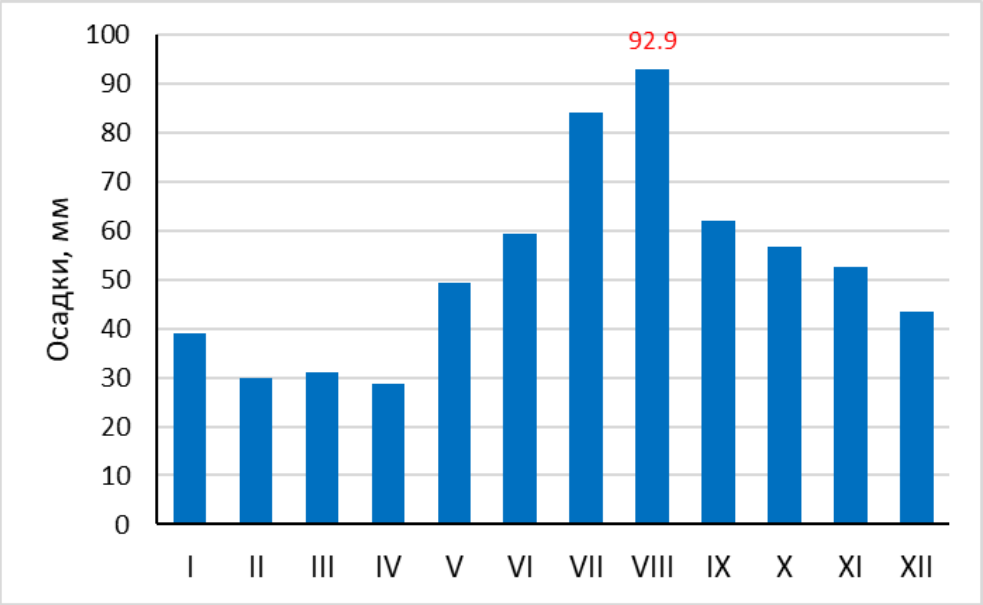


Рисунок 1.8 – Средние многолетние суммы осадков за период с 2001 по 2023 г. по МС Петрозаводск

Ряд сумм осадков имеет значимый тренд на повышение, интенсивность тренда 17 мм/10лет. (рисунок 1.9)

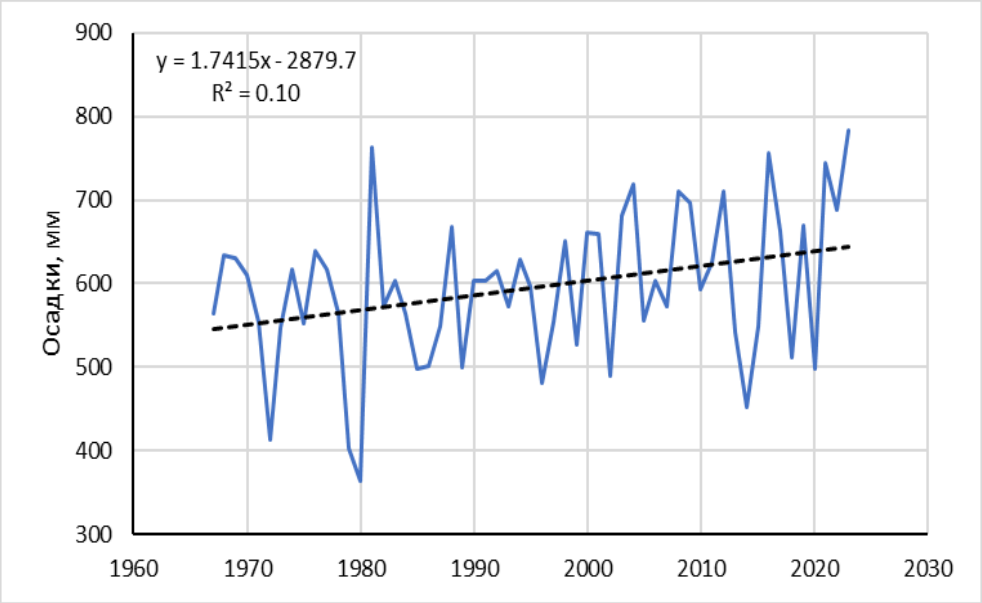


Рисунок 1.9 – Хронологический график сумм осадков по МС Петрозаводск.

Нарушение стационарности ряда пришлось на конец 90-х годов (рисунок 1.10), ряд распался на два квазистационарных периода – произошло скачкообразное изменение среднего значения. Среднее значение годовой суммы осадков за период с 2001 по 2023 выше, чем за предшествующий период на 58 мм (на 10%). При этом на интервалах с 1967 по 2000 г. и с 2001 по 2023 г. ряды стационарны (рисунок 1.11).

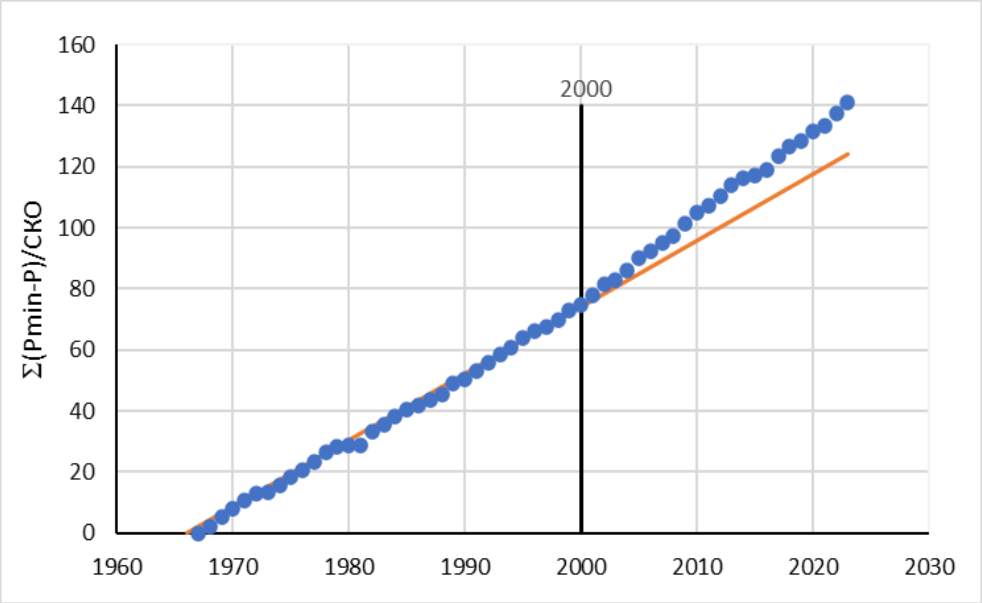


Рисунок 1.10 – Нормированная суммарная кривая сумм осадков по МС Петрозаводск за 1967–2023 г.

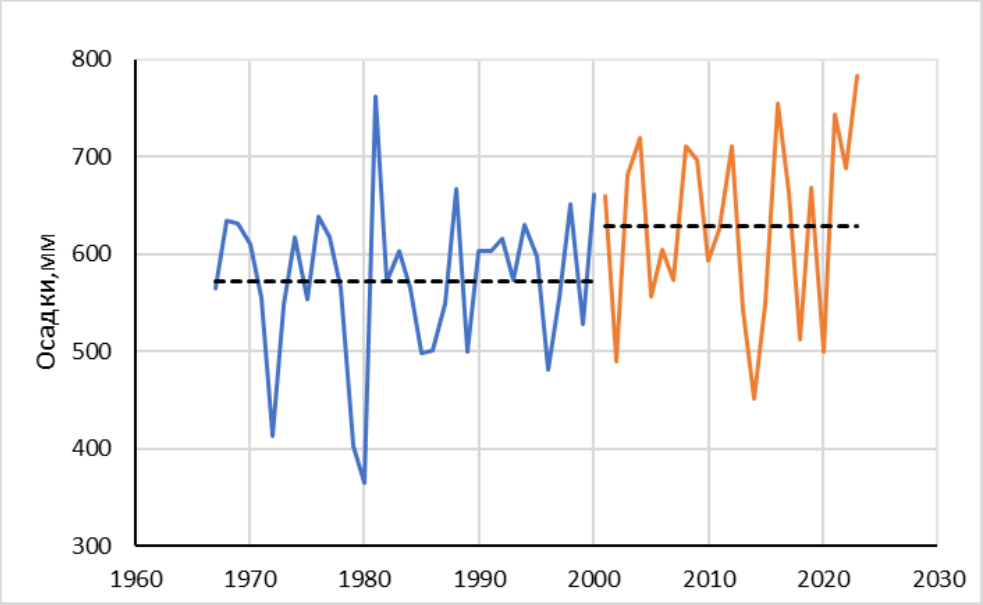


Рисунок 1.11 – Хронологический график годовых сумм осадков по МС Петрозаводск; на интервалах с 1967 по 2000 г. и с 2001 по 2023 г. тренд незначим.

Увеличение произошло для значений среднегодовых осадков и осадков за холодный период на интервале с 1967 по 2023 г. Осадки за теплый период не увеличились (рис. 1.12-1.13).

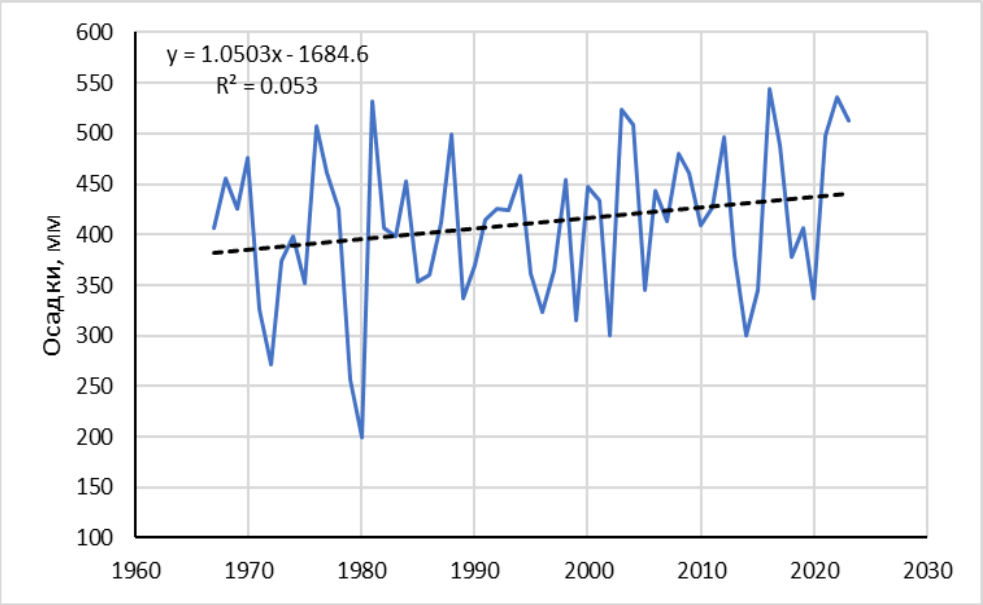


Рисунок 1.12 – Хронологический график сумм осадков за холодный период по МС Петрозаводск. (тренд значим)

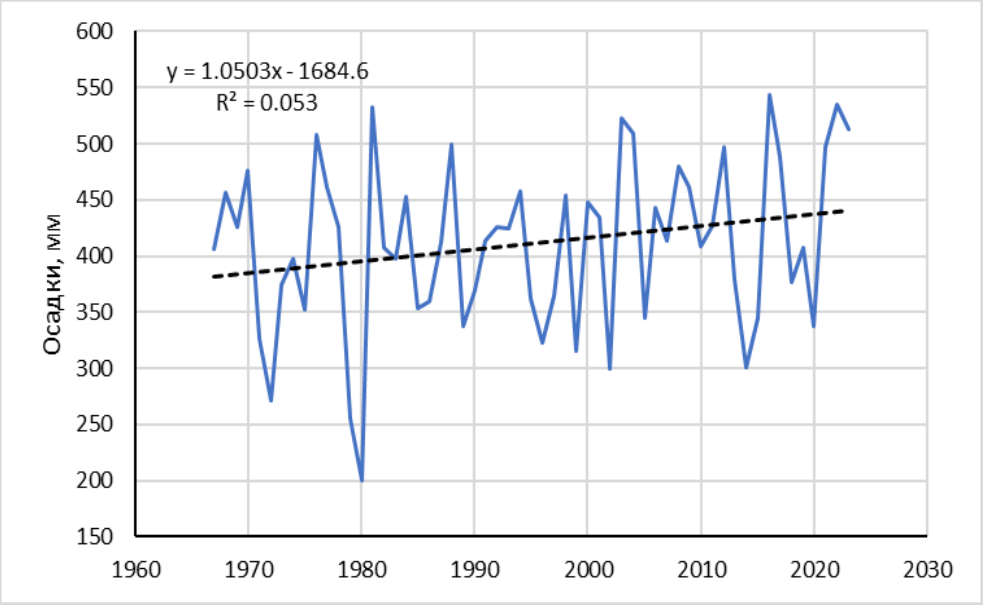


Рисунок 1.13 – Хронологический график сумм осадков за теплый период по МС Петрозаводск. (тренд не значим)

2. ПОДГОТОВКА И АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

2.1. Особенности водного режима рек бассейна р. Шуи

Река Шуя протекает на Юге Карелии. Питание рек водосбора Шуи – смешанное с преобладанием снегового. Для годового хода уровня воды характерно длительное весеннее половодье и дождевые паводки.

На рисунке 2.1 в качестве примера приведен гидрограф реки Шуи у деревни Бесовец за многоводный год (2008).

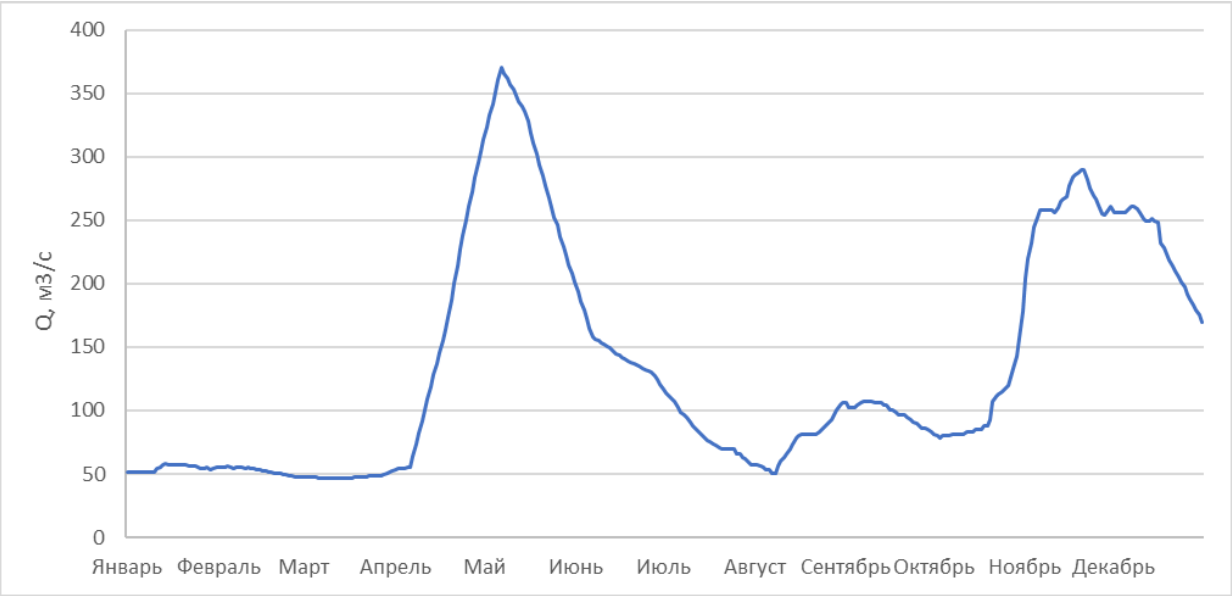


Рисунок 2.1 – Гидрограф реки Шуя – д. Бесовец за многоводный год (2008 г.)

На распределение весеннего, дождевого и грунтового стока влияют физико-географические факторы: рельеф, характер почво-грунтов, озёрность водосборов и расположение озёр по длине реки. Весеннее половодье является наиболее многоводной фазой и составляет 40-50% годового стока. Весеннее половодье, в основном, имеет один пик, исключением являются годы, когда наблюдается возвращение холодов, которое приводит к временному снижению интенсивности снеготаяния и спаду уровней воды с последующим повышением. На отдельных участках шугоносных рек почти ежегодно наблюдается два пика: первый в результате промыва шуги на вышележащих участках, второй – от снеготаяния.

Подъемы уровня воды от снеготаяния начинаются в среднем во второй декаде апреля. При случаях наступления ранней весны – в третьей декаде марта. Для весеннего половодья на реках рассматриваемой территории характерен сначала медленный подъём уровня, 5-15 см/сутки, затем интенсивность возрастает до 30-60 см/сутки. Подъём уровня воды на небольших реках имеет продолжительность 13-18 дней, на более крупных реках и реках с большим процентом озерности – 20-35 дней. Наивысших уровней половодье достигает в первой декаде мая, на больших реках и на

реках, вытекающих из озер, - во второй декаде мая. Пик половодья держится 1-3 дня. Спад половодья достаточно медленный, обычно продолжается от 30 до 60 дней, заканчивается в июле-августе в зависимости от характера реки. Общая продолжительность весеннего половодья в среднем 40-100 дней.

Летняя межень на большинстве рек водосбора реки Шуя начинается с конца спада весеннего половодья и нарушается дождевыми паводками. В некоторые годы подъемы от дождей по своей величине достигают, а иногда и превышают высшие уровни весеннего половодья. Наименьшие уровни воды летней межени отмечаются в августе-сентябре. На некоторых реках рассматриваемой территории в вегетационный период наблюдается зарастание русла водной растительностью, вызывающее подпор уровня воды. Осенне-зимний период в основном начинается в конце сентября – начале октября и сопровождается подъёмом уровня воды от дождей. На многих реках с появлением ледовых явлений образуются зажоры. На малых реках зажоры наблюдаются всю зиму. Для зимней межени характерен медленный спад уровней, характеризующий снижением стока. В некоторые годы плавный ход уровня воды нарушается незначительными подъемами от оттепелей и зажоров. Продолжительность зимней межени для большинства рек рассматриваемой территории 130- 150 дней. Низшие зимние уровни обычно наблюдаются в конце марта – начале апреля и являются самыми низкими за год.

2.2. Влияние на водный режим реки Шуя антропогенных факторов

2.2.1. Влияние Игнойлинской ГЭС на реке Шуя

На реке Шуя в черте посёлка Игнойла Суоярвского района расположена Игнойла ГЭС-26 (рисунок 2.2) [18]. Сооружение относится к категории малых ГЭС плотинно-деривационного типа [17].

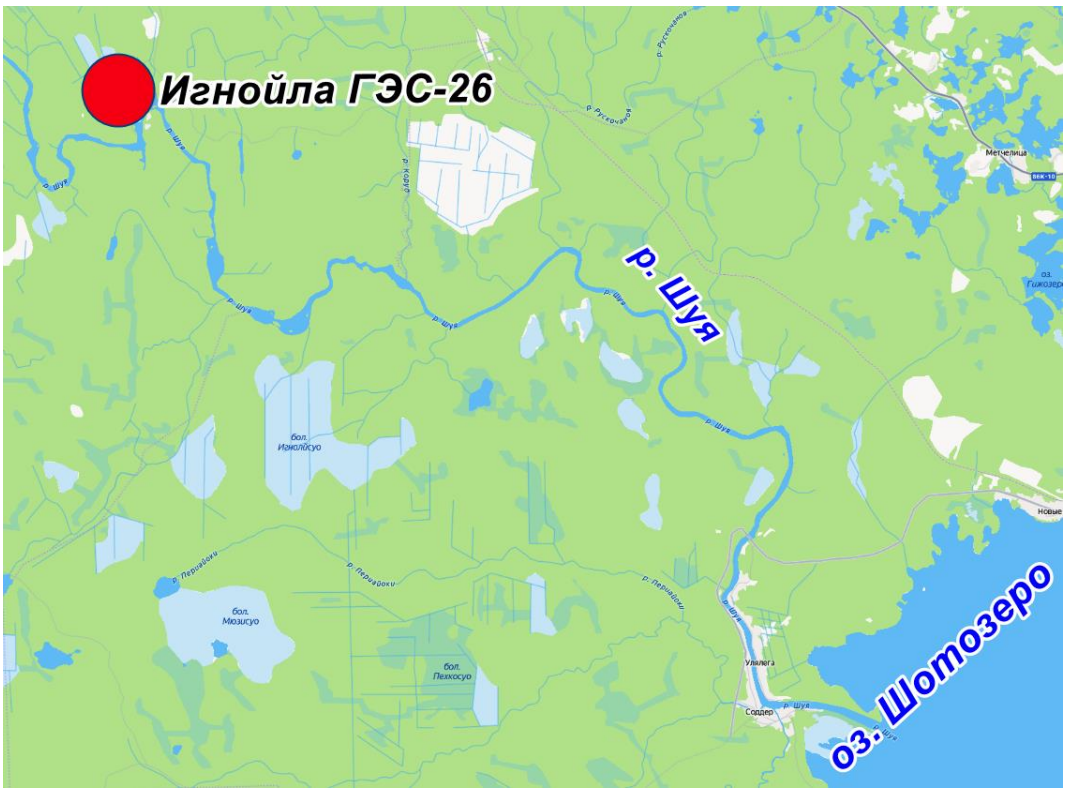


Рисунок 2.2 – Схема расположения Игнойла ГЭС-26 на реке Шуя.

ГЭС введена в эксплуатацию в 1936 году, в то время еще на территории Финляндии. Во время Великой Отечественной войны станция была частично разрушена, восстановление закончено в 1946 году. Гидроагрегат ГЭС был модернизирован в 1997-2002 годах с заменой камеры рабочего колеса. Осенью 2007 года на ГЭС было закончено строительство четырехступенчатого рыбохода лестничного типа, предназначенного для пропуска лососёвых рыб к нерестилищам. Собственник — ПАО «ТГК-1».

Мощность ГЭС – 2,7 МВт, среднегодовая выработка – 11 млн кВт. ч. В здании ГЭС установлен один гидроагрегат с поворотно-лопастной турбиной, работающей при расчетном напоре 8 м. Гидротурбина четырехлопастная, диаметр рабочего колеса 2,7 м, производства шведской фирмы KMW. Генератор производства фирмы ASEA.

ГЭС не оказывает существенного влияния на водный режим реки Шуя. В период половодий и паводков большая часть воды поступает в нижний бьеф

через водосброс (рисунок 2.3). В меженные периоды, когда сток низкий водосброс не действует – вся вода проходит через турбины ГЭС.



Рисунок 2.3 – Плотина и здание гидроэлектростанции Игнойла ГЭС-26 на реке Шуя.

2.2.2. Влияние на водный р. Шуи Онежского озера

Одной из особенностей реки Шуя является то, что в нижнем течении реки может наблюдаться смена направления течения с прямого на обратное.

Объяснение этому явлению следующее. В результате строительства плотины на реке Свирь (1953 г.) Онежское озеро стало частью Верхнесвирского водохранилища, которое относится к категории водохранилищ многолетнего регулирования. Средний уровень воды в озере поднялся примерно на 0,3 м. В настоящее время уровень Онежского озера регулируется плотиной верхнесвирской ГЭС и может существенно повышаться или понижаться в зависимости от водосброса. При подъеме уровня в Онежском озере на устьевом участке реки Шуя могут возникать

обратные уклоны, и река начинает течь вспять – из озера Логмозеро в Укшозеро (рисунок 2.4).

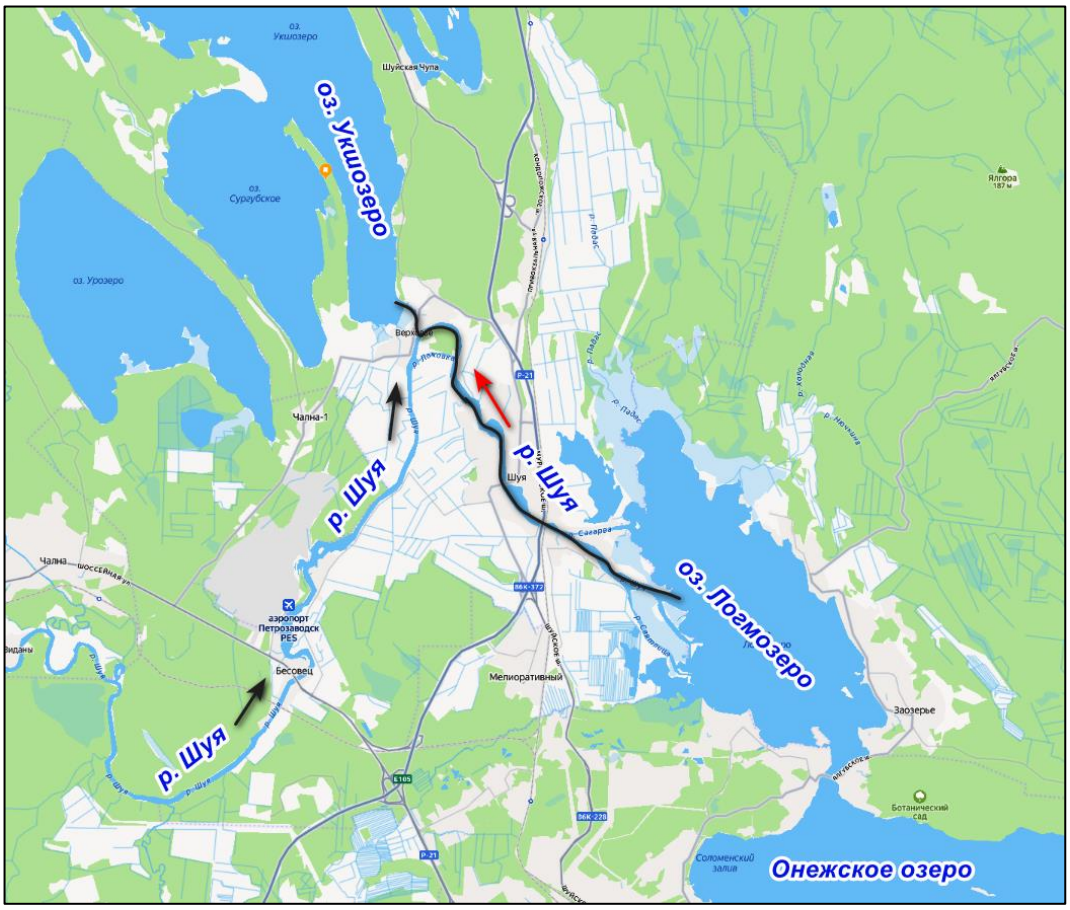


Рисунок 2.4 – Схема смены направления течения на реке Шуя при повышении уровня Онежского озера.

Через некоторое время уровни озер выравниваются, и озерно-речная система приходит в нормальное состояние. Такое явление наблюдается 15-20 раз в год.

2.3. Исходные данные

Для анализа были использованы данные по 7 гидрологическим постам, расположенным в бассейне реки Шуя и на реках, впадающих в Онежское озеро вблизи города Петрозаводска. Сведения о постах даны в таблицах 2.1-2.2, схема расположения постов представлена на рисунке 2.5.

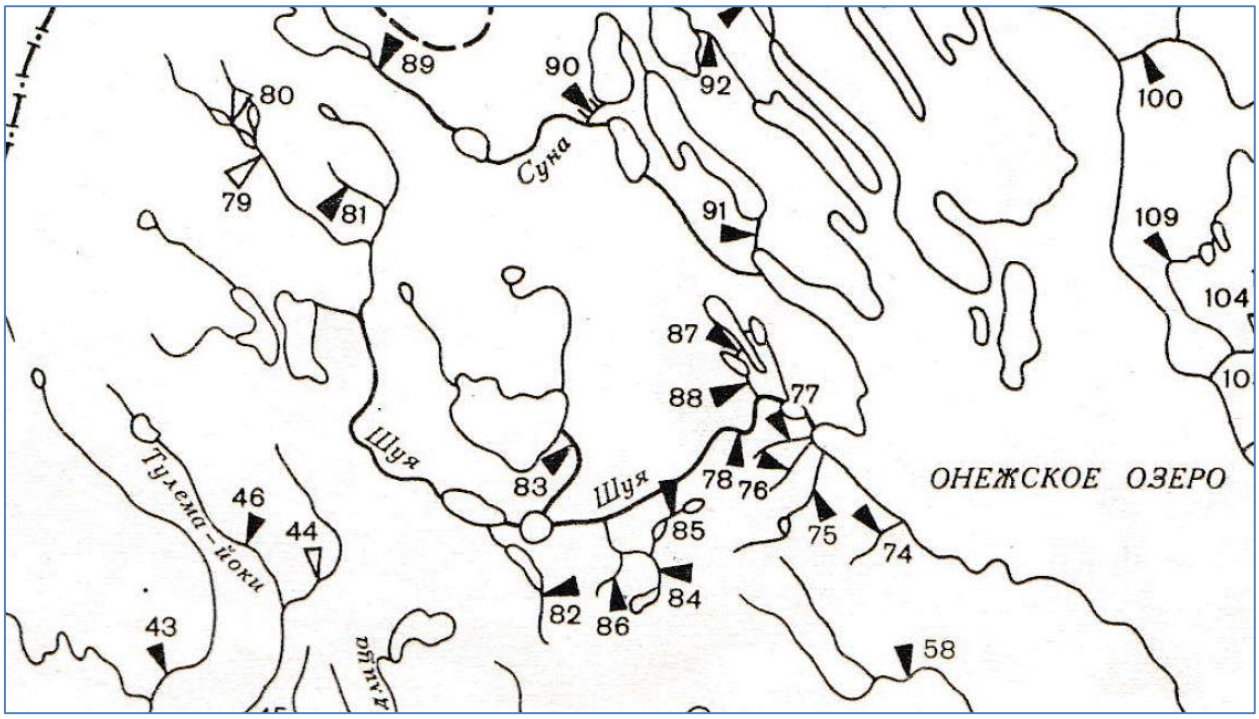


Рисунок 2.5 – Схема расположения гидрологических постов в районе исследований.

Таблица 2.1 – Список гидрологических постов

№ МДС	Код поста	Река – пост	Расстояние, км		F, км^2	Период действия
			от истока	от устья		
75	48006	Лососинка – г. Петрозаводск	16,0	9,1	276	Действ.
76	48011	Неглинка – г. Петрозаводск	13,0	1,10	43,3	Действ.
78	48021	Шуя – д. Бесовец	183	11,0	9560	Действ.
82	48028	Пета-Оя – с. Короншозеро	11,0	50	68,6	Действ.
83	48029	Сяньга – д. Чуралахта	1,00	35,0	1610	Действ
84	48030	Святрека – пгт Пряжа	11,0	17,0	355	Действ.
89	48038	Суна – пгт Поросозеро	125.	155	3370	Действ.

Таблица 2.2 – Основные гидрографические характеристики рек в створе постов

№ МДС	Код поста	Река – пост	F, км^2	I, ‰	$f_{оз}$, %	$f_{л}$, %	$f_{б}$, %
75	48006	Лососинка – г. Петрозаводск	276	4,0	7	83	10
76	48011	Неглинка – г. Петрозаводск	43,3	8,9	<1	85	14
78	48021	Шуя – д. Бесовец	9560	0,69	10	71	19
82	48028	Пета-Оя – с. Короншозеро	68,6	5,91	11	81	8
83	48029	Сяньга – д. Чуралахта	1610	1,20	23	66	11
84	48030	Святрека – пгт Пряжа	355	4,80	8	86	6
89	48038	Суна – пгт Поросозеро	3370	1,60	14	68	18

2.4. Описание гидрологических постов

Река Лососинка– г. Петрозаводск

Река Лососинка впадает в Онежское озеро. На истоке р. Лососинка находится земляная насыпная плотина с водохранилищем. Пост расположен в центре города. Прилегающая местность – слабо всхолмлённая равнина, которая занята городскими постройками. Долина реки преимущественно трапецеидальная. Русло реки извилистое, песчано-каменистое, почти не зарастает. Берега низкие, на участке поста левый берег укреплен бетонными плитами. Естественный режим уровня искажается работой плотин, расположенных выше поста. Пост свайного типа, отметка нуля поста 56, 50 м БС. Площадь водосбора в створе поста 276 км^2. В р. Лососинка осуществляется сброс сточных вод.

Река Неглинка – г. Петрозаводск

Река Неглинка впадает в Онежское озеро. Пост расположен в городе, на левом берегу, состоит из свай и репера. Отметка нуля поста 41,50 м БС.

Долина реки ярко выражена, с крутыми, высокими склонами. Русло слабоизвилистое, каменистое, с берегами, сливающимися со склонами долины, сложенными супесями и песками. Ледостав на участке поста образуется только в суровые зимы, в течение зимы наблюдаются забереги. Площадь водосбора в створе поста 43,3 км^2. В р. Неглинка осуществляется сброс сточных вод.

Река. Пета-Оя – с. Крошнозеро

Река Пета-Оя впадает в озеро Крошнозеро. Пост расположен на западной окраине села на правом берегу, оборудован реперами и сваями. Прилегающая местность – холмистая равнина, поросшая смешанным лесом, заболоченная. Долина реки неявно выражена. Дно русла – суглинок с валунами, покрытыми илом. Отметка нуля поста – 95,80 м БС. Площадь водосбора в створе поста 68,6 км^2.

Река Сяньга – д. Чуралахта

Река Сяньга впадает в озеро Вагатозеро. Пост расположен в 1 км к северо-востоку от деревни и в километре от оз. Сямозеро. Пост расположен на правом берегу, состоит из свай и репера. Отметка нуля поста 105,55 м БС.

Пост находится на всхолмленной равнине, поросшей смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Долина реки неясно выражена, склоны ее сливаются с берегами русла. Русло прямолинейное песчано-илистое, с невысокими, сложенными песками. Правый берег – крутой, левый с пологими берегами, поросшими лесом и кустарником. На ход уровня влияют ветровые нагоны из оз. Сямозеро. Для зимы характерны забереги, ледостав образуется только в очень холодные зимы. В истоке из озера и в 400 м ниже поста у моста образуются заторы льда. Площадь водосбора в створе поста 1610 км^2.

Река Святрека – пгт. Пряжа

Река Святрека впадает в реку Шуя. Пост свайный, с реперами, расположен на левом берегу к юго-западу от поселка в 200 м выше автодорожного моста. Отметка нуля поста 97,36 м БС.

Прилегающая местность – слабовсхолмлённая равнина, сложенная супесчаными и суглинистыми грунтами, местами заболоченная, поросшая смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Долина реки ясно выражена, с правобережной поймой. Русло слабоизвилистое, супесчаное. Правый берег высокий, поросший смешанным лесом, левый – низкий, затопляемый. Площадь водосбора в створе поста 355 км^2.

Река Шуя – д. Бесовец

Река Шуя впадает в Онежское озеро. Пост расположен на правом берегу в 1 км ниже д. Нижний Бесовец. Состоит из свай и реперов. Отметка нуля поста – 33,46 м БС.

Прилегающая местность – слегка всхолмленная равнина, поросшая смешанным лесом, заболоченная, сложенная супесями и суглинками, местами глинами. Долина реки характерно выражена, с крутыми, высокими склонами. Русло прямолинейное песчано-глинистое, с берегами, сложенными глинами и суглинками, которые сливаются со склонами долины. Правый берег покрыт травяной растительностью, левый – смешанным лесом. На участке поста наблюдаются заторы и зажоры льда. Площадь водосбора в створе поста 9560 км^2.

Река Суна – пгт. Поросозеро

Река Суна впадает в Онежское озеро. Пост свайный, с реперами, расположен на левом берегу в 0,6 км к югу от поселка, в 3 км ниже железнодорожного моста. Отметка нуля поста 162,75 м БС.

Прилегающая местность – холмистая равнина, сложенная песчано-каменистыми грунтами, поросшая смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Долина реки с правым крутым склоном и левым – пологим. Русло реки представляет собой чередование сужений и озеровидных расширений. В 150 м ниже поста находится остров. Площадь водосбора в створе поста 3370 км^2.

2.5. Приведение коротких гидрологических рядов к многолетнему периоду

Восстановление рядов производится для того, чтобы привести данные наблюдений к многолетнему периоду при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

В данном случае восстанавливаются ряды гидрометрических наблюдений при наличии короткого ряда наблюдений продолжительность 6 лет и более.

Ряд считается коротким, если погрешность среднего значения и коэффициента вариации не превышает 10% для среднегодовых расходов воды и 20% – для минимальных и максимальных. В таком случае для расчета применяется метод гидрологической аналогии.

При выборе рек-аналогов необходимо учитывать следующие условия:

- географическую близость расположения водосборов;
- сходство климатических условий;
- однотипность почв и гидрогеологический условий;
- сходство гидрографических характеристик;
- средние высоты водосборов не должны отличаться; площадь реки-аналога не должна отличаться более чем в 10 раз;
- отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока и др.).

Для проверки синхронности колебаний расходов на расчетной реке и реке – аналоге строятся совмещенные хронологические графики.

Далее строится график связи расходов расчетной реки и реки-аналога за совместный период наблюдений. Пример графика связи представлен на рисунке 2.6.

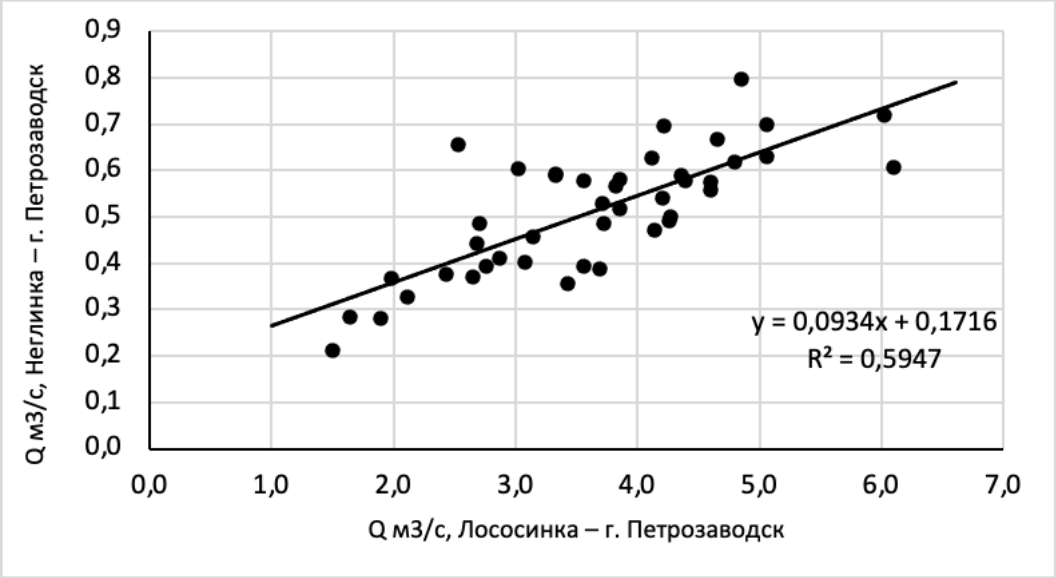


Рисунок 2.6 – График связи среднегодовых расходов воды р. Неглинка – г. Петрозаводск и р. Лососинка – г. Петрозаводск.

Затем производятся вычисления значений параметров уравнения линейной регрессии (таблица 2.3). Уравнение является надежным, если выполняются условия:

$$n \geq 6\text{-}10; \quad R \geq 0{,}7; \quad \frac{R}{\sigma_R} > 2; \quad \frac{a}{\sigma_a} > 2. \qquad (2.1)$$

Таблица 2.3 – Формулы для расчета параметров уравнения линейной регрессии

Параметр	Формула
Коэффициент корреляции, R	$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{(n-1)\sigma_x\sigma_y}$
Погрешность коэффициента корреляции, σ_R	$\sigma_R = \frac{1-R^2}{\sqrt{n-1}}$
Коэффициент регрессии, a	$a = R\frac{\sigma_y}{\sigma_x}$
Погрешность коэффициента регрессии, σ_a	$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}\sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}$

Параметр	Формула
Свободный член, b	$b = \overline{y} - a\overline{x}$
Уравнение регрессии	$y = ax + b$

Восстановление ряда производится с помощью уравнения линейной регрессии с использованием данных реки-аналога по формуле:

$$\tilde{Q}_i = aQ_{i,a} + b. \quad (2.2)$$

Систематическое преуменьшение дисперсии восстановленной части ряда исключается путем корректировки значений по формуле:

$$Q_i = \frac{\tilde{Q}_i - \bar{Q}_n}{R} + \bar{Q}_n\ , \quad (2.3)$$

где Q_i – расчетные значения расходов воды в восстановленной части ряда; $Q_{i,a}$ – значение расхода воды в i-том году на реке-аналоге; $\tilde{Q}_i$ – значение расхода воды расчетной реки в i-том, полученное по уравнению линейной регрессии; $\bar{Q}_n$ – среднее значение расхода воды на расчетной реке за совместный период наблюдений.

С использованием изложенной методики было произведено восстановление рядов среднегодовых, максимальных и минимальных расходов воды.

2.5.1. Восстановление рядов среднегодовых расходов воды

Для удобства выбора рек-аналогов была построена пространственная корреляционная матрица (таблица 2.4). Номера постов в таблице соответствуют номерам в таблице 2.1. Красным цветом выделены коэффициенты парной корреляции, удовлетворяющие условию $R > 0{,}7$.

Таблица 2.4 – Пространственная корреляционная матрица для среднегодовых расходов воды

№	*48006*	*48011*	*48021*	*48028*	*48059*	*48030*	*48038*
48006	1						
48011	0,77	1					

№	*48006*	*48011*	*48021*	*48028*	*48059*	*48030*	*48038*
48021	0,68	0,66	1				
48028	0,37	0,44	0,79	1			
48059	0,48	0,35	0,79	0,59	1		
48030	0,82	0,66	0,80	0,66	0,63	1	
48038	0,57	0,46	0,82	0,52	0,77	0,57	1

Всего было восстановлено 5 рядов. Параметры уравнений линейной регрессии представлены в таблице 2.5. Графики связи приводятся в приложении В.

Таблица 2.5 – Параметры уравнения линейной регрессии среднегодовых расходов воды

Расчетная река	Река-аналог	Совместный период набл.	*R*	Параметры уравнения регрессии	
				a	*b*
р.Неглинка– г.Петрозаводск	р. Лососинка – г.Петрозаводск	1971-2013	0,77	0,0934	0,1716
р. Пета-Оя – с. Короншозеро	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,79	0,008	0,0274
р. Сяньга – д. Чуралахта	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,79	0,1486	0,8534
р. Святрека – пгт. Пряжа	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,8	0,0468	-0,4362
р. Суна – пгт. Поросозеро	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,82	0,2924	9,7377

Примеры хронологических графиков восстановленных рядов приведены на рисунках 2.7-2.9.

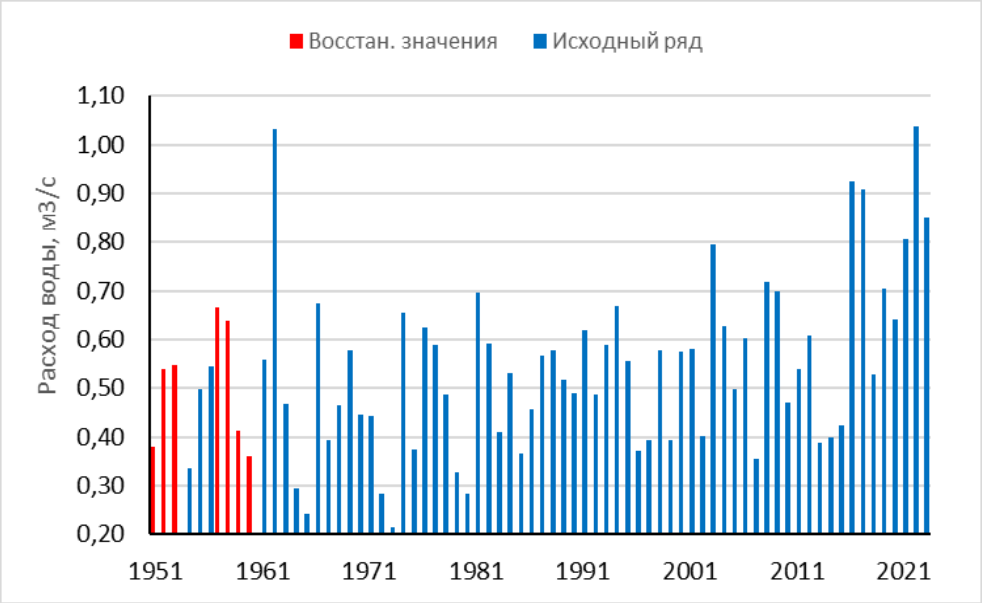


Рисунок 2.7 – Хронологический график среднегодовых расходов воды; р. Неглинка – г. Петрозаводск; число восстановленных расходов – 7.



Рисунок 2.8 – Хронологический график среднегодовых расходов воды; р. Святрека – пгт. Пряжа; число восстановленных расходов – 9.



Рисунок 2.9 – Хронологический график среднегодовых расходов воды; р. Пета-Оя – с. Кореншозеро Петрозаводск; число восстановленных расходов – 35.

2.5.2. Восстановление рядов максимальных расходов весеннего половодья

Для выбора аналогов была построены пространственная корреляционная матрица (таблица 2.6). Номера постов в таблице соответствуют номерам в таблице 2.1. Красным цветом выделены коэффициенты парной корреляции, удовлетворяющие условию $R > 0{,}7$.

Таблица 2.6 – Пространственная корреляционная матрица для максимальных расходов воды весеннего половодья

	_48006	*_48011*	*_48021*	*_48028*	*_48029*	*_48030*	*_48038*
_48006	1						
_48011	0.59	1					
_48021	0.43	0.32	1				
_48028	0.50	0.46	0.85	1			
_48029	0.24	0.15	0.73	0.60	1		
_48030	0.47	0.38	0.75	0.87	0.57	1	
_48038	0.28	0.19	0.83	0.65	0.75	0.65	1

Всего было восстановлено 3 ряда расходов весеннего половодья. Параметры уравнений линейной регрессии представлены в таблице 2.7. Графики связи приводятся в приложении Г.

Таблица 2.7 – Параметры уравнения линейной регрессии расходов весеннего половодья

Расчетная река	Река-аналог	Совместный период набл.	*R*	Параметры уравнения регрессии	
				a	*b*
р. Пета-Оя – с. Короншозеро	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,85	0,0123	0,1658
р. Сяньга – д. Чуралахта	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,70	0,064	6,8282
р. Святрека – пгт. Пряжа	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,78	0,0902	0,861

Примеры хронологических графиков восстановленных рядов приведены на рисунках 2.10–2.11.

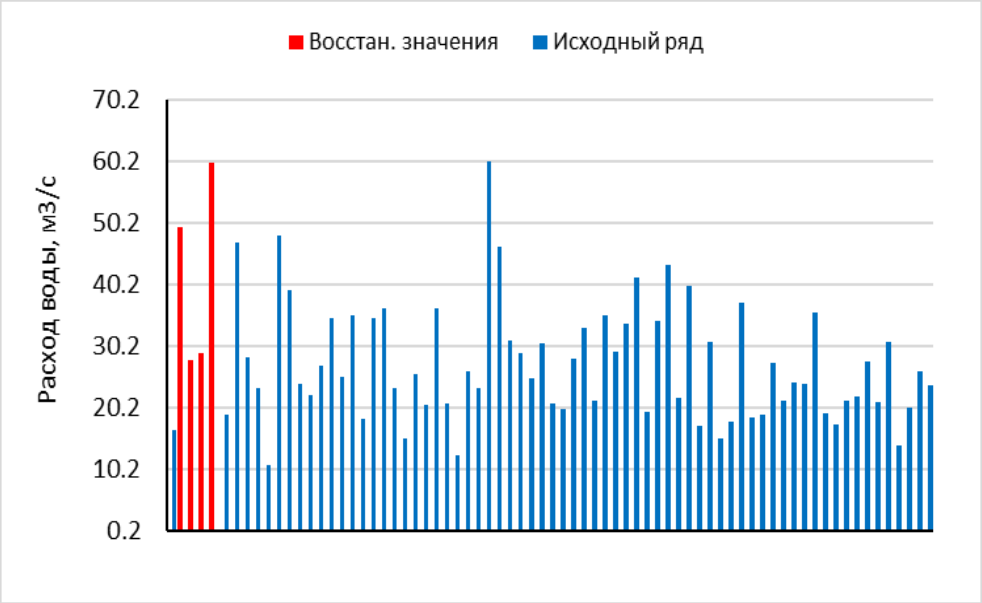


Рисунок 2.10 - Хронологический график расходов воды весеннего половодья; р. Святрека – пгт. Пряжа; число восстановленных расходов – 4.

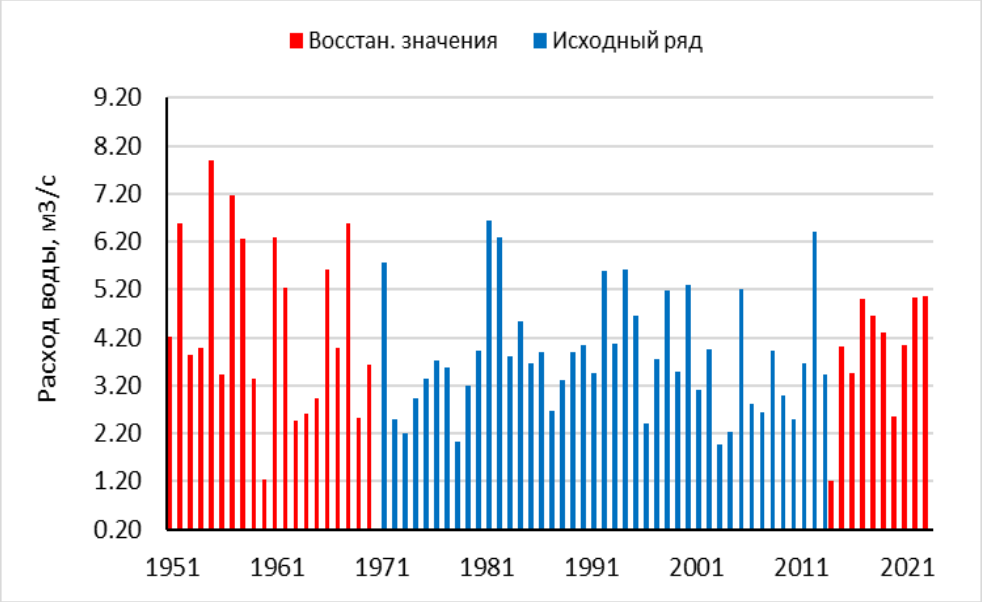


Рисунок 2.11 Хронологический график расходов воды весеннего половодья; р. Пета-Оя – с. Кореншозеро; число восстановленных расходов – 30.

2.5.3. Восстановление рядов минимальных суточных летне-осенних расходов воды

Для выбора аналогов была построены пространственная корреляционная матрица (таблица 2.8). Номера постов в таблице

соответствуют номерам в таблице 2.1. Красным цветом выделены коэффициенты парной корреляции, удовлетворяющие условию $R > 0{,}7$.

Таблица 2.8 – Пространственная корреляционная матрица для минимальных летне-осенних расходов

	_48006	*_48011*	*_48021*	*_48028*	*_48029*	*_48030*	*_48038*
_48006	1						
_48011	0.22	1					
_48021	0.54	0.38	1				
_48028	0.69	0.46	0.76	1			
_48029	0.58	0.26	0.86	0.64	1		
_48030	0.52	0.35	0.87	0.75	0.79	1	
_48038	0.52	0.45	0.86	0.65	0.82	0.81	1

Всего было восстановлено 3 ряда расходов весеннего половодья. Параметры уравнений линейной регрессии представлены в таблице 2.9. Графики связи приводятся в приложении Д.

Таблица 2.9 – Параметры уравнения линейной регрессии минимальных летние-осенних расходов

Расчетная река	Река-аналог	Совместный период набл.	*R*	Параметры уравнения регрессии	
				a	*b*
р. Пета-Оя – с. Короншозеро	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,76	0,0049	-0,009
р. Сяньга – д. Чуралахта	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,77	0,1702	1,8711
р. Святрека – пгт. Пряжа	р. Шуя – д. Бесовец	1971-2013	0,81	0,0266	-0,1397

Примеры хронологических графиков восстановленных рядов приведены на рисунках 2.12-2.13.

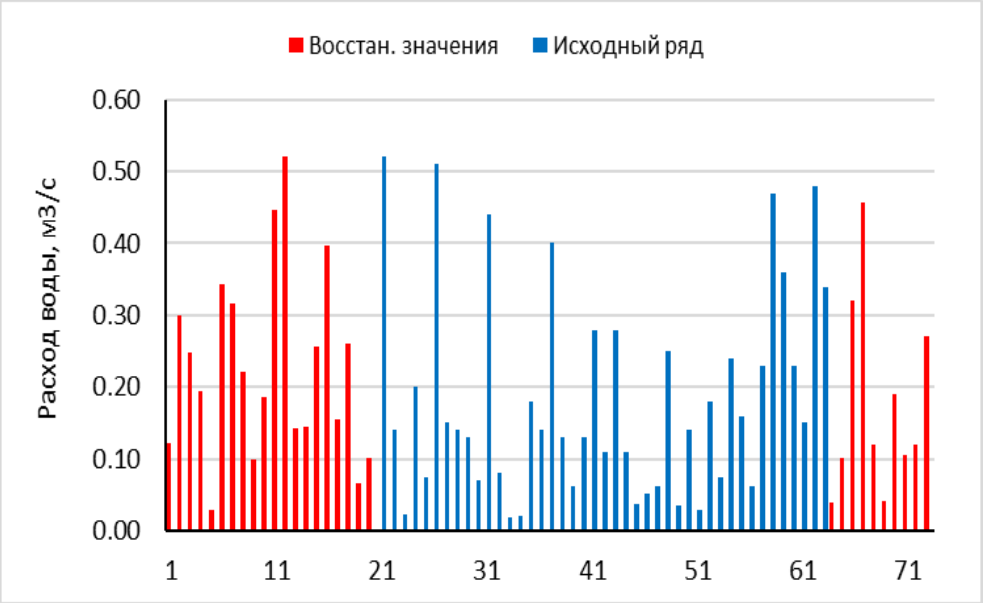


Рисунок 2.12 - Хронологический график минимальных летне-осенних расходов; р. Пета-Оя – с. Короншозеро; число восстановленных расходов – 30.

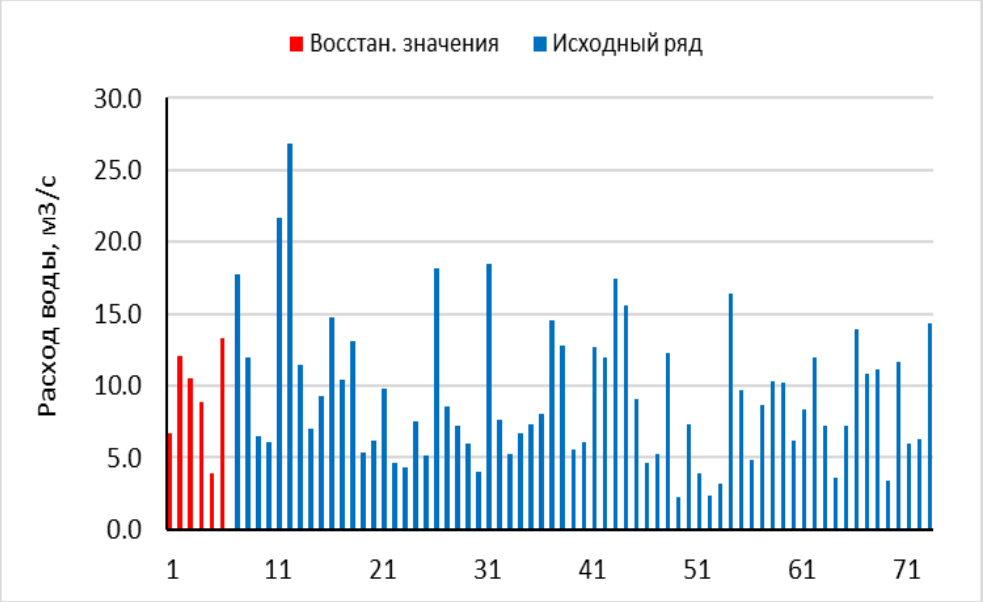


Рисунок 2.13 - Хронологический график минимальных летне-осенних расходов; р. Сяньга – д. Чуралахта; число восстановленных расходов – 6.

3. ПРОВЕРКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ И СТАЦИОНАРНОСТЬ

3.1. Описание расчетных методик

3.1.1. Проверка рядов на однородность с использованием двухвыборочного критерия Стьюдента

Критерий Стьюдента используется для проверки значимости различия средних значений двух частей ряда.

Эмпирическое значение статистики Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t^* = \frac{x_1 - x_2}{S}\sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (3.1)$$

где x_1, x_2 – средние значения по двум частям ряда; n_1, n_2 – длина первой и второй частей ряда; S – несмещенная оценка среднеквадратического отклонения (x_1-x_2), определяемая по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\,\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}, \quad (3.2)$$

где σ_1, σ_2 – среднеквадратические отклонения по двум частям ряда.

Гипотеза об однородности по критерию Стьюдента не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha}\,, \quad (3.3)$$

где $t_{2\alpha}$ – критическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ (с учетом автокорреляции).

3.1.2. Проверка рядов на однородность с использованием двухвыборочного критерия Фишера

Критерий Фишера позволяет оценить однородность ряда по дисперсии. Критерий рассчитывался по формуле:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*}, \quad (3.4)$$

где D^*_1 и D^*_2 – дисперсии по двум частям ряда, при условии, что первой дисперсией выступает та, которая больше.

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась при выполнении условия:

$$F^* < F_{2\alpha}\,, \tag{3.5}$$

где $F_{2\alpha}$ – критическое значение статистики Фишера при уровне значимости 2α = 5% (с учетом автокорреляции).

3.1.3. Проверка рядов на значимость линейного тренда

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $Q = at + b$. Тренд считался значимым если выполнялось условие:

$$\frac{|\mathrm{R}|}{\sigma_{\mathrm{R}}} < t_{2\alpha}, \tag{3.6}$$

где σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции определяется по формуле:

$$\sigma_{\mathrm{R}} = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}, \tag{3.7}$$

где R – коэффициент корреляции; $t_{2\alpha}$ - ордината стандартного распределения Стьюдента при уровне значимости 2α и числе степеней свободы (n – 2).

3.2. Проверка рядов среднегодовых расходов воды

Проверка рядов среднегодовых расходов воды на однородность и стационарность проводилась в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.1. Результаты проверки представлены в таблицах 3.1-3.2.

Таблица 3.1 – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды на однородность при уровне значимости 2α = 5%

№	Река – пост	n	$\lvert t^* \rvert$	$t_{2\alpha}$	F^*	$F_{2\alpha}$	Опровержение гипотезы об однородности (⊕)	
							Стьюдент	Фишер
1	Лососинка – г. Петрозаводск	73	4,00	1,99	1,14	1,95	⊕	–
2	Неглинка – г. Петрозаводск	73	2,78	1,99	1,03	2,00	⊕	–
3	Шуя – д. Бесовец	73	0,02	1,99	1,08	1,95	–	–
4	Пета-Оя – с. Кореншозеро	73	1,34	1,99	1,36	1,95	–	–
5	Сяньга – д. Чуралахта	73	0,04	1,99	1	1,95	–	–
6	Святрека – пгт Пряжа	73	2,15	1,99	1,29	1,95	–	–
7	Суна – пгт Поросозеро	73	0,83	1,98	1,73	1,95	–	–

Таблица 3.2 – Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов воды за весь период наблюдений при уровне значимости 2α = 5%

№	Река – пост	F, км^2	R	t^*	$t_{2\alpha}$	Тренд	
						значимость	интенсивность, м^3/с за 10 лет
1	Лососинка – г. Петрозаводск	276	0,31	2,77	1,99	значим	+ 0,16
2	Неглинка – г. Петрозаводск	43,3	0,14	1,22	1,99	не значим	0
3	Шуя – д. Бесовец	9560	0,02	0,15	1,99	не значим	0
4	Пета-Оя – с. Кореншозеро	68,6	0,07	0,59	1,99	не значим	0
5	Сяньга – д. Чуралахта	1610	0,05	0,43	1,99	не значим	0
6	Святрека – пгт Пряжа	355	0,26	2,31	1,99	значим	+ 0,15
7	Суна – пгт Поросозеро	3370	0,07	0,83	1,99	не значим	0

Как видно из таблиц, для двух рядов из 7 гипотеза об однородности рядов годового стока опровергается по критерию Стьюдента (Лососинка – г. Петрозаводск; Неглинка – г. Петрозаводск).

Выявлен значимый тренд на повышение у двух рядов (р. Лососинка – г. Петрозаводск, р. Святрека – пгт Пряжа), происходит рост среднегодового стока, рост обусловлен увеличением осадков. На р. Лососинка точка перелома приходится на 2000 г. (рисунок 3.1). Ряд распался на два квазистационарных периода (рисунок 3.2).

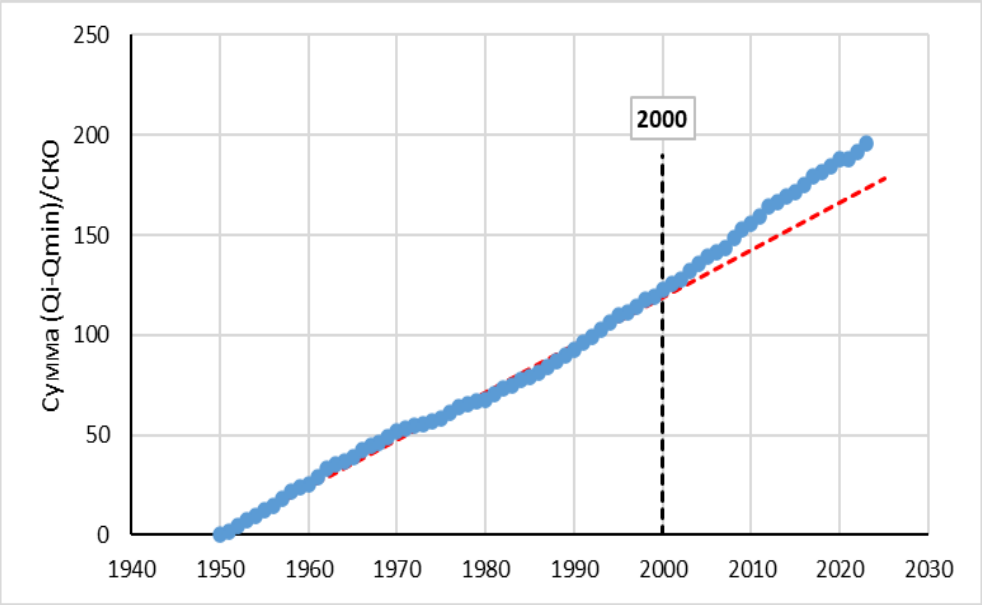


Рисунок 3.1 – Нормированная суммарная кривая среднегодовых расходов; р. Лососинка – г. Петрозаводск.

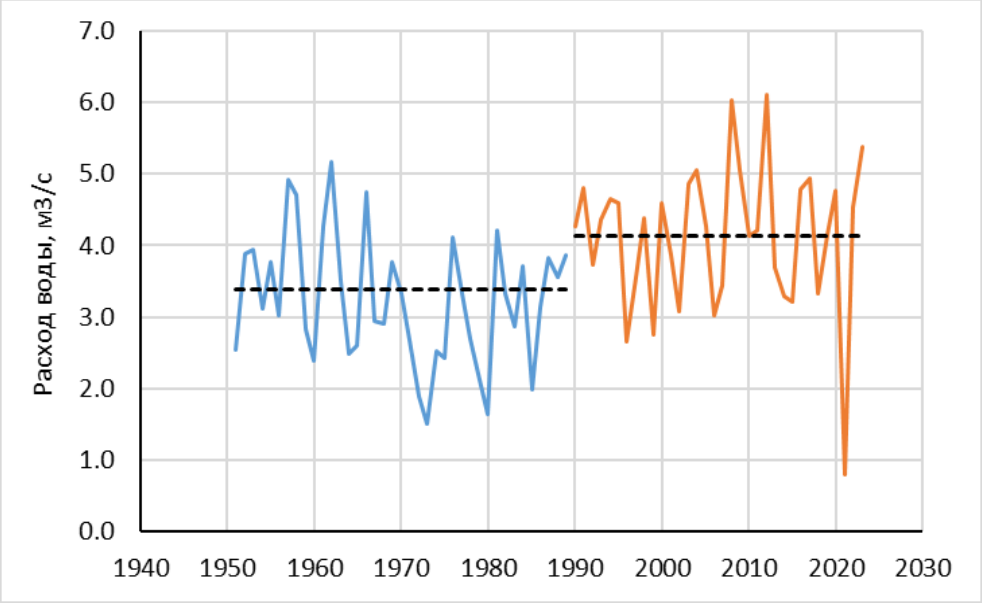


Рисунок 3.2 – Хронологический график среднегодовых расходов р. Лососинка - г. Петрозаводск.

На р. Святрека - пгт. Пряжа в период 1951- 1970 г. тренд не значим, точка перелома приходится на 1971 г (рисунок 3.3). Далее наблюдается значимый тренд на повышение с 1971 по 2023 г (рисунок 3.4).

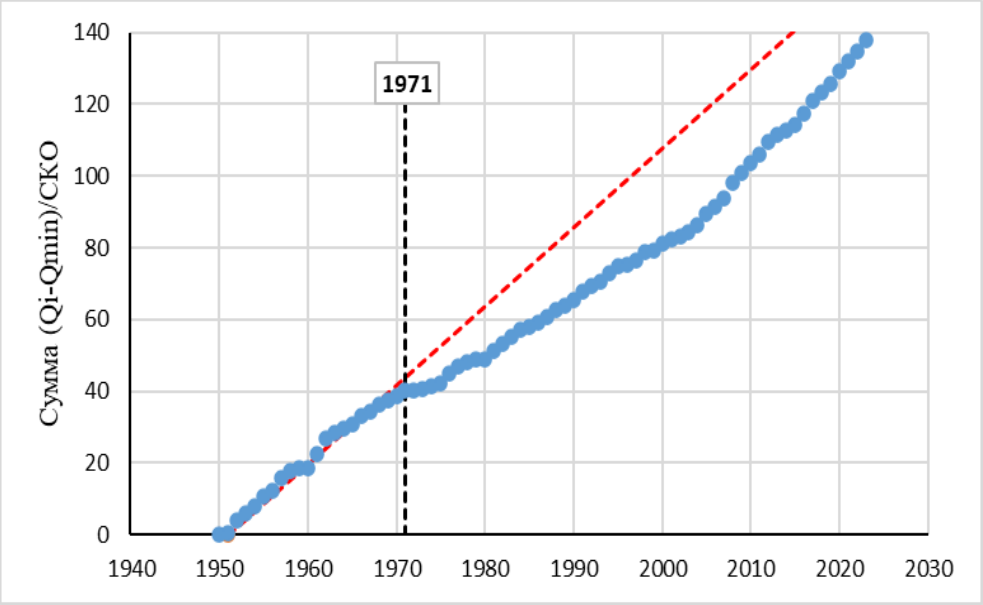


Рисунок 3.3 – Нормированная суммарная кривая среднегодовых расходов; р. Святрека – пгт. Пряжа.

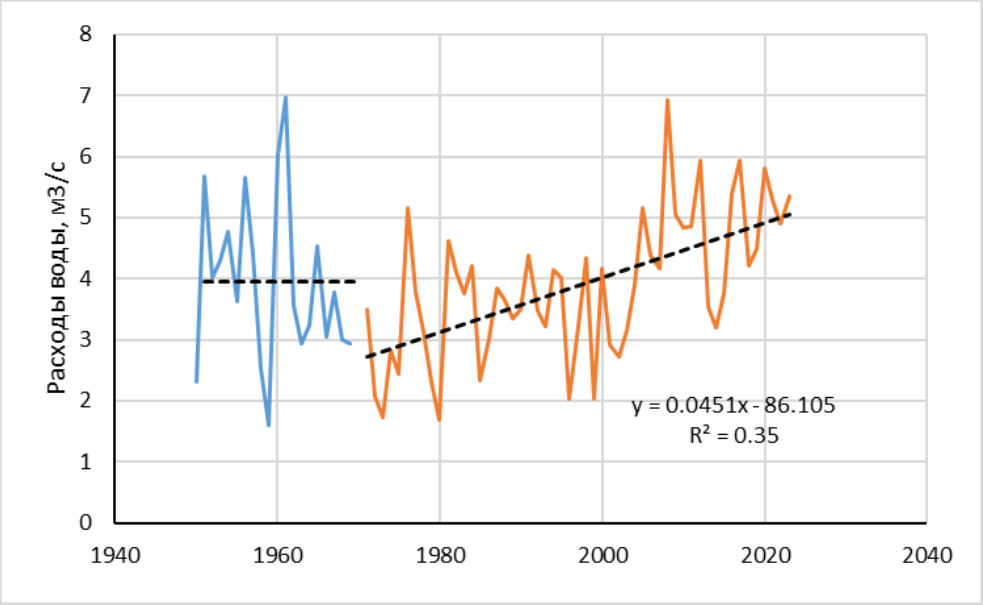


Рисунок 3.4 – Хронологический график среднегодовых расходов р. Святрека – пгт. Пряжа.

3.3. Проверка рядов максимальных расходов весеннего половодья

Проверка рядов максимальных расходов весеннего половодья на однородность и стационарность проводилась в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.1. Результаты проверки представлены в таблицах 3.3-3.4.

Таблица 3.3– Результаты проверки рядов расходов воды весеннего половодья на однородность при уровне значимости 2α = 5%

№	Река – пост	n	$\lvert t^* \rvert$	$t_{2\alpha}$	F^*	$F_{2\alpha}$	Опровержение гипотезы об однородности (⊕)	
							Стьюдент	Фишер
1	Лососинка – г. Петрозаводск	73	3,51	1,99	2,02	2,62	⊕	–
2	Неглинка – г. Петрозаводск	63	0,8	2,00	1,20	2,84	–	–
3	Шуя – д. Бесовец	73	1,67	1,99	2,24	2,64	–	–
4	Пета-Оя – с. Короншозеро	73	0,95	1,99	1,99	2,64	–	–
5	Сяньга – д. Чуралахта	73	0,03	1,99	1,06	2,64	–	–
6	Святрека – пгт Пряжа	73	1,63	1,99	2,36	2,64	–	–
7	Суна – пгт Поросозеро	73	0,56	1,99	2,34	2,64	–	–

Таблица 3.4 – Оценка значимости линейных трендов в рядах максимальных расходов воды за весь период наблюдений при уровне значимости 2α = 5%.

№	Река – пост	F, км^2	R	t^*	$t_{2\alpha}$	Тренд	
						значимость	интенсивность, м^3/с за 10 лет
1	Лососинка – г. Петрозаводск	276	0,29	2,61	1,99	значим	1,03
2	Неглинка – г. Петрозаводск	43,3	0,13	1,06	2	не значим	0
	Шуя – д. Бесовец	3	0,12	1,06	1,99	не значим	0
4	Пета-Оя – с. Короншозеро	68,6	0,17	1,44	1,99	не значим	0
5	Сяньга – д. Чуралахта	1610	0,12	0,98	1,99	не значим	0

№	Река – пост	F, км^2	R	t^*	$t_{2\alpha}$	Тренд	
						значимость	интенсивность, м^3/с за 10 лет
6	Святрека – пгт Пряжа	355	0,25	2,26	1,99	значим	–12
7	Суна – пгт Поросозеро	3370	0,12	1,01	1,99	не значим	0

Из таблиц видно, что гипотеза об однородности по критерию Стьюдента опровергается только для ряда максимальных расходов р. Лососинка – г. Петрозаводск.

Значимый тренд выявлен у двух рядов (р. Лососинка – г. Петрозаводск, р. Святрека – пгт Пряжа). Точка перелома на суммарной кривой приходится на 1989 год (рисунок 3.5). Ряд на реке Лососинка – г. Петрозаводск на интервале с 1951 по 1989 год стационарен; на интервале с 1990 год по 2023г. ряд содержит значимый тренд на понижение. При этом среднее значение Q_{max} на интервале с 1990 года по 2023 выше, чем за предшествующий период на 38% (рисунок 3.6).

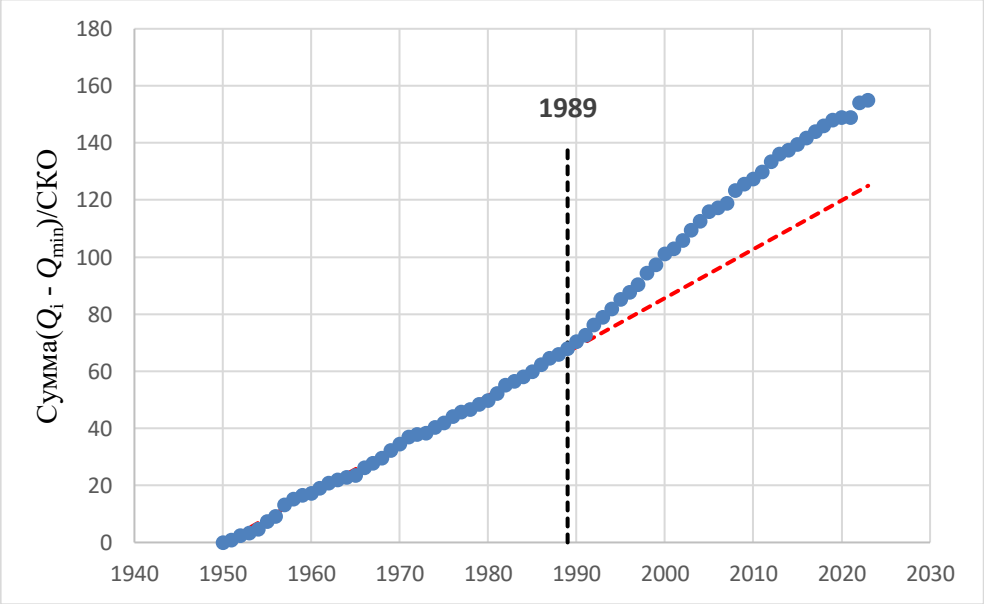


Рисунок 3.5 – Нормированная суммарная кривая максимальных расходов весеннего половодья; р. Лососинка – г. Петрозаводск.

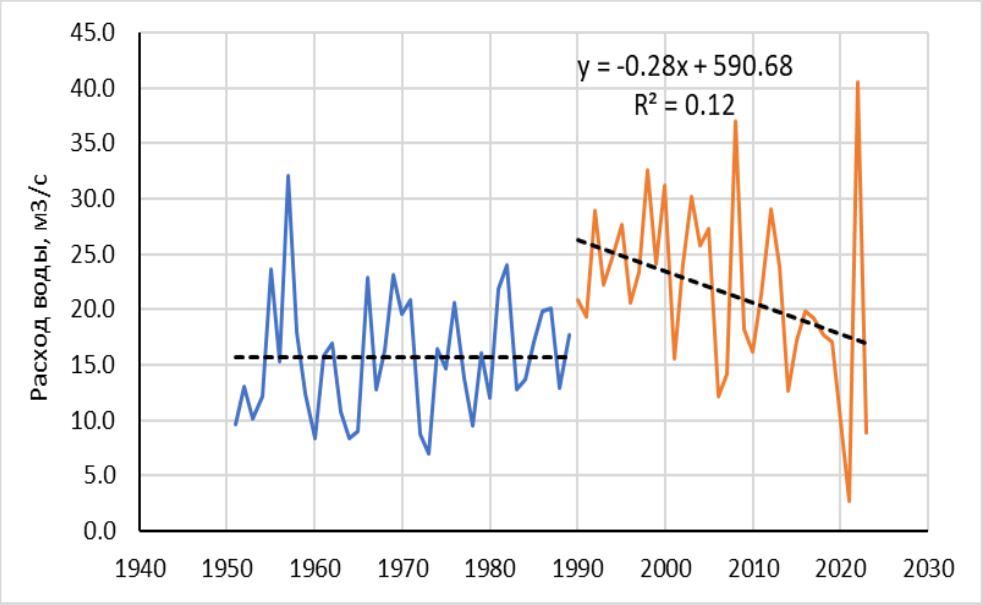


Рисунок 3.6 – Хронологический график максимальных расходов р. Лососинка - г. Петрозаводск (на интервале с 1990 г. по 2023 г. тренд значим).

3.4. Проверка рядов минимальных летне-осенних суточных расходов воды

Проверка рядов минимальных летне-осенних расходов на однородность и стационарность проводилась в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.1. Результаты проверки представлены в таблицах 3.5-3.6.

Таблица 3.5 – Результаты проверки рядов минимальных летне-осенних суточных расходов на однородность при уровне значимости 2α = 5%

№	Река – пост	n	$\lvert t^* \rvert$	$t_{2\alpha}$	F^*	$F_{2\alpha}$	Опровержение гипотезы об однородности (⊕)	
							Стьюдент	Фишер
1	Лососинка – г. Петрозаводск	73	2,36	1,99	1,77	1,95	⊕	–
2	Неглинка – г. Петрозаводск	63	3,15	2,00	1,46	2,07	⊕	–
3	Шуя – д. Бесовец	73	1,14	1,99	1,21	1,95	–	–
4	Пета-Оя – с. Короншозеро	73	0,96	1,99	1,33	1,95	–	–
5	Сяньга – д. Чуралахта	73	1,06	1,99	1,62	1,95	–	–
6	Святрека – пгт Пряжа	73	0,93	1,99	1,64	1,95	–	–
7	Суна – пгт Поросозеро	73	0,02	1,99	1,22	1,95	–	–

Таблица 3.6 Оценка значимости линейных трендов в рядах минимальных летне-осенних суточных расходов воды за весь период наблюдений при уровне значимости 2α = 5%.

№	Река – пост	F, км^2	R	t^*	$t_{2\alpha}$	Тренд	
						значимость	интенсивность, м^3/с за 10 лет
1	Лососинка – г. Петрозаводск	276	0,35	3,14	1,99	значим	–0,1
2	Неглинка – г. Петрозаводск	43,3	0,5	4,51	2,00	значим	0,015
3	Шуя – д. Бесовец	9560	0,15	1,23	1,99	не значим	0
4	Пета-Оя – с. Кореншозеро	68,6	0,08	0,7	1,99	не значим	0
5	Сяньга – д. Чуралахта	1610	0,18	1,50	1,99	не значим	0
6	Святрека – пгт Пряжа	355	0,12	0,92	1,99	не значим	0
7	Суна – пгт Поросозеро	3370	0,03	0,25	1,99	не значим	0

Из таблиц видно, что гипотеза об однородности опровергается по критерию Стьюдента только для рядов минимальных летне-осенних расходов р. Лососинка – г. Петрозаводск и р. Неглинка – г. Петрозаводск.

Выявлен значимый тренд у двух рядов (р. Лососинка – г. Петрозаводск, р. Неглинка – г. Петрозаводск). На р. Лососинка – г. Петрозаводск за период с 1951 по 1993 наблюдается тренд на понижение, точка перелома на суммарной кривой приходится на 1993 г. (рисунок 3.7). Произошло скачкообразное изменение среднего значения (рисунок 3.8).

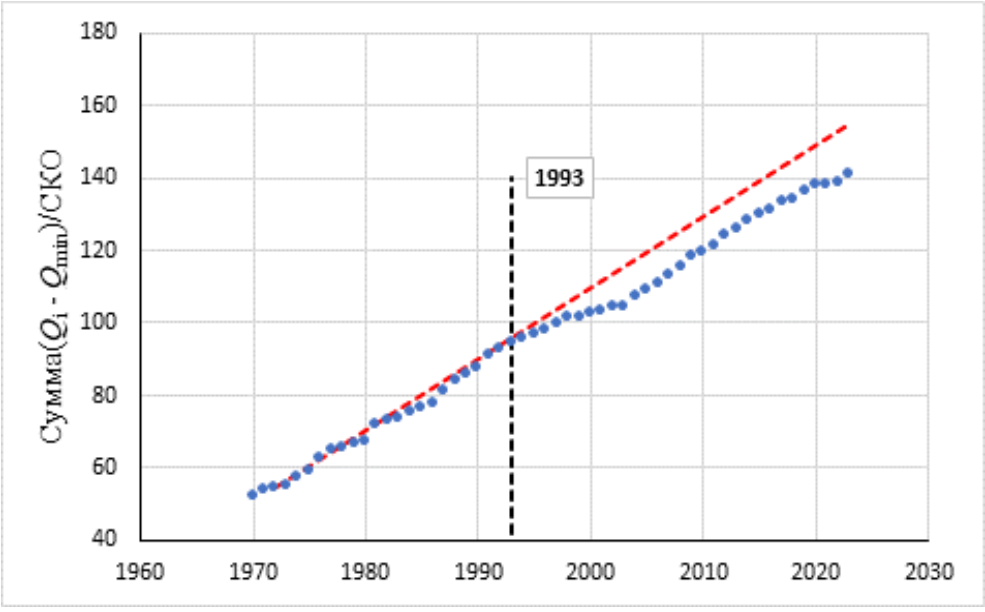


Рисунок 3.7 – Нормированная суммарная кривая минимальных суточных летне-осенних расходов; р. Лососинка – г. Петрозаводск.

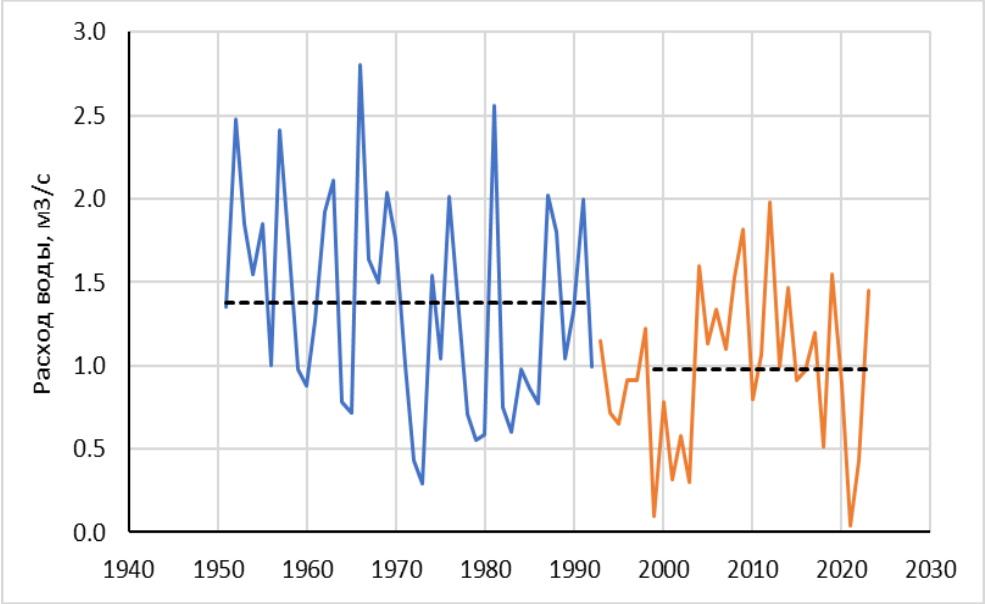


Рисунок 3.8 – Хронологический график минимальных летне-осенних расходов р. Лососинка - г. Петрозаводск.

На р. Неглинка наблюдается значимый тренд на повышение с 1961 по 1979 г. Точка перелома на суммарной кривой приходится на начало 80-х годов (рисунок 3.9). На интервале с 1980 по 2023 г. тренд не является значимым (рисунок 3.10). Среднее значение минимального летне-осеннего расхода за этот период больше, чем за предшествующий.

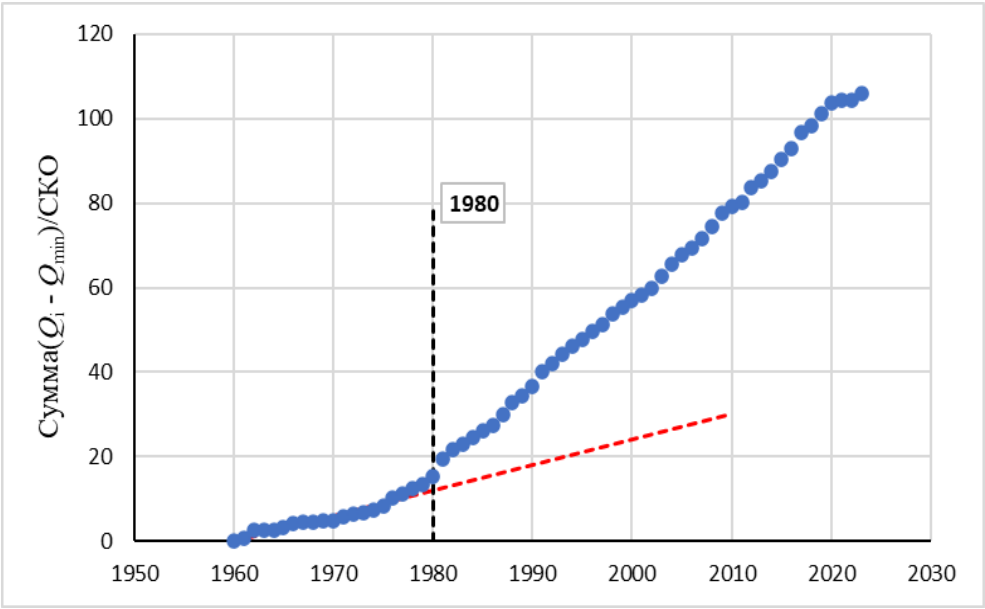


Рисунок 3.9 – Нормированная суммарная кривая минимальных суточных летне-осенних расходов; р. Неглинка – г. Петрозаводск.

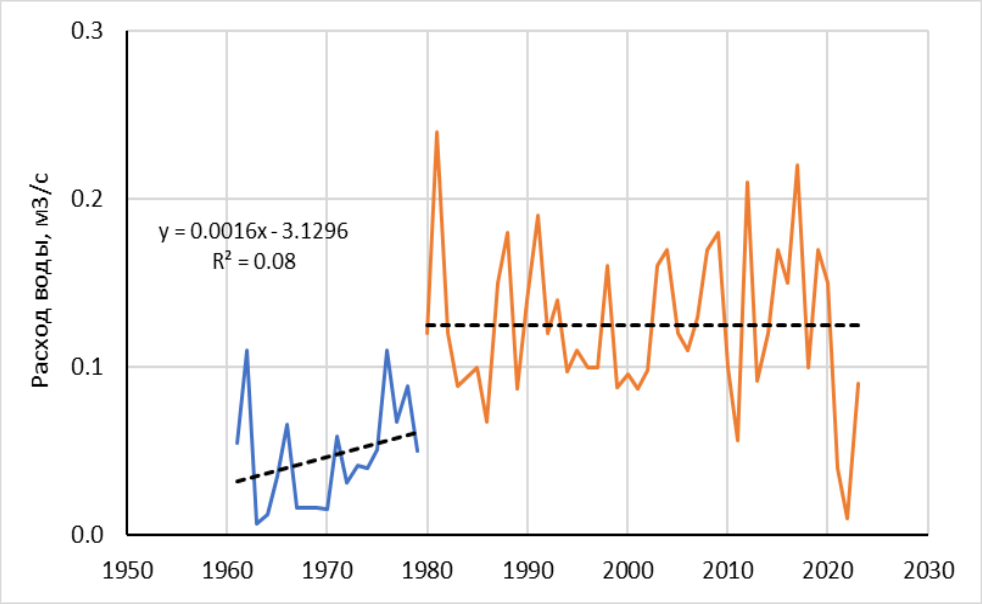


Рисунок 3.10 – Хронологический график минимальных летне-осенних расходов р. Неглинка - г. Петрозаводск (на интервале 1961-1979 г. тренд значим).

3.5. Проверка рядов минимальных зимних суточных расходов воды

Проверка рядов минимальных зимних суточных расходов на однородность и стационарность проводилась в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.1. Результаты проверки представлены в таблицах 3.7-3.8.

Таблица 3.7 – Результаты проверки рядов минимальных зимних суточных расходов на однородность при уровне значимости 2α = 5%

№	Река – пост	n	$\lvert t^* \rvert$	$t_{2\alpha}$	F^*	$F_{2\alpha}$	Опровержение гипотезы об однородности (⊕)	
							Стьюдент	Фишер
1	Лососинка – г. Петрозаводск	73	1,68	1,99	1,98	2,62	–	–
2	Неглинка – г. Петрозаводск	63	5,73	2,00	1,02	2,84	⊕	–
3	Шуя – д. Бесовец	68	0,92	3,14	1,53	2,73	–	–
4	Пета-Оя – с. Короншозеро	43	0,94	2,02	1,31	3,63	–	–
5	Сяньга – д. Чуралахта	67	1,62	2,00	1,59	2,74	–	–
6	Святрека – пгт Пряжа	68	7,04	2,00	0,36	0,37	⊕	–
7	Суна – пгт Поросозеро	73	3,84	1,99	1,56	2,62	⊕	–

Таблица 3.8 – Оценка значимости линейных трендов в рядах минимальных зимних суточных расходов воды за весь период наблюдений при уровне значимости 2α = 5%.

№	Река – пост	F, км^2	R	t^*	$t_{2\alpha}$	Тренд	
						значимость	интенсивность, м^3/с за 10 лет
1	Лососинка – г. Петрозаводск	276	0	0	1,99	не значим	0
2	Неглинка – г. Петрозаводск	43,3	0,52	8,06	2,00	значим	0,02
3	Шуя – д. Бесовец	9560	0,07	0,53	2,00	не значим	0
4	Пета-Оя – с. Короншозеро	68,6	0,19	1,25	2,02	не значим	0
5	Сяньга – д. Чуралахта	1610	0,15	1,23	2,00	не значим	0
6	Святрека – пгт Пряжа	355	0,48	7,78	2,00	значим	0,21
7	Суна – пгт Поросозеро	3370	0,27	5,22	1,99	значим	1,4

Из таблиц видно, что гипотеза об однородности опровергается по критерию Стьюдента для рядов минимальных зимних расходов р. Неглинка – г. Петрозаводск, р. Святрека – пгт. Пряжа, р. Суна – пгт. Поросозеро.

Выявлен значимый тренд на трех рядах (р. Неглинка – г. Петрозаводск, р. Святрека – пгт. Пряжа, р. Суна – пгт. Поросозеро). Рост минимальных зимних расходов обусловлен ростом температур в холодный период (за счет оттепелей расход увеличивается). Также на изменение расхода влияют осадки в осенний период в предшествующем году.

На р. Неглинка - г. Петрозаводск с 1961 по 1980 г. тренд не значим, точка перелома на суммарной кривой приходится на 1981 г. (рисунок 3.11). На интервале с 1981 по 2023 г. тренд значим. (рисунок 3.12).

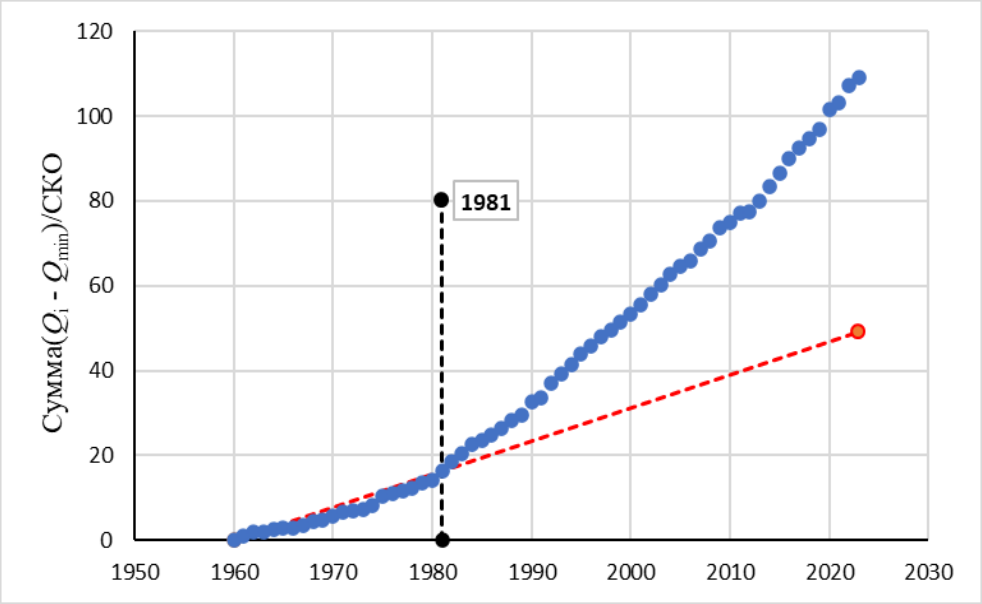


Рисунок 3.11 – Нормированная суммарная кривая минимальных зимних расходов; р. Неглинка – г. Петрозаводск

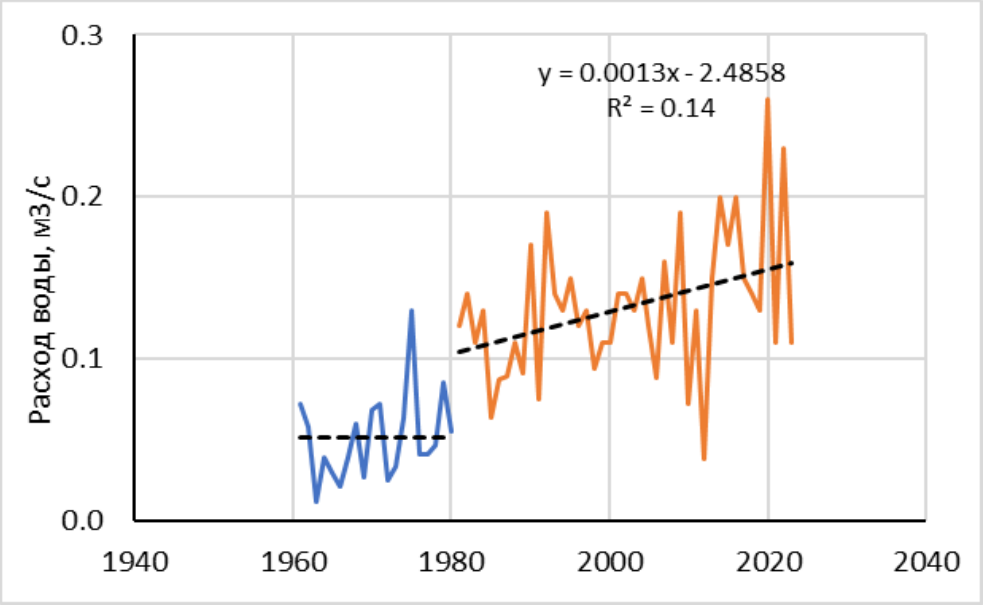


Рисунок 3.12 – Хронологический график минимальных зимних расходов р. Неглинка - г. Петрозаводск (на интервале 1981-2023 г. тренд значим).

На р. Святрека - пгт. Пряжа за период с 1956 по 1989 г. тренд не значим, точка перелома приходится на 1990 г (рисунок 3.13). Далее наблюдается значимый тренд на повышение в промежутке с 1990-2023 г. (рисунок 3.14).

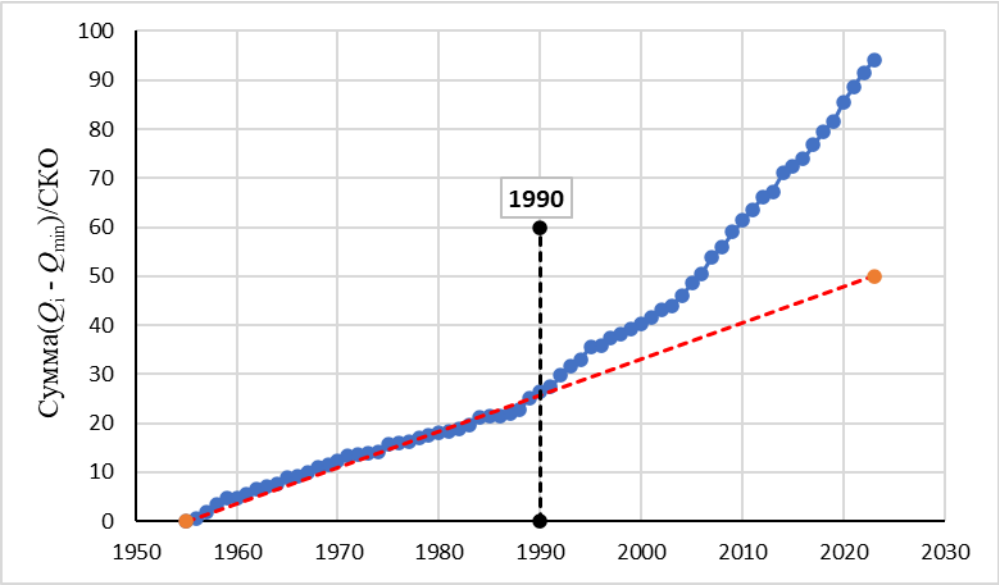


Рисунок 3.13 – Нормированная суммарная кривая минимальных зимних расходов; р. Святрека – пгт. Пряжа

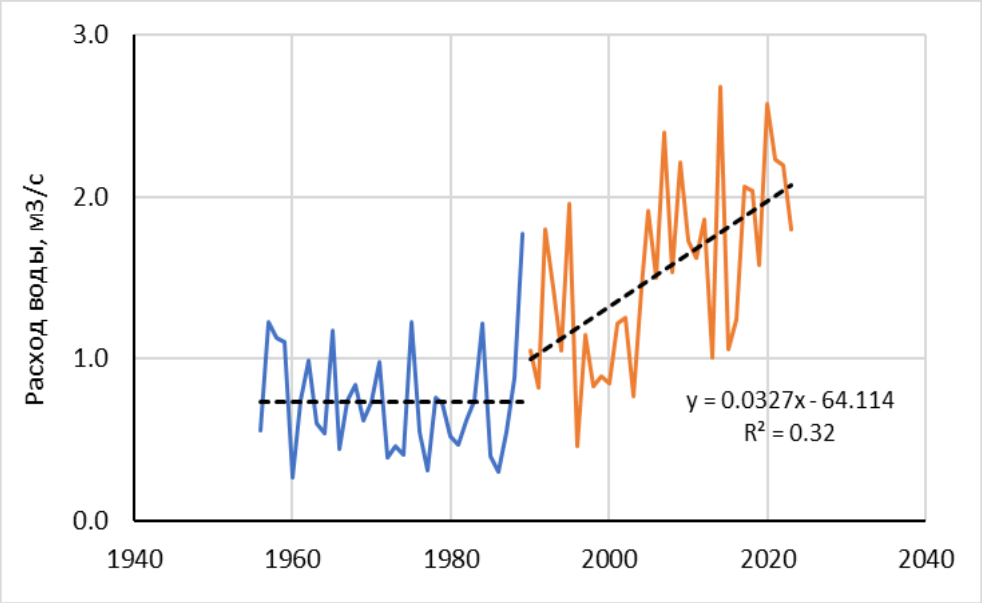


Рисунок 3.14 – Хронологический график минимальных зимних расходов р. Святрека – пгт. Пряжа (на интервале 1990-2023 г. тренд значим).

На р. Суна – пгт. Поросозеро за период с 1951 по 1992 г. наблюдается тренд на повышение, точка перелома на суммарной кривой приходится на 1993 г. (рисунок 3.15). На интервале с 1993 по 2023 г. тренд остается значимым (рисунок 3.16).

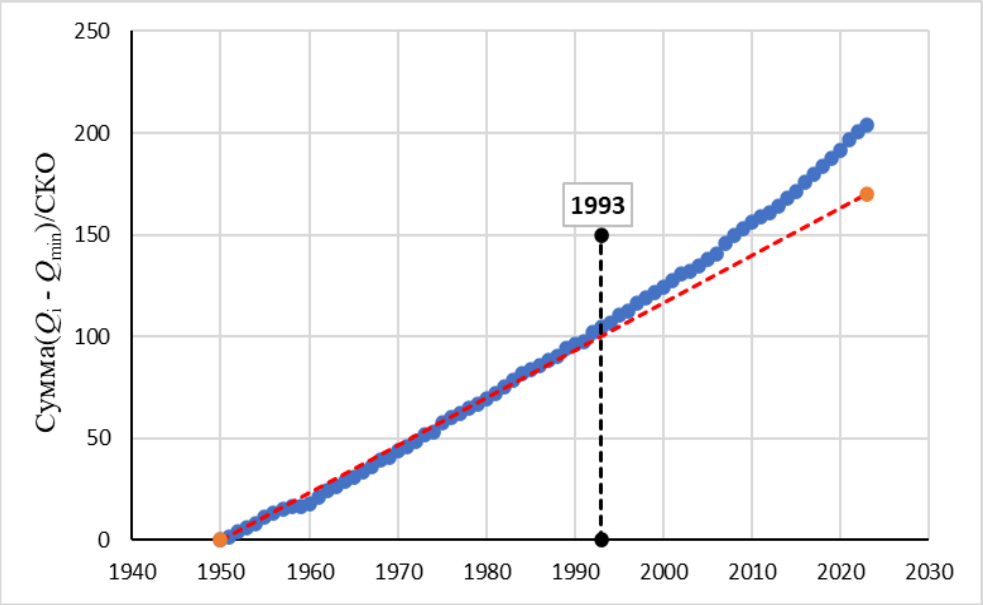


Рисунок 3.15 – Нормированная суммарная кривая минимальных зимних расходов; р. Суна – пгт. Поросозеро

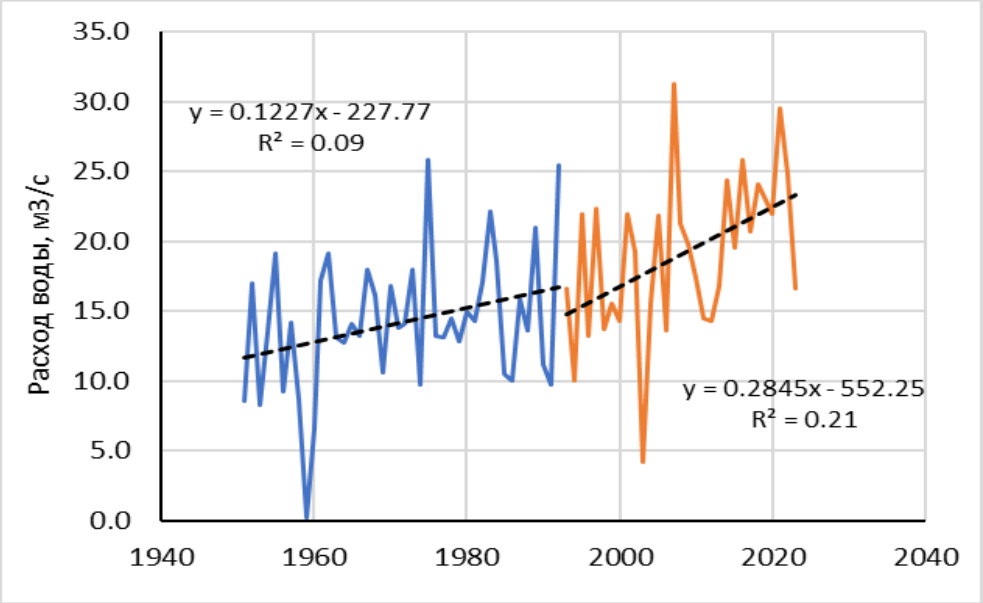


Рисунок 3.16 – Хронологический график минимальных зимних расходов р. Суна – пгт. Поросозеро (на интервале 1951-2023 г. тренд значим).

3.6. Результаты проверки рядов на однородность и стационарность

В таблице 3.9 в обобщенном виде представлены результаты проверки рядов на однородность и стационарность для всех видов стока. Опровержение гипотезы об однородности по критерию Стьюдента показано символом «S», наличие тренда показано символом «Т».

Таблица 3.9 – Обобщенные результаты проверки рядов на однородность и стационарность.

№	Река – пост	F, км^2	$f_{оз}$, %	Вид стока			
				$Q_{ср}$	Q_{max}	$Q_{min,зим}$	$Q_{min,лет}$
1	Лососинка – г. Петрозаводск	276	7	S, T	S, T		S, T
2	Неглинка – г. Петрозаводск	43,3	<1	S		S, T	S, T
3	Шуя – д. Бесовец	9560	10				
4	Пета-Оя – с. Кореншозеро	68,6	11				
5	Сяньга – д. Чуралахта	1610	23				
6	Святрека – пгт Пряжа	355	8	T	T	S, T	
7	Суна – пгт Поросозеро	3370	14			S, T	

3.7. Оценка статистических характеристик и их погрешностей

Для однородных и стационарных рядов были рассчитаны статистические характеристики – среднее значение, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии. Расчет выполнялся методом моментов (таблица 3.10).

Случайные средние квадратические погрешности выборочных средних определялись по приближенной зависимости (3.8), которую применяют при коэффициенте автокорреляции между смежными членами ряда r (1), меньшем 0,5.

Основные статистические характеристики максимального, среднегодового и минимального стока представлены в таблице 3.11.

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{(1+r)}{(1-r)}} \qquad (3.8)$$

Случайные средние квадратические ошибки коэффициентов вариации при определялись по зависимости:

$$\sigma_{Cv} = \frac{C_v}{n+4C_v^2}\sqrt{\frac{n\left(1+C_v^2\right)}{2}}\left(1+\frac{4C_v r^2}{1+r}\right) \qquad (3.9)$$

Таблица 3.10 – Относительные ошибки среднего значения и коэффициента вариации

Река-пост/Вид стока-характеристика	Среднегодовые расходы				Максимальные расходы				Минимальные зимние суточные расходы				Минимальные суточные летне-осенние расходы			
	$Q_{ср}$	C_v	$\sigma_{Qср}$ %	σ_{Cv} %	$Q_{ср}$	C_v	$\sigma_{Qср}$ %	σ_{Cv} %	$Q_{ср}$	C_v	$\sigma_{Qср}$ %	σ_{Cv} %	$Q_{ср}$	C_v	$\sigma_{Qср}$ %	σ_{Cv} %
Лососинка – г. Петрозаводск	3,65	0,29			18,4	0,4			1,26	0,21	4,2	8,7	1,21	0,5		
Неглинка – г. Петрозаводск	0,54	0,32			5,61	0	5,4	9,6	0,11	0,51			0,1	0,55		
Шуя – д. Бесовец	91,7	0,25	3,8	8,8	311	0,32	3,7	8,6	34,4	0,35	4,2	9,0	41,1	0,52	6,1	9,2
Пета-Оя – с. Кореншозеро	0,77	0,31	4,6	8,9	4,02	0,36	4,2	8,7	0,24	0,37	5,6	11,4	0,2	0,71	8,3	9,8
Сяньга – д. Чуралахта	14,3	0,27	3,9	8,8	26,8	0,3	3,5	8,6	7,7	0,49	6,0	9,5	9,33	0,51	6,0	9,2
Святрека – пгт Пряжа	3,9	0,31	4,7	9,0	27,9	0,37	4,3	8,8	1,14	0,55			0,99	0,72	8,4	9,9
Суна – пгт Поросозеро	36,7	0,22	3,3	8,7	81,9	0,277	3,1	8,5	16,2	0,35			24,7	0,53	6,2	9,2

Таблица 3.11 Основные статистические характеристики максимального, среднегодового и минимального стока

Река-пост/Вид стока-характеристика	*F*	Среднегодовые расходы				Максимальные расходы				Минимальные зимние суточные расходы				Минимальные суточные летне-осенние расходы			
	км^2	*Qcp*	*q*	*Cv*	*Cs/Cv*	*Qcp*	*q*	*Cv*	*Cs/Cv*	*Qcp*	*q*	*Cv*	*Cs/Cv*	*Qcp*	*q*	*Cv*	*Cs/Cv*
Лососинка – г. Петрозаводск	276	3.65	13.2	0.29	-0.5	18.4	66.7	0.4	1.5	1.26	4.57	0.21	0.5	1.21	4.38	0.5	0.5
Неглинка – г. Петрозаводск	43.3	0.54	12.5	0.32	2.5	5.61	130	0	1.5	0.11	2.54	0.51	0.5	0.1	2.31	0.55	0
Шуя – д. Бесовец	9560	91.7	9.6	0.25	2	311	32.5	0.32	1.5	34.4	3.60	0.35	3	41.1	4.30	0.52	1.5
Пета-Оя – с. Короншозеро	68.6	0.77	11.2	0.27	0.2	4.02	58.6	0.36	1.5	0.24	3.50	0.37	1	0.2	2.92	0.71	1
Сяньга – д. Чуралахта	1610	14.3	8.9	0.31	2	28.9	18.0	0.3	3.5	7.7	4.78	0.49	0.5	9.33	5.80	0.51	2
Святрека – пгт Пряжа	355	3.9	11.0	0.31	1	27.9	78.6	0.37	3	1.14	3.21	0.55	1	0.99	2.79	0.72	2
Суна – пгт Поросозеро	3370	36.7	10.9	0.22	3.5	81.9	24.3	0.27	3	16.2	4.81	0.35	0	24.7	7.33	0.53	2
Среднее			11.0	0.28	1.53		58.3	0.29	2.21		3.86	0.40	0.93		4.26	0.58	1.29
max			13.2	0.3	3.5		130	0.4	3.5		4.8	0.6	3		7.3	0.7	2
min			8.9	0.2	-0.5		18.0	0	1.5		2.5	0.2	0		2.3	0.5	0
Среднее*			10.3	0.3	1.7		56.9	0.3	2.3		4.11	0.36	1.25		4.63	0.60	1.7
max*			11.2	0.3	3.5		130	0.4	3.5		4.78	0.49	3		7.33	0.72	2
min*			8.9	0.2	0.2		18.0	0.0	1.5		3.50	0.21	0.5		2.79	0.51	1

* - значения, рассчитанные только по однородным рядам.

4. РАСЧЕТ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

На основе вычисленных статистических характеристик для однородных рядов были построены эмпирические и аналитические кривые и рассчитаны расходы различных обеспеченностей по всем видам стока. Расчет был выполнен с помощью программы HydroStatCalc. В качестве аналитической кривой обеспеченностей использовалась кривая Крицкого-Менкеля. В ряде случаев расчетные параметры распределения (C_v и C_s) корректировались для наилучшего соответствия аналитических и эмпирических кривых. Корректировка параметров производилась в пределах плюс/минус стандартная ошибка g, где g – значение параметра.

Для неоднородных рядов строились усеченные и составные кривые обеспеченностей с использованием распределений Гумбеля и Вейбулла.

4.1. Расчет среднегодовых расходов заданной обеспеченности

Ряды среднегодовых расходов воды на гидрологических постах р. Шуя - д. Бесовец, р. Пета-Оя - с. Короншозеро, и р. Святрека - пгт Пряжа однородны. Для этих постов были построены кривые обеспеченностей с использованием программы HydroStatCalc (рисунки 4.1-4.2, приложение Е).

Ряды среднегодовых расходов воды на гидрологических постах Сяньга - д. Чуралахта и Суна - пгт Поросозеро однородны, но при построении кривых обеспеченностей производилась корректировка параметров (приложение Е).

На постах р. Лососинка - г. Петрозаводск и р. Неглинка - г. Петрозаводск ряды среднегодовых расходов воды неоднородны. Для этих постов строились составные кривые обеспеченностей путем объединения усеченных кривых для верхней нижней части кривой. При построении усеченных кривых использовались распределения Гумбеля и Вейбулла (рисунки 4.3-4.4). Расчетные расходы и модули стока представлены в таблицах 4.1-4.2)

Таблица 4.1 – Расчетные среднегодовые расходы воды, м^3/с

Река – Пост	F, км^2	Обеспеченность, P%													
		0,01	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	7,22	6,70	6,03	5,4	5,04	4,59	4,26	3,74	3,09	2,68	2,14	1,72	1,05	0,52
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	1,73	1,42	1,10	0,87	0,78	0,67	0,61	0,51	0,44	0,39	0,33	0,28	0,20	0,12
Шуя - д. Бесовец	9560	203	180	154	133	122	110	102	89,7	78,2	72,0	63,5	57,2	46,2	35,7
Пета-Оя - с. Кореншозеро	68,6	1,98	1,71	1,42	1,2	1,08	0,953	0,871	0,745	0,630	0,568	0,487	0,428	0,328	0,239
Сяньга - д. Чуралахта	1610	28,7	26,6	23,8	21,2	19,8	18,0	16,6	14,4	12,1	10,8	8,90	7,44	4,99	2,88
Святрека - пгт Пряжа	355	9,12	8,17	7,02	6,03	5,53	4,92	4,50	3,83	3,20	2,84	2,38	2,02	1,44	0,928
Суна - пгт Поросозеро	3370	90,5	76,1	62,8	52,8	48,1	43,4	40,0	35,5	31,5	29,3	26,5	24,5	21,2	18,0

Таблица 4.2 – Расчетные среднегодовые модули стока, л/с км^2

Река – Пост	F, км^2	Обеспеченность, P%													
		0,01	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	26,1	24,2	21,8	19,5	18,2	16,6	15,4	13,5	11,2	9,71	7,75	6,23	3,80	1,88
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	39,9	32,7	25,4	20,0	18,0	15,4	14,1	11,8	10,2	9,01	7,62	6,47	4,62	2,77
Шуя - д. Бесовец	9560	21,2	18,8	16,1	13,9	12,7	11,5	10,6	9,38	8,18	7,53	6,64	5,98	4,83	3,73
Пета-Оя - с. Кореншозеро	68,6	28,8	24,9	20,7	17,4	15,7	13,9	12,7	10,8	9,18	8,28	7,10	6,24	4,78	3,48
Сяньга - д. Чуралахта	1610	17,8	16,5	14,8	13,1	12,3	11,2	10,3	8,94	7,52	6,71	5,53	4,62	3,10	1,79
Святрека - пгт Пряжа	355	25,6	23,0	19,7	16,9	15,6	13,8	12,6	10,8	9,01	8,00	6,70	5,69	4,06	2,61
Суна - пгт Поросозеро	3370	26,8	22,6	18,6	15,7	14,3	12,9	11,9	10,5	9,35	8,69	7,86	7,27	6,29	5,34

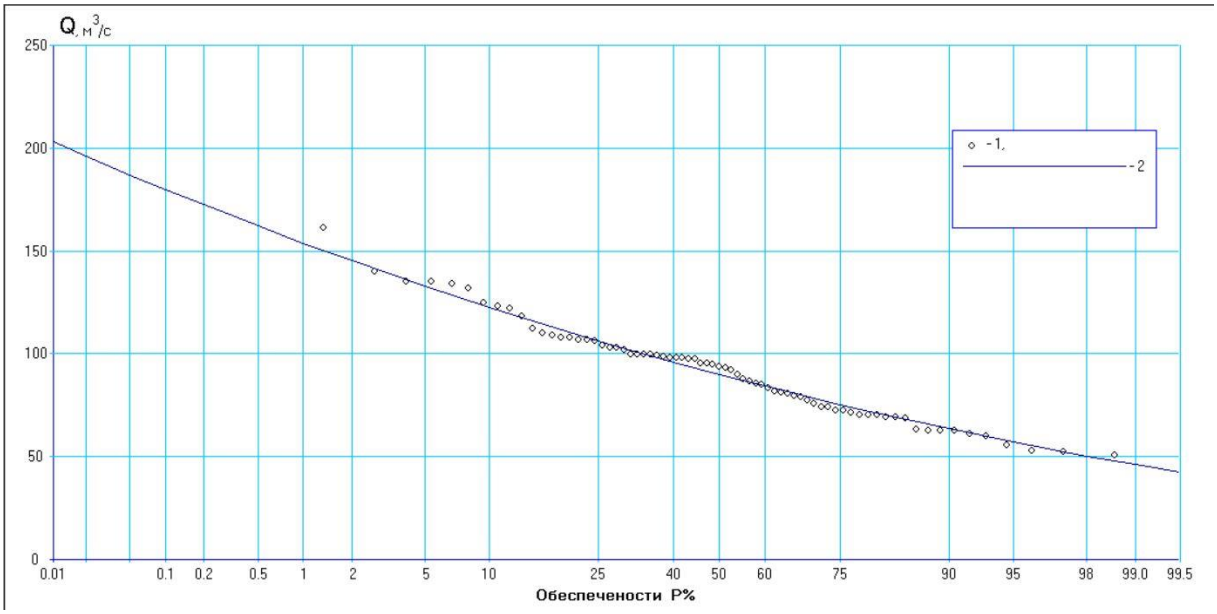


Рисунок 4.1 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды Шуя - д. Бесовец.

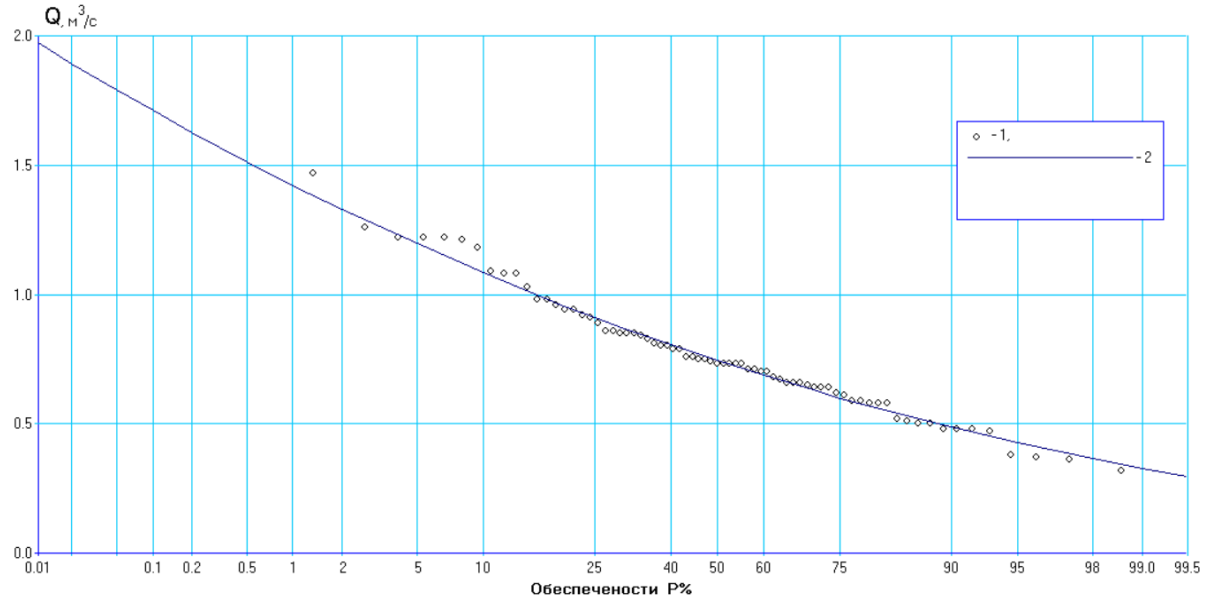


Рисунок 4.2 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды р. Пета-Оя – с. Короншозеро.

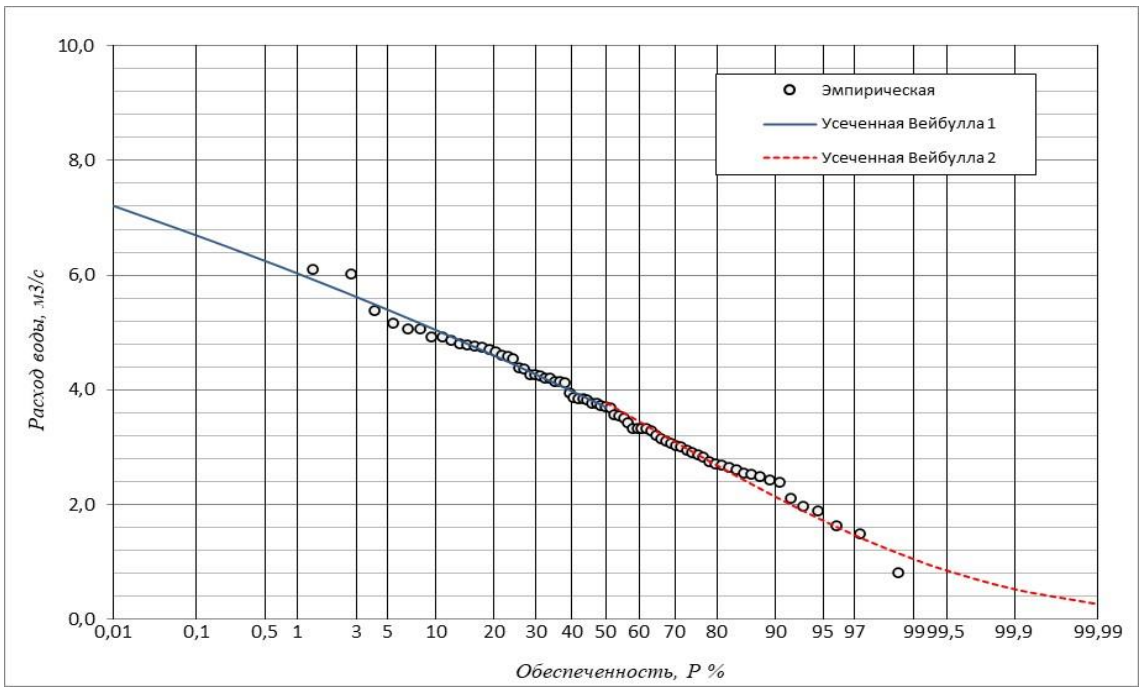


Рисунок 4.3 – Составная кривая обеспеченностей среднегодовых расходов воды Лососинка - г. Петрозаводск.

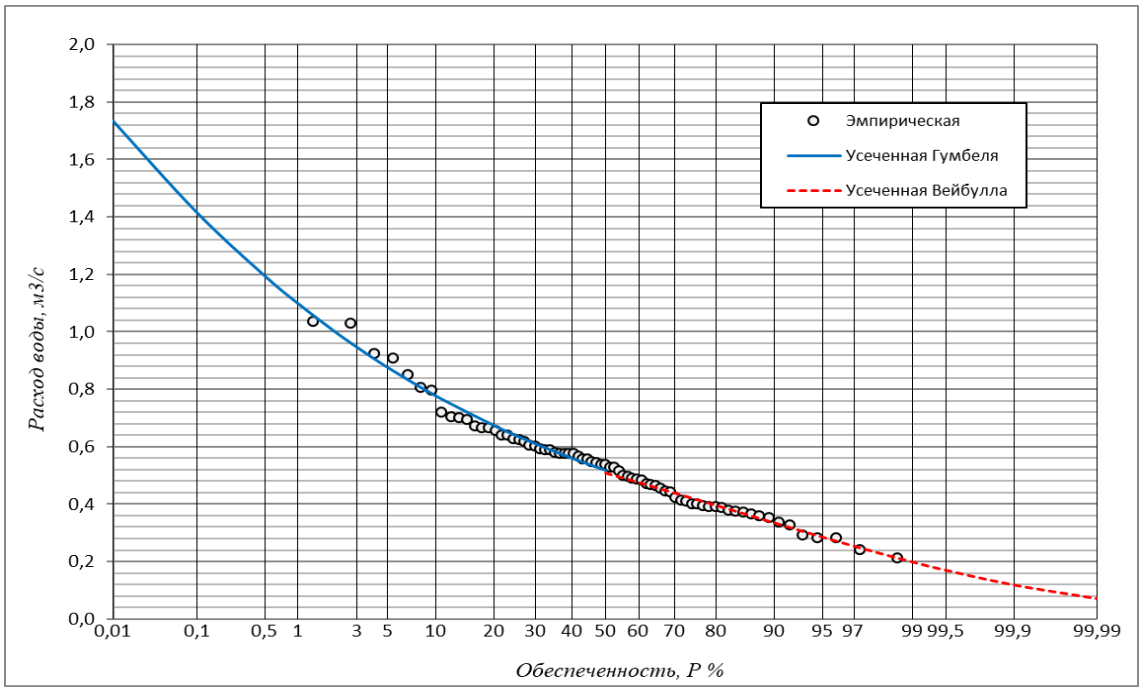


Рисунок 4.4 – Составная кривая обеспеченностей среднегодовых расходов воды Неглинка - г. Петрозаводск.

4.2. Расчет максимальных расходов воды заданной обеспеченности

Ряды максимальных расходов весеннего половодья на гидрологических постах р. Шуя - д. Бесовец, р. Пета-Оя - с. Короншозеро, р. Святрека - пгт Пряжа и р. Суна - пгт Поросозеро однородны. Для этих постов были построены кривые обеспеченностей с использованием программы HydroStatCalc (рисунки 4.5-4.6, приложение Ж).

Ряды максимальных расходов воды на гидрологических постах р. Неглинка - г. Петрозаводск и Сяньга - д. Чуралахта однородны, но при построении кривых обеспеченностей производилась корректировка параметров (приложение Ж).

На посту р. Лососинка - г. Петрозаводск ряд максимальных расходов воды неоднороден. Для этого поста строилась составная кривая обеспеченностей путем объединения усеченных кривых для верхней нижней части кривой. При построении усеченных кривых использовались распределения Гумбеля и Вейбулла (рисунок 4.7). Расчетные расходы и модули максимального стока представлены в таблицах 4.3-4.4).

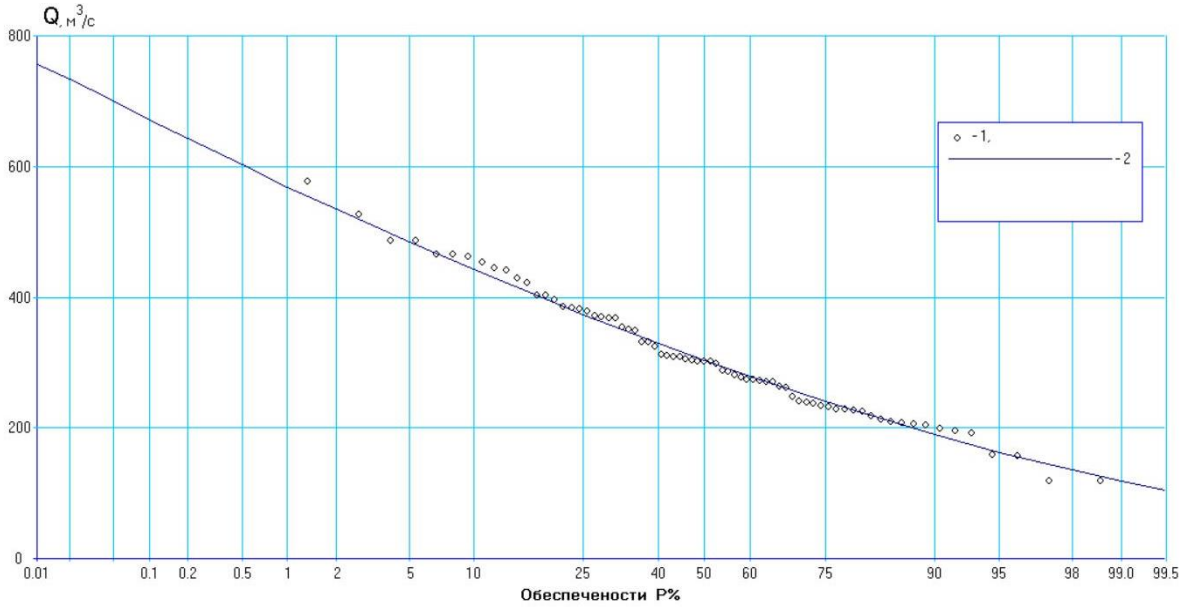


Рисунок 4.5 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды р. Шуя – д. Бесовец

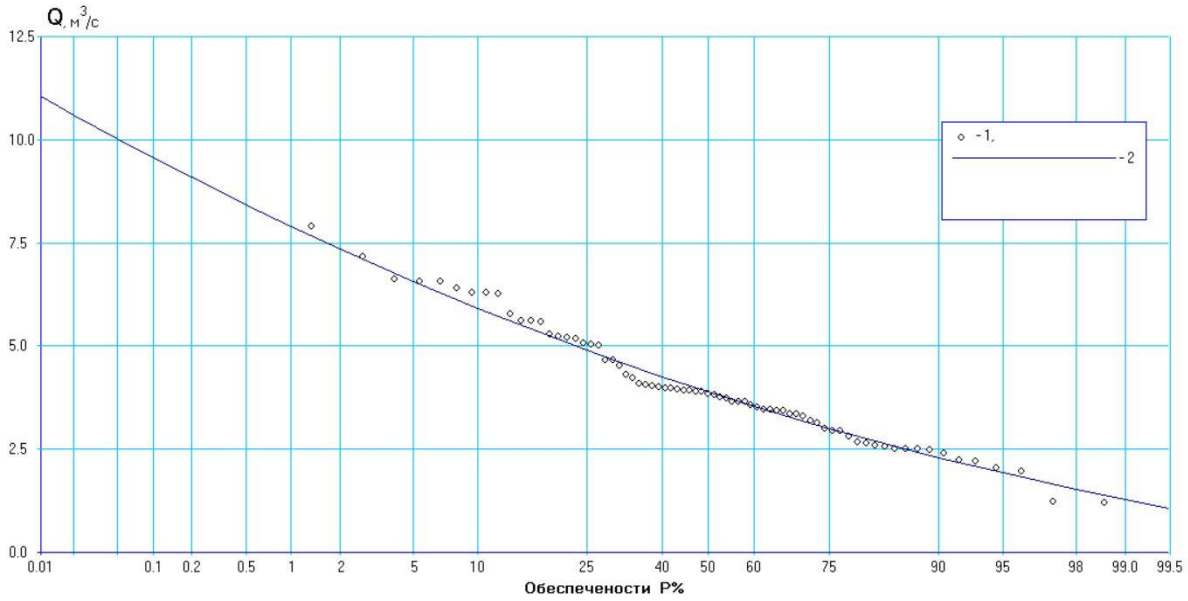


Рисунок 4.6 – Эмпирическая и аналитическая кривые максимальных расходов воды р. Пета-Оя – с. Короншозеро.

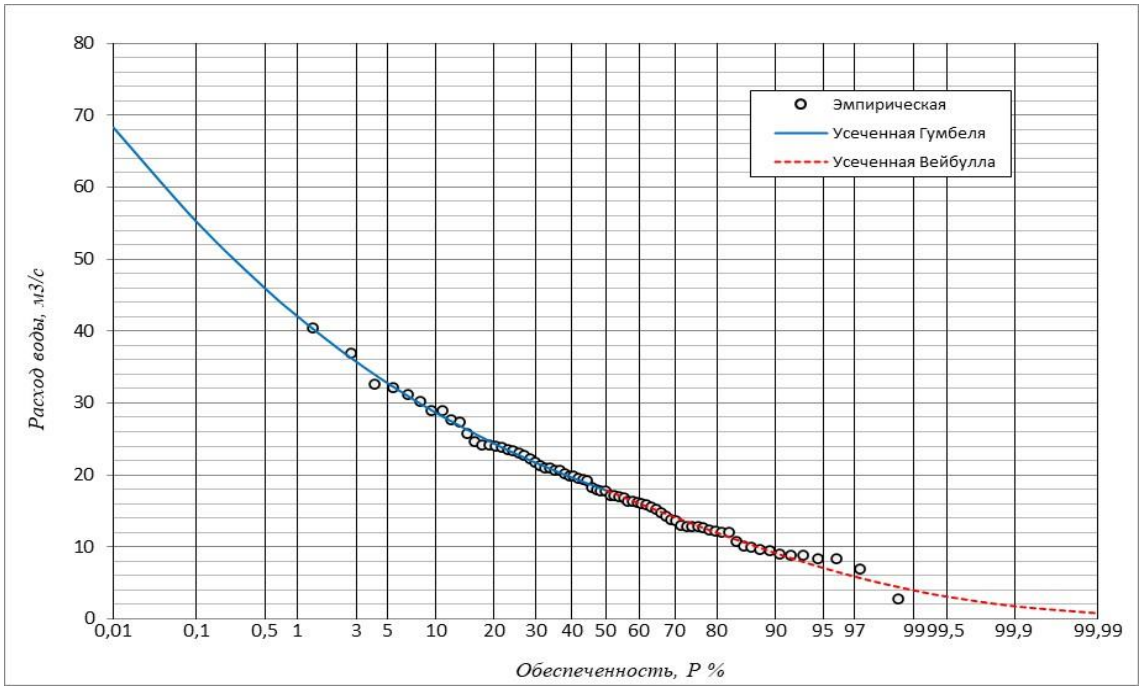


Рисунок 4.7 – Составная кривая обеспеченностей среднегодовых расходов воды р. Лососинка - г. Петрозаводск.

Таблица 4.3 – Расчетные максимальные расходы весеннего половодья воды, $м^3/с$

Река – Пост	F, $км^2$	Обеспеченность, P%													
		0,01	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	68,3	55,2	42,0	32,7	28,6	24,3	21,7	17,9	14,1	11,9	9,14	5,87	3,95	1,73
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	24,5	18,9	13,8	10,4	8,89	7,38	6,43	5,13	4,08	3,55	2,92	2,49	1,83	1,30
Шуя - д. Бесовец	9560	757	671	569	484	442	392	357	303	254	226	190	163	119	79,3
Пета-Оя - с. Короншозеро	68,6	11,0	9,56	7,89	6,57	5,91	5,17	4,66	3,89	3,18	2,81	2,29	1,92	1,28	0,67
Сяньга - д. Чуралахта	1610	83,9	68,5	54,0	43,3	38,6	33,6	30,3	25,6	21,6	19,5	16,8	15,0	12,1	9,38
Святрека - пгт Пряжа	355	99,3	78,8	61,0	47,1	41,3	35,3	31,5	26,1	21,7	19,4	16,6	14,5	11,4	8,71
Суна - пгт Поросозеро	3370	204	175	145	122	111	98,9	91,3	79,4	69.1	63,5	56,4	51,1	42,6	34,3

Таблица 4.4 – Расчетные максимальные модули стока весеннего половодья, $л/с\ км^2$

Река – Пост	F, $км^2$	Обеспеченность, P%													
		0,01	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	247	200	152	118	103	88,0	78,6	64,9	51,1	43,1	33,1	21,3	14,3	6,27
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	565	436	318	240	205	170	148	118	94,2	81,9	67,4	57,5	42,2	30,0
Шуя - д. Бесовец	9560	79,2	70,2	59,5	50,6	46,2	41,0	37,3	31,6	26,8	23,6	19,8	17,1	12,5	8,29
Пета-Оя - с. Короншозеро	68,6	160	139	115	95,7	86,1	75,3	67,9	56,7	46,3	40,9	33,3	27,9	18,6	9,77
Сяньга - д. Чуралахта	1610	52,1	42,5	33,5	26,8	23,9	20,8	18,8	15,9	13,4	12,1	10,4	9,32	7,52	5,83
Святрека - пгт Пряжа	355	279	221	171	132	116	99,4	88,7	73,5	61,3	54,7	46,7	40,8	32,1	24,5
Суна - пгт Поросозеро	3370	60,5	51,9	43,0	36,2	32,9	29,3	27,1	23,5	20,5	18,8	16,7	15,1	12,6	10,2

4.3. Расчет минимальных суточных летне-осенних расходов заданной обеспеченности

Ряды минимальных суточных летне-осенних расходов на гидрологических постах р. Пета-Оя - с. Кореншозеро, р. Сяньга – д. Чуралахта, р. Святрека - пгт Пряжа и р. Суна – пгт. Поросозеро однородны. Для этих постов были построены кривые обеспеченностей с использованием программы HydroStatCalc (рисунки 4.8- 4.9, приложение 3).

Ряд минимальных суточных расходов воды на посту р. Шуя – д. Бесовец однороден, но при построении аналитической кривой значение Cs получено методом подбора. В качестве аналитической кривой использовалась кривая Пирсона III типа. (рисунок 4.10).

На постах р. Лососинка - г. Петрозаводск, р. Неглинка – г. Петрозаводск ряды минимальных суточных расходов воды неоднородны. Для этих постов строились усеченные кривые обеспеченности. При построении кривых использовалось распределение Гумбеля (приложение 3). Расчетные расходы и модули максимального стока представлены в таблицах 4.5-4.6.

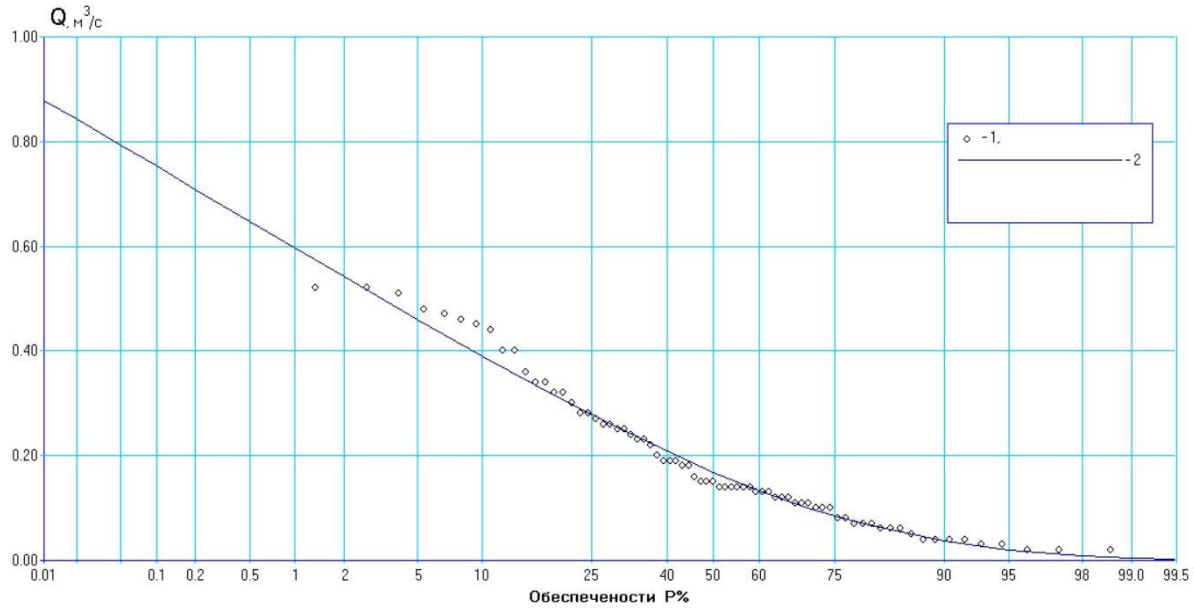


Рисунок 4.8 – Эмпирическая и аналитическая кривые минимальных суточных летне-осенних расходов воды р. Пета-Оя – с. Кореншозеро.

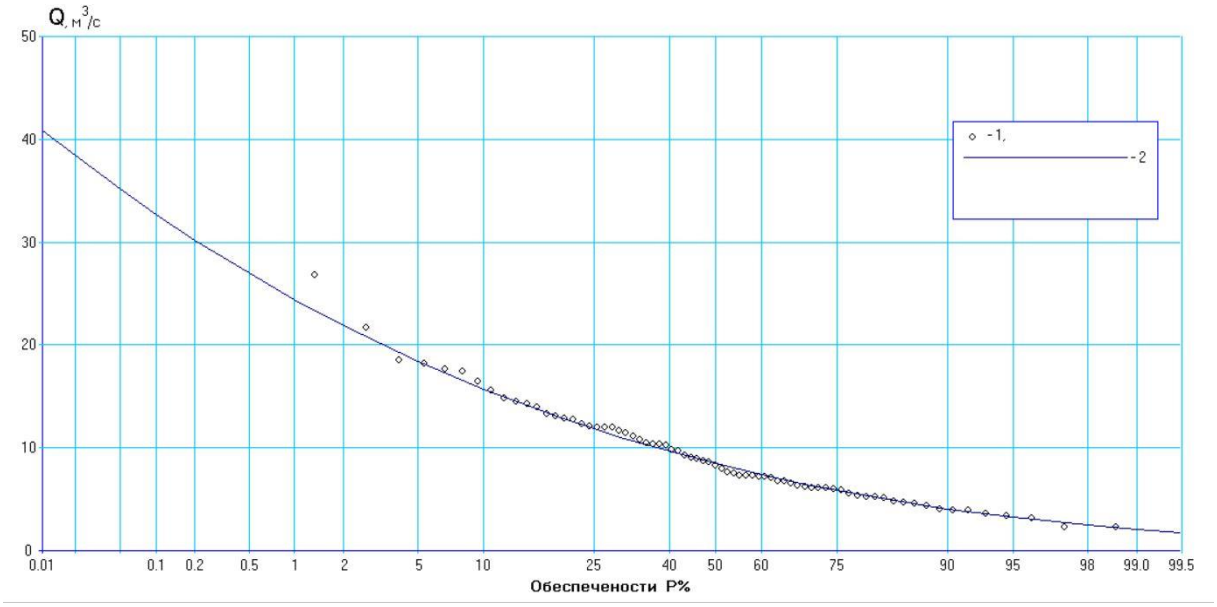


Рисунок 4.9 – Эмпирическая и аналитическая кривые минимальных суточных летне-осенних расходов воды р. Сяньга – д. Чуралахта.

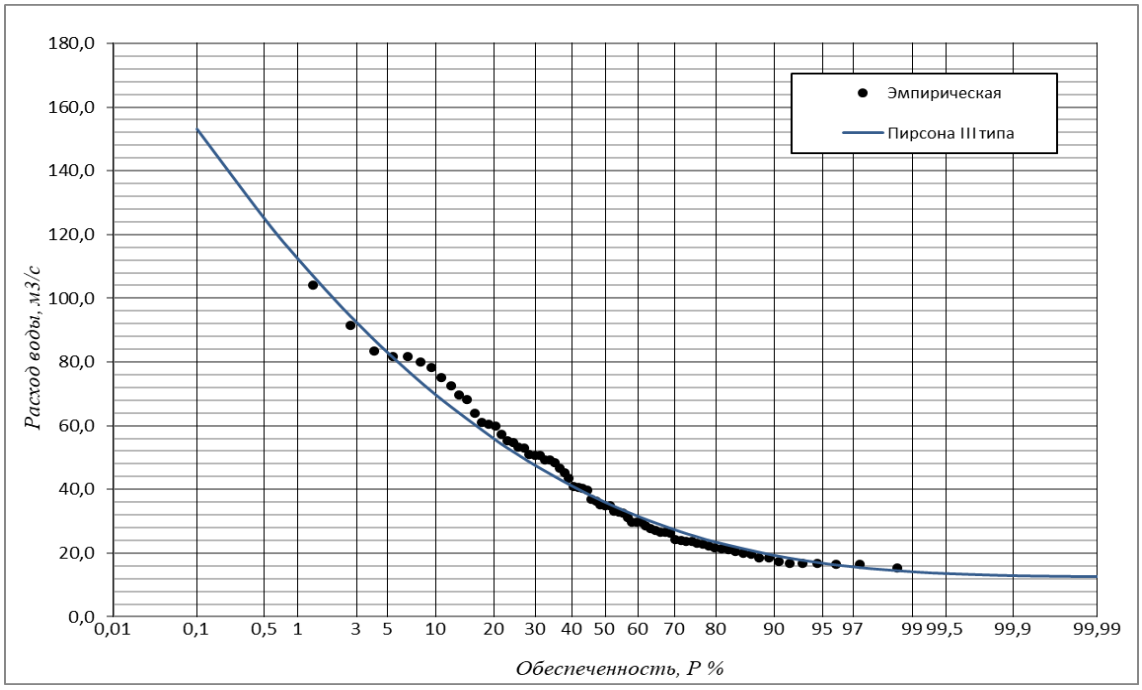


Рисунок 4.10 – Кривая обеспеченности минимальных суточных летне-осенних расходов воды р. Шуя – д. Бесовец. *Q*ср = 41,1; *Cv* = 0.52; *Cs* = 1,5 (получено подбором).

Таблица 4.5 – Расчетные минимальные суточные летне-осенние расходы воды, м^3/с

Река – Пост	*F*, км^2	Обеспеченность, *P*%						
		50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	1,33	1,02	0,86	0,65	0,50	0,26	0,03
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	0,09	0,06	0,04	0.03	0,01	-0,01	-0,03
Шуя - д. Бесовец	9560	36,0	27,4	23,5	19,3	16,9	14,2	12,7
Пета-Оя - с. Короншозеро	68,6	0,17	0,10	0,07	0,036	0,019	0,004	0,001

Река – Пост	F, км^2	Обеспеченность, P%						
		50	70	80	90	95	99	99,9
Сяньга - д. Чуралахта	1610	8,45	6,36	5,30	4,07	3,23	2,04	1,14
Святрека - пгт Пряжа	355	0,81	0,54	0,43	0,29	0,21	0,11	0,05
Суна - пгт Поросозеро	3370	22,1	16,7	14,0	10,9	8,76	5,73	3,45

Таблица 4.6 Расчетные минимальные суточные летне-осенние модули стока, л/с км^2

Река – Пост	F, км^2	Обеспеченность, P%						
		50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	4,82	3,70	3,12	2,36	1,81	0,94	0,11
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	2,08	1,39	0.92	0,69	0,23	0,01	-0,69
Шуя - д. Бесовец	9560	3,77	2,87	2,46	2,02	1,77	1,49	1,33
Пета-Оя - с. Кореншозеро	68,6	2,48	1,46	1,02	0,52	0,28	0,06	0,01
Сяньга - д. Чуралахта	1610	5,25	3,95	3,29	2,53	2,01	1,27	0,71
Святрека - пгт Пряжа	355	2,28	1,52	1,21	0,82	0,59	0,31	0,14
Суна - пгт Поросозеро	3370	6,56	4,96	4,15	3,23	1,70	1,70	1,02

4.4. Расчет минимальных суточных зимних расходов заданной обеспеченности

Ряды минимальных суточных зимних расходов воды на гидрологических постах р. Шуя – д. Бесовец, р. Пета-Оя - с. Кореншозеро, р. Сяньга – д. Чуралахта однородны. Для этих постов были построены кривые обеспеченностей с использованием программы HydroStatCalc (рисунки 4.11-4.12), приложение И).

Ряд минимальных суточных зимних расходов воды на посту р. Лососинка – г. Петрозаводск однороден, но при построении использовалась усеченная кривая обеспеченности с распределением Гумбеля с Cs<0. (рисунок 4.13).

На постах р. Неглинка – г. Петрозаводск, р. Святрека – пгт. Пряжа, р. Суна – с. Поросозеро ряды минимальных суточных зимних расходов воды неоднородны. Для этих постов строились усеченные кривые обеспеченности. При построении кривых использовалось распределение Гумбеля и Вейбулла

(приложение И). Расчетные расходы и модули максимального стока представлены в таблицах 4.7-4.8.

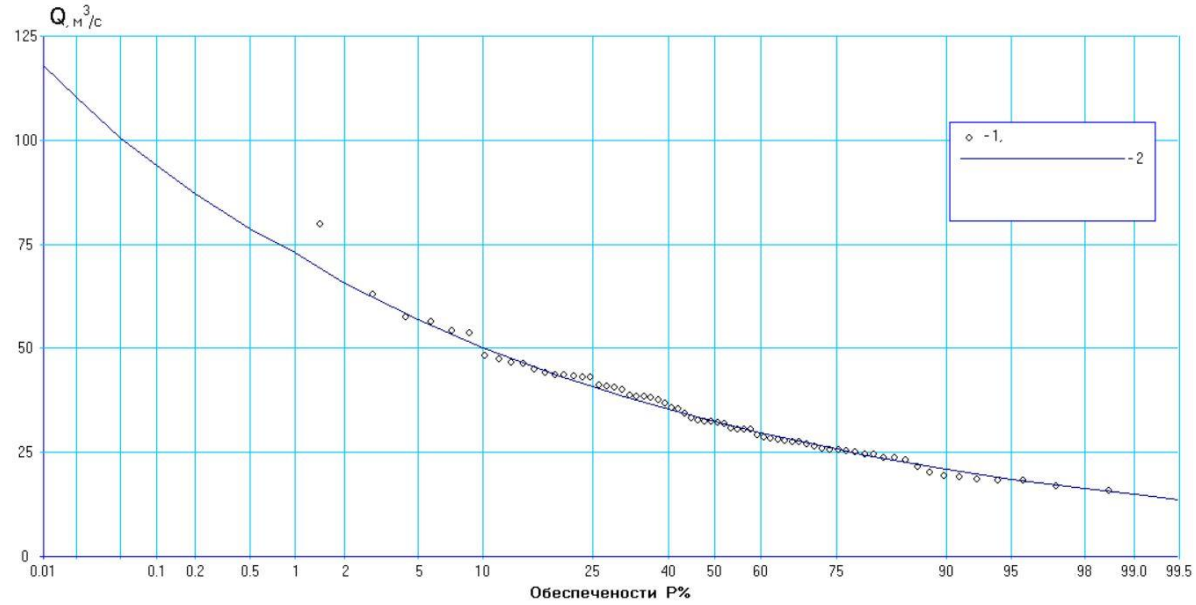


Рисунок 4.11 – Эмпирическая и аналитическая кривые минимальных суточных зимних расходов воды р. Шуя – д. Бесовец.

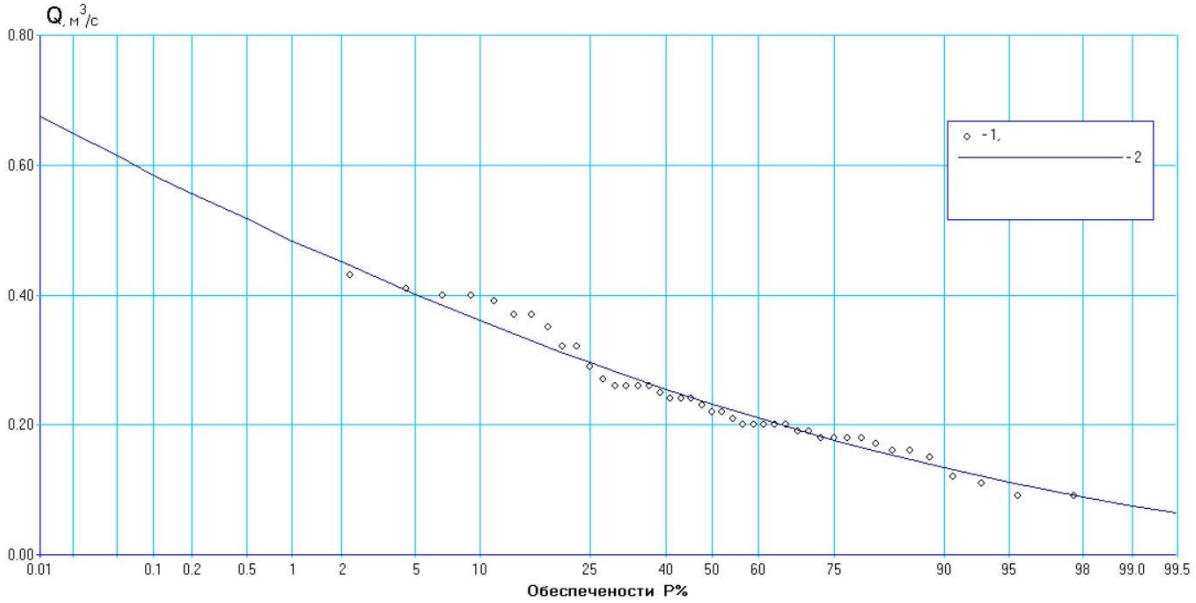


Рисунок 4.12 – Эмпирическая и аналитическая кривые минимальных суточных зимних расходов воды р. Пета-Оя – с. Короншозеро.

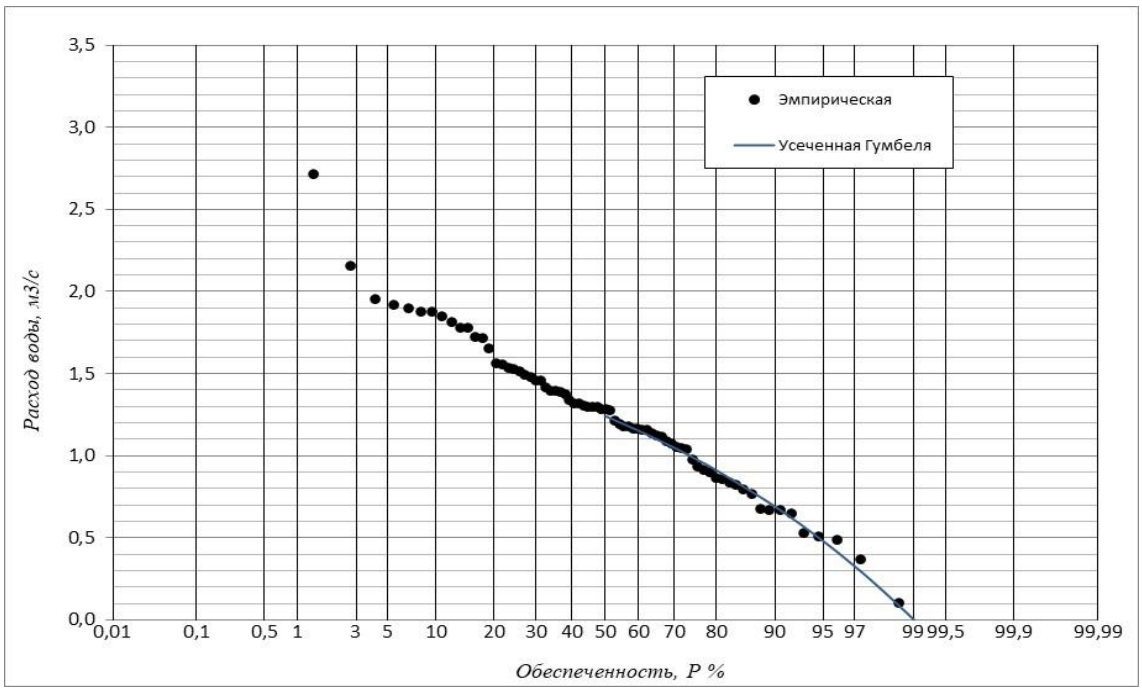


Рисунок 4.13 – Усеченная кривая обеспеченности минимальных суточных зимних расходов воды р. Лососинка – г. Петрозаводск. Гумбеля с Cs < 0.

Таблица 4.7 – Расчетные минимальные суточные зимние расходы воды, м^3/с

Река – Пост	F, км^2	Обеспеченность, P%						
		50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	1,24	1,05	0,91	0,69	0,48	0,007	-0,66
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	0,10	0,09	0,06	0,04	0,02	0,009	0,001
Шуя - д. Бесовец	9560	32,4	27,1	24,4	21,0	18,6	14,9	11,6
Пета-Оя - с. Кореншозеро	68,6	0,23	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,05
Сяньга - д. Чуралахта	1610	7,46	5,39	4,24	2,86	1,94	0,79	0,23
Святрека - пгт Пряжа	355	0,91	0,71	0,60	0,45	0,35	0,19	0,03
Суна - пгт Поросозеро	3370	20,1	14,9	12,2	8,79	6,31	2,25	-4,28

Таблица 4.8 – Расчетные минимальные суточные зимние модули стока воды, л/с км^2

Река – Пост	F, км^2	Обеспеченность, P%						
		50	70	80	90	95	99	99,9
Лососинка - г. Петрозаводск	276	4,49	3,80	3,30	2,50	1,74	0,03	-2,39
Неглинка - г. Петрозаводск	43,3	2,31	2,08	1,39	0,92	0,46	0,21	0,02
Шуя - д. Бесовец	9560	3,39	2,83	2,55	2,20	1,95	1,56	1,21
Пета-Оя - с. Кореншозеро	68,6	3,35	2,77	2,33	1,90	1,60	1,17	0,73
Сяньга - д. Чуралахта	1610	4,63	3,35	2,63	1,78	1,20	0,49	0,14
Святрека - пгт Пряжа	355	2,56	2,00	1,69	1,27	0,99	0,54	0,08
Суна - пгт Поросозеро	3370	5,96	4,42	3,62	2,61	1,87	0,67	-1,27

4.5. Расчет средних районных значений основных статистических характеристик речного стока

Для однородных рядов были рассчитаны средние районные значения основных статистических характеристик. Результаты представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 Средние районные значения статистических характеристик

Стат. характеристика	Вид стока			
	Среднегодовой	Максимальный весенний	Минимальный зимний (сут.)	Минимальный летне-осенний (сут.)
Среднее, л/с км^2	11,0	58,3	3,86	4,26
Cv	0,28	0,29	0,40	0,58
Cs/Cv	1,5	2,5	1,0	1,5

Как видно из таблицы в районе исследований наибольшую изменчивость имеет минимальный летне-осенний сток, при этом летние-осенние расходы выше зимних в среднем на 10%. Водность рек достаточно высокая – среднегодовой модуль стока 11 л/с км^2, а средний максимальный модуль стока относительно низкий (58,3 л/с км^2) из-за высокой зарегулированности рек озерами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В районе исследований антропогенные и климатические изменения наиболее заметно проявились на малых реках с озёрностью менее 10 % - на реках Лососинка, Неглинка и Святрека.

В тоже время на реках Шуя, Пета-Оя и Сяньга, где $f_{оз} > 10\%$, ряды всех видов стока являются однородными и стационарными.

На реке Суна ($f_{оз} = 14\%$) неоднородность выявлена только у ряда минимальных зимних расходов воды.

При расчете и расходов заданной обеспеченности для однородных рядов наилучшую сходимость с эмпирическими данными для всех видов стока показала аналитическая кривая Крицкого-Менкеля за исключением реки Шуя, где для ряда среднегодовых расходов использована кривая Пирсона III типа.

Для неоднородных рядов можно рекомендовать построение усеченных кривых с использованием распределений Гумбеля и Вейбулла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 *Богословский Б.Б.* Общая гидрология: учебник для студ. ВУЗов/ Богословский Б.Б. [и др.] – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.–356 с.

2 *Владимиров А.М.* Гидрологические расчёты. – Л.: Гидрометеоидат, 1990. – 365 с.

3 *Владимиров А.М., Дружинин В.С.* Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчётам. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 208 с.

4 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1, РСФСР, Бассейны рек Балтийского моря, Онежского и Ладожского озёр. Вып. 5. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

5 *Евстигнеев В. М.* Речной сток и гидрологические расчеты. – М.: Изд-во МГУ,1990. – 304 с.

6 *Лучшева А .А.* Практическая гидрометрия: издание 2-е дополненное и переработанное. Рецензент: Ленинградский гидрометеорологический институт (канд. Геогр. Наук Г. Н. Угренинов)

7 Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 248 с.

8 Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.

9 Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: Ротапринт ГНЦ ААНИИ, 2007. – 67 с.

10 Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: «Нестор-История», 2009. – 193 с.

11 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 444 с.

12 Ресурсы горючих вод СССР Т.2. Карелия и Северо-Запад Ч.2. – Л: Гидрометеоиздат, 1978.– 670 с.

13 Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад / под ред. Е. Н. Тараканової. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 700 с.

14 Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.

15 Свод правил СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2023.

16 *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.–279 с.

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ

17 Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). Энергия вод. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rreda.ru/industry/acquaintance/res-hydro/ (дата обращения: 12.01.2026).

18 Малые ГЭС Карелии. Игнойла ГЭС-26. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://zavodfoto.livejournal.com/5147245.html (дата обращения: 12.01.2026).

19 *Назарова Л.Е., Богачев М.А., Георгиев А.П.* Водосбор реки Шуя (Республика Карелия) в условиях изменения климата // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 10 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://web.snauka.ru/issues/2015/10/58166 (дата обращения: 12.01.2026).

20 Российское географическое общество. Вологодское областное отделение. Река Шуя (Суойоки). [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://www.vrorgo.ru/2018/04/11/reka-shuya-suojoki/ (дата обращения: 12.01.2026).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А – СРЕДНЯЯ МЕСЯЧНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Таблица А.1 – Средняя месячная температура воздуха,°С. МС г. Петрозаводск

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1950	-16.3	-8.3	-4	5	7.8	13.1	13.8	13.6	10	4.8	-1.3
1951	-10.6	-9.7	-6.9	4.4	4.5	12.8	14.2	16.9	10.7	4	-4
1952	-5.2	-6.6	-10.6	2.6	4.4	12.9	16	13.1	7.9	0.4	-3.6
1953	-10.1	-15.8	-3.2	3.6	7.5	15.9	15.3	14.6	7.1	3.9	-1.4
1954	-10.4	-12.6	-3.1	0.3	8.1	14.2	17.9	14.3	10.1	3.6	-2.9
1955	-9	-12	-8.9	-1.5	5.1	11.3	15.3	16.3	12.1	4.4	-5.7
1956	-12	-17.3	-4.6	-1.8	7.5	15.5	12.2	11.8	7	2	-7.1
1957	-5.8	-4.4	-10.4	1	8.7	11.7	17.1	14.9	9.1	3.7	-1.9
1958	-11.6	-10	-9.6	0.5	5.8	11.9	14.4	13.1	7.6	3.8	0.2
1959	-8.1	-4.9	-0.7	1.8	7.5	15	16.4	16.1	6.5	1.1	-2.8
1960	-13.6	-12.6	-5.6	2.4	9.1	14.4	19.2	14.5	8.1	-0.2	-4
1961	-6.1	-2.7	-2.1	-0.2	7.6	16.5	16.3	13.9	7.9	6.9	-1.6
1962	-5.9	-7.9	-8.5	3.8	8.2	10.4	14	11.9	8.6	4.4	0.4
1963	-15.4	-13.3	-12	1.9	12.1	11.3	15.8	15.3	12.4	3.8	-1.5
1964	-6.8	-10.8	-7.1	1.4	8.3	13.8	15.9	13.7	8.8	5.5	-4.4
1965	-9.7	-12.6	-4.9	1.2	4.6	14.7	14	13.4	11.3	3	-6.9
1966	-19.7	-19.6	-7.6	-1.4	8.9	14.8	16.3	13.3	6.5	2.9	-0.2
1967	-14.4	-8.8	0.4	2.7	8.4	12.4	16	16.7	10.5	6	1.3
1968	-20.3	-8.4	-2.3	0.7	6.8	15.5	12.5	14.6	7.8	0	-3.9
1969	-16.8	-14.6	-7.3	0.9	5.6	11.4	14.8	14.3	8.3	3.5	-1.4
1970	-12	-12.7	-3	1.1	7.6	14.4	17.1	14.6	9.5	2.9	-4.6
1971	-4.3	-12.3	-7.2	-0.3	7	11.7	14.9	14.2	7.7	1.4	-3.6
1972	-14.3	-7.3	-5.1	0.8	6.6	15.7	19.9	17.4	8.6	2.9	-2.8
1973	-8.4	-7.6	-4	2.6	9.4	15.7	18.1	13.8	5.3	0.3	-4.9
1974	-11.3	-1.6	-2.3	0.5	4.2	14.9	17.8	14.3	11.8	5	-0.9
1975	-5.3	-8	-0.3	2.9	11.4	12.8	16.6	13	11.8	2.2	-2
1976	-15.1	-11.3	-6.3	1.4	8.7	10.1	14.3	11.8	7.1	-1.1	-2.3
1977	-10.4	-10.1	-4.4	1.7	8.8	13.4	16.2	13.7	7.5	1.5	-0.4
1978	-10.5	-15.9	-3.6	-0.5	8.3	12	14.7	12.3	7.5	1.8	-0.5
1979	-12.9	-12.1	-3.1	-1.7	11.6	13.6	15.7	14.8	8.7	1.9	-0.8
1980	-11.5	-9.1	-7.6	2	5.8	16.5	15.1	13.3	8.8	3.3	-5.4
1981	-6.5	-9.8	-8.2	-0.3	9.8	13.8	17.8	14.3	9.1	6	-2.3
1982	-15.8	-7.6	-2.5	2.1	8.6	9.8	16.3	13.4	9.3	2.7	1.4
1983	-5.6	-10.1	-3.9	4.2	10.1	12.8	17.2	13.8	10.5	4	-4.1
1984	-7.2	-7.9	-5.2	3.5	11.7	13.4	16.2	13.2	8.9	4.2	-2.8
1985	-19.7	-19.3	-3	-0.3	7.1	11.6	14.6	16.6	9	4.5	-3.9
1986	-11.9	-14.8	-1	2.3	8.4	15.4	16.6	12.8	6.2	3.6	1.3
1987	-22.1	-9.6	-6.8	0.7	7.4	13.5	14.5	11.8	8.1	5.5	-5.5
1988	-8.5	-8.1	-2.9	-0.1	9.4	15.4	19	14.1	9.8	3.9	-6.8

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1989	-4.2	-2.5	0.3	3.5	10.7	16.7	17.1	14.5	10.8	3	-1.9
1990	-10.8	-0.2	-1.5	4.7	7.2	11.6	15	14.1	6.8	2.8	-5.1
1991	-8.8	-9.1	-4.8	2.5	7.5	13.8	16.1	14.4	8.3	5.4	1.2
1992	-7.2	-4.8	-0.3	-0.3	9.7	14	15.6	14	11.6	-1.1	-5.6
1993	-6.1	-5.7	-3.5	1.5	10.5	10.8	15.4	13.4	4.8	1.3	-7.9
1994	-8.2	-14.8	-3.8	4.3	6	13.4	16.8	14	10.5	3.5	-4.3
1995	-6	-3	-1	2.7	8.5	16.6	14.6	14.5	10.1	5.7	-4.8
1996	-8.8	-12.6	-5.2	1	6.8	13	14.3	16.5	7.7	4.3	2.2
1997	-10.3	-6.2	-3.4	0.1	6.7	14.3	17.2	16.1	8.4	1.1	-3.7
1998	-6.3	-14.1	-6.2	-1.7	8.7	14.3	16.9	12.9	9.6	4.3	-6
1999	-11.6	-11.1	-4.5	4.8	4.3	18.9	17.9	13.6	10.6	5.4	-4
2000	-7.7	-5.2	-2.3	5.5	8.3	14.8	17.2	14.3	9	6.7	-0.8
2001	-4.8	-12.5	-6.8	5.7	7.3	13.6	20	14.1	10.7	3.4	-3.6
2002	-7.9	-3.1	-1.7	3.4	9	15.3	19.2	15.2	9.3	-0.5	-6.5
2003	-14.7	-7.2	-2.3	0.7	10.7	9.9	19.5	15.2	10.6	3.5	-0.3
2004	-11.1	-8.7	-2.1	1.5	8.6	12.9	17.1	14.9	11	3.7	-3.1
2005	-4.6	-9.4	-8.1	2.6	8.9	14.1	17.8	16.2	11.6	5.9	2.4
2006	-9.8	-15.2	-9.6	2.5	9.5	16.3	16.1	15.7	11.4	4.8	-1.6
2007	-6.1	-15.5	2	3.1	9.3	12.9	16.3	17.2	10	5.3	-3.2
2008	-4.6	-3.8	-3	2.8	7.2	12.3	16	13.2	8.1	6.5	0.7
2009	-8.2	-7.6	-4.1	1.4	10.5	12.9	16.3	14.6	11.9	1.9	-0.3
2010	-15.3	-12.1	-5.4	3.8	11.4	13.2	22.3	17	10.2	3.6	-3.6
2011	-10.3	-14.5	-3.8	4.2	9.2	15.5	20.2	14.9	10.6	5.4	0.1
2012	-8.2	-13.5	-4.3	1.7	10.1	13.6	17.4	14.3	10.7	3.8	0.2
2013	-9	-5	-10.2	2.8	11.1	17.1	16.8	16.4	9.2	4.7	1.8
2014	-10.2	-2.4	-0.3	3.5	10.1	12.6	18.4	16.7	11.3	2	-1.3
2015	-7.1	-2.7	0.7	2.2	10.4	14.2	14.3	15.4	11.8	3.5	0.1
2016	-14.9	-2.3	-1.3	3.5	12.7	14.2	18.4	15.3	10	2.8	-4.3
2017	-7.3	-7.5	-1	0.2	5	11.7	15.5	15.8	9.8	3.2	-0.2
2018	-5.4	-11.1	-8.2	3.1	12.5	13.5	18.6	16.9	11.4	4.8	0.3
2019	-8.9	-3.9	-1.7	4	9.1	16.5	13.5	13.4	9.6	2.8	-1.2
2020	-2	-2.7	-0.1	1.5	7.4	16.1	16.1	14.6	11.3	5.9	1.5
2021	-9.1	-14.4	-3.6	3.3	9.5	19.2	20	14.7	7.7	5.9	-0.6
2022	-8.1	-4.5	-2.3	1.7	7.3	15.3	18.8	18.3	8.2	5.3	-1.9
2023	-5	-5.9	-2.7	3.3	10.6	13.8	15.5	16.7	14	2.1	-3.5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – МЕСЯЧНЫЕ СУММЫ ОСАДКОВ

Таблица Б.1 – Месячные суммы осадков, МС г. Петрозаводск

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1967	25	15	29	35	61	74	33	95	23	85	34	56
1968	29	37	52	57	52	40	79	77	96	55	30	30
1969	42	19	15	33	59	21	59	67	119	68	72	57
1970	29	13	37	66	25	54	34	52	182	63	28	27
1971	57	26	59	11	20	107	43	79	20	46	49	37
1972	5	18	21	36	42	18	49	48	32	46	68	30
1973	31	27	37	31	25	50	5	113	73	77	42	36
1974	20	43	23	24	42	31	77	115	29	80	97	36
1975	32	23	23	74	49	53	47	46	52	31	64	59
1976	31	12	35	35	30	82	82	149	119	11	27	26
1977	14	25	43	32	90	56	94	70	83	36	57	17
1978	28	9	48	24	3	68	52	160	89	30	39	14
1979	29	22	21	22	25	28	26	54	44	57	51	24
1980	24	32	9	26	13	32	23	31	22	53	59	41
1981	28	23	40	38	44	132	78	84	64	92	53	86
1982	32	10	19	37	53	74	86	70	51	36	53	51
1983	41	16	46	18	50	60	93	41	76	60	47	55
1984	57	8	17	5	44	33	125	48	89	109	13	17
1985	37	15	12	17	48	115	39	43	42	51	21	59
1986	36	11	18	53	27	37	41	78	88	36	29	46
1987	15	34	25	16	55	71	96	131	44	0	27	37
1988	24	28	35	64	30	63	72	152	56	62	34	46
1989	42	26	29	9	14	32	54	109	55	66	33	31
1990	50	48	40	28	48	64	106	30	54	39	55	41
1991	49	29	19	53	54	75	58	82	38	55	52	40
1992	30	21	44	90	33	20	49	105	74	55	55	42
1993	28	24	41	17	40	54	113	82	64	55	4	52
1994	34	8	52	47	29	118	37	53	117	58	34	44
1995	54	23	43	43	78	34	76	47	34	51	85	30
1996	14	29	7	15	30	86	104	22	42	24	58	50
1997	32	29	30	59	59	61	19	33	65	68	60	38
1998	33	43	40	6	67	101	92	81	47	60	42	39
1999	35	31	14	27	37	53	64	40	40	56	34	97
2000	39	34	35	18	41	44	144	62	76	64	63	44
2001	24	38	40	23	92	54	64	72	48	80	93	32
2002	33	35	32	9	49	40	55	21	73	54	73	17
2003	38	7	21	28	23	71	68	206	50	78	37	55
2004	29	27	54	9	43	54	178	135	52	40	57	42
2005	46	13	38	41	86	44	71	38	29	37	65	50
2006	41	14	20	30	29	67	75	85	61	97	61	25

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2007	51	26	33	45	91	71	97	43	56	10	37	14
2008	38	47	64	31	24	53	74	180	23	94	63	19
2009	58	37	31	7	19	89	113	99	60	75	56	54
2010	10	34	22	17	74	78	40	62	94	43	80	38
2011	59	25	24	11	56	27	102	86	111	35	38	53
2012	45	14	42	43	48	120	82	89	48	68	53	61
2013	25	28	17	22	41	88	43	66	67	53	57	37
2014	44	27	31	13	57	40	62	60	30	39	21	28
2015	43	39	17	36	61	49	81	65	36	17	50	55
2016	65	24	11	50	37	71	123	203	49	12	62	50
2017	29	26	22	58	41	68	75	63	138	45	37	60
2018	32	28	41	67	17	37	58	106	50	42	20	14
2019	55	52	41	11	54	29	132	47	42	92	30	85
2020	26	42	23	35	24	40	59	57	69	53	26	44
2021	53	50	23	38	60	70	34	187	45	65	59	63
2022	22	44	19	19	86	71	100	100	121	39	25	44
2023	35	14	47	21	21	39	151	70	76	136	113	61

ПРИЛОЖЕНИЕ В – ГРАФИКИ СВЯЗИ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

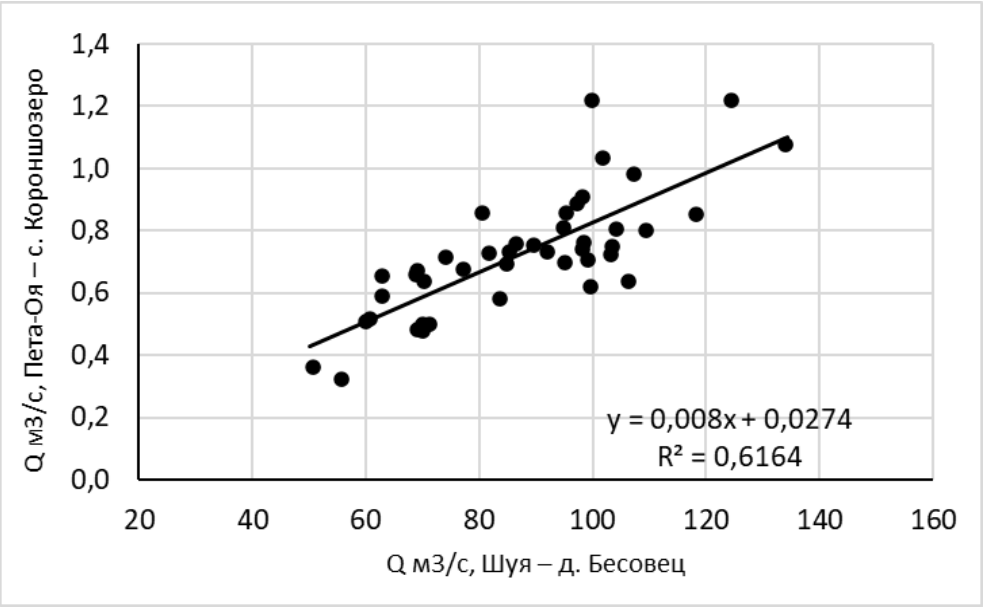


Рисунок В.1 – График связи среднегодовых расходов воды реки Пета-Оя – с. Короншозеро и реки Шуя – г. Бесовец.

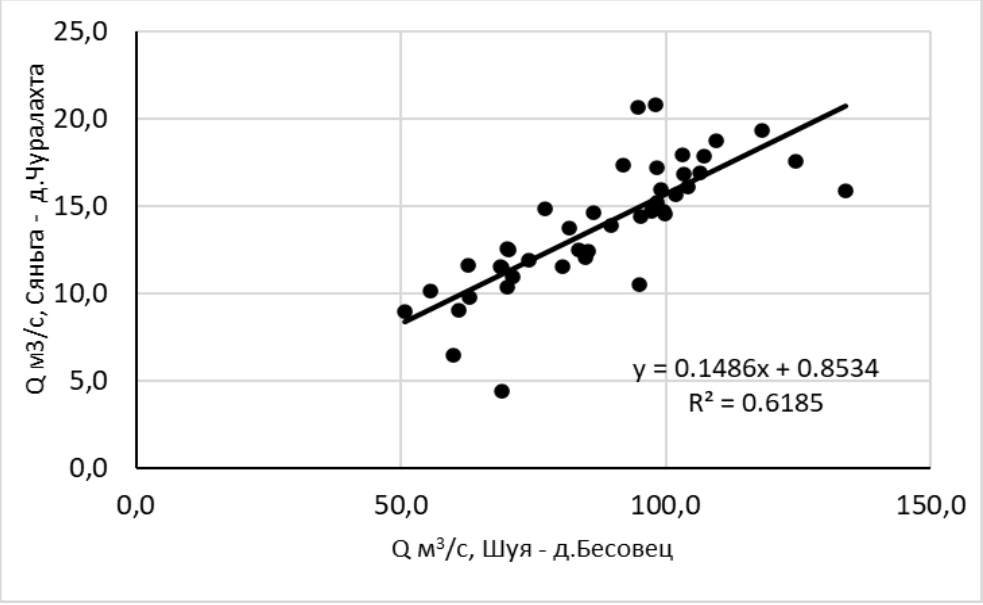


Рисунок В.2 – График связи среднегодовых расходов воды реки Сяньга – д. Чуралахта и реки Шуя – г. Бесовец.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – ГРАФИКИ СВЯЗИ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

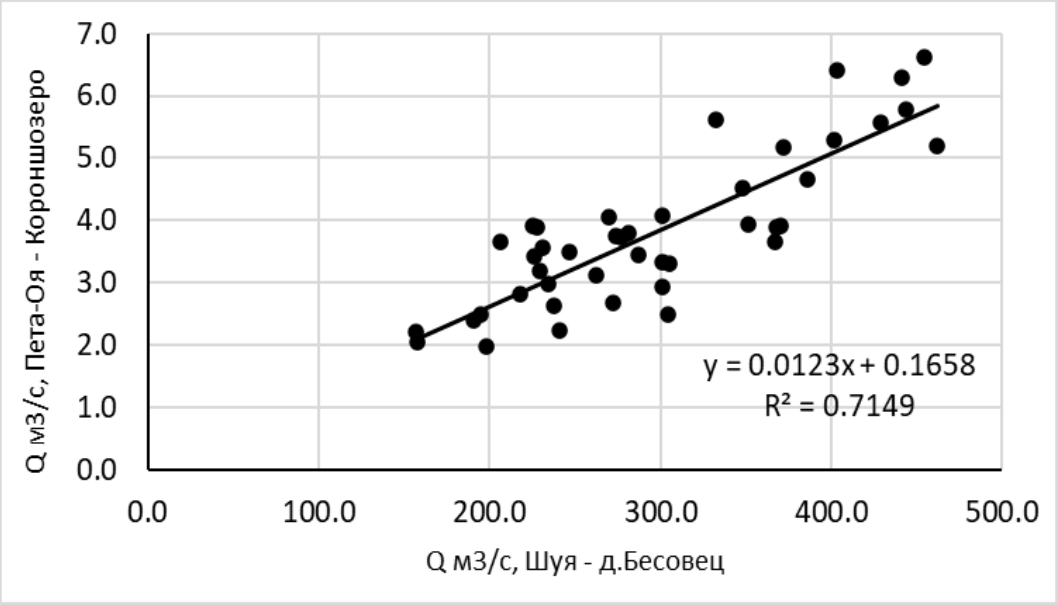


Рисунок Г.1 – График связи максимальных расходов воды весеннего половодья реки Пета-Оя – с. Короншозеро и реки Шуя – г. Бесовец.

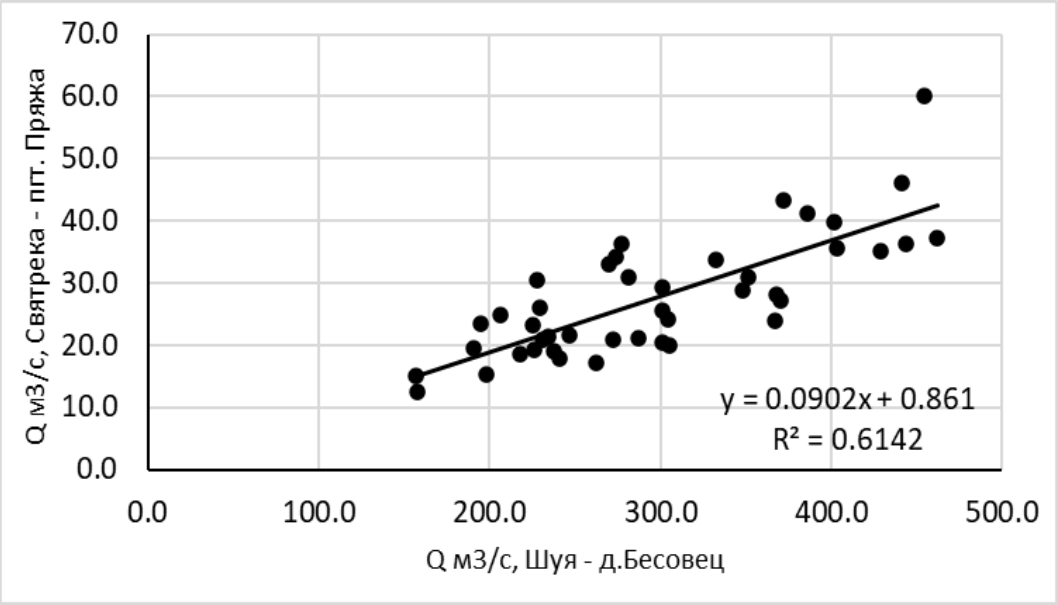


Рисунок Г.2 – График связи максимальных расходов воды весеннего половодья реки Святрека – пгт. Пряжа и реки Шуя – г. Бесовец.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д – ГРАФИКИ СВЯЗИ МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ЛЕТНЕ-ОСЕННИХ РАСХОДОВ ВОДЫ

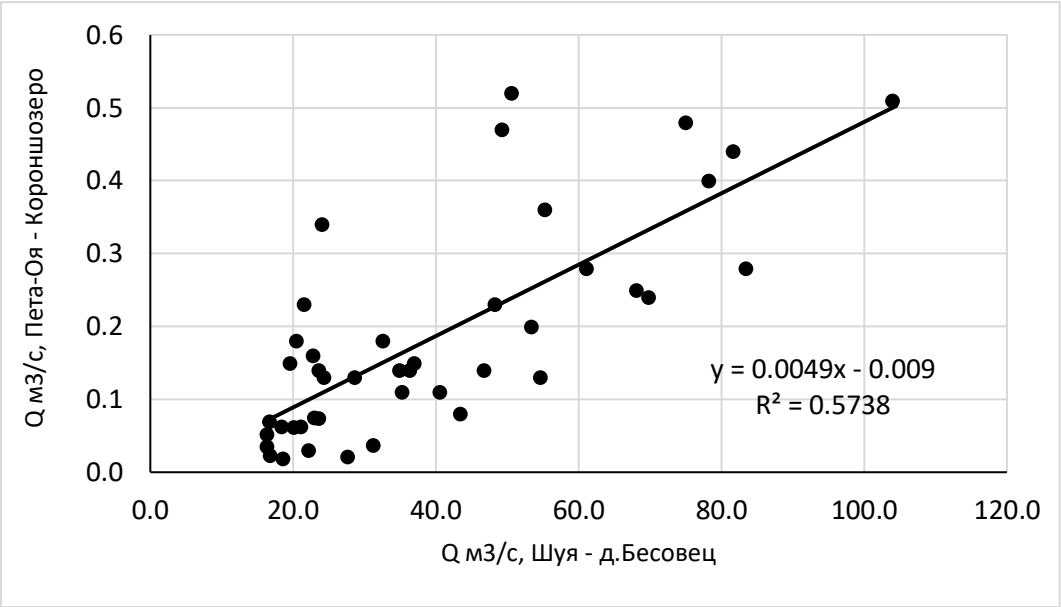


Рисунок Д.1 – График связи минимальных суточных летне-осенних расходов воды реки Пета-Оя – с. Короншозеро и реки Шуя – г. Бесовец.

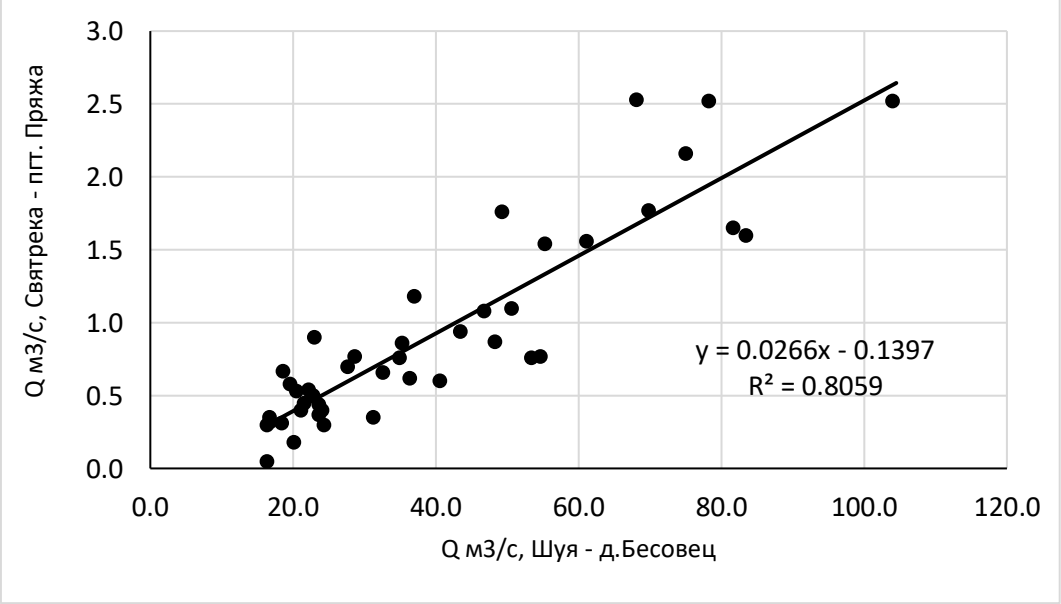


Рисунок Д.2 – График связи минимальных суточных летне-осенних расходов воды Реки Святрека – пгт Пряжа и реки Шуя – г. Бесовец.

Приложение Е - Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

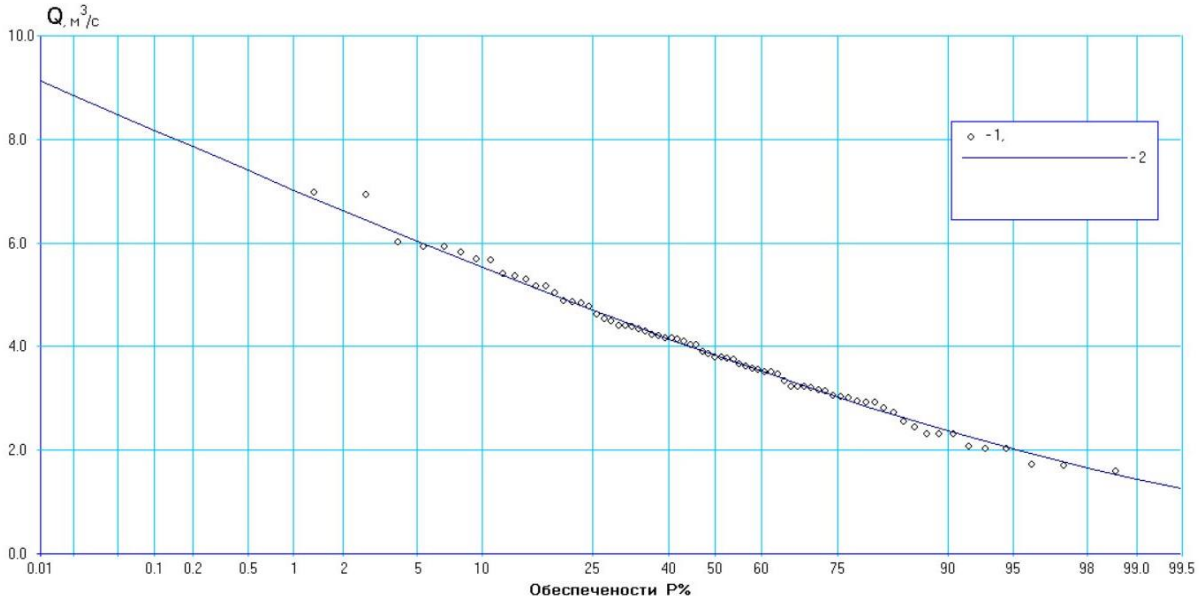


Рисунок Е.1 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Святрека – пгт Пряжа.

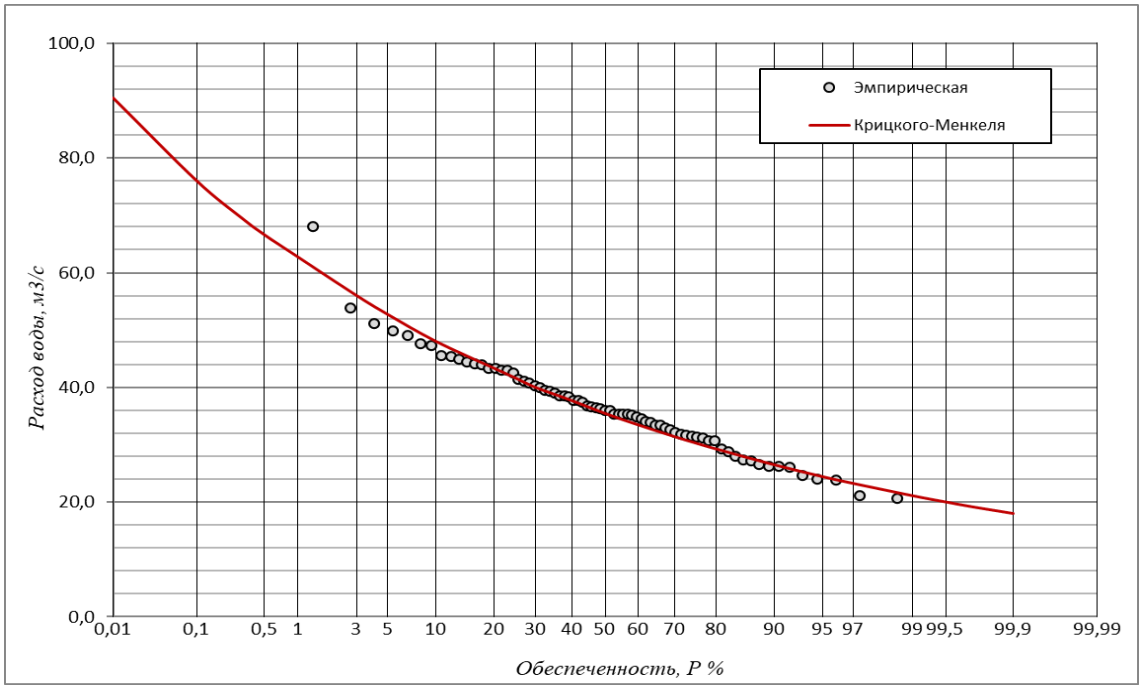


Рисунок Е.2 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Суна – пгт Поросозеро. Расчетные параметры: Qср = 36,7; Cv =0.22; Cs/Cv = 3.26. Принято: Qср = 36,7; Cv =0.24 Cs/Cv = 3.5.

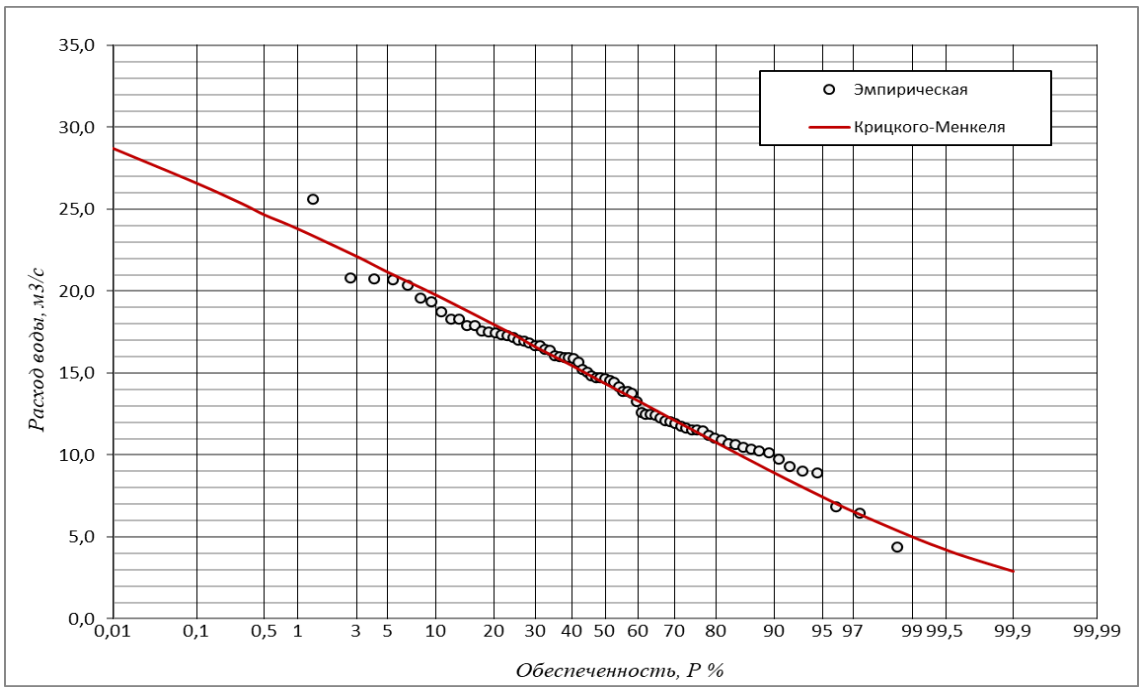


Рисунок Е.3 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Сяньга – д. Чуралахта. Расчетные параметры: Qcp = 14,4; Cv =0.27; Cs/Cv = 0,13. Принято: Qcp = 14,4; Cv =0.29 Cs/Cv = 0.

Приложение Ж - Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья

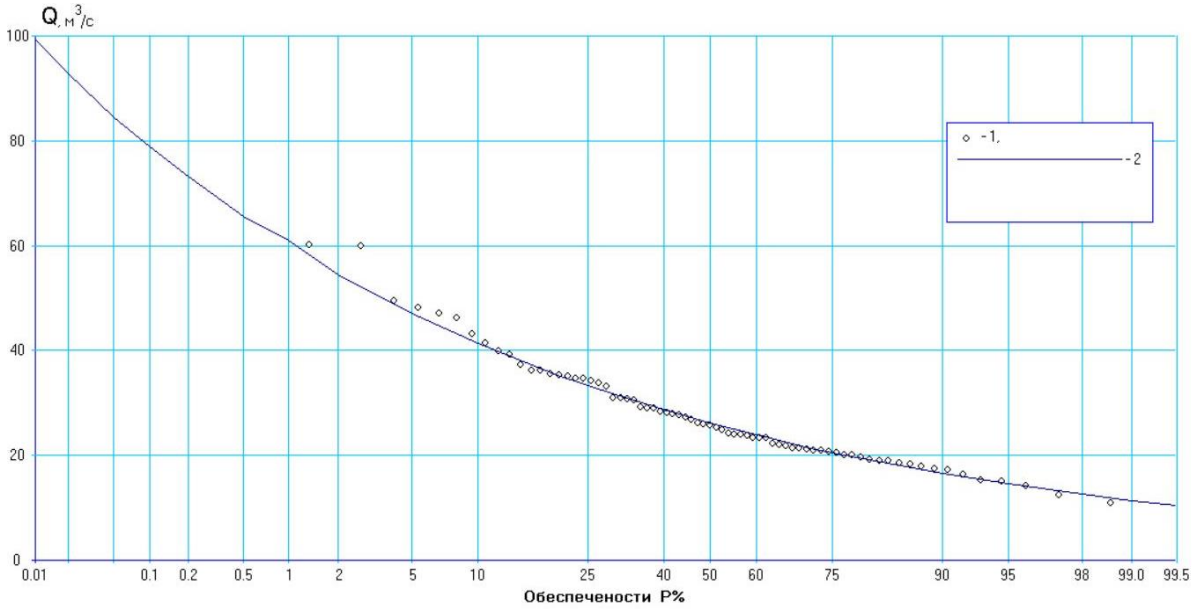


Рисунок Ж.1 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды; р. Святрека – пгт Пряжа.

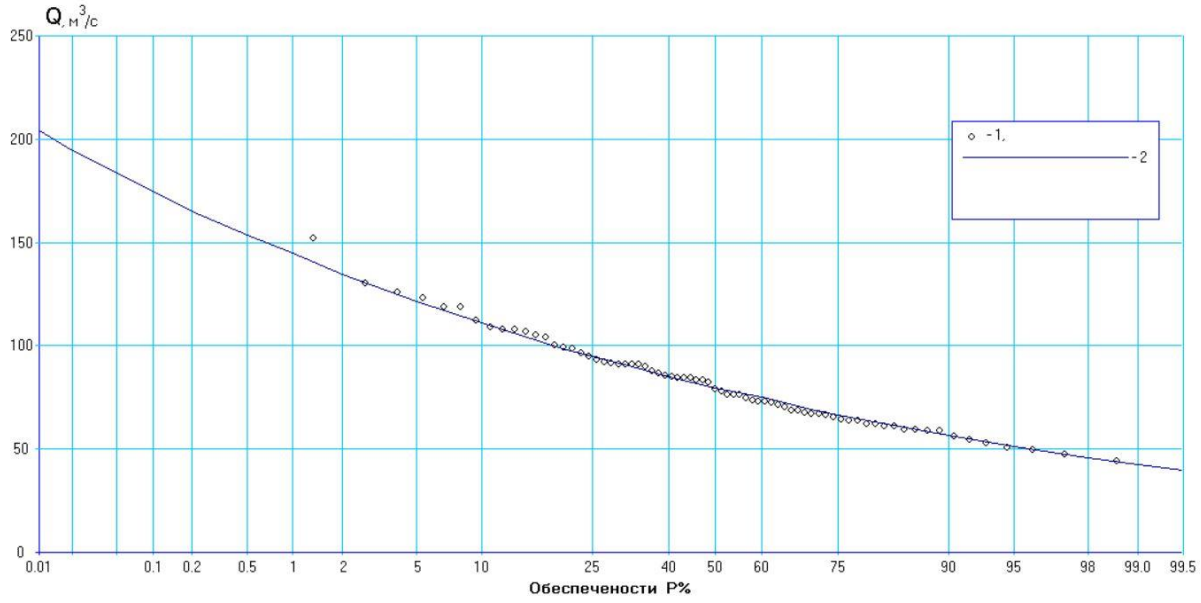


Рисунок Ж.2 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды; р. Суна – с. Поросозеро.

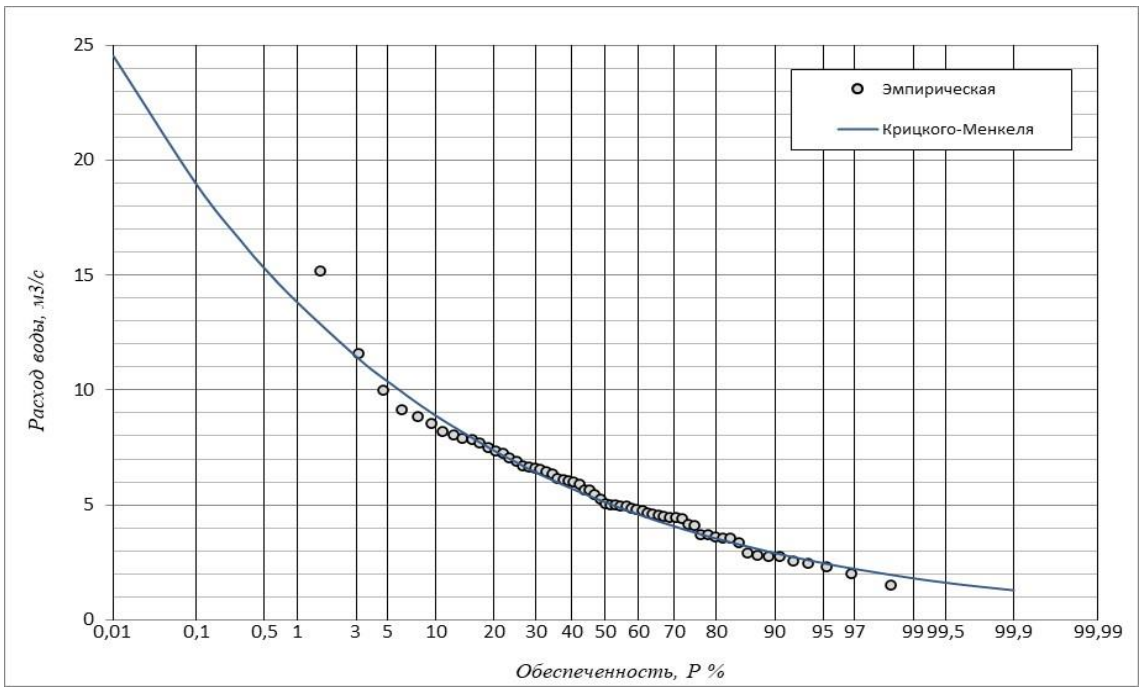


Рисунок Ж.3 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды; р. Неглинка – г. Петрозаводск. Расчетные параметры: Qcp = 5,61; Cv =0.43; Cs/Cv = 2,82. Принято: Qcp = 5,61; Cv =0.45 Cs/Cv = 3,0.

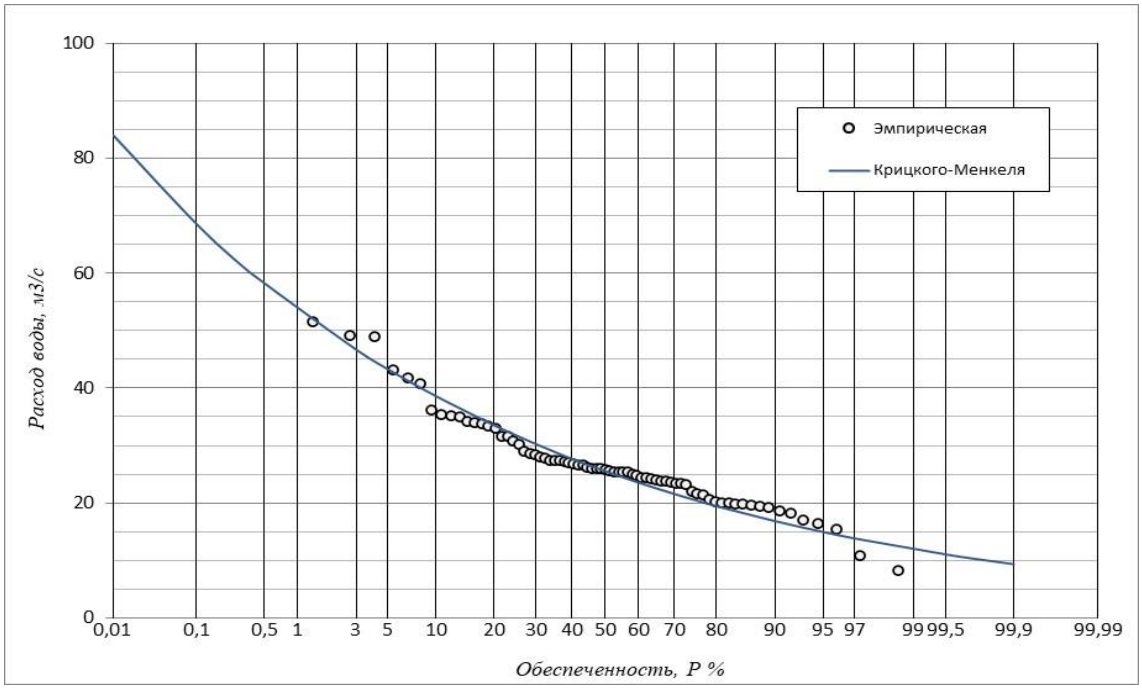


Рисунок Ж.4 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды; р.Сяньга – д. Чуралахта. Расчетные параметры: Qcp = 26,9; Cv =0.30; Cs/Cv = 3,03. Принято: Qcp = 26,9; Cv =0.33 Cs/Cv = 3,0.

Приложение З - Примеры эмпирических и аналитических кривых обеспеченностей минимальных суточных летне-осенних расходов

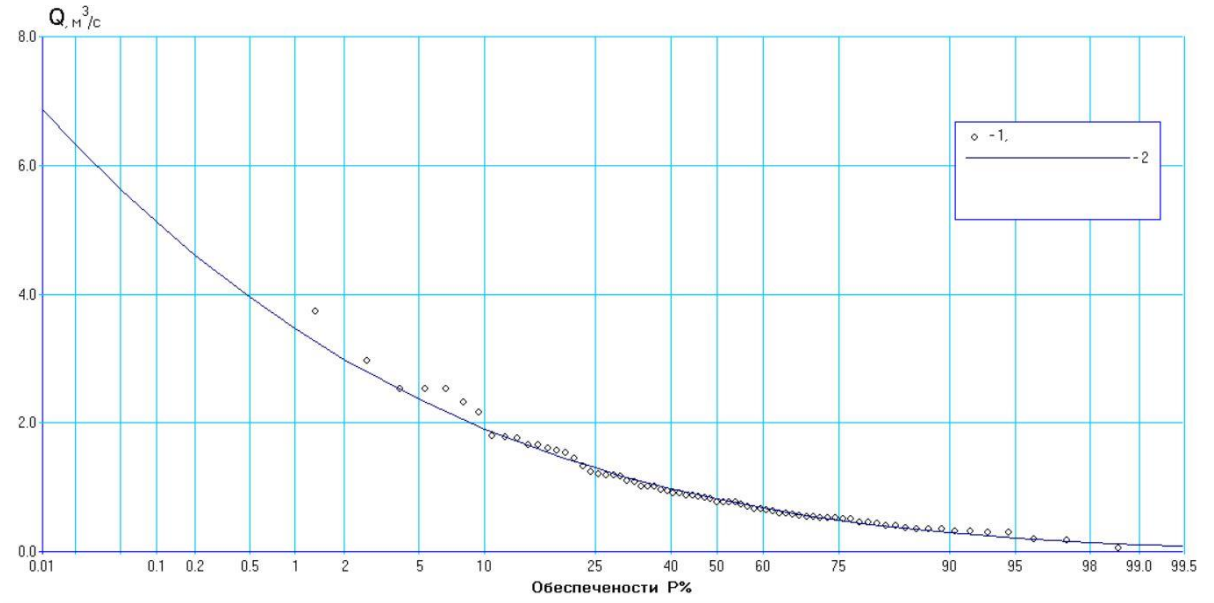


Рисунок З.1 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей минимальных суточных летне-осенних расходов; р. Святрека – пгт. Пряжа.

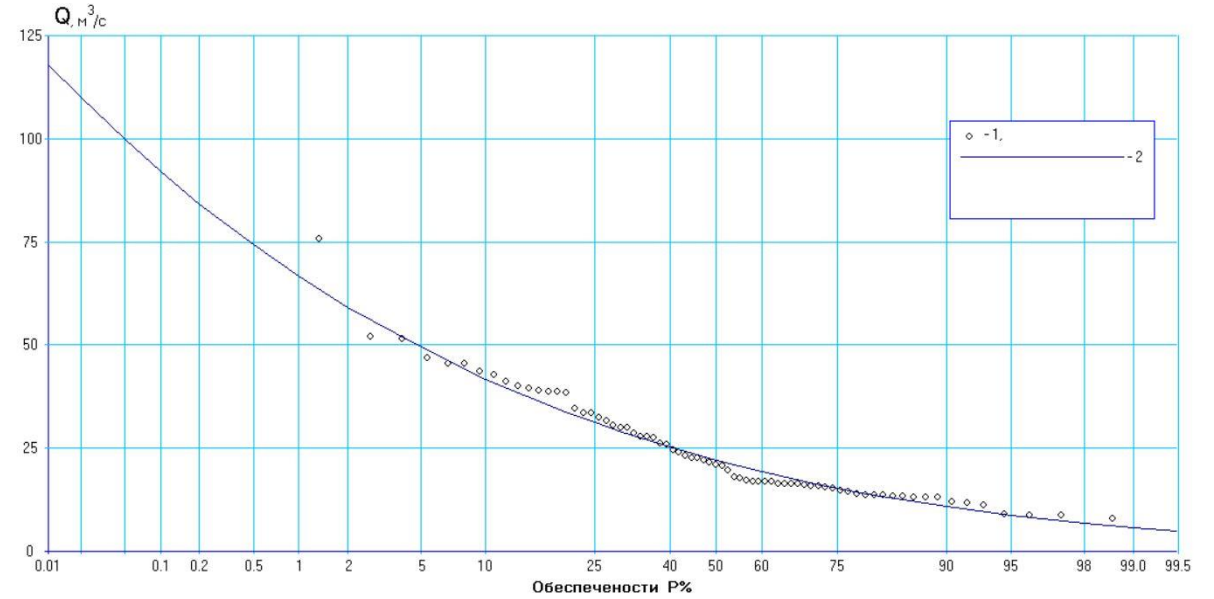


Рисунок З.2 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей минимальных суточных летне-осенних расходов; р. Суна – с. Поросозеро.

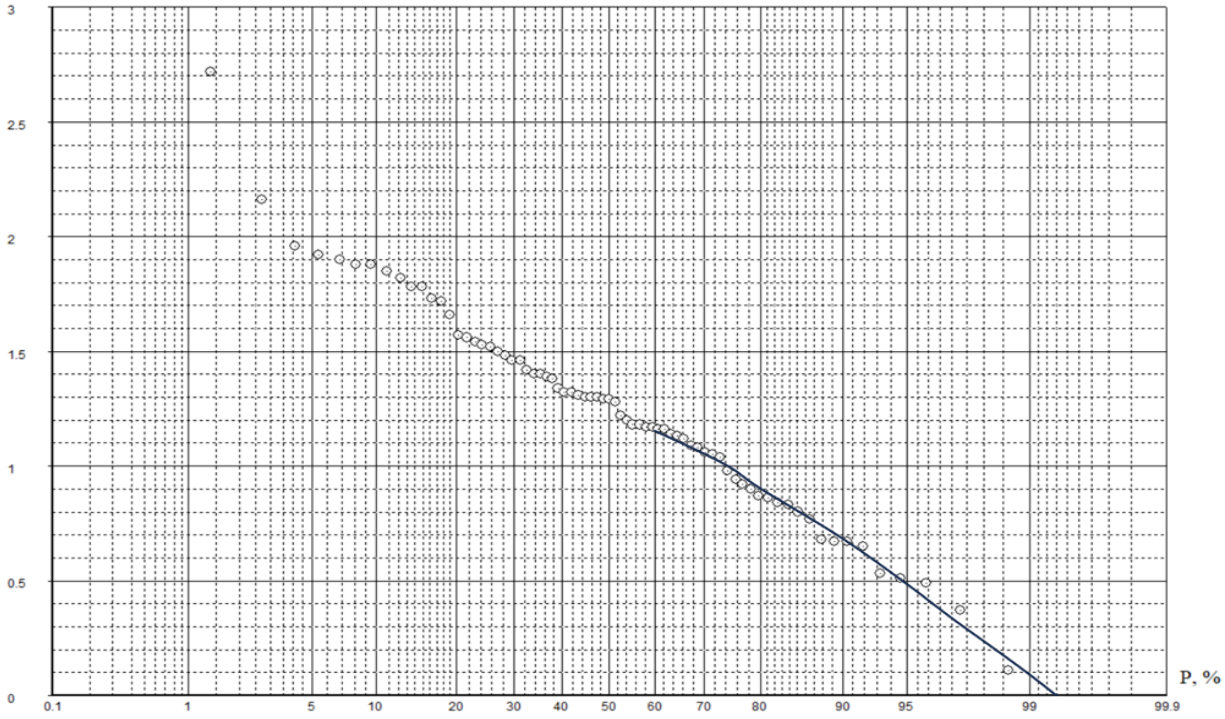


Рисунок 3.3 Усеченная кривая обеспеченности минимальных суточных летне-осенних расходов воды р. Лососинка – г. Петрозаводск

Приложение И - Примеры эмпирических и аналитических кривых обеспеченностей минимальных суточных зимних расходов

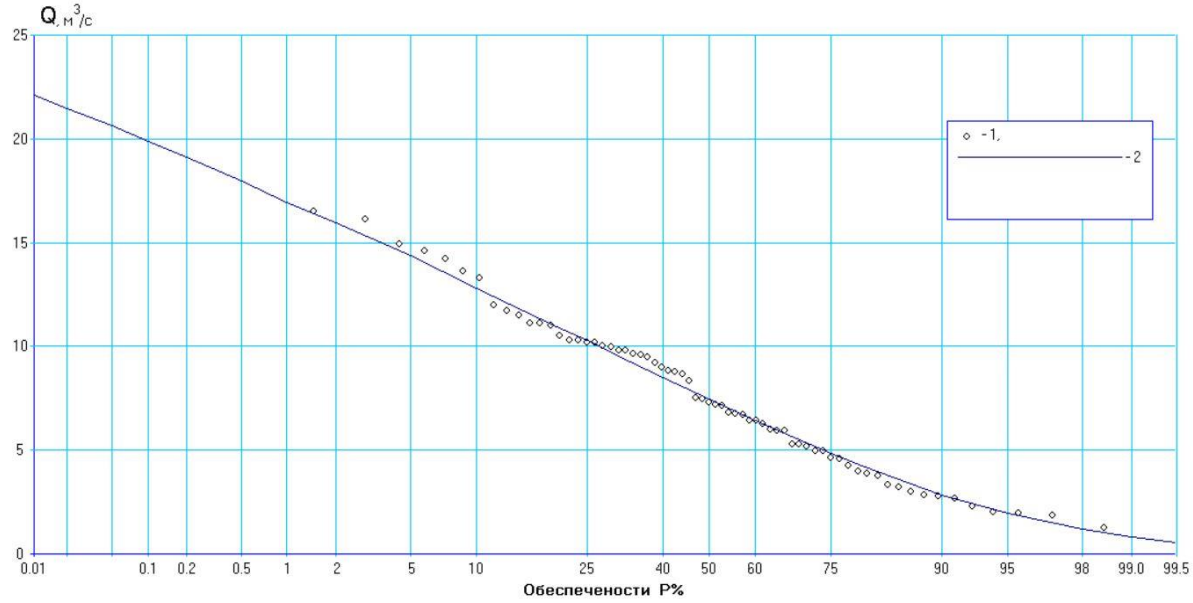


Рисунок И.1 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей минимальных суточных зимних расходов; р. Сяньга – д. Чуралахта

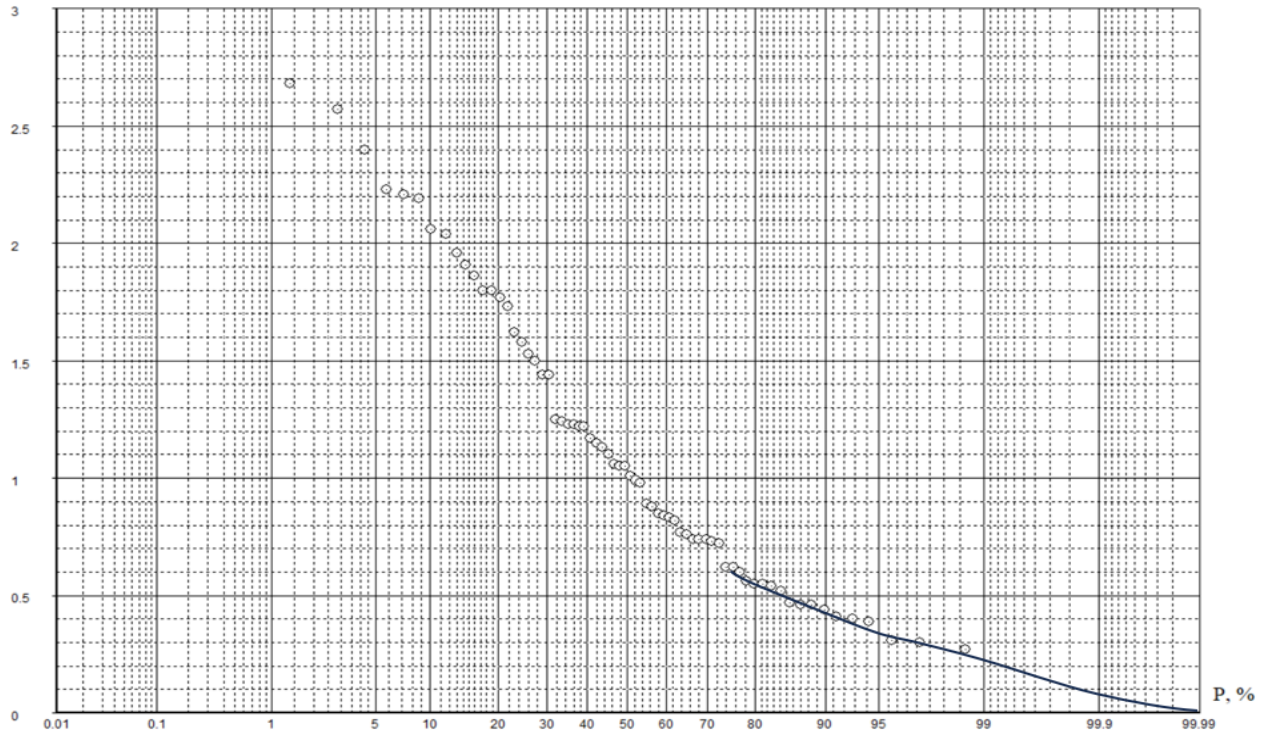


Рисунок И.2 Усеченная кривая обеспеченности минимальных суточных зимних расходов воды р. Неглинка – г. Петрозаводск

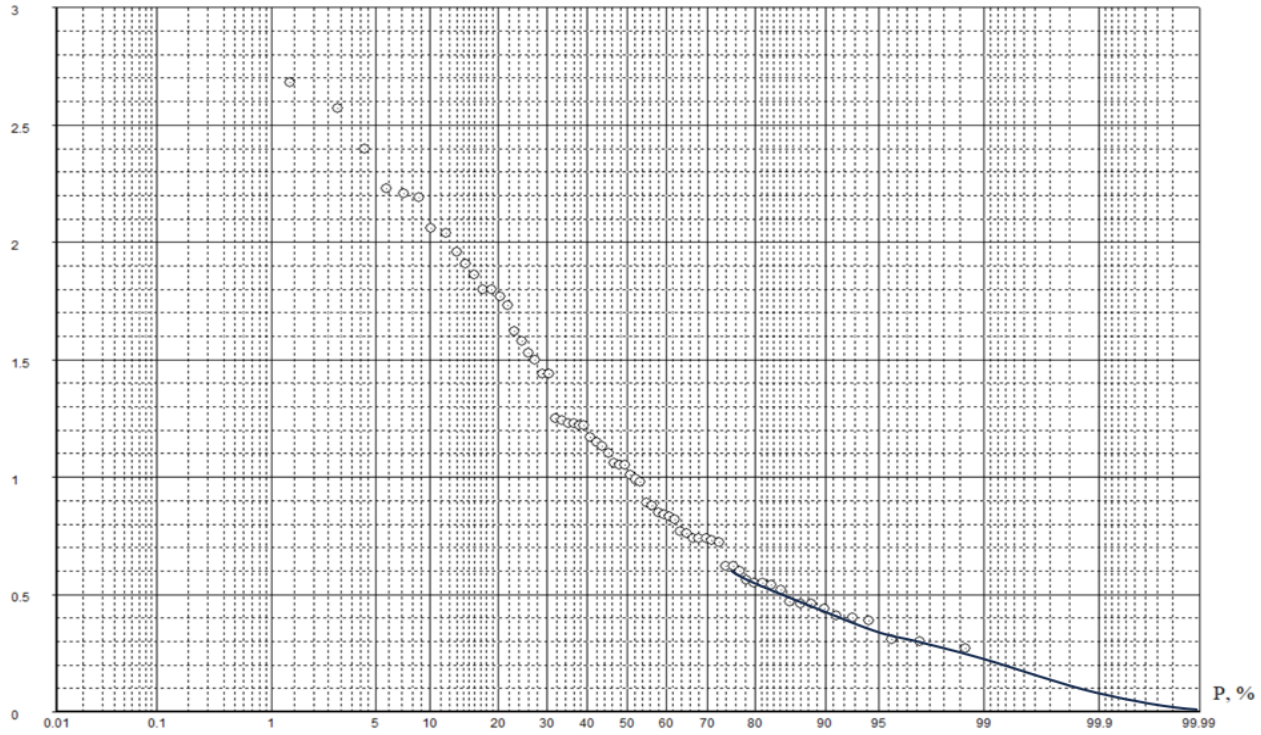


Рисунок И.3 Усеченная кривая обеспеченности минимальных суточных зимних расходов воды р. Святрека – пгт. Пряжа

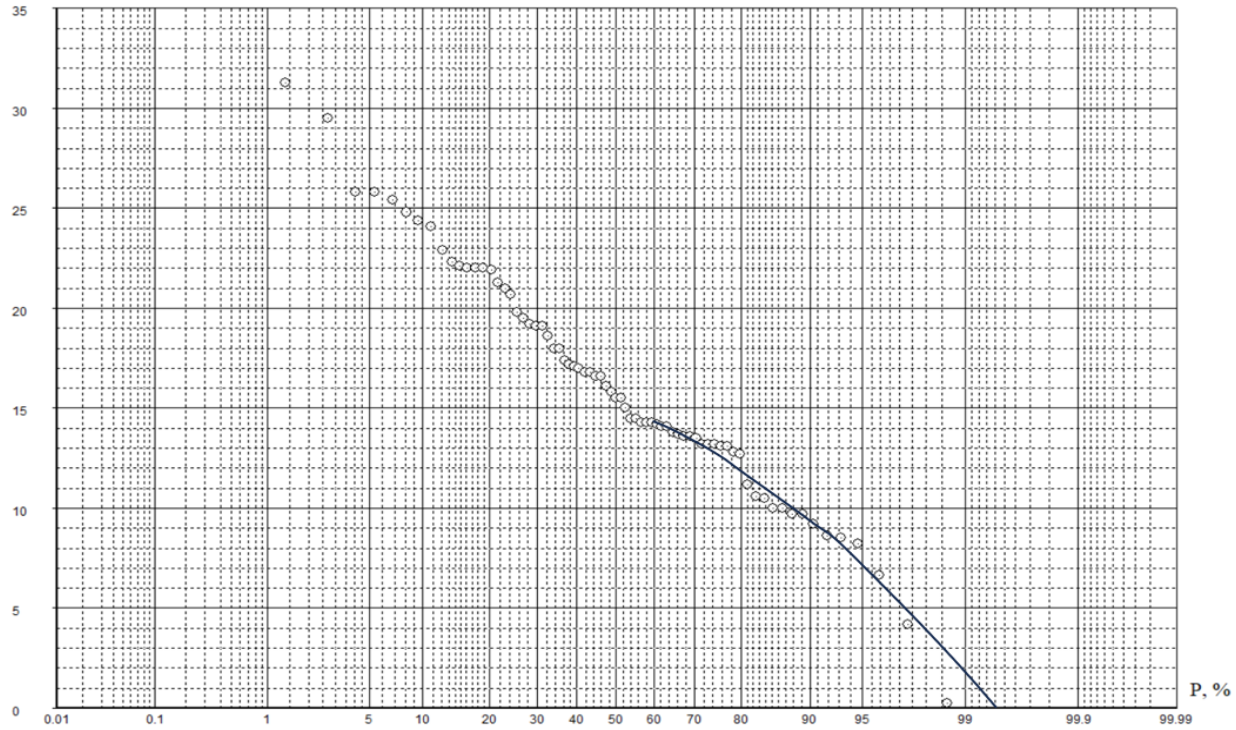


Рисунок И.4 Усеченная кривая обеспеченности минимальных суточных зимних расходов воды р. Суна – с. Поросозеро