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 **Сравнительный анализ методов восстановления пропущенных значений в рядах речного стока**

Исполнитель **Кривов Денис Юрьевич**
(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 2
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ 3
1.1. Основные сведения о районе исследований 3
1.2. Природные условия 4
1.3. Климатическая характеристика 5
2. ПОДГОТОВКА И ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ 8
2.1. Общая характеристика водного режима рек Карелии 8
2.2. Сбор и предварительный анализ исходных данных 10
2.3. Подготовка исходных данных 16
3. ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ 18
3.1. Метод исключения пропусков 19
3.2. Заполнение пропусков средними значениями 22
3.3. Метод ближних соседей 24
3.4. Регрессионный метод без использования рек-аналогов 27
3.5. Регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам 31
3.6. Регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам 34
4. СРАВНЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ 40
4.1. Расчёт относительных ошибок 42
4.2. Построение графиков 47
4.3. Сравнение и оценка эффективности 54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 68
ПРИЛОЖЕНИЯ 70

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена исследованию методов восстановления пропущенных значений в рядах среднемесячных и среднегодовых расходов воды на примере рек Карелии.

В связи с этим в ходе работы реализовывались следующие задачи:

- Дать краткую физико-географическую и климатическую характеристику района исследований и подготовить исходные данные.
- Выполнить восстановление пропущенных значений в гидрологических рядах различными методами.
- Оценить эффективность каждого метода и дать рекомендации по их применению в гидрологической практике.

Работа состоит из 4 глав, введения и заключения.

В первой главе представлена физико-географическая и климатическая характеристика исследуемого региона.

Во второй главе описан водный режим исследуемого района, а также описана подготовка и предварительный анализ исходных данных.

В третьей главе приведено описание методов восстановления пропущенных значений с указанием примеров.

В четвертой главе представлен сравнительный анализ методов восстановления пропущенных значений, выполнена оценка их эффективности, даны рекомендации по их практическому применению.

В заключении представлены основные результаты проделанной работы.

Бакалаврская работа содержит 33 рисунка, 26 таблиц, 9 приложений и список использованных источников из 17 наименований. Общий объём работы 86 страниц.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

1.1. Основные сведения о районе исследований

Республика Карелия входит в состав Северо-Западного федерального округа. Столица – город Петрозаводск. Площадь республики: 172 400 км^2.

Западная граница Карелии является частью государственной границы Российской Федерации и Финляндии. На востоке Карелия граничит с Архангельской областью, на юге – с Вологодской и Ленинградской областями, на севере – с Мурманской областью.

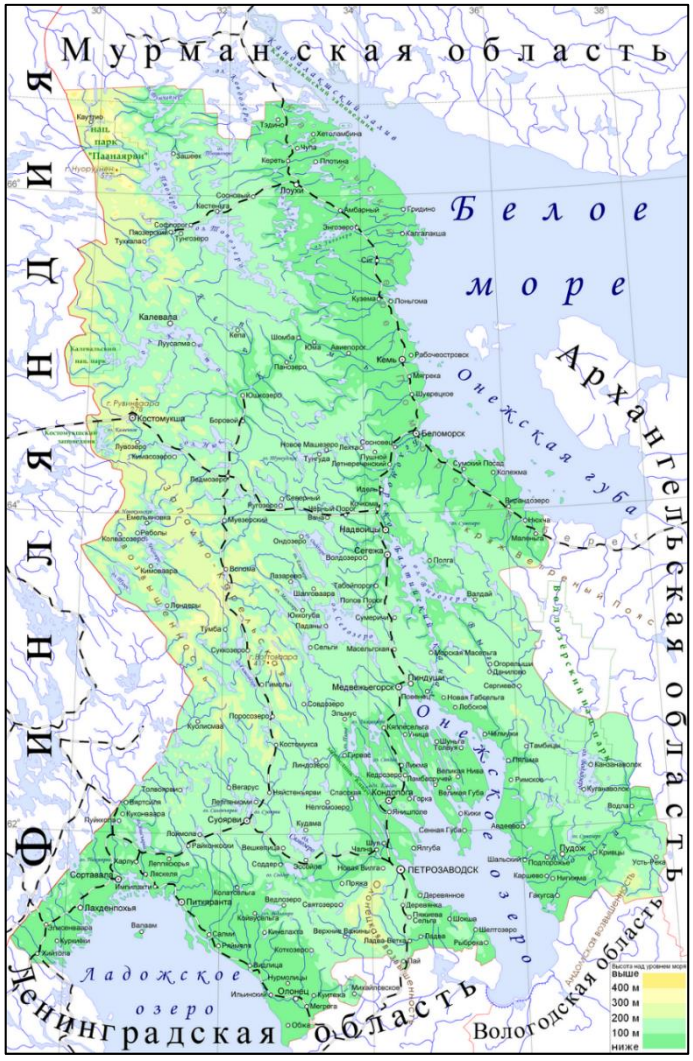


Рисунок 1.1 – Республика Карелия.

Карелия расположена в пределах Балтийского щита, где большая часть территории холмистая равнина с ледниковыми формами рельефа.

Средняя температура:

- Февраль: от -9 до -14 °C;
- Июль: от +14 до +16 °C;

Среднее количество осадков в год составляет от 400 до 700 мм. Около 50 % всей территории покрыто хвойным лесом, где 18% территории составляют озёра.

1.2. Природные условия

Основной рельеф республики – холмистая равнина, переходящая на западе в Западно-Карельскую возвышенность (рисунок 1.2). Карелия имеет расчленённую поверхность с относительными высотами до 350 метров, где важную роль, в создании современного рельефа местности, сыграло неоднократное оледенение территорий республики, таким образом ледники придали рельефу своеобразный облик.

В республике преобладающие высоты от 100 до 200 метров, где абсолютные отметки составляют до 250 метров над уровнем моря. Таким образом, наиболее возвышенные места располагаются в западной и северо-западной частях Карелии, а наименее возвышенные в районах, относящихся ближе к Ладожскому и Онежскому озёрам.

Республика Карелия характеризуется густой речной сетью, где общее количество рек составляет около 85 654, обусловленной избыточным увлажнением, равнинным рельефом и наличием большого количества озёр и болот. Густота речной сети, в среднем, составляет 0,6-0,8 км/км². Источниками питания является снеговое (30-50%) и дождевое (20-40%), а также грунтовое (20-30%). Также стоит упомянуть, что благодаря высокой озёрности территории, реки имеют сравнительно равномерный режим стока.

Для режима рек характерно весеннее половодье, летне-осенняя межень, прерываемая дождевыми паводками, и зимняя межень с устойчивым ледоставом.

Речная сеть Карелии принадлежит бассейнам Белого и Балтийского морей. Главными особенностями рек в республике считается наличие большого количества порогов и перекатов, что обусловлено особым строением территории, так как множество рек имеют каньонные участки, а также высокая зарегулированность стока, что объясняется наличием озёр, служащих естественным регулятором.



Рисунок 1.2 – Физико-географическая карта республики Карелия.

1.3. Климатическая характеристика

Климат Карелии умеренно континентальный, смягчённый влиянием Белого и Балтийского морей, отличается высокой относительной влажностью воздуха (особенно в северной части), значительной облачностью, неустойчивостью погодных условий.

Зима продолжительная, относительно мягкая; нередки оттепели, сменяющиеся сильным снегопадом с резким похолоданием.

Лето короткое и прохладное, с частыми резкими понижениями температуры воздуха и ливневыми дождями.

Среднегодовые температуры (от 0 °С на севере до 3 °С на юге). Средние температуры января от –9 до –14 °С, июля от 14 до 16 °С. Среднегодовое количество осадков в целом увеличивается с севера на юг от 400 до 700 мм.

Устойчивый снежный покров наблюдается с ноября по апрель, его мощность составляет 40–60 см, реже до 100 см. Продолжительность безморозного периода от 80–90 дней на севере до 120–130 дней в Приладожье и Прионежье.

На рисунках 1.4 и 1.5 представлены средние многолетние среднемесячные температуры воздуха и суммы месячных осадков по метеорологической станции Реболы. Схема расположения станции показана на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Схема расположения метеорологической станции Реболы.

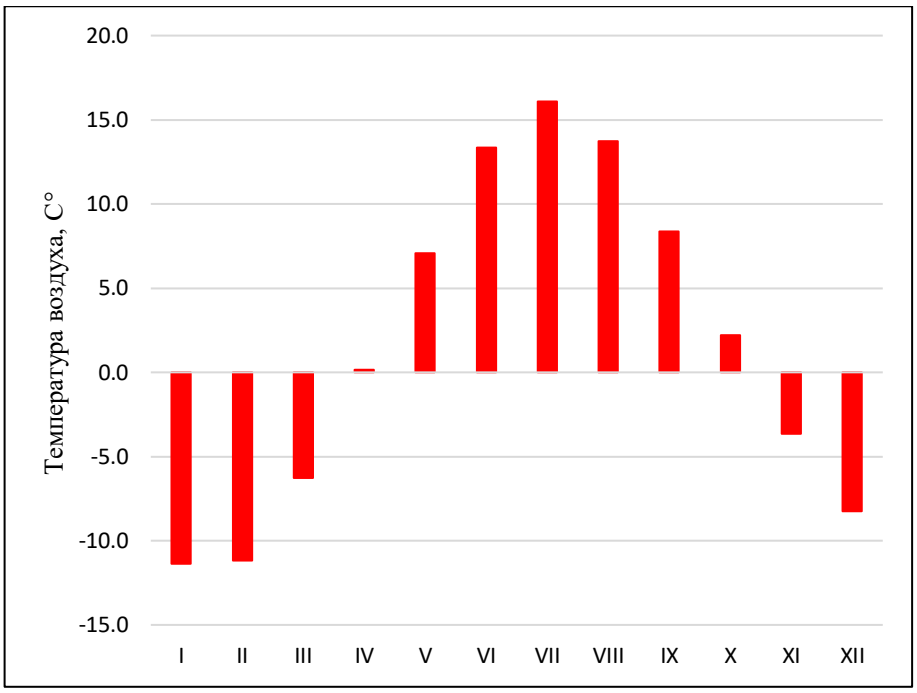


Рисунок 1.4 – Средние многолетние среднемесячные температуры воздуха; МС Реболы.

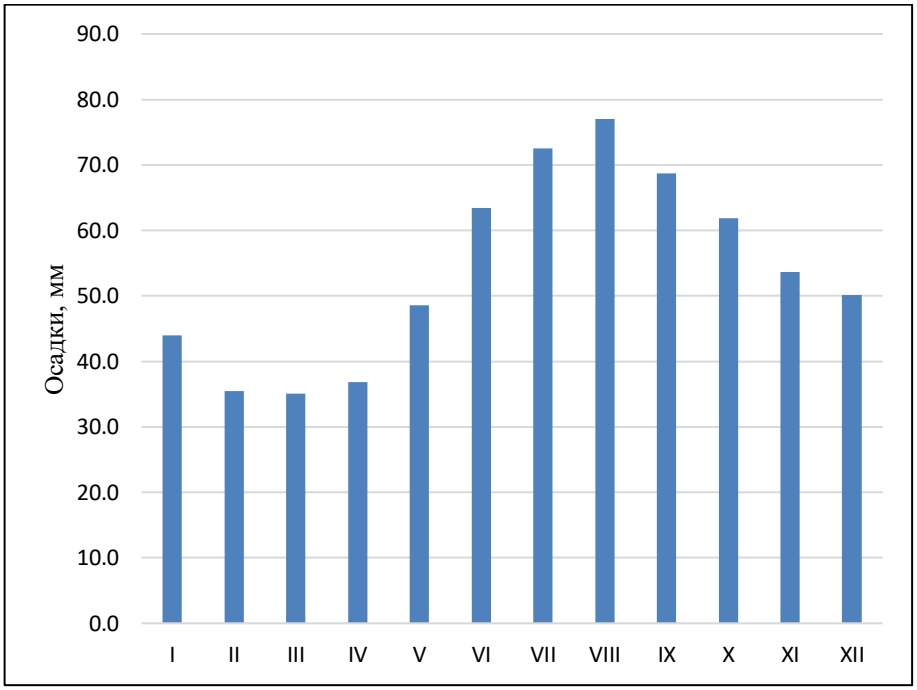


Рисунок 1.5 – Средние многолетние суммы месячных осадков; МС Реболы.

2. ПОДГОТОВКА И ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

2.1. Общая характеристика водного режима рек Карелии

Все реки Карелии имеют смешанное питание с преобладанием снегового. В годовом ходе уровня воды четко выражены четыре фазы: весеннее половодье, летняя межень, осенне-зимний период и зимняя межень. Эти фазы более отчетливо выражены на реках с малой озёрностью. На реках с большим процентом озёрности гидрографы имеют более сглаженный вид.

Весеннее половодье является наиболее многоводной фазой и составляет 40-50% годового стока. Весеннее половодье, в основном, имеет один пик, исключением являются годы, когда наблюдается значительный возврат холода, приводящий к временному снижению интенсивности снеготаяния и спаду уровней с последующим повышением при потеплении. На отдельных участках шугоносных рек ежегодно наблюдается два пика: первый в результате промыва шуги на вышележащих участках, второй – от снеготаяния. В некоторые годы двух- и даже трёхпиковые половодья обусловлены выпадающими осадками, которые, накладываясь на спад весеннего половодья, вызывают повышение уровня.

Подъёмы уровня от снеготаяния начинаются в среднем: на севере территории в третьей декаде апреля, на юге – во второй декаде апреля; в ранние весны: на севере – в первой декаде апреля, а на юге, в районе Приладожья, в третьей декаде марта. Интенсивность подъёма уровня воды в реках зависит от водности весны, естественной и искусственной зарегулированности и особенностей морфометрии русла. Для весеннего половодья на реках рассматриваемой территории характерен сначала медленный подъём уровня воды, 5 – 15 см/сутки, затем интенсивность его возрастает до 30 – 60 см/сутки. Подъём уровня в истоках и на небольших реках обычно проходит за 13 – 18 дней, а на более крупных реках и реках с большим процентом озёрности – за 20 – 35 дней. Наивысших уровней половодье достигает преимущественно в первой декаде мая, за исключением больших

рек и рек, вытекающих из озера, где пик половодья проходит во второй декаде мая. Пик половодья держится 1 – 3 дня, затем начинается медленный спад, который заканчивается в июне – августе в зависимости от характера реки. Спад обычно продолжается от 30 до 60 дней; это в 2 – 2,5 раза дольше, чем подъём. Общая продолжительность половодья в среднем от 40 до 100 дней. Превышение наивысшего уровня весеннего половодья над низшим летним за период наблюдений для больших рек составляет 3 – 5 м, а для средних и небольших рек, а также рек с большим процентом озёрности – 1,5 – 2 м. Наивысшие уровни весеннего половодья являются, как правило, наивысшими годовыми.

Летняя межень на большинстве рек начинается с конца спада половодья и нарушается подъёмами уровня воды от дождей. В отдельные годы подъёмы от дождей по своей величине приближаются к высшим уровням половодья. Низшие уровни летней межени наблюдаются в августе – сентябре. На ряде рек естественный ход уровня воды в летний период, и даже на спаде половодья, искажается работой лесосплавных плотин. Уровень воды рек, на которых расположены ГЭС, искажается их работой в течении года. На некоторых малых и средних реках в вегетационный период наблюдается зарастание русла водной растительностью, создающие подпор уровня воды.

Осенне – зимний период обычно начинается в конце сентября – начале октября подъёмом уровня воды от дождей, превышающим летнюю межень до 1 м. На многих реках с появлением ледяных образований образуются зажоры. В отдельные годы подъёма уровня от зажоров достигают уровней весеннего половодья, а иногда превышают их. В конце января – начале февраля начинается медленный размыв зажоров, что позволяет уровням воды достичь величин, соответствующих расходу воды. На участках рек, расположенных вблизи источников озёр, в осенне – зимний период наблюдается изъятие стока на ледообразование.

Зимней межени свойственен медленный спад уровней, характеризующий иссякание стока. В некоторые зимы плавный ход уровня

нарушается незначительным подъёмом от оттепелей и очень редко от зажоров. Продолжительность зимней межени для большинства рек территории 130 – 150 дней. Низшие зимние уровни обычно наступают в конце марта – начале апреля и являются, как правило, низшими годовыми.

Годовая амплитуда колебаний уровня воды на больших реках достигает 3 – 5 м, а на малых 1 – 2 м.

2.2. Сбор и предварительный анализ исходных данных

На первом этапе были проанализированы 30 рядов среднемесячных и среднегодовых расходов воды. Для всех рядов была выполнена проверка на однородность и стационарность.

Проверка рядов на значимость тренда выполнялась с использованием критерия значимости коэффициента корреляции «*R*» для зависимости $Q = f(T)$, где Q – расход воды; T – время (годы). Тренд признавался незначимым, если выполнялось условие:

$$\frac{R}{\sigma_R} < t_{2\alpha}, \tag{2.1}$$

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

σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}, \tag{2.2}$$

n – длина ряда.

Проверка рядов на однородность проводилась с использованием критериев Стьюдента и Фишера.

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

$$1 < F^* < F_{2\alpha}, \tag{2.3}$$

где $F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*}$ – эмпирическое значение статистики Фишера (D^*_1 и D^*_2 – дисперсии первой и второй частей ряда); $F_{2\alpha}$ – теоретическое значение

статистики Фишера при числе степеней свободы: $\nu_1 = (n_1 - 1)$, $\nu_2 = (n_2 - 1)$ и уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

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

$$|t^*| < t_{2\alpha}, \tag{2.4}$$

где $t_{2\alpha}$ – теоретическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ и числе степеней свободы $\nu = (n_1 + n_2 - 2)$;

t^* – эмпирическое значение статистики Стьюдента, определяемое по формуле:

$$t^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \tag{2.5}$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – выборочные средние значения по первой и второй половинам ряда; S – несмещенная оценка СКО X, определяемая по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}. \tag{2.6}$$

Для дальнейших расчётов использовались только однородные и стационарные ряды.

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены результаты проверок 30 рядов на однородность и значимости тренда, а также на рисунках 2.1 и 2.2 приведены примеры хронологических графиков среднегодовых расходов воды для однородных и стационарных рядов.

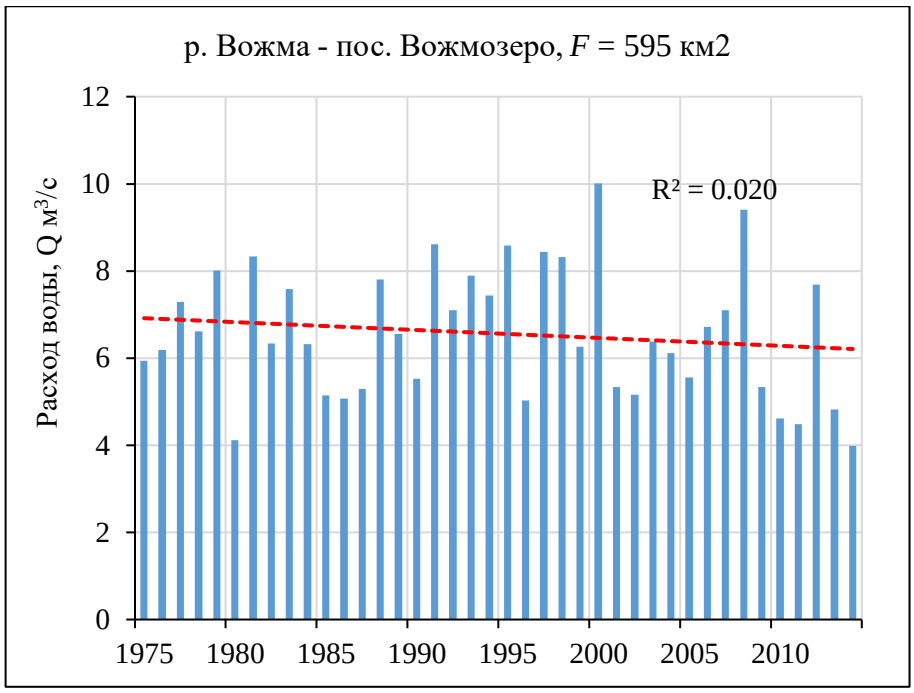


Рисунок 2.1 – Хронологический график среднегодовых расходов воды; р. Вожма – пос. Вожмозеро; ряд однороден, тренд не значим.

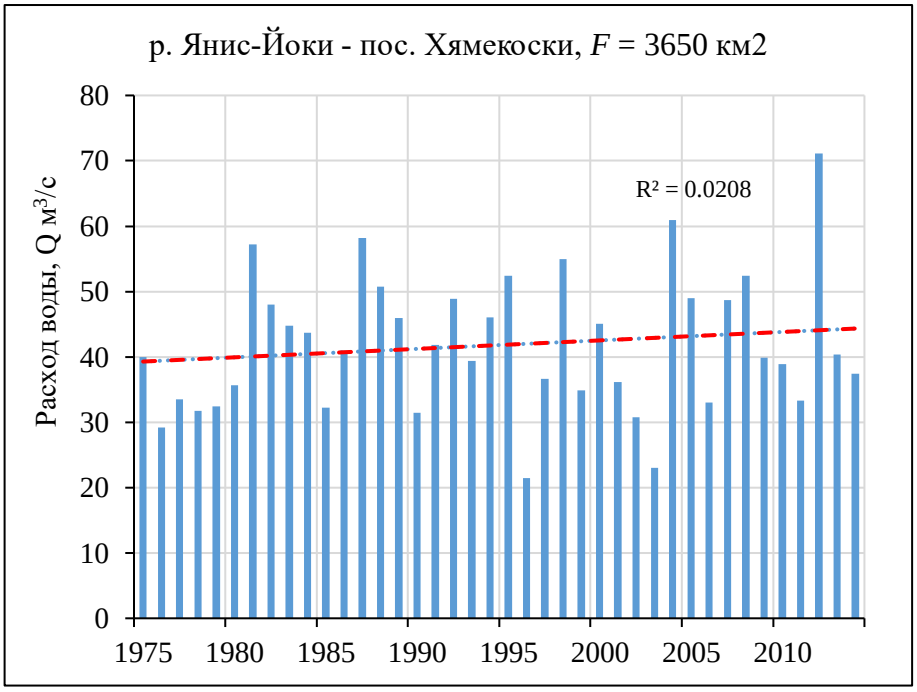


Рисунок 2.2 – Хронологический график среднегодовых расходов воды; р. Янис-Йоки – пос. Хямекоски; ряд однороден, тренд не значим.

Таблица 2.1 – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды рек Карелии на однородность при уровне значимости 2α = 5%

№	Река – пост	$\lvert t^* \rvert$	$t_{2\alpha}$	F^*	$F_{2\alpha}$	Опровержение гипотезы об однородности (⊕)	
						Стьюдент	Фишер
1	р. Вожма - пос. Вожмозеро	0,4	2,02	2,04	2,54	-	-
2	р. Волома - д. Венгигора	0,29	2,02	1,04	2,53	-	-
3	р. Ивина - пгт Ладва	0,55	2,02	1,38	2,53	-	-
4	р. Керкешь - устье	0,06	2,02	1,89	2,53	-	-
5	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	-1,37	2,02	1,53	2,53	-	-
6	р. Кумса - г. Медвежьегорск	0,74	2,02	1,21	2,53	-	-
7	р. Лекса - пос. Сергиево	0,57	2,02	1,15	2,53	-	-
8	р. Летняя - пос. Летний 1-й	0,92	2,02	1,64	2,53	-	-
9	р. Малая Пигма - с. Уница	2,83	2,02	1,12	2,53	⊕	-
10	р. Мегрега - д. Куйтежа	-0,04	2,02	1,43	2,53	-	-
11	р. Неглинка - г. Петрозаводск	-0,4	2,02	1,26	2,53	-	-
12	р. Немина - пос. Немино	-1,93	2,02	1,59	2,53	-	-
13	р. Новзема - с. Видлица	-1,22	2,02	3,39	2,53	-	⊕
14	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	-3,1	2,02	1,96	2,53	-	-
15	р. Олонка - с. Верховье	-0,03	2,02	1,51	2,53	-	-
16	р. Онда - пос. Лососий порог	0,003	2,02	1,7	2,53	-	-
17	р. Онигма - пос. Чёрный порог	-0,7	2,02	1,45	2,53	-	-
18	р. Пяльма - д. Пяльма	-0,81	2,02	2,42	2,53	-	-
19	р. Святерка - пгт Пряжа	-1,55	2,02	2,09	2,53	-	-
20	р. Судно - с. Вокнаволок	-2,14	2,02	3,19	2,53	-	⊕
21	р. Сума - с. Сумский Посад	-0,01	2,02	1,7	2,53	-	-
22	р. Суна - пгт Поросозеро	0,09	2,02	1,23	2,53	-	-

№	Река – пост	$\lvert t^* \rvert$	$t_{2\alpha}$	F^*	$F_{2\alpha}$	Опровержение гипотезы об однородности (⊕)	
						Стьюдент	Фишер
23	р. Сяньга - д. Чуралахта	1,04	2,02	2,12	2,53	-	-
24	р. Тукса - с. Тукса	-0,38	2,02	2,42	2,53	-	-
25	р. Уксун-Йоки - д. Ууксу	-0,58	2,02	3,23	2,53	-	⊕
26	р. Уница - с. Уница	-1,26	2,02	2,71	2,53	-	⊕
27	р. Чёрная - с. Каршево	-0,84	2,02	1,66	2,53	-	-
28	р. Шалица - пос. Онежский	-0,25	2,02	1,97	2,53	-	-
29	р. Шуя - д. Бесовец	0,85	2,02	1,81	2,53	-	-
30	р. Янис-Йоки - пос. Хямекоски	-0,13	2,02	2,11	2,53	-	-

Таблица 2.2 – Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек Карелии при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – пост	n	R	σ_R	R/σ_R	$t_{2\alpha}$	*Тренд*
1	р. Вожма - пос. Вожмозеро	40	0,141	0,16	0,88	2,02	нет
2	р. Волома - д. Венгигора	40	0,014	0,16	0,09	2,02	нет
3	р. Ивина - пгт Ладва	40	0,063	0,16	0,39	2,02	нет
4	р. Керкешь - устье	40	0,149	0,16	0,93	2,02	нет
5	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	40	0,226	0,16	1,43	2,02	нет
6	р. Кумса - г. Медвежьегорск	40	0,041	0,16	0,25	2,02	нет
7	р. Лекса - пос. Сергиево	40	0,089	0,16	0,55	2,02	нет
8	р. Летняя - пос. Летний 1-й	40	0,313	0,15	2,03	2,02	да
9	р. Малая Пигма - с. Уница	40	0,406	0,15	2,74	2,02	да
10	р. Мегрега - д. Куйтежа	40	0,064	0,16	0,4	2,02	нет
11	р. Неглинка - г. Петрозаводск	40	0,147	0,16	0,91	2,02	нет
12	р. Немина - пос. Немино	40	0,198	0,16	1,25	2,02	нет

№	Река – пост	n	R	σ_R	R/σ_R	$t_{2\alpha}$	*Тренд*
13	р. Новзема - с. Видлица	40	0,319	0,15	2,08	2,02	да
14	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	40	0,52	0,14	3,75	2,02	да
15	р. Олонка - с. Верховье	40	0,121	0,16	0,75	2,02	нет
16	р. Онда - пос. Лососий порог	40	0,022	0,16	0,14	2,02	нет
17	р. Онигма - пос. Чёрный порог	40	0,085	0,16	0,53	2,02	нет
18	р. Пяльма - д. Пяльма	40	0,153	0,16	0,95	2,02	нет
19	р. Святерка - пгт Пряжа	40	0,376	0,15	2,5	2,02	да
20	р. Судно - с. Вокнаволок	40	0,355	0,15	2,34	2,02	да
21	р. Сума - с. Сумский Посад	40	0,046	0,16	0,28	2,02	нет
22	р. Суна - пгт Поросозеро	40	0,088	0,16	0,55	2,02	нет
23	р. Сяньга - д. Чуралахта	40	0,02	0,16	0,12	2,02	нет
24	р. Тукса - с. Тукса	40	0,22	0,16	1,39	2,02	нет
25	р. Уксун-Йоки - д. Ууксу	40	0,208	0,16	1,31	2,02	нет
26	р. Уница - с. Уница	40	0,367	0,15	2,43	2,02	да
27	р. Чёрная - с. Каршево	40	0,177	0,16	1,11	2,02	нет
28	р. Шалица - пос. Онежский	40	0,033	0,16	0,2	2,02	нет
29	р. Шуя - д. Бесовец	40	0,032	0,16	0,2	2,02	нет
30	р. Янис-Йоки - пос. Хямекоски	40	0,144	0,16	0,9	2,02	нет

2.3. Подготовка исходных данных

Для анализа использовались данные о среднемесячных и среднегодовых расходах воды по 25 гидрологическим постам за период с 1975 по 2014 г.

Распределение постов по градациям площадей водосборов показано в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Распределение постов по градациям площадей водосборов

Диапазон площадей водосборов, F км^2						
<50	50-200	200-500	500-1000	1 000-10 000	>10 000	Всего рек
1	3	6	7	8	0	25

На начальном этапе все ряды имели продолжительность 40 лет без пропусков. По этим рядам рассчитывались основные статистические характеристики, такие как: среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение «СКО», коэффициент вариации «C_v», коэффициент асимметрии «C_s», отношение C_s/C_v. Полученные значения характеристик принимались в качестве эталонных.

На втором этапе для каждого гидрологического поста из таблицы среднемесячных расходов воды удалялись 24 значения, что составляло 5% от общего числа среднемесячных расходов воды. В годы, где отсутствовали расходы воды хотя бы за 1 месяц, среднегодовой расход не рассчитывался. В результате ряды среднегодовых расходов воды имели около 40% пропусков.

Удаление среднемесячных расходов воды для каждого поста проводилось случайным образом – с использованием датчика случайных чисел. Пример таблицы с удаленными значениями показан на рисунке 2.3, где представлен фрагмент таблицы для реки Норви-Йоки – пгт Калевала. Жёлтым цветом выделены ячейки с удалёнными значениями.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	0,50	0,32	0,39	0,49	1,56	0,71	0,41		0,34			0,38	
1976	0,28	0,20	0,23	0,37	0,88	0,77	0,52	0,38	0,30	0,30	0,31	0,37	0,41
1977	0,33	0,30	0,29	0,47		0,80	0,61	0,58	0,50	0,54	0,69	0,52	
1978	0,36	0,27	0,39	0,36	0,74	0,72	0,48	0,42	0,68	0,64	0,62	0,46	0,51
1979	0,35			0,25	1,76	1,11	0,78	0,53	0,71	0,79	0,65	0,49	
1980	0,37	0,36	0,30	0,32	1,14	0,68	0,28	0,21	0,21	0,30	0,31	0,30	0,40
1981	0,23	0,24	0,20	0,18	1,04	1,36	1,00	1,05	0,97	0,83	0,78		
1982	0,44	0,35	0,41	0,55	2,05	1,08	0,62	0,67	0,65	0,55	0,63	0,79	0,73
1983	0,56	0,43	0,39	0,67	1,80	1,38	0,57	0,42	0,41	0,80		0,68	
1984	0,47	0,37	0,34	0,54	1,85	0,69	0,48	0,47	0,52	0,89	1,19	0,90	0,73
1985	0,57	0,40	0,24	0,34	1,21	0,87	0,50	0,47	0,48	0,66	0,61	0,54	0,57
1986	0,42	0,32	0,27	0,34	1,09	1,08	0,65	0,37	0,61	0,76	0,71	0,57	0,60
1987	0,35	0,32	0,33	0,31	1,24	0,99	1,08	0,89	1,02	0,82		0,62	
1988	0,55	0,45	0,39	0,35	1,29	1,08	0,51	0,40	0,54	0,74	0,63	0,55	0,62
1989	0,65	0,62	0,49	0,79	2,40	0,99	0,55	0,35	0,50	0,51	0,72	0,64	0,77
1990	0,48	0,47	0,42	0,62	1,04	0,65	0,52	0,56	0,44	0,42	0,38	0,36	0,53
1991	0,37	0,36	0,34	0,61	1,25	1,15	0,86	0,64	0,55	0,74	0,86	0,82	0,71
1992	0,57	0,51	0,39	0,39	1,46	0,72	0,51	0,56	0,74	0,60	0,45	0,52	0,62
1993	0,45	0,40	0,36	0,43	2,18	0,98	0,80	0,65	0,81	0,73	0,59	0,52	0,74
1994	0,45	0,37	0,39	0,66	1,38	0,90	0,53	0,32	0,33	0,49	0,57	0,52	0,58
1995	0,44	0,40	0,42	0,43	1,06	1,10	0,82	0,72	0,78	0,83	0,77	0,56	0,69
1996	0,53	0,51	0,35	0,24	1,50	1,68	1,11	0,60	0,47	0,48	0,87	0,98	0,78
1997	0,71	0,50		0,54	2,15	1,37	0,73	0,45	0,46	0,58	0,57	0,48	

Рисунок 2.3 – Фрагмент таблицы с удаленными значениями.

На третьем этапе проводилось восстановление пропусков разными методами с дальнейшим сравнением статистических характеристик рядов с эталонными значениями.

3. ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Восстановление пропущенных значений гидрологических данных — это задача, которая возникает из-за неполноты наблюдений за отдельные годы, сезоны, месяцы или дни. Неполнота данных может привести к смещению основных статистических характеристик ряда и искажению результатов моделирования.

В данных гидрологических рядов пропуски отдельных значений являются повсеместным явлением и поэтому, прежде чем начать применять статистические методы, исходные данные следует привести к «каноническому» виду. Как уже упоминалось ранее, для этого необходимо удалить некоторые значения, что, в свою очередь, составит около 5% среднемесячных и 40% среднегодовых расходов воды от общего числа эталонных данных. Для восстановления пропущенных значений существует множество подходов, однако в работе были рассмотрены и использованы следующие методы:

- Метод исключения пропусков;
- Метод заполнения пропусков средними значениями;
- Методом ближних соседей;
- Регрессионный метод без использования рек-аналогов;
- Регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам;
- Регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам.

Методы использовались для 25 однородных рядов с полным периодом наблюдений в 40 лет, где приходилось убирать некоторые значения для реализации методов. В качестве примера были использованы р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма, эталонные данные которых представлены в приложении Б1 и В1.

3.1. Метод исключения пропусков

Метод подразумевает, что пропущенные значения не учитываются при расчёте статистических характеристик.

Например, если речь идет о годовых значениях, то годы, по которым данные полностью или частично отсутствуют, просто исключаются. Подход легко реализуется и даёт удовлетворительные результаты при малом числе пропусков.

Далее рассмотрим метод на примере р. Сяньга – д. Чуралахта, где при помощи генератора случайных чисел были удалены некоторые значения среднемесячных расходов воды, а также значения среднегодовых расходов воды, а именно за те годы, по которым отсутствовали данные о расходах воды за один или несколько месяцев.

После применения генератора случайных чисел выполняем расчёт процента пропуска для каждого из рядов. Расчёт выполняем по следующей формуле:

$$\frac{m-n}{m} * 100\% \qquad (3.1)$$

где n – количество значений в ряду, m – исходное количество значений в ряду.

Результаты заносим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Процент пропуска значений р. Сяньга – д. Чуралахта

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Процент пропуска,%	3	3	5	8	8	5	5	8	0	8	8	3	45

Таким образом, на примере р. Сяньга – д. Чуралахта результат расчёта показал, что процент пропусков среднемесячных расходов воды составляет около 5%, а процент пропусков среднегодовых расходов воды составил около 40% от общего числа исходных значений. Данный расчёт используется только для прослеживания процента пропусков значений и не будет играть важной роли в дальнейших вычислениях.

В конечном итоге пример получившейся таблицы представлен на рисунке 3.1, где приведён лишь фрагмент таблицы с выделением пропусков жёлтым цветом. Полная таблица, получившихся значений представлена в приложении Г1.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	12,49
1976	5,67		7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	14,71
1978		12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00		17,40	
1980	15,80	13,40	12,70	11,70		16,80	10,70	6,36	4,64		4,74	5,02	
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10		17,40	
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	17,88
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	13,74
1984	11,80	12,90	12,90	14,90		19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	11,63
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	11,52
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,93
1988	15,80	14,40		14,00	24,10	25,00	15,90		16,70	17,90	17,40	16,60	
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	12,46
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38		5,92	6,00	
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	15,21
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	20,80
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50		19,70	20,60	19,00	17,30	16,00		
1994	12,90	10,80	12,00		26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90		17,00	
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	17,93
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50		15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	10,91

Рисунок 3.1 – Фрагмент таблицы с пропущенными значениями,
р. Сяньга – д. Чуралахта.

Далее рассчитываем статистические характеристики для каждого ряда и среднегодовых значений, которые в дальнейшем нужно будет сравнить с эталонными значениями статистических характеристик, представленными в приложении Б2.

Таким образом, на примере р. Сяньга – д. Чуралахта расчёт предоставил следующие значения, представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Статистические характеристики р. Сяньга – д. Чуралахта

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,55	12,49	12,47	13,54	22,68	21,66	16,13	11,76	10,68	11,49	11,42	11,99	14,07
СКО	5,56	4,45	3,94	4,09	6,67	6,80	5,15	5,02	5,55	5,54	5,23	5,32	5,28
Cv	0,44	0,36	0,32	0,30	0,29	0,31	0,32	0,43	0,52	0,48	0,46	0,44	0,39
Cs	0,19	-0,05	-0,20	-0,07	1,17	0,48	0,10	0,38	0,75	0,46	-0,12	-0,12	0,25
Cs/Cv	0,42	-0,14	-0,63	-0,22	3,98	1,53	0,30	0,89	1,44	0,96	-0,26	-0,26	0,67

В результате видно, что значения характеристик в большей степени удовлетворительны даже при отсутствии некоторых данных, что показывает простоту реализации метода.

3.2. Заполнение пропусков средними значениями

Метод заполнения пропусков средними значениями – самый простой вид восстановления.

Так как при шаге дискретности один год все пропуски заменяются средним многолетним значением исследуемой переменной. При шаге дискретности один месяц пропуски заменяются средним многолетним месячным значением исследуемой переменной.

Рассмотрим метод на примере р. Сяньга – д. Чуралахта, где, опираясь на таблицу из метода исключения пропусков, представленную в виде фрагмента на рисунке 3.1, производим замену пропусков, выделенных жёлтым цветом, на средние значения, приведённые в таблице 3.3, а также заново выполняем расчёт среднегодовых значений расходов воды.

Таблица 3.3 – Среднемесячные значения расходов воды, р. Сяньга – д. Чуралахта

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднее	12,55	12,49	12,47	13,54	22,68	21,66	16,13	11,76	10,68	11,49	11,42	11,99

В итоге, после произведённых замен и повторного расчёта среднегодовых значений расходов воды, таблица принимает вид, представленный на рисунке 3.2, где приведён лишь фрагмент таблицы с перенесёнными из таблицы 3.3 значениями в жёлтые ячейки.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	12,49
1976	5,67	12,49	7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	16,19
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	14,71
1978	12,55	12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	12,23
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00	11,42	17,40	11,59
1980	15,80	13,40	12,70	11,70	22,68	16,80	10,70	6,36	4,64	11,49	4,74	5,02	11,34
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10	11,42	17,40	16,62
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	17,88
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	13,74
1984	11,80	12,90	12,90	14,90	22,68	19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	14,26
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	11,63
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	11,52
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,93
1988	15,80	14,40	12,47	14,00	24,10	25,00	15,90	11,76	16,70	17,90	17,40	16,60	16,84
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	12,46
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38	11,49	5,92	6,00	11,88
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	15,21
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	20,80
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50	21,66	19,70	20,60	19,00	17,30	16,00	11,99	16,81
1994	12,90	10,80	12,00	13,54	26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90	11,42	17,00	17,75
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	17,93
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50	21,66	15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	10,40
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	10,91

Рисунок 3.2 – Фрагмент таблицы с восстановленными значениями, р. Сяньга – д. Чуралахта.

Далее рассчитываем статистические характеристики для каждого ряда и среднегодовых значений, которые в дальнейшем нужно будет сравнить с эталонными значениями статистических характеристик, представленными в приложении Б2.

Таким образом, на примере р. Сяньга – д. Чуралахта расчёт предоставил следующие значения, представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Статистические характеристики р. Сяньга – д. Чуралахта

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,55	12,49	12,47	13,54	22,68	21,66	16,13	11,76	10,68	11,49	11,42	11,99	14,07
СКО	5,49	4,39	3,84	3,93	6,41	6,62	5,02	4,83	5,55	5,32	5,03	5,25	5,14
Cv	0,44	0,35	0,31	0,29	0,28	0,31	0,31	0,41	0,52	0,46	0,44	0,44	0,38
Cs	0,19	-0,05	-0,20	-0,07	1,21	0,49	0,10	0,40	0,75	0,48	-0,12	-0,12	0,25
Cs/Cv	0,43	-0,14	-0,67	-0,23	4,29	1,61	0,31	0,96	1,44	1,03	-0,28	-0,27	0,71

В результате видно, что значения характеристик в сравнении с эталонными данными изменились незначительно, имея относительно небольшие расхождения.

3.3. Метод ближних соседей

Восстановление пропущенных значений в рядах гидрологических данных методом ближайших соседей – это распространённый и эффективный способ восстановления недостающих значений.

Метод использует данные из соседних станций для оценки пропущенных значений на целевой станции. Таким образом, основная идея заключается в том, что гидрологические режимы соседних станций имеют схожую динамику и, следовательно, информацию с соседних станций можно использовать для прогнозирования недостающих данных на целевой станции.

Однако в данной работе используются данные из соседних значений на целевой станции. То есть, при наличии одиночных пропусков замена производится на среднее по ближайшим значениям.

При шаге дискретности один год пропущенное значение заменяется по формуле:

$$x_i = \frac{(x_{i-1} + x_{i+1})}{2} \tag{3.2}$$

При шаге дискретности один месяц замена производится по формуле:

$$x_{i,j} = \frac{x_{i,j-1} + x_{i,j+1} + x_{i-1,j} + x_{i+1,j}}{4} \tag{3.3}$$

где i – порядковый номер года, j – порядковый номер месяца (рисунок 3.3).

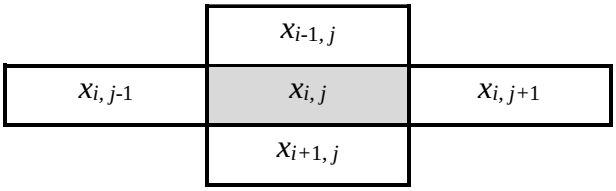


Рисунок 3.3 – Обозначения переменной в формуле (3.3); в закрашенной ячейке – пропущенное значение.

В случае если пропуски не изолированные, но имеются ближние соседи по горизонтальной оси (рисунок 3.4 *а*), расчет производится по формуле:

$$x_{i,j} = \frac{x_{i,j-1} + x_{i,j+1}}{2} \quad (3.4)$$

Если имеются ближние соседи по вертикальной оси (рисунок 3.4 *б*) расчет производится по формуле:

$$x_{i,j} = \frac{x_{i-1,j} + x_{i+1,j}}{2} \quad (3.5)$$

а – нет соседей по вертикали *б – нет соседей по горизонтали*

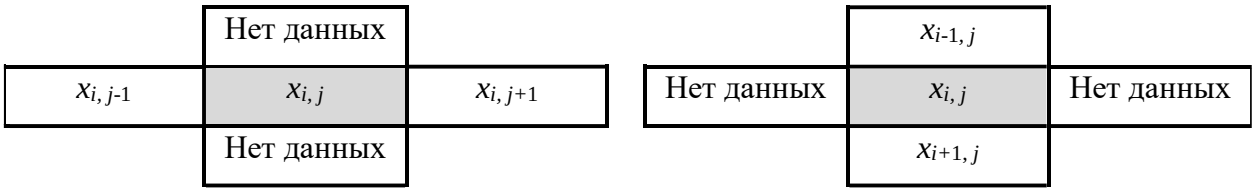


Рисунок 3.4 – Обозначения переменной в формулах 3.4 и 3.5; в закрашенной ячейке – пропущенное значение.

Рассмотрим метод на примере р. Сяньга – д. Чуралахта, где, опираясь на полную таблицу по методу исключения пропусков, представленную в приложении Г1, производим расчёт пропусков, выделенных жёлтым цветом, по формулам 3.3, 3.4 и 3.5, а также заново выполняем расчёт среднегодовых значений расходов воды.

В итоге, после выполнения всех расчётов и повторного определения среднегодовых значений расходов воды, таблица примет вид, представленный на рисунке 3.5, где приведён лишь фрагмент таблицы с подставленными расчётными значениями в жёлтые ячейки.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	12,49
1976	5,67	10,23	7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	16,00
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	14,71
1978	11,67	12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	12,15
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00	11,66	17,40	11,61
1980	15,80	13,40	12,70	11,70	16,38	16,80	10,70	6,36	4,64	9,37	4,74	5,02	10,63
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10	13,41	17,40	16,79
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	17,88
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	13,74
1984	11,80	12,90	12,90	14,90	19,05	19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	13,95
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	11,63
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	11,52
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,93
1988	15,80	14,40	13,33	14,00	24,10	25,00	15,90	14,25	16,70	17,90	17,40	16,60	17,11
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	12,46
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38	8,63	5,92	6,00	11,64
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	15,21
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	20,80
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50	26,38	19,70	20,60	19,00	17,30	16,00	15,01	17,45
1994	12,90	10,80	12,00	16,34	26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90	15,73	17,00	18,34
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	17,93
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50	21,18	15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	10,36
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	10,91

Рисунок 3.5 – Фрагмент таблицы с восстановленными значениями, р. Сяньга – д. Чуралахта.

Далее рассчитываем статистические характеристики для каждого ряда и среднегодовых значений, которые в дальнейшем нужно будет сравнить с эталонными значениями статистических характеристик, представленными в приложении Б2.

Таким образом, на примере р. Сяньга – д. Чуралахта расчёт продемонстрировал следующие значения, представленные в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Статистические характеристики р. Сяньга – д. Чуралахта

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,53	12,43	12,55	13,53	22,14	21,77	16,16	11,87	10,68	11,25	11,58	12,06	14,05
СКО	5,49	4,40	3,86	3,97	6,77	6,66	5,09	4,85	5,55	5,40	5,08	5,27	5,20
Cv	0,44	0,35	0,31	0,29	0,31	0,31	0,31	0,41	0,52	0,48	0,44	0,44	0,38
Cs	0,20	-0,01	-0,26	-0,05	1,11	0,44	0,08	0,32	0,75	0,58	-0,20	-0,16	0,23
Cs/Cv	0,46	-0,03	-0,85	-0,17	3,64	1,44	0,27	0,79	1,44	1,20	-0,46	-0,36	0,61

В результате видно, что значения характеристик в сравнении с эталонными данными изменились, продемонстрировав относительно небольшие расхождения.

3.4. Регрессионный метод без использования рек-аналогов

Суть данного метода восстановления пропущенных значений заключается в том, что расчёт производится на основе зависимости среднемесячных значений i-го месяца от среднемесячных значений ближайших месяцев с использованием аппарата парной или множественной линейной регрессии.

При применении аппарата парной линейной регрессии расчёт производят по следующим формулам:

$$Q_i = aQ_{i-1} \pm b \quad (3.6)$$

$$Q_i = aQ_{i+1} \pm b \quad (3.7)$$

При применении аппарата множественной линейной регрессии расчёт производят по следующей формуле:

$$Q_i = aQ_{i-1} \pm bQ_{i+1} \pm c \quad (3.8)$$

где Q_i – значение восстанавливаемого месяца; Q_{i+1}, Q_{i-1} – значение месяцев, по которому восстанавливаем значение Q_i; a, b и c – параметры линейного уравнения регрессии.

При восстановлении пропусков допускается использовать связи между гидрологическими характеристиками, в том числе внутри одного ряда, при условии наличия тесной корреляции, то есть при выполнении условия $R \geq 0{,}7$, между сравниваемыми показателями. Стоит также упомянуть, что внутригодовая связь между смежными месяцами, зачастую оказывается достаточно высокой, особенно для рек, на сток которых влияет озёрное регулирование, что характерно для Карелии.

Рассмотрим метод на примере р. Сяньга – д. Чуралахта, где, опираясь на полную таблицу по методу исключения пропусков, представленную в приложении Г1, на начальном этапе нужно подготовить данные для реализации метода, т. е. необходимо составить смежную таблицу с указанием

значений за следующий год. Таблица представлена на рисунке 3.6, где приведён лишь её фрагмент с указанием смежного года.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	(I)
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	5,67
1976	5,67		7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	12,60
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	
1978		12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	9,98
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00		17,40	15,80
1980	15,80	13,40	12,70	11,70		16,80	10,70	6,36	4,64		4,74	5,02	7,16
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10		17,40	16,20
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	14,10
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	11,80
1984	11,80	12,90	12,90	14,90		19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	12,10
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	9,75
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	7,90
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,80
1988	15,80	14,40		14,00	24,10	25,00	15,90		16,70	17,90	17,40	16,60	15,60
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	5,26
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38		5,92	6,00	7,00
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	18,70
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	18,60
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50		19,70	20,60	19,00	17,30	16,00		12,90
1994	12,90	10,80	12,00		26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90		17,00	19,80
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	7,77
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50		15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	5,65
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	7,68

Рисунок 3.6 – Фрагмент таблицы с указанием смежного года; (I) – значения смежного года.

На втором этапе необходимо произвести расчёт корреляции при помощи генератора корреляционной функции. На данном этапе проверяются связи между гидрологическими характеристиками внутри одного ряда, где следует выполнение условия наличия тесной корреляции, а именно: $R \geq 0{,}7$. Полученные значения указаны на рисунке 3.7, где жёлтым цветом указано выполнение условия наличия тесной корреляции.

	I	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*(I)*
I	1,00												
II	0,92	1,00											
III	0,85	0,90	1,00										
IV	0,65	0,72	0,87	1,00									
V	0,57	0,53	0,63	0,76	1,00								
VI	0,47	0,43	0,53	0,61	0,88	1,00							
VII	0,17	0,18	0,28	0,31	0,55	0,89	1,00						
VIII	0,05	0,08	0,04	0,03	0,26	0,69	0,89	1,00					
IX	-0,03	0,04	-0,10	-0,08	0,06	0,43	0,69	0,91	1,00				
X	-0,06	-0,04	-0,19	-0,08	0,00	0,31	0,57	0,82	0,95	1,00			
XI	0,02	0,01	-0,07	-0,05	0,01	0,28	0,49	0,72	0,81	0,88	1,00		
XII	0,00	-0,02	-0,04	-0,01	0,11	0,40	0,54	0,68	0,69	0,71	0,91	1,00	
(I)	0,01	0,04	0,02	0,07	0,13	0,37	0,48	0,53	0,55	0,57	0,77	0,93	1,00

Рисунок 3.7 – Таблица корреляционной функции; (IX) – месяц, в котором восстановление значений не требуется.

На третьем этапе, с учётом данных, представленных на рисунке 3.7, проводилось восстановление пропущенных значений при помощи формул 3.6–3.8.

В итоге, после выполнения всех расчётов и повторного определения среднегодовых значений расходов воды, таблица примет вид, представленный на рисунке 3.8, где приведён лишь фрагмент таблицы с подставленными расчётными значениями в жёлтые ячейки.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	12,49
1976	5,67	7,19	7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	15,75
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	14,71
1978	12,28	12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	12,20
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00	9,51	17,40	11,43
1980	15,80	13,40	12,70	11,70	19,82	16,80	10,70	6,36	4,64	5,23	4,74	5,02	10,58
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10	19,52	17,40	17,30
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	17,88
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	13,74
1984	11,80	12,90	12,90	14,90	24,21	19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	14,38
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	11,63
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	11,52
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,93
1988	15,80	14,40	14,09	14,00	24,10	25,00	15,90	16,82	16,70	17,90	17,40	16,60	17,39
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	12,46
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38	7,86	5,92	6,00	11,58
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	15,21
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	20,80
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50	20,21	19,70	20,60	19,00	17,30	16,00	15,89	17,01
1994	12,90	10,80	12,00	12,94	26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90	20,19	17,00	18,43
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	17,93
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50	15,12	15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	9,86
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	10,91

Рисунок 3.8 – Фрагмент таблицы с восстановленными значениями, р. Сяньга – д. Чуралахта.

Далее рассчитываем статистические характеристики для каждого ряда и среднегодовых значений, которые в дальнейшем нужно будет сравнить с эталонными значениями статистических характеристик, представленными в приложении Б2.

Таким образом, на примере р. Сяньга – д. Чуралахта расчёт продемонстрировал следующие значения, представленные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Статистические характеристики р. Сяньга – д. Чуралахта

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,54	12,36	12,49	13,33	22,29	21,46	16,39	11,95	10,68	11,04	11,80	12,09	14,03
СКО	5,49	4,47	3,85	4,03	6,83	6,70	5,44	4,90	5,55	5,58	5,37	5,28	5,29
Cv	0,44	0,36	0,31	0,30	0,31	0,31	0,33	0,41	0,52	0,51	0,46	0,44	0,39
Cs	0,19	0,00	-0,22	0,03	0,92	0,54	0,29	0,29	0,75	0,54	-0,11	-0,16	0,25
Cs/Cv	0,44	0,01	-0,70	0,11	3,00	1,74	0,87	0,70	1,44	1,06	-0,25	-0,37	0,67

В результате видно, что значения характеристик в сравнении с эталонными данными изменились, т.е. можно наблюдать относительно небольшие расхождения.

3.5. Регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам

Данный метод относится к группе методов гидрологических аналогий и предназначен для восстановления пропущенных значений среднемесячных расходов воды на расчётной реке на основе данных реки-аналога.

Для восстановления значений используется аппарат парной линейной регрессии на основе зависимости среднемесячных значений *i*-того месяца на расчетной реке от среднемесячных значений *i*-того месяца на реке-аналоге. При применении парной линейной регрессии расчёт восстанавливаемых значений будет производиться по следующей формуле:

$$Q_{i,\text{рр}} = aQ_{i,\text{р}-\text{а}} \pm b \quad (3.9)$$

где $Q_{i,pp}$ – среднемесячный значение расхода воды на расчётной реке; $Q_{i,p\text{-}a}$ – среднемесячное значение расхода воды на реке-аналоге; a и b – параметры линейного уравнения регрессии.

Рассмотрим метод на примере р. Пяльма – д. Пяльма, где, опираясь на полную таблицу по методу исключения пропусков, представленную в приложении Г2, на начальном этапе производим расчёт корреляции между 25 однородными рядами при помощи генератора корреляционной функции для определения рек-аналогов. На данном этапе проверяются связи между гидрологическими характеристиками, где следует выполнение условия наличия тесной корреляции, а именно: $R \geq 0{,}7$.

Таким образом, полученные значения указаны в приложении Д, где продемонстрировано выполнение корреляционной функции между 25 однородными постами. На примере р. Пяльма – д. Пяльма тесную корреляционную связь показала пара р. Олонка – с. Верховье, следовательно, данный пост будет фигурировать в качестве реки-аналога. Эталонные значения р. Олонка – с. Верховье представлены в приложении Е.

На втором этапе, с учётом эталонных данных реки-аналога, проводилось восстановление пропущенных значений при помощи формулы 3.9.

В конечном итоге, после выполнения всех расчётов и повторного определения среднегодовых значений расходов воды, таблица примет вид, представленный на рисунке 3.9, где приведён лишь фрагмент таблицы с подставленными расчётными значениями в жёлтые ячейки.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	8,29	5,30	4,91	50,10	21,70	5,43	4,01	2,24	3,74	10,80	12,90	7,50	11,41
1976	4,55	1,81	1,73	54,12	66,50	8,82	6,63	11,50	34,90	7,14	4,74	5,81	17,35
1977	2,79	1,79	2,10	28,01	29,40	6,89	4,75	2,74	11,30	21,40	25,30	7,36	11,99
1978	4,22	2,33	2,96	3,60	33,20	12,00	3,01	5,16	18,20	18,40	16,20	7,15	10,54
1979	3,19	2,44	2,37	3,93	53,20	6,03	5,29	4,62	5,00	15,40	17,70	16,60	11,31
1980	6,06	3,41	2,48	5,21	44,90	4,08	2,11	1,43	2,01	2,74	2,69	4,06	6,77
1981	4,18	3,09	2,58	4,20	101,00	27,80	4,98	4,13	8,37	26,90	16,30	5,62	17,43
1982	3,40	2,33	2,47	19,80	60,20	11,50	7,84	2,84	6,57	8,44	27,40	20,30	14,42
1983	8,15	4,07	6,35	71,00	28,30	4,84	2,18	2,42	3,22	24,10	30,20	8,80	16,14
1984	8,45	4,97	3,77	21,90	65,28	8,39	5,05	3,22	4,67	17,70	13,30	4,03	13,39
1985	2,45	2,10	3,33	3,30	35,40	12,70	12,70	4,16	5,12	15,40	14,80	3,42	9,57
1986	2,08	2,09	2,45	34,20	38,60	7,02	5,13	2,04	10,50	10,40	14,90	12,80	11,85
1987	2,79	1,81	1,73	5,49	43,50	24,30	12,80	13,50	13,30	6,91	7,80	3,19	11,43
1988	4,96	3,22	1,77	13,20	68,30	14,50	5,93	13,90	11,60	18,80	8,77	3,93	14,07
1989	3,83	4,39	5,42	57,60	33,10	4,55	2,29	2,29	6,09	19,20	9,79	3,13	12,64
1990	5,24	6,10	8,79	67,70	26,60	8,31	4,04	3,53	2,01	4,48	4,43	3,10	12,03
1991	2,08	2,22	6,88	29,10	46,70	10,80	4,25	6,06	7,02	19,90	23,60	30,90	15,79
1992	15,40	9,93	5,17	4,34	77,90	3,89	2,68	2,18	5,30	10,80	13,30	13,80	13,72
1993	10,10	4,67	2,43	7,62	68,80	9,33	5,08	12,90	11,10	13,99	6,55	4,24	13,07
1994	4,45	3,41	2,92	34,00	33,40	7,54	2,79	1,39	7,69	37,40	20,90	7,11	13,58
1995	4,73	5,21	5,68	54,40	68,30	6,46	3,43	2,84	3,63	5,30	5,32	4,10	14,12
1996	3,16	2,65	1,88	2,57	48,10	9,63	23,90	3,77	2,85	4,20	10,50	11,50	10,39
1997	4,08	2,65	9,00	8,87	79,80	13,00	4,23	2,21	8,53	13,00	13,50	7,61	13,87

Рисунок 3.8 – Фрагмент таблицы с восстановленными значениями, р. Пяльма – д. Пяльма.

После рассчитываем статистические характеристики для каждого ряда и среднегодовых значений, которые в дальнейшем нужно будет сравнить с эталонными значениями статистических характеристик, представленными в приложении В2.

Таким образом, на примере р. Пяльма – д. Пяльма расчёт продемонстрировал следующие значения, представленные в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Статистические характеристики р. Пяльма – д. Пяльма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,54	12,36	12,49	13,33	22,29	21,46	16,39	11,95	10,68	11,04	11,80	12,09	14,03
СКО	5,49	4,47	3,85	4,03	6,83	6,70	5,44	4,90	5,55	5,58	5,37	5,28	5,29
Cv	0,44	0,36	0,31	0,30	0,31	0,31	0,33	0,41	0,52	0,51	0,46	0,44	0,39
Cs	0,19	0,00	-0,22	0,03	0,92	0,54	0,29	0,29	0,75	0,54	-0,11	-0,16	0,25
Cs/Cv	0,44	0,01	-0,70	0,11	3,00	1,74	0,87	0,70	1,44	1,06	-0,25	-0,37	0,67

По итогу видно, что значения характеристик в сравнении с эталонными данными подверглись изменениям, которые имеют небольшие расхождения в значениях.

3.6. Регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам

Данный метод относится к группе методов гидрологических аналогий и предназначен для восстановления пропущенных значений как среднемесячных, так и среднегодовых расходов воды на основе данных по реке-аналогу.

В работе воспроизводилось восстановление среднемесячных расходов через реставрацию среднегодовых значений. Таким образом, в основе метода лежат два последовательных этапа: восстановление пропущенных среднегодовых расходов по реке-аналогу и последующее восстановление внутригодового распределения стока с учётом водности года.

Для восстановления пропусков в ряду среднегодовых расходов воды используется аппарат парной линейной регрессии, где в качестве предиктора выступают значения среднегодового стока реки-аналога. Важно учитывать, что река-аналог подбираются при помощи высокой корреляционной связи между расчётной рекой и рекой-аналогом, то есть при соблюдении условия корреляционной функции: $R \geq 0{,}7$.

При применении аппарата парной линейной регрессии расчёт производят по следующей формуле:

$$Q_{\text{рр}} = aQ_{\text{р}-\text{а}} \pm b \qquad (3.10)$$

где Q_{pp} – среднегодовой расход расчётной реки; $Q_{p\text{-}a}$ – среднегодовой расход реки-аналога; a и b – параметры линейного уравнения регрессии.

После восстановления пропущенных значений среднегодовых расходов, выполняется внутригодовая разбивка. Для этого используется типовое распределение стока по группам водности года. Сама процесс восполнения недостающих значений выглядит следующим образом:

1. Определить классификацию лет по водности, то есть отнести значение среднегодовых расходов к одной из трёх групп, таких как:

- Многоводные годы – $Q_{ср.год} > Q_{верх}$;
- Средние по водности годы – $Q_{нижн} \leq Q_{ср.год} \leq Q_{верх}$;
- Маловодные годы – $Q_{ср.год} < Q_{нижн}$.

где $Q_{ср.год}$ – значение среднегодового расхода; $Q_{нижн}$ и $Q_{верх}$ – границы распределения для групп водности.

2. Выполнить расчёт типового внутригодового распределения, а именно для каждой выделенной группы водности вычислить среднемесячные доли стока. Для этого по значениям, входящим в группу, для каждого месяца рассчитывается среднее отношение по формуле:

$$k_j = \frac{\Sigma \frac{Q_{ij}}{Q_i}}{n_{\text{вод}}} \tag{3.11}$$

где k_j – типовая доля j-го месяца для группы водности; Q_{ij} – среднемесячный расход в i-ом году; Q_i – сумма среднемесячных расходов в том же году, $n_{вод}$ – количество лет в группе.

3. Произвести восстановление пропущенных среднемесячных расходов, опираясь на группу водности по значению среднегодового расхода, восстановленному на первом этапе, по следующей формуле:

$$Q_j = \frac{Q_i m k_j}{100\%} \tag{3.12}$$

где Q_i – восстановленный среднегодовой расход; m – количество месяцев в году.

Рассмотрим метод на примере р. Пяльма – д. Пяльма, где, опираясь на полную таблицу по методу исключения пропусков, представленную в приложении Г2, на начальном этапе, как и в предыдущем методе, подбирается река-аналог при помощи высокой корреляционной связи с соблюдением условия: R ≥ 0,7. Следовательно, на примере р. Пяльма – д. Пяльма тесную корреляционную связь показала пара р. Олонка – с. Верховье, поэтому данный пост будет фигурировать в качестве реки-аналога.

На втором этапе, с учётом эталонных данных реки-аналога, проводилось восстановление среднегодовых расходов при помощи формулы 3.10, получившиеся значения которой заносим в таблицу, представленную на рисунке 3.9, где приведён лишь её фрагмент.

Год	Р-аналог	Р-расчёт	Расчёт	Восст. зн.
	ср. год	ср. год		
1975	10,49	11,41		11,41
1976	18,01		14,65	14,65
1977	15,07		12,81	12,81
1978	13,04		11,54	11,54
1979	12,51		11,21	11,21
1980	9,69		9,44	9,44
1981	21,00		16,52	16,52
1982	19,56	14,42		14,42
1983	16,92	16,14		16,14
1984	19,23		15,41	15,41
1985	10,42	9,57		9,57
1986	16,43		13,66	13,66
1987	14,34		12,36	12,36
1988	15,70	14,07		14,07
1989	15,09	12,64		12,64
…	…	…	…	…
2005	16,80	15,79		15,79
2006	15,23		12,91	12,91
2007	15,63	14,39		14,39
2008	23,13		17,85	17,85
2009	16,94		13,98	13,98
2010	15,24	9,70		9,70
2011	17,74		14,48	14,48
2012	22,02	18,05		18,05
2013	15,09	13,00		13,00
2014	10,47	8,31		8,31

Рисунок 3.9– Фрагмент таблицы с восстановленными значениями, р. Пяльма – д. Пяльма.

На этом этапе можно графически отобразить насколько сильно восстановленные значения отличаются от эталонных данных, представленных в приложении В1. Для этого нужно представить эталонный хронологический график среднегодовых расходов, а также построить хронологических график по восстановленным данным, где синим цветом указаны данные с пропусками, а оранжевым восстановленные значения. Графики показаны на рисунках 3.10 и 3.11.

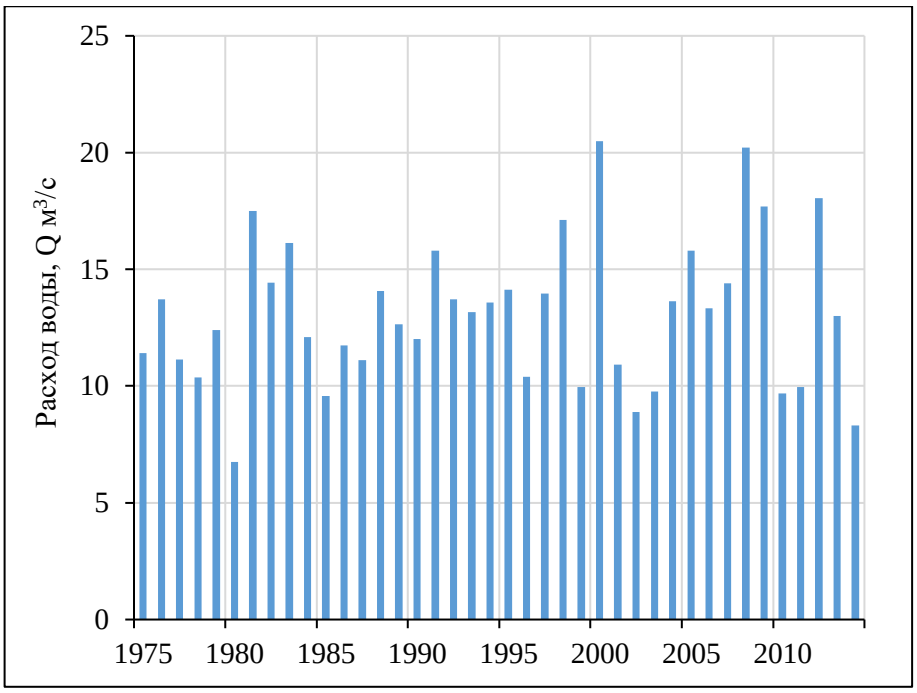


Рисунок 3.10 – Эталонный хронологический график среднегодовых расходов воды; р. Пяльма – д. Пяльма.

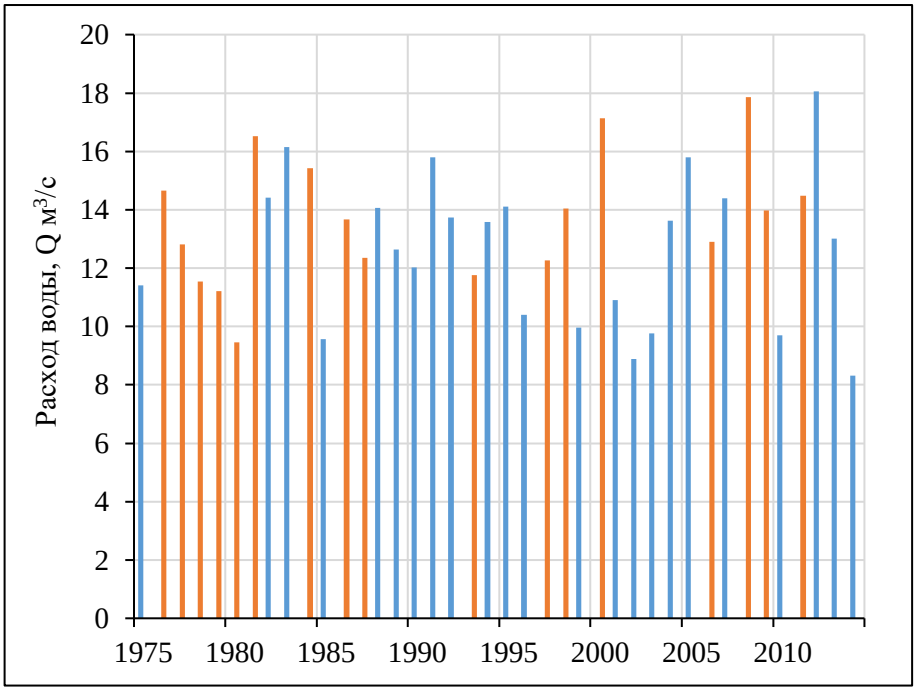


Рисунок 3.11 – Хронологический график восстановленных среднегодовых расходов воды; р. Пяльма – д. Пяльма.

На третьем этапе, с учётом исходных данных, представленных в приложении Г2, были определены границы групп водности на основе среднегодовых расходов. При расчётах учитывались годы, в которых

отсутствовали пропущенные месячные и среднегодовые значения, так как по данному методу восстановление данных происходит по полному году, в котором отсутствуют данные. На примере р. Пяльма – д. Пяльма распределение границ представлено в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Распределение границ групп водности р. Пяльма – д. Пяльма

Группа	Распределение
Многоводные годы	$Q_{ср.год.} > 13,7$
Средние по водности	$10,9 < Q_{ср.год.} < 13,7$
Маловодные годы	$Q_{ср.год.} < 10,9$

Для каждой выделенной группы по годам было вычислено типовое внутригодовое распределение стока по формуле 3.11. Получившиеся значения занесены в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Типовое внутригодовое распределение стока р. Пяльма – д. Пяльма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Многоводные годы	3,83	1,85	2,24	21,43	29,35	5,69	3,55	4,00	4,55	7,24	9,86	6,41
Средние по водности	4,81	3,34	2,76	25,20	24,93	5,43	2,42	2,22	3,46	9,26	9,80	6,39
Маловодные годы	3,59	1,81	2,48	18,05	32,23	6,68	6,19	2,02	3,00	7,80	10,03	6,12

На заключительном этапе для каждого года, в котором отсутствовали значения за один или несколько месяцев, выполнялось восстановление целого ряда по формуле 3.12 с использованием ранее восстановленных по формуле 3.10 среднегодовых расходов воды.

В конечном итоге, таблица примет вид, представленный на рисунке 3.12, где приведён лишь фрагмент таблицы с указанными расчётными значениями, выделенными жёлтым цветом.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
1975	8,29	5,30	4,91	50,10	21,70	5,43	4,01	2,24	3,74	10,80	12,90	7,50	11,41
1976	6,73	3,25	3,94	37,67	51,61	10,00	6,25	7,04	8,00	12,72	17,33	11,28	14,65
1977	7,40	5,13	4,24	38,74	38,33	8,35	3,73	3,41	5,31	14,23	15,06	9,82	12,81
1978	6,66	4,62	3,82	34,90	34,53	7,52	3,36	3,08	4,79	12,82	13,57	8,85	11,54
1979	6,47	4,49	3,71	33,91	33,55	7,31	3,26	2,99	4,65	12,46	13,18	8,60	11,21
1980	4,07	2,05	2,81	20,46	36,52	7,57	7,01	2,29	3,40	8,84	11,37	6,94	9,44
1981	7,58	3,67	4,45	42,48	58,20	11,27	7,05	7,94	9,02	14,35	19,54	12,72	16,52
1982	3,40	2,33	2,47	19,80	60,20	11,50	7,84	2,84	6,57	8,44	27,40	20,30	14,42
1983	8,15	4,07	6,35	71,00	28,30	4,84	2,18	2,42	3,22	24,10	30,20	8,80	16,14
1984	7,08	3,42	4,15	39,63	54,30	10,52	6,57	7,41	8,42	13,39	18,23	11,86	15,41
1985	2,45	2,10	3,33	3,30	35,40	12,70	12,70	4,16	5,12	15,40	14,80	3,42	9,57
1985	7,89	5,47	4,52	41,31	40,87	8,90	3,97	3,64	5,67	15,18	16,06	10,47	13,66
1985	7,13	4,95	4,09	37,36	36,97	8,05	3,59	3,29	5,13	13,73	14,53	9,47	12,36
1988	4,96	3,22	1,77	13,20	68,30	14,50	5,93	13,90	11,60	18,80	8,77	3,93	14,07
1989	3,83	4,39	5,42	57,60	33,10	4,55	2,29	2,29	6,09	19,20	9,79	3,13	12,64
1990	5,24	6,10	8,79	67,70	26,60	8,31	4,04	3,53	2,01	4,48	4,43	3,10	12,03
1991	2,08	2,22	6,88	29,10	46,70	10,80	4,25	6,06	7,02	19,90	23,60	30,90	15,79
1992	15,40	9,93	5,17	4,34	77,90	3,89	2,68	2,18	5,30	10,80	13,30	13,80	13,72
1993	6,79	4,70	3,89	35,54	35,16	7,66	3,42	3,13	4,87	13,05	13,82	9,01	11,75
1994	4,45	3,41	2,92	34,00	33,40	7,54	2,79	1,39	7,69	37,40	20,90	7,11	13,58
1995	4,73	5,21	5,68	54,40	68,30	6,46	3,43	2,84	3,63	5,30	5,32	4,10	14,12
1996	3,16	2,65	1,88	2,57	48,10	9,63	23,90	3,77	2,85	4,20	10,50	11,50	10,39
1997	7,07	4,90	4,05	37,05	36,65	7,99	3,56	3,27	5,08	13,61	14,40	9,39	12,25

Рисунок 3.12 – Фрагмент таблицы с восстановленными значениями, р. Пяльма – д. Пяльма.

После рассчитываем статистические характеристики для каждого ряда и среднегодовых значений, которые в дальнейшем нужно будет сравнить с эталонными значениями статистических характеристик, представленными в приложении В2.

Таким образом, на примере р. Пяльма – д. Пяльма расчёт продемонстрировал следующие значения, представленные в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Статистические характеристики р. Пяльма – д. Пяльма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	6,46	3,76	3,86	34,80	44,00	8,91	5,51	4,80	6,12	12,80	15,61	10,06	13,06
СКО	3,35	1,59	1,54	15,83	15,04	3,24	4,17	3,89	4,11	6,45	6,69	5,96	5,99
Cv	0,52	0,42	0,40	0,46	0,34	0,36	0,76	0,81	0,67	0,50	0,43	0,59	0,52
Cs	1,03	1,39	0,69	-0,20	0,29	0,41	2,73	2,24	2,33	1,25	0,54	1,52	1,19
Cs/Cv	1,99	3,30	1,73	-0,43	0,86	1,13	3,61	2,76	3,46	2,48	1,26	2,57	2,06

В конечном итоге видно, что значения характеристик в сравнении с эталонными данными претерпели изменения, характеризующиеся относительно небольшими расхождениями в значениях.

4. СРАВНЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

При восстановлении пропущенных данных в гидрологических наблюдениях первостепенное значение имеет объективная оценка точности полученных результатов. Хотя абсолютные ошибки, отражающие разницу между восстановленными и эталонными значениями, и несут определённую информацию, относительные ошибки предоставляют более глубокое и наглядное понимание степени точности. Это особенно важно в условиях, когда значения стока подвержены значительным внутригодовым и межгодовым колебаниям.

Таким образом, относительная ошибка, выраженная в процентах от эталонного значения, позволяет проводить сопоставимый анализ точности восстановления как для разных месяцев, так и для различных гидрологических постов, независимо от количества расходов воды.

В рамках настоящего исследования были рассчитаны относительные ошибки для следующих статистических характеристик:

- Среднее арифметическое;
- Среднеквадратическое отклонение «СКО»;
- Коэффициент асимметрии «Cs».

Формула для расчёта погрешности «δ» имеет вид:

$$\delta = \frac{n_{\text{вост}} - n_{\text{факт}}}{n_{\text{факт}}} * 100\% \quad (4.1)$$

где $n_{вост}$ – восстановленное значение статистической характеристики, $n_{факт}$ – фактическое значение, полученное по полному ряду наблюдений без пропусков.

Полученные в ходе расчётов значения сравнивались с эталонными статистическими характеристиками. Это позволило количественно оценить,

насколько каждый из рассмотренных методов сохраняет параметры распределения исходного ряда.

Помимо численной оценки, в работе особое внимание уделялось графическому сравнению восстановленных рядов с эталонными данными.

Графики такого типа позволяют:

1. Визуально верифицировать результаты статистического анализа;
2. Обосновать выбор оптимального метода

Сравнение проводилось для восстановленных среднемесячных расходов и эталонных значений этих расходов по нескольким отдельным годам, в которых отсутствовали данные о расходах воды за два и более месяца, что позволяет оценить поведение методов в условиях группирующихся пропусков.

Дальнейшие вычисления и построения графиков проводились по 25 однородным рядам. В качестве примеров были использованы р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма, эталонные данные которых представлены в приложении Б1 и В1.

4.1. Расчёт относительных ошибок

В работе просчитываются относительные ошибки по статистическим характеристикам, а также производится расчёт наибольших ошибок среднемесячных расходов воды для каждого из методов восстановления пропущенных значений рядов речного стока.

Для наглядности расчёта ошибок были взяты р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма, где производился расчёт относительных ошибок по формуле 4.1.

После выполнения расчёта относительных ошибок, для каждого из методов, результаты заносятся в сводные таблицы, где указаны статистические характеристики, рассчитанные по методу, и их эталонные значения, представленные в приложении Б2 и В2. Результаты расчёта представлены в таблицах 4.1 – 4.6.

Также после расчёта наибольших ошибок среднемесячных расходов составляется отдельная таблица, значения которой сыграют важную роль в сравнении методов восстановления пропущенных значений. Результаты представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.1 – Относительные ошибки статистических характеристик р. Сяньга – д. Чуралахта, метод исключения пропусков.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,5	12,5	12,5	13,5	22,7	21,7	16,1	11,8	10,7	11,5	11,4	12,0	14,1
Эталонное средне	12,6	12,3	12,4	13,3	22,2	21,5	16,2	12,0	10,7	11,0	12,0	12,1	14,0
Относит ошибка, %	-0,45	1,28	0,19	1,50	2,10	0,54	-0,64	-1,86	0,00	4,76	-4,62	-0,54	0,29
СКО	5,6	4,4	3,9	4,1	6,7	6,8	5,2	5,0	5,5	5,5	5,2	5,3	5,3
Эталон СКО	5,5	4,5	3,8	4,0	7,0	6,6	5,2	4,9	5,5	5,6	5,6	5,3	5,3
Относит ошибка, %	1,09	-1,21	2,33	1,31	-4,05	2,28	-0,95	2,01	0,00	-1,98	-7,22	1,00	-0,63
Cs	0,2	0,0	-0,2	-0,1	1,2	0,5	0,1	0,4	0,7	0,5	-0,1	-0,1	0,2
Эталон Cs	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,8	0,5	0,1	0,3	0,7	0,5	0,1	-0,2	0,2
Относит ошибка, %	18,59	451,67	7,59	-406,23	45,59	-10,60	-9,69	40,80	0,00	-11,37	-278,87	-23,53	3,17

Таблица 4.2 – Относительные ошибки статистических характеристик р. Сяньга – д. Чуралахта, замена средними значениями.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,5	12,5	12,5	13,5	22,7	21,7	16,1	11,8	10,7	11,5	11,4	12,0	14,1
Эталонное средне	12,6	12,3	12,4	13,3	22,2	21,5	16,2	12,0	10,7	11,0	12,0	12,1	14,0
Относит ошибка, %	-0,45	1,28	0,19	1,50	2,10	0,54	-0,64	-1,86	0,00	4,76	-4,62	-0,54	0,29
СКО	5,5	4,4	3,8	3,9	6,4	6,6	5,0	4,8	5,5	5,3	5,0	5,2	5,1
Эталон СКО	5,5	4,5	3,8	4,0	7,0	6,6	5,2	4,9	5,5	5,6	5,6	5,3	5,3
Относит ошибка, %	-0,21	-2,49	-0,33	-2,66	-7,81	-0,37	-3,53	-1,99	0,00	-5,83	-10,86	-0,31	-3,22
Cs	0,2	0,0	-0,2	-0,1	1,2	0,5	0,1	0,4	0,7	0,5	-0,1	-0,1	0,3
Эталон Cs	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,8	0,5	0,1	0,3	0,7	0,5	0,1	-0,2	0,2
Относит ошибка, %	19,98	458,13	10,15	-417,37	50,89	-8,47	-7,54	45,93	0,00	-8,14	-285,38	-22,63	5,80

Таблица 4.3 – Относительные ошибки статистических характеристик р. Сяньга – д. Чуралахта, метод ближних соседей.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,5	12,4	12,6	13,5	22,1	21,8	16,2	11,9	10,7	11,2	11,6	12,1	14,0
Эталонное средне	12,6	12,3	12,4	13,3	22,2	21,5	16,2	12,0	10,7	11,0	12,0	12,1	14,0
Относит ошибка, %	-0,62	0,82	0,86	1,40	-0,37	1,03	-0,42	-0,94	0,00	2,51	-3,26	0,09	0,10
СКО	5,5	4,4	3,9	4,0	6,8	6,7	5,1	4,8	5,5	5,4	5,1	5,3	5,2
Эталон СКО	5,5	4,5	3,8	4,0	7,0	6,6	5,2	4,9	5,5	5,6	5,6	5,3	5,3
Относит ошибка, %	-0,18	-2,16	0,24	-1,59	-2,67	0,27	-2,17	-1,56	0,00	-4,39	-9,90	0,10	-2,07
Cs	0,2	0,0	-0,3	0,0	1,1	0,4	0,1	0,3	0,7	0,6	-0,2	-0,2	0,2
Эталон Cs	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,8	0,5	0,1	0,3	0,7	0,5	0,1	-0,2	0,2
Относит ошибка, %	27,79	29,25	40,98	-332,85	38,36	-17,75	-20,88	19,25	0,00	10,55	-405,69	2,58	-2,78

Таблица 4.4 – Относительные ошибки статистических характеристик р. Сяньга – д. Чуралахта, регрессионный метод без использования рек-аналогов.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	12,5	12,4	12,6	13,5	22,1	21,8	16,2	11,9	10,7	11,2	11,6	12,1	14,0
Эталонное средне	12,6	12,3	12,4	13,3	22,2	21,5	16,2	12,0	10,7	11,0	12,0	12,1	14,0
Относит ошибка, %	-0,62	0,82	0,86	1,40	-0,37	1,03	-0,42	-0,94	0,00	2,51	-3,26	0,09	0,10
СКО	5,5	4,4	3,9	4,0	6,8	6,7	5,1	4,8	5,5	5,4	5,1	5,3	5,2
Эталон СКО	5,5	4,5	3,8	4,0	7,0	6,6	5,2	4,9	5,5	5,6	5,6	5,3	5,3
Относит ошибка, %	-0,18	-2,16	0,24	-1,59	-2,67	0,27	-2,17	-1,56	0,00	-4,39	-9,90	0,10	-2,07
Cs	0,2	0,0	-0,3	0,0	1,1	0,4	0,1	0,3	0,7	0,6	-0,2	-0,2	0,2
Эталон Cs	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,8	0,5	0,1	0,3	0,7	0,5	0,1	-0,2	0,2
Относит ошибка, %	27,79	29,25	40,98	-332,85	38,36	-17,75	-20,88	19,25	0,00	10,55	-405,69	2,58	-2,78

Таблица 4.5 – Относительные ошибки статистических характеристик р. Пяльма – д. Пяльма, регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	5,6	3,4	3,4	27,0	48,0	10,0	5,7	5,6	8,2	14,4	15,9	10,9	13,2
Эталонное средне	5,6	3,4	3,4	25,8	48,2	9,9	5,3	5,5	8,4	14,4	16,1	10,8	13,1
Относит ошибка, %	0,92	-0,11	0,77	4,62	-0,41	1,44	6,02	0,30	-3,20	-0,21	-1,25	0,85	0,73
СКО	3,6	1,6	1,9	20,8	19,4	5,5	4,4	5,2	7,0	8,7	8,8	8,9	8,0
Эталон СКО	3,7	1,7	1,9	20,5	19,5	5,6	4,5	5,2	7,2	8,7	9,6	9,0	8,1
Относит ошибка, %	-0,94	-1,06	-0,98	1,56	-0,58	-1,72	-3,42	0,61	-3,33	-0,01	-9,07	-0,62	-1,29
Cs	1,4	1,8	1,3	0,6	0,5	1,3	2,4	1,5	1,9	0,7	0,4	1,5	1,3
Эталон Cs	1,4	1,7	1,3	0,8	0,5	1,3	2,3	1,5	1,7	0,7	0,8	1,5	1,3
Относит ошибка, %	1,12	4,91	1,44	-18,08	5,94	3,03	3,55	-1,52	10,93	1,71	-49,97	0,57	-0,50

Таблица 4.6 – Относительные ошибки статистических характеристик р. Пяльма – д. Пяльма, регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср. год
Среднее	6,5	3,8	3,9	34,8	44,0	8,9	5,5	4,8	6,1	12,8	15,6	10,1	13,1
Эталонное средне	5,6	3,4	3,4	25,8	48,2	9,9	5,3	5,5	8,4	14,4	16,1	10,8	13,1
Относит ошибка, %	15,98	12,17	12,66	34,76	-8,65	-9,93	3,38	-13,50	-27,32	-11,37	-3,09	-7,04	-0,13
СКО	3,3	1,6	1,5	15,8	15,0	3,2	4,2	3,9	4,1	6,5	6,7	6,0	6,0
Эталон СКО	3,7	1,7	1,9	20,5	19,5	5,6	4,5	5,2	7,2	8,7	9,6	9,0	8,1
Относит ошибка, %	-9,00	-3,89	-20,85	-22,68	-23,03	-42,28	-7,67	-25,01	-42,80	-25,54	-30,52	-33,70	-25,98
Cs	1,0	1,4	0,7	-0,2	0,3	0,4	2,7	2,2	2,3	1,3	0,5	1,5	1,2
Эталон Cs	1,4	1,7	1,3	0,8	0,5	1,3	2,3	1,5	1,7	0,7	0,8	1,5	1,3
Относит ошибка, %	-24,70	-19,02	-46,18	-126,01	-36,05	-68,45	16,31	48,33	36,00	91,92	-31,16	-0,46	-7,74

Таблица 4.7 – Результаты расчёта наибольших ошибок среднемесячных расходов воды по всем методам восстановления значений р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма.

Метод*	Код поста	Река - пост	Наибольшие ошибки для среднемесячных расходов, %		
			Среднее	СКО	Cs
ИП	48029	р. Сяньга - д. Чуралахта	4,8	7,2	452
ЗСр	48029	р. Сяньга - д. Чуралахта	4,8	11	458
БС	48029	р. Сяньга - д. Чуралахта	3,3	9,9	406
Р-1	48029	р. Сяньга - д. Чуралахта	1,5	4,7	270
Р-2	48071	р. Пяльма - д. Пяльма	6,0	9,1	50
Р-3	48071	р. Пяльма - д. Пяльма	27	43	126

* - Указаны сокращения названий методов: ИП – метод исключения пропусков; ЗСр – метод замены средними значениями; БС – метод ближних соседей; Р-1 – регрессионный метод без использования рек-аналогов; Р-2 – регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам; Р-3 – регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам.

4.2. Построение графиков

В работе, помимо расчёта относительных ошибок, было выполнено графическое сопоставление восстановленных рядов с эталонными данными. Такой подход позволяет не только верифицировать результаты статистического анализа, но и наглядно обосновать выбор оптимального метода восстановления пропусков.

Графическое сравнение проводилось для восстановленных среднемесячных и среднегодовых расходов воды и их эталонных значений.

В качестве наглядного примера для восстановленных значений среднемесячных расходов был взят один год из нескольких отдельных лет по р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма, где для каждого метода восстановления были построены графики, на которых эталонные значения показаны пунктиром, а восстановленные значения и данные с пропусками представлены в виде гистограммы. Графики показаны на рисунках 4.1 – 4.6.

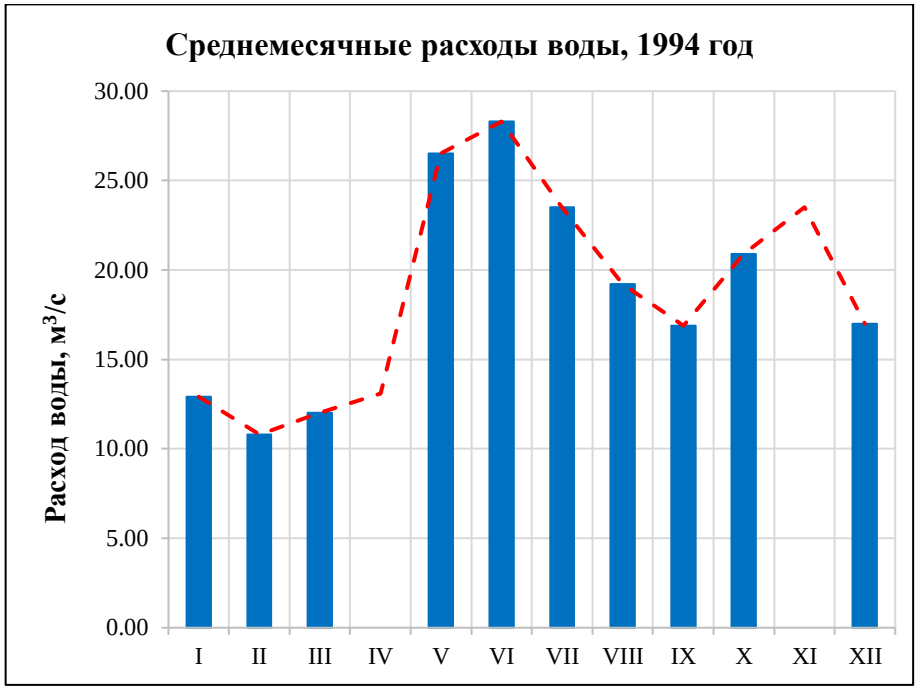


Рисунок 4.1 – График среднемесячных расходов р. Сяньга – д. Чуралахта за 1994 г., метод исключения пропусков, отсутствуют расходы за IV и XI месяцы.

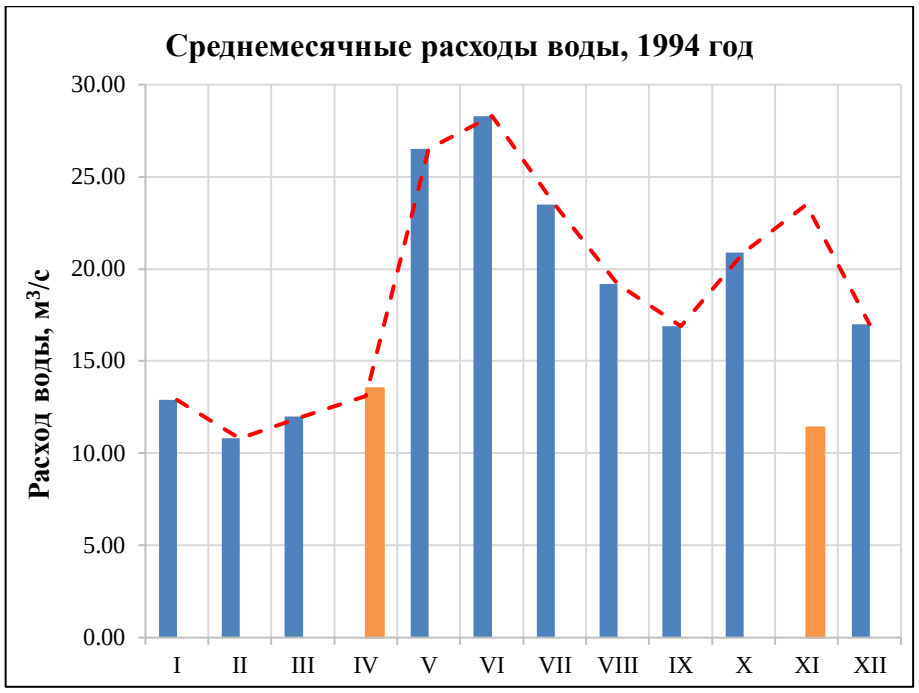


Рисунок 4.2 – График среднемесячных расходов р. Сяньга – д. Чуралахта за 1994 г., заполнение пропусков средними значениями, восстановлено 2 расхода из 12.

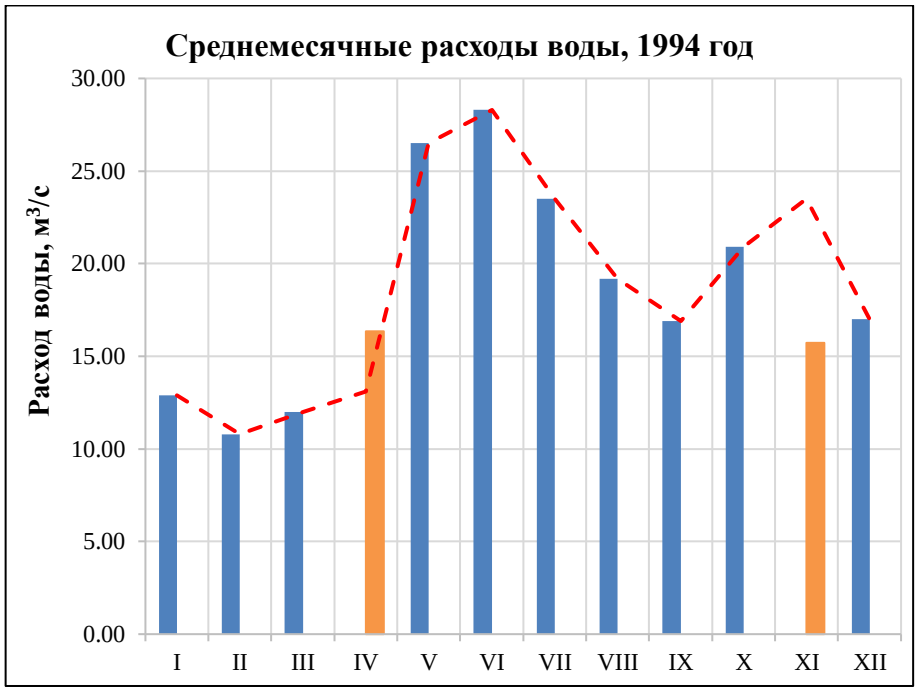


Рисунок 4.3 – График среднемесячных расходов р. Сяньга – д. Чуралахта за 1994 г., метод ближних соседей, восстановлено 2 расхода из 12.

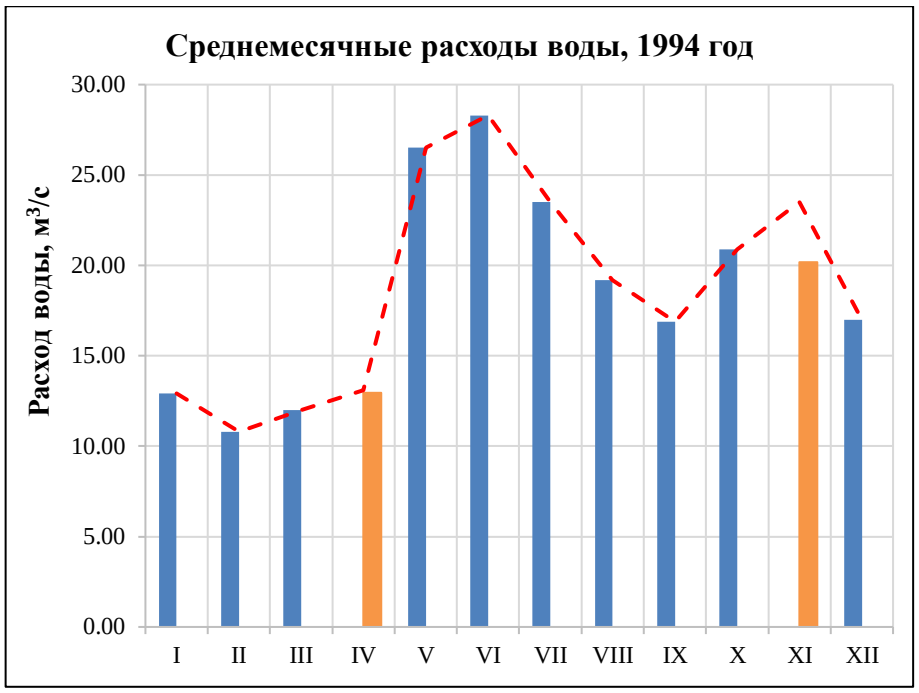


Рисунок 4.4 – График среднемесячных расходов р. Сяньга – д. Чуралахта за 1994 г., регрессионный метод без использования рек-аналогов, восстановлено 2 расхода из 12.

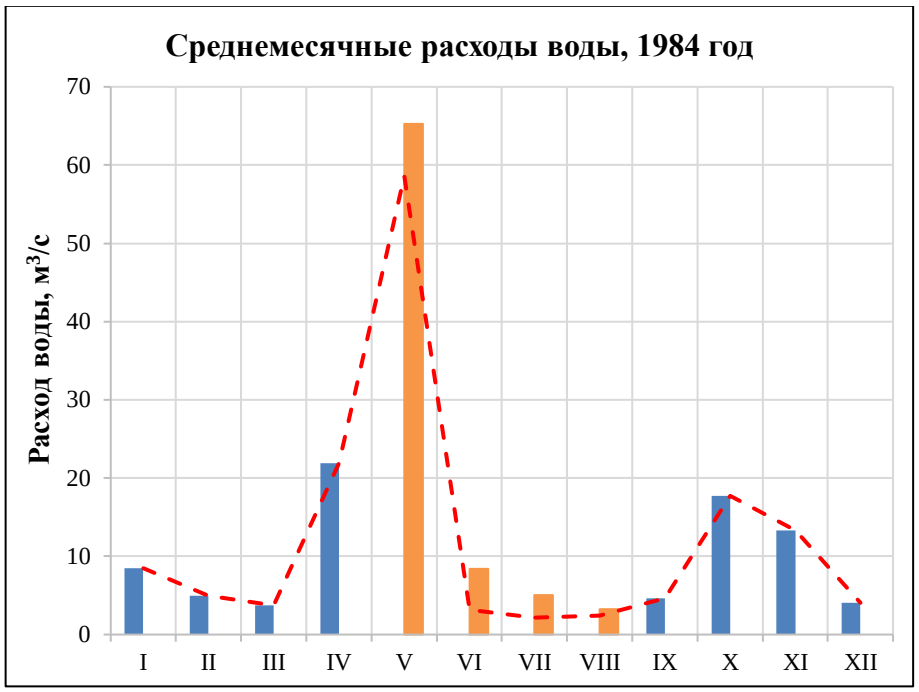


Рисунок 4.5 – График среднемесячных расходов р. Пяльма – д. Пяльма за 1984 г., регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам, восстановлено 4 расхода из 12.

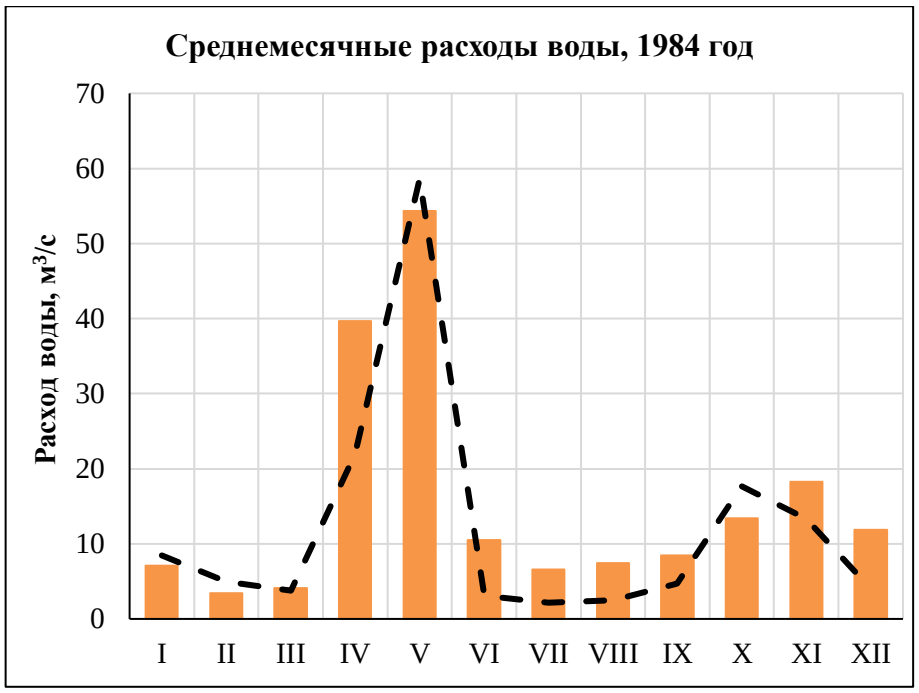


Рисунок 4.6 – График среднемесячных расходов р. Пяльма – д. Пяльма за 1984 г., регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам, восстановлено 12 расходов из 12.

В качестве наглядного примера для восстановленных значений среднегодовых расходов были взяты р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма. Для каждого из методов были построены графики, на которых эталонные значения представлены в виде кривой, а восстановленные значения - в виде точек. Графики показаны на рисунках 4.7 – 4.12.



Рисунок 4.7 – График среднегодовых расходов р. Сяньга – д. Чуралахта, метод исключения пропусков, отсутствуют расходы за 18 лет из 40.

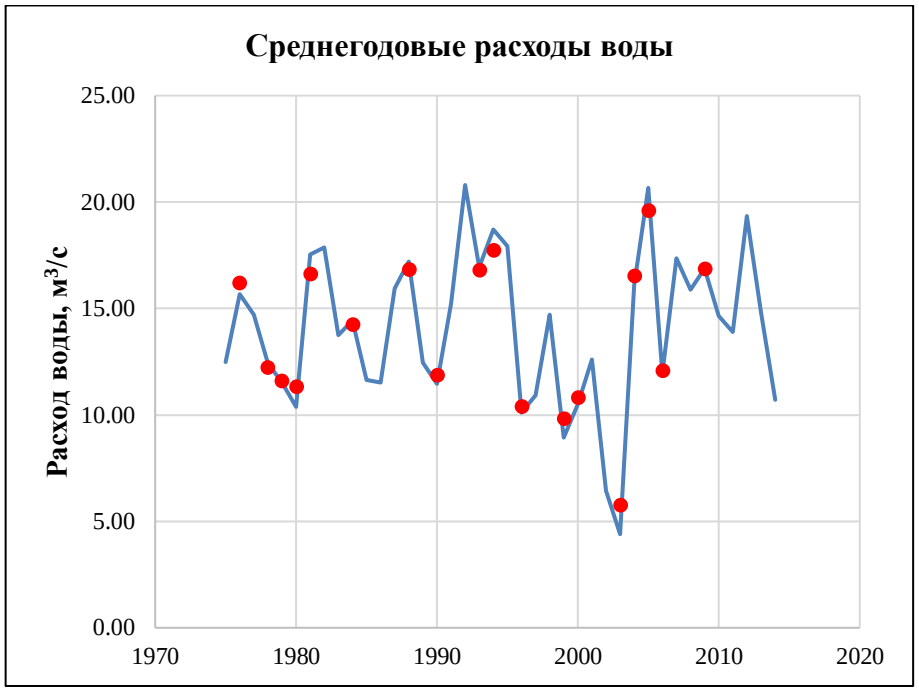


Рисунок 4.8 – График среднегодовых расходов р. Сяньга – д. Чуралахта, заполнение пропусков средними значениями, восстановлено 18 расходов из 40.

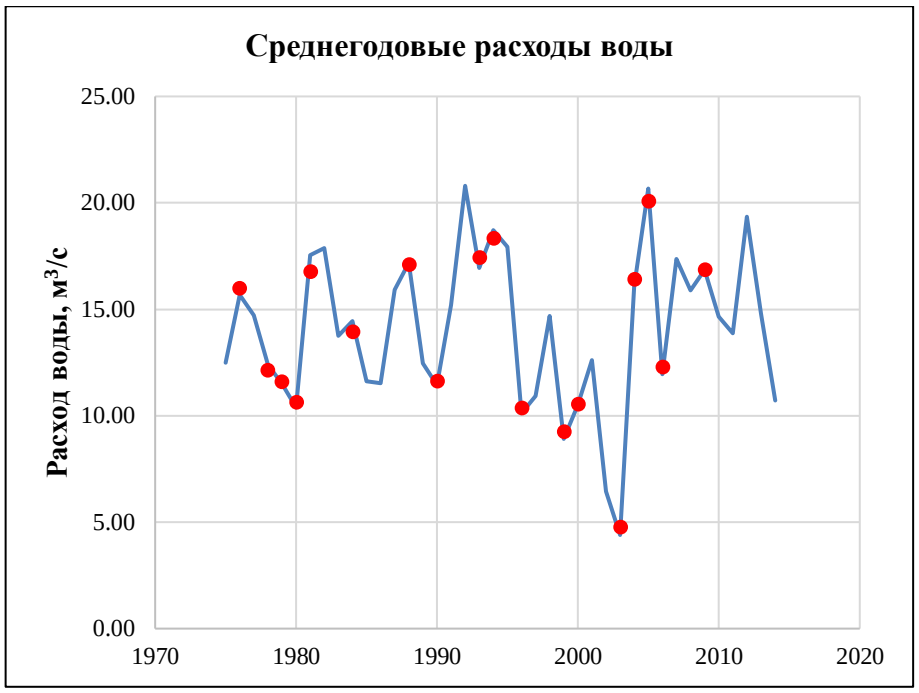


Рисунок 4.9 – График среднегодовых расходов р. Сяньга – д. Чуралахта, метод ближних соседей, восстановлено 18 расходов из 40.

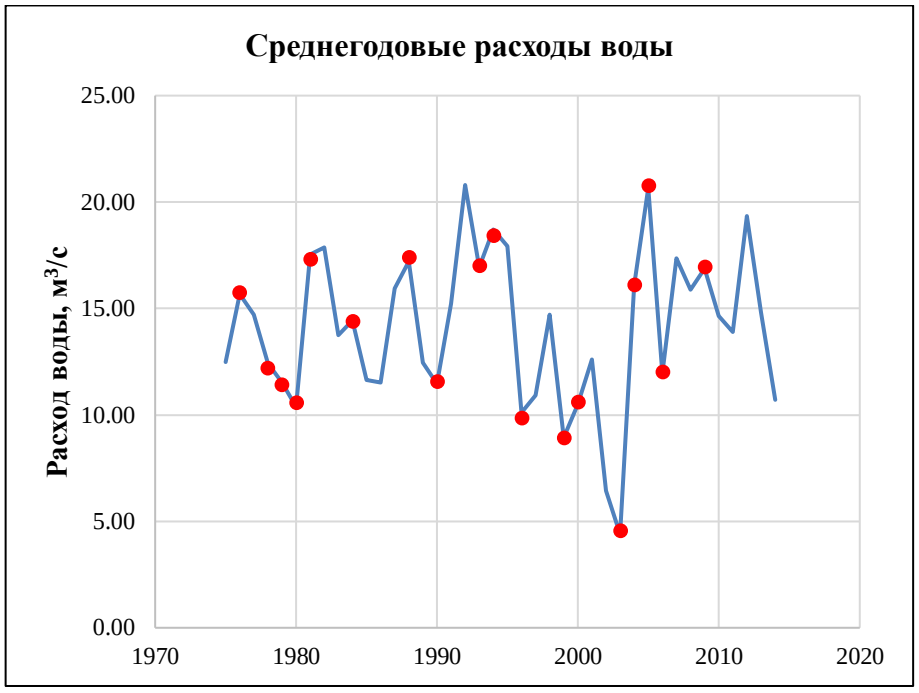


Рисунок 4.10 – График среднегодовых расходов р. Сяньга – д. Чуралахта, регрессионный метод без использования рек-аналогов, восстановлено 18 расходов из 40.

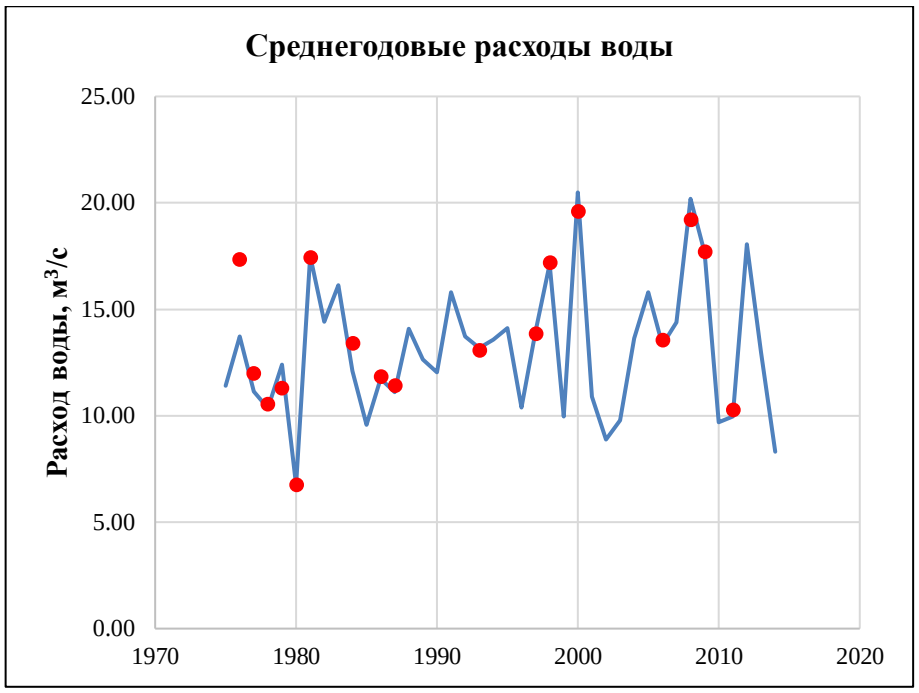


Рисунок 4.11 – График среднегодовых расходов р. Пяльма – д. Пяльма, регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам, восстановлено 17 расходов из 40.

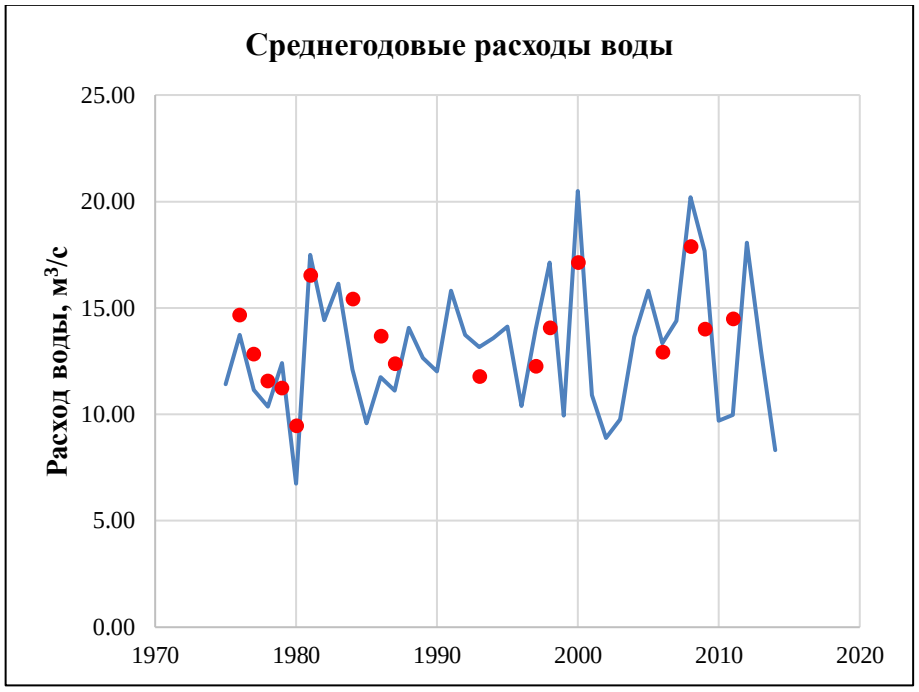


Рисунок 4.12 – График среднегодовых расходов р. Пяльма – д. Пяльма, регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам, восстановлено 17 расходов из 40.

4.3. Сравнение и оценка эффективности

Проведённые в разделах 4.1 и 4.2 расчёты относительных ошибок и графическое сопоставление восстановленных рядов с эталонными данными позволяют выполнить количественное и качественное сравнение рассмотренных методов восстановления пропущенных значений рядов речного стока.

Таким образом, оценочное суждение о выполненной работе сначала проводится для двух постов: р. Сяньга – д. Чуралахта и р. Пяльма – д. Пяльма, выбранных в качестве примера для описания методов, после чего даётся обобщённый анализ по всей выборке из 25 однородных рядов.

I. Сравнение методов на примере р. Сяньга – д. Чуралахта

На примере р. Сяньга были рассмотрены методы, не использующие реки-аналоги: исключение пропусков, замена средними значениями, метод ближайших соседей и регрессионный метод без использования рек-аналогов. В свою очередь, исходя из данных, представленных в таблицах 4.1 – 4.4 и 4.7, а также рисунков 4.1 – 4.4 и 4.7 – 4.10, можно привести следующее суждение о методах.

Метод исключения пропусков ожидаемо даёт наименьшие ошибки для среднемесячных и среднегодовых характеристик при условии, что процент пропусков невелик и составляет около 5 %. Представленные в таблице 4.1 относительные ошибки среднего арифметического для большинства месяцев не превышают 2 – 5 %, а для среднегодового расхода составляют всего 0,29 %. Однако для коэффициента асимметрии «Cs» ошибки могут быть значительными, что, вполне вероятно, объясняется высокой чувствительностью этого параметра к единичным пропускам. График на рисунке 4.1 демонстрирует, что при пропуске двух месяцев метод просто исключает их из расчёта, в результате чего годовой гидрограф становится неполным, что искажает внутригодовое распределение стока. На графике среднегодовых расходов, представленный на рисунке 4.7, из 40 лет присутствуют данные только за 22 года, что не позволяет оценить

многолетнюю динамику. Таким образом, метод можно отнести к пригодным только для оценки средних значений и среднеквадратического отклонения, но не для восстановления внутригодовой структуры.

Метод замены пропусков средними значениями, результаты которого представлены в таблице 4.2, приводит к некоторому занижению среднеквадратического отклонения, так как вставка средних значений может уменьшать естественные изменения внутри ряда. Следовательно, ошибки среднего остаются на уровне метода исключения пропусков, однако ошибки «Cs» остаются высокими. Опираясь на рисунок 4.2, видно, что восстановленные значения в одном из случаев попадают на линию эталонных данных, однако это всё же приводит к заметному расхождению с эталонным гидрографом. Восстановленные по этому методу среднегодовые значения систематически завышены в маловодные годы и занижены в многоводные, что приводит к занижению СКО. В итоге метод прост и быстр, но эффективен только при очень малом числе пропусков и когда требуется восстановить лишь средние характеристики.

Метод ближних соседей показывает несколько лучшие результаты, указанные в таблице 4.3, по сравнению с методом заменой средними значениями: ошибки среднего для месячных значений снижаются, ошибки «СКО» также меньше. Однако ошибки коэффициента асимметрии остаются неприемлемо высокими. Рисунок 4.3 показывает, что восстановленные значения оказались ближе к эталонным, чем при замене средними, но всё же заметно отличаются. Важно отметить, что в таблице 4.7 для данного метода указаны наибольшие ошибки среднемесячных расходов. Это указывает на то, что метод чувствителен к структуре пропусков: при одиночных изолированных пропусках он работает хорошо, но при группирующихся его точность падает. Хронологический график восстановленных среднегодовых расходов показывает, что точки в целом следуют за эталонной кривой, однако в отдельные многоводные годы наблюдаются заметные отклонения. Исходя из

этого, метод ближних соседей стоит применять только при общем числе пропусков не более 5 %.

Регрессионный метод без использования рек-аналогов использует внутрирядные связи между смежными месяцами. Как показано на рисунке 3.7, корреляция между соседними месяцами для р. Сяньга достаточно высока. Благодаря этому метод демонстрирует наилучшие показатели, представленные в таблице 4.7, среди всех методов, применённых к р. Сяньга: ошибки среднего для месячных значений не превышают 1,5 %, ошибки «СКО» — 4,7 %, а ошибки коэффициента асимметрии — 270 %. Хотя ошибки Cs всё ещё велики, они существенно ниже, чем у методов исключения пропусков, замены средними значениями и ближних соседей. Рисунок 4.4 показывает, что восстановленные значения IV и XI месяцев почти совпадают с эталонными. Это объясняется тем, что апрельский расход хорошо коррелирует с мартовским и майским, а ноябрьский — с октябрьским и декабрьским. На рисунке 4.10 восстановленные среднегодовые значения практически совпадают с эталонной кривой, что соответствует минимальным ошибкам. Таким образом, регрессионный метод без аналогов является предпочтительным при наличии тесных внутригодовых связей, что характерно для рек с озёрным регулированием.

II. Сравнение методов на примере р. Пяльма – д. Пяльма

На примере р. Пяльма были применены два метода, относящиеся к группе методов гидрологических аналогий: регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по реке-аналогу и регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по реке-аналогу. Исходя из данных, представленных в таблицах 4.5, 4.6 и 4.7, а также рисунков 4.5, 4.6, 4.11 и 4.12, можно выделить следующее.

Регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по реке-аналогу. В качестве аналога для р. Пяльма – д. Пяльма выбрана р. Олонка - с. Верховье, где коэффициент корреляции между постами составил R = 0,8. Метод показал хорошие результаты, представленные в таблице 4.7: ошибки

среднемесячных расходов составили 6 %, ошибки «СКО» — 9 %, ошибки «Cs» — 50 %. На рисунке 4.5 показаны восстановленные значения за 1984 г. Восстановленный гидрограф показал значения, достаточно близкие к эталонным данным, однако наблюдаются некоторые расхождения. График восстановленных среднегодовых расходов демонстрирует хорошее совпадение с эталонной кривой, за исключением лет с длительными пропусками, что соответствует ошибке среднегодового расхода. В таблице 4.5 ошибки среднего для среднегодового расхода составляют 0,73 %, для «СКО» — 1,29 %, для «Cs» — 0,5 %. Это очень хорошие показатели. Важно отметить, что метод позволяет восстанавливать пропущенные значения непосредственно на основе схожести с данными реки-аналога, что особо ценится при группирующихся пропусках. Однако успех метода полностью зависит от наличия тесной корреляции между расчётной рекой и аналогом, т. е. при наличии условия: $R \geq 0,7$.

Регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по реке-аналогу – это двухэтапный алгоритм, состоящий из восстановления среднегодовых расходов с последующим выполнением внутригодовой разбивкой по типовому распределению для групп водности. Как указано в таблице 4.7, этот метод даёт довольно большие ошибки: для среднемесячных расходов ошибки среднего достигают 27 %, «СКО» – 43 %, «Cs» – 126 %. На рисунке 4.6 видно, что восстановленный гидрограф, по всем значениям внутри ряда, за 1984 г. сильно отличается от эталонного. Причина в том, что типовое внутригодовое распределение по группам водности, представленные в таблице 3.9, усредняет реальную внутригодовую динамику, нивелируя индивидуальные особенности конкретного года. На рисунке 4.12 видно систематическое расхождение: многоводные годы занижены, маловодные завышены, пики сглажены из-за усреднения внутригодового распределения по группам водности. По итогу, такой двухэтапный алгоритм лучше использовать только в случае полного отсутствия наблюдений за отдельные годы, когда нет возможности восстановить месячные данные прямыми

методами. При наличии хотя бы частичных наблюдений за месяц лучше следует использовать регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по реке-аналогу или регрессионный метод без использования рек-аналогов.

III. Общий анализ методов

Обобщённые результаты по всем 25 однородным рядам, полученные в ходе работы по всем методам восстановления, представлены в таблицах 4.8 – 4.13 и таблицы 4.14, в которой представлены осреднённые результаты по всем методам. На основании этих данных можно дать оценку эффективности каждого метода.

Метод исключения пропусков по всем постам, результаты которого занесены в таблицу 4.8, показывает средние относительные ошибки для среднегодовых расходов: по среднему – менее 1 %, по «СКО» – около 1 %, по «Cs» – около 8 %. Наибольшие ошибки среднемесячных расходов в среднем составляют: по среднему – 4,6 %, по «СКО» – 8,2 %, по «Cs» – 64,2 %. Максимальные значения ошибок могут достигать 8,8 % и 65 %. Метод, в свою очередь, прост и не требует никаких дополнительных данных, но непригоден для восстановления внутригодовой структуры при наличии пропусков.

Таблица 4.8 – Относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды, % - без восстановления пропущенных значений

Код поста	Река – пост	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
		Сред.	СКО	Cs	Сред.	СКО	Cs
49094	р. Вожма – пос. Вожмозеро	1,2	0,6	0,4	5,3	6,8	15
49103	р. Волома - д. Венгигора	0,1	0,5	5,5	3,1	9,8	50
72130	р. Ивина - пгт Ладва	4,6	8,8	59	6,1	7,5	39
49054	р. Керкешь – устье	0,0	0,3	23	1,6	6,9	119
49014	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	0,2	0,1	3,5	1,5	8,1	28
48058	р. Кумса - г. Медвежьегорск	1,1	1,0	1,5	6,1	3,2	17
49093	р. Лекса - пос. Сергиево	1,4	0,4	65	5,7	4,6	83
49120	р. Летняя - пос. Летний 1-й	0,7	0,6	0,8	5,7	8,3	19
72113	р. Мегрега - д. Куйтежа	0,3	1,1	7,5	5,5	19	40
48011	р. Неглинка – г. Петрозаводск	0,6	1,5	1,7	3,6	0,0	15
48069	р. Немина – пос. Немино	1,1	0,7	2,1	4,6	3,6	7,1
49053	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	0,4	0,6	2,1	2,3	8,4	22
72109	р. Олонка – с. Верховье	0,8	0,4	4,7	4,3	15	42
49110	р. Онда – пос. Лососий порог	0,4	0,2	2,5	3,9	7,1	104
49114	р. Онигма – пос. Черный порог	0,7	1,0	2,2	4,3	14	113
48071	р. Пяльма – д. Пяльма	0,1	0,3	2,5	8,2	12	57
48030	р. Святрека - пгт Пряжа	0,2	0,0	0,5	3,8	9,2	17
49123	р. Сума – с. Сумский Посад	0,5	0,2	0,1	2,9	5,9	78
48038	р. Суна - пгт Поросозеро	0,1	0,5	1,0	1,7	4,0	21
48029	р. Сяньга – д. Чуралахта	0,3	0,6	3,2	4,8	7,2	452
72739	р. Тукса – с. Тукса	0,2	1,7	0,1	3,0	5,5	23
48091	р. Черная – с. Каршево	1,2	1,2	0,5	6,8	16	37
48090	р. Шалица – пос. Онежский	0,2	0,9	1,6	7,4	4,9	101
48021	р. Шуя – д. Бесовец	0,0	0,2	3,2	4,5	4,2	26
72090	р. Янис-Йоки – пос. Хямекоски	0,4	2,2	2,6	7,9	14	82
Средне значение		0,7	1,0	7,9	4,6	8,2	64,2
Максимальное значение		4,6	8,8	65,0	8,2	19,5	451,7

Метод замены пропусков средними значениями по всем постам, результаты которого занесены в таблицу 4.9, демонстрирует средние ошибки для среднегодовых расходов: среднее – менее 1 %, «СКО» – около 2,9 % и «Cs» – около 7,4 %. Для среднемесячных расходов ошибки возрастают: среднее – 4,6 %, «СКО» – 11,3 % и «Cs» – 64,8 %. Максимальные ошибки достигли значений 10,2 % и 458 %. Метод прост, однако он ведёт к занижению изменчивости и неприемлемо завышенным ошибкам асимметрии.

Таблица 4.9 – Относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды, % - заполнение пропусков средними значениями

Код поста	Река – пост	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
		Сред.	СКО	Cs	Сред.	СКО	Cs
49094	р. Вожма – пос. Вожмозеро	1,2	3,3	2,4	5,2	9,2	18
49103	р. Волома - д. Венгигора	0,1	3,1	3,8	3,1	15	48
72130	р. Ивина - пгт Ладва	1,9	10	48	6,1	11	46
49054	р. Керкешь – устье	0,0	2,8	28	1,7	9,3	125
49014	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	0,2	2,0	1,4	1,5	12	25
48058	р. Кумса - г. Медвежьегорск	1,1	1,6	0,8	6,1	5,7	21
49093	р. Лекса - пос. Сергиево	1,4	2,0	66	5,7	5,5	83
49120	р. Летняя - пос. Летний 1-й	0,7	3,3	1,4	5,7	12	16
72113	р. Мегрега - д. Куйтежа	0,3	3,4	5,5	5,5	24	37
48011	р. Неглинка – г. Петрозаводск	0,6	0,6	0,8	3,6	3,2	15
48069	р. Немина – пос. Немино	1,1	1,8	0,4	4,6	4,1	3,9
49053	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	0,4	3,3	0,2	2,3	9,8	22
72109	р. Олонка – с. Верховье	0,8	2,0	2,3	4,3	17	40
49110	р. Онда – пос. Лососий порог	0,4	2,8	0,1	3,9	13	104
49114	р. Онигма – пос. Черный порог	0,7	3,2	0,2	4,3	16	113
48071	р. Пяльма – д. Пяльма	0,1	2,8	0,1	8,2	15	56
48030	р. Святрека - пгт Пряжа	0,2	2,7	2,0	3,8	10	20
49123	р. Сума – с. Сумский Посад	0,5	2,6	2,4	2,9	11	78
48038	р. Суна - пгт Поросозеро	0,1	2,3	1,9	1,7	7,7	20
48029	р. Сяньга – д. Чуралахта	0,3	3,2	5,8	4,8	11	458
72739	р. Тукса – с. Тукса	0,2	0,7	2,9	3,0	3,3	22
48091	р. Черная – с. Каршево	1,2	3,0	2,8	6,8	21	34
48090	р. Шалица – пос. Онежский	0,2	1,8	3,7	7,4	8,6	108
48021	р. Шуя – д. Бесовец	0,0	3,1	0,9	4,5	8,6	28
72090	р. Янис-Йоки – пос. Хямекоски	0,4	5,1	0,1	7,9	20	81
Средне значение		0,6	2,9	7,4	4,6	11,3	64,8
Максимальное значение		1,9	10,2	65,8	8,2	23,7	458,1

Метод ближних соседей по всем постам, результаты которого занесены в таблицу 4.10, показывает средние ошибки для среднегодовых расходов: среднее – 0,7 %, «СКО» – 1,7 % и «Cs» – 7,1 %. Однако для среднемесячных расходов ошибки значительно выше: среднее – 8,4 %, «СКО» – 20,0 % и «Cs» – 129,0 %. Максимальные ошибки достигают 25 %, 134 % и 719 %. Метод очень чувствителен к группирующимся пропускам и из-за этого его применение не рекомендуется при их значительном количестве.

Таблица 4.10 – Относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды, % - метод ближних соседей

Код поста	Река – пост	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
		Сред.	СКО	Cs	Сред.	СКО	Cs
49094	р. Вожма – пос. Вожмозеро	1,0	1,7	0,9	5,2	9,5	20
49103	р. Волома - д. Венгигора	0,6	1,0	8,2	6,7	7,8	57
72130	р. Ивина - пгт Ладва	1,8	6,6	16	17	23	48
49054	р. Керкешь – устье	0,2	2,1	6,2	1,8	8,1	230
49014	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	0,5	0,9	3,4	3,6	3,7	20
48058	р. Кумса - г. Медвежьегорск	1,0	0,5	1,6	6,3	4,4	48
49093	р. Лекса - пос. Сергиево	1,5	1,2	61	25	134	83
49120	р. Летняя - пос. Летний 1-й	0,9	2,0	9,9	7,3	37,1	695
72113	р. Мегрега - д. Куйтежа	0,1	2,0	6,6	13	13	34
48011	р. Неглинка – г. Петрозаводск	0,5	0,9	2,1	8,5	23	63
48069	р. Немина – пос. Немино	0,7	0,8	2,3	7,5	4,5	18
49053	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	0,8	1,4	0,2	3,1	9	35
72109	р. Олонка – с. Верховье	1,2	0,7	8,0	14	10	39
49110	р. Онда – пос. Лососий порог	0,2	1,8	8,7	3,6	12	109
49114	р. Онигма – пос. Черный порог	0,5	1,4	19	7,5	81	719
48071	р. Пяльма – д. Пяльма	0,4	1,2	3,5	11	13	57
48030	р. Святрека - пгт Пряжа	0,4	0,8	2,4	3,9	5,5	42
49123	р. Сума – с. Сумский Посад	0,8	1,5	0,2	3,2	6,9	51
48038	р. Суна - пгт Поросозеро	0,1	1,7	0,1	1,9	6,6	59
48029	р. Сяньга – д. Чуралахта	0,1	2,1	2,8	3,3	9,9	406
72739	р. Тукса – с. Тукса	1,4	1,7	8,0	21	15	33
48091	р. Черная – с. Каршево	0,2	1,2	1,9	14	17	27
48090	р. Шалица – пос. Онежский	0,8	0,3	3,6	10	22	195
48021	р. Шуя – д. Бесовец	0,3	1,9	0,8	4,1	5,7	40
72090	р. Янис-Йоки – пос. Хямекоски	0,6	4,6	0,7	8,4	19	98
Средне значение		0,7	1,7	7,1	8,4	20,0	129,0
Максимальное значение		1,8	6,6	61,2	25,0	133,9	718,8

Регрессионный метод без использования рек-аналогов по всем постам, результаты которого занесены в таблицу 4.11, демонстрирует лучшие результаты среди методов, не использующих аналоги: средние ошибки для среднегодовых расходов – 0,4 %, 1,0 % и 5,2 %. Для среднемесячных расходов: среднее – 3,2 %, «СКО» – 8,6 % и «Cs» – 70,5 %. Максимальные ошибки не превышают 6,4 %, 18,8 % и 269,5 %. Метод эффективен только при наличии тесных внутригодовых корреляционных связей, т.е. $R \geq 0,7$, однако при отсутствии такой связи метод будет крайне непродуктивен, следовательно, в таблице 4.11 представлены те реки, у которых прослеживалась тесная корреляционная связь.

Таблица 4.11 – Относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды, % - регрессионный метод без использования рек-аналогов

Код поста	Река – пост	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
		Сред.	СКО	Cs	Сред.	СКО	Cs
49103	р. Волома - д. Венгигора	0,6	0,3	2,8	3,1	6,8	39
49054	р. Керкешь - устье	0,1	0,3	29	0,9	1,8	100
49014	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	0,3	1,5	5,1	1,9	11	30
49053	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	0,1	0,4	5,1	5,4	19	43
72109	р. Олонка - с. Верховье	0,8	1,1	5,9	5,3	16	36
49110	р. Онда - пос. Лососий порог	0,2	0,7	4,5	1,1	2,4	77
48071	р. Пяльма - д. Пяльма	0,9	1,2	1,1	6,4	13	57
48030	р. Святрека - пгт Пряжа	0,5	0,7	2,4	5,3	8,1	39
49123	р. Сума - с. Сумский Посад	0,4	1,0	0,2	1,8	4,6	72
48038	р. Суна - пгт Поросозеро	0,3	0,7	2,2	1,5	4,4	47
48029	р. Сяньга – д. Чуралахта	0,0	0,3	6,1	1,5	4,7	270
48021	р. Шуя – д. Бесовец	0,3	1,1	1,0	3,5	6,4	37
72090	р. Янис-Йоки – пос. Хямекоски	0,3	3,4	1,6	3,5	13	69
Средне значение		0,4	1,0	5,2	3,2	8,6	70,5
Максимальное значение		0,9	3,4	29,2	6,4	18,8	269,5

Регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам по всем постам, результаты которого занесены в таблицу 4.12, показывает отличные результаты для тех постов, для которых удаётся подобрать аналог при наличии условия: $R \geq 0,7$. Средние ошибки для среднегодовых расходов: среднее – 0,4 %, «СКО» – 1,4 % и «Cs» – 2,1 %. Для среднемесячных расходов: среднее – 3,6 %, «СКО» – 8,8 % и «Cs» – 73,7 %. Максимальные ошибки: 0,8 %, 2,3 % и 3,7 % для среднегодовых; для среднемесячных – 6,0 %, 12,7 % и 126,6 %. Метод является предпочтительным при наличии надёжного аналога и одним из предпочтительных для восстановлений пропущенных значений.

Таблица 4.12 – Относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды, % - регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам

Код поста	Река – пост	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
		Сред.	СКО	Cs	Сред.	СКО	Cs
49103	р. Волома - д. Венгигора	0,8	2,3	1,6	5,4	13	52
49054	р. Керкешь - устье	0,1	1,1	3,7	1,9	7,2	108
49110	р. Онда - пос. Лососий порог	0,4	1,6	3,1	2,9	10	127
48071	р, Пяльма - д, Пяльма	0,7	1,3	0,5	6,0	9,1	50
48038	р, Суна - пгт Поросозеро	0,1	0,9	1,7	1,7	4,9	32
Средне значение		0,4	1,4	2,1	3,6	8,8	73,7
Максимальное значение		0,8	2,3	3,7	6,0	12,7	126,6

Регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам по всем постам, результаты которого занесены в таблицу 4.13, даёт наибольшие ошибки из всех рассмотренных методов: средние ошибки для среднегодовых расходов составили – 1,4 %, 19,4 % и 37,8 %. Для среднемесячных расходов ошибки, опираясь на значения других методов, ещё выше: среднее – 12,6 %, «СКО» – 35,7 % и «Cs» – 429,9 %. Максимальные ошибки достигают 4,0 %, 26,3 % и 153,1 % для среднегодовых; для среднемесячных – 27,3 %, 46,0 % и 3255 %. Метод можно использовать только при полном отсутствии наблюдений за отдельные годы, то есть, когда другие методы неприменимы для восстановления значений.

Таблица 4.13 – Относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды, % - регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам

Код поста	Река – пост	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
		Сред.	СКО	Cs	Сред.	СКО	Cs
49103	р. Волома - д. Венгигора	1,4	20	20	12	29	102
49054	р. Керкешь - устье	1,1	14	118	4,7	23	118
49014	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	4,0	23	15	12	46	101
49053	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	0,77	18	44	5	35	147
72109	р. Олонка - с. Верховье	1,6	25	16	18	46	90
49110	р. Онда - пос. Лососий порог	3,1	20	13	14	39	344
48071	р. Пяльма - д. Пяльма	0,1	26	7,7	27	43	126
48030	р. Святрека - пгт Пряжа	3,0	19	30	16	44	189
49123	р. Сума - с. Сумский Посад	0,6	22	21	7,6	39	156
48038	р. Суна - пгт Поросозеро	0,1	3,4	153	6,2	11	696
48029	р. Сяньга – д. Чуралахта	1,4	20	20	15	33	3255
48021	р. Шуя – д. Бесовец	0,2	26	24	12	40	96
72090	р. Янис-Йоки – пос. Хямекоски	1,1	16	8,7	13	37	169
Средне значение		1,4	19,4	37,8	12,6	35,7	429,9
Максимальное значение		4,0	26,3	153,1	27,3	46,0	3254,8

Исходя из результатов представленных в таблицах 4.8 – 4.13, составляется таблица 4.14, показывающая средние относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов по каждому методу.

В таблице можно проследить, что наименьшие ошибки по среднегодовым и среднемесячным расходам обеспечивают регрессионный метод без использования рек-аналогов и регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам аналогам. Наибольшие ошибки составил регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам, что подтверждает его применимость только при полном отсутствии наблюдений.

Таблица 4.14 – Средние относительные ошибки основных статистических характеристик среднегодовых и среднемесячных расходов воды.

Метод восстановления	Ошибки среднегодовых расходов, %			Наибольшие ошибки среднемесячных расходов, %		
	$Q_{ср}$	СКО	Cs	$Q_{ср}$	СКО	Cs
Метод исключения пропусков	0,7	1	8	5	8	64
Заполнение пропусков средними значениями	0,6	3	7	5	11	65
Метод ближних соседей	0,7	2	7	8	20	129
Регрессионный метод без использования рек-аналогов	0,4	1	5	3	9	71
Регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам	0,4	1	2	4	9	74
Регрессионный метод с использованием среднегодовых расходов по рекам-аналогам	1,4	19	38	13	36	430

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был проведён сравнительный анализ методов восстановления пропущенных значений в рядах среднемесячных и среднегодовых расходов воды на примере рек Карелии. Для анализа использовались только однородные и стационарные ряды за период с 1975 по 2014 год. Всего было использовано 25 рядов.

На основе результатов статистической обработки и графического сопоставления восстановленных рядов с эталонными данными получены следующие основные выводы.

- При наличии единичных пропусков, составляющих не более 5% от общего количества среднемесячных значений, для восстановления среднегодовых расходов допустимо использовать простейшие методы – замену средними значениями или метод ближних соседей.
- При значительном числе пропусков наилучшие результаты дают регрессионные методы с восстановлением среднемесячных расходов по связям с ближайшими месяцами или по данным рек-аналогов. Если для отдельных месяцев надёжные связи отсутствуют, допускается комбинация регрессионных методов с более простыми.
- При полном отсутствии наблюдений за отдельные годы следует применять двухэтапный алгоритм:
    1. На первом этапе восстановить среднегодовые расходы методом гидрологической аналогии;
    2. На втором этапе выполнить внутригодовую разбивку по типовому распределению стока, то есть по группе водности или по реальному году аналога.

В конечном итоге, выбор метода восстановления должен определяться структурой составляющей пропусков, наличием тесных корреляционных связей как внутри года, так и с рекой-аналогом и требуемой точностью конечных результатов. Для рек Карелии, характеризующихся высокой

озёрностью и устойчивыми внутригодовыми связями, к наиболее эффективным методам восстановления пропущенных значений можно отнести регрессионный метод без использования рек-аналогов и регрессионный метод с использованием среднемесячных расходов по рекам-аналогам.

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. Гидрологические ежегодники. Том 1. Вып. 5. Бассейн Балтийского моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1926-2015 гг.
4. Гидрологические ежегодники. Том 1. Вып. 7. Бассейн западного побережья Белого моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1926-2015 гг.
5. 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.
6. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1, РСФСР, Бассейн западного побережья Белого моря. Вып. 7. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
7. Евстигнеев В. М. Речной сток и гидрологические расчеты.– М.: Изд-во МГУ,1990. – 304 с.
8. Литтл Р. Дж. А., Рубин Д.Б. Статистический анализ данных с пропусками/ Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1990. - 336 с. (Математико-статистические методы за рубежом). ISBN 5-279-00443-X.
9. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 248 с.
10. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.

11. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: Ротапринт ГНЦ ААНИИ, 2007. – 67 с.
12. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: «Нестор-История», 2009. – 193 с.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-запад. Часть 2. – Гидрометеоиздат. Ленинград. – 1972 год. – 528
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 РУСУРСЫ

1. Большая российская энциклопедия/Карелия [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://old.bigenc.ru/geography/text/5666060 (дата обращения 05.01.2026).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Основные сведения о гидрологических постах

№ п/п	Река – пост	Код	Расстояние от, км		F, км^2	Период действия		Координаты, град. мин.		№ МДС	Принадлежность
			истока	устья		открыт	закрыт	широта	долгота		
1	р. Вожма - пос. Вожмозеро	49094	64.0	29.0	595	01.01.1972	Действ.	63.19	35.49	07	Сев.-Зап.
2	р. Волома - д. Венгигора	49103	103	35.0	1860	18.11.1971	Действ.	63.33	33.04	07	Сев.-Зап.
3	р. Ивина - пгт Ладва	72130	15.0	28.0	862	18.12.1939	Действ.	61.21	34.38	05	Деп. Росгидромета по СЗФО
4	р. Керкешь – устье	49054	12.0	0.50	77.4	01.01.1968	Действ.	65.10	31.18	07	Сев.-Зап.
5	р. Корпи-Йоки - пос. Пяозерский	49014	21.0	2.30	217	13.05.1974	Действ.	65.47	31.04	07	Сев.-Зап.
6	р. Кумса - г. Медвежьегорск	48058	58.0	3.50	735	28.08.1930	Действ.	62.55	34.26	05	Сев.-Зап.
7	р. Лекса - пос. Сергиево	49093	64.0	8.20	463	19.08.1962	Действ.	62.55	36.01	07	Сев.-Зап.
8	р. Летняя - пос. Летний 1-й	49120	52.0	2.80	570	13.06.1933	Действ.	64.16	34.23	07	Сев.-Зап.
9	р. Малая Пигма - с. Уница	48056	34.0	0.50	166	07.05.1969	Действ.	62.36	34.28	05	Сев.-Зап.
10	р. Мегрега - д. Куйтежа	72113	24.0	28.0	381	11.04.1927	Действ.	60.56	33.07	05	Деп. Росгидромета по СЗФО
11	р. Неглинка - г. Петрозаводск	48011	13.0	1.10	43.3	01.07.1946	Действ.	61.47	34.21	05	Сев.-Зап.
12	р. Немина - пос. Немино	48069	56.0	20.0	601	24.04.1958	Действ.	62.37	35.49	05	Сев.-Зап.

№ п/п	Река – пост	Код	Расстояние от, км		F, км^2	Период действия		Координаты, град. мин.		№ МДС	Принадлежность
			истока	устья		открыт	закрыт	широта	долгота		
13	р. Новзема - с. Видлица	72106	33.0	3.40	245	11.08.1932	Действ.	61.13	31.26	05	Деп. Росгидромета по СЗФО
14	р. Норви-Йоки - пгт Калевала	49053	5.00	0.20	61.6	01.01.1968	Действ.	65.11	31.14	07	Сев.-Зап.
15	р. Олонка - с. Верховье	72109	51.0	33.0	1090	26.11.1925	Действ.	60.59	33.01	05	Деп. Росгидромета по СЗФО
16	р. Онда - пос. Лососий порог	49110	181	16.0	3360	18.04.1970	Действ.	63.52	34.08	07	Сев.-Зап.
17	р. Онигма - пос. Чёрный порог	49114	8.00	30.0	349	18.10.1950	Действ.	64.00	33.39	07	Сев.-Зап.
18	р. Пяльма - д. Пяльма	48071	71.0	0.60	908	01.11.1939	Действ.	62.24	35.52	05	Сев.-Зап.
19	р. Святерка - пгт Пряжа	48030	11.0	17.0	355	10.04.1932	Действ.	61.40	33.38	05	Сев.-Зап.
20	р. Судно - с. Вокнаволок	49047	56.0	8.20	1160	11.12.1971	Действ.	64.56	30.26	07	Сев.-Зап.
21	р. Сума - с. Сумский Посад	49123	158	5.90	1990	03.01.1926	Действ.	64.15	35.26	07	Сев.-Зап.
22	р. Суна - пгт Поросозеро	48038	125	155	3370	14.06.1916	Действ.	62.42	32.45	05	Сев.-Зап.
23	р. Сяньга - д. Чуралахта	48029	1.00	35.0	1610	25.12.1925	Действ.	61.55	33.23	05	Сев.-Зап.
24	р. Тукса - с. Тукса	72739	19.0	6.20	142	28.07.1962	Действ.	61.02	31.51	05	Деп. Росгидромета по СЗФО

№ п/п	Река – пост	Код	Расстояние от, км		F, км^2	Период действия		Координаты, град. мин.		№ МДС	Принадлежность
			истока	устья		открыт	закрыт	широта	долгота		
25	р. Уксун-Йоки - д. Ууксу	72096	119	1.60	1080	06.10.1940	Действ.	61.30	31.36	05	Деп. Росгидрометa по СЗФО
26	р. Уница - с. Уница	48055	53.0	2.10	340	01.09.1945	Действ.	62.37	34.26	05	Сев.-Зап.
27	р. Чёрная - с. Каршево	48091	71.0	18.0	380	01.09.1958	Действ.	61.40	36.19	05	Сев.-Зап.
28	р. Шалица - пос. Онежский	48090	74.0	30.0	593	01.11.1958	Действ.	61.59	35.53	05	Сев.-Зап.
29	р. Шуя - д. Бесовец	48021	183	11.0	9560	15.11.1925	Действ.	61.53	34.09	05	Сев.-Зап.
30	р. Янис-Йоки - пос. Хямекоски	72090	102	24.0	3650	28.10.1940	Действ.	61.52	30.59	05	Деп. Росгидрометa по СЗФО

Приложение Б1 – Эталонные значения расходов воды р. Сяньга – д. Чуралахта, 1975 – 2014 г.

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	12,49
1976	5,67	6,18	7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	15,66
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	14,71
1978	14,80	12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	12,41
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00	10,50	17,40	11,51
1980	15,80	13,40	12,70	11,70	18,30	16,80	10,70	6,36	4,64	4,43	4,74	5,02	10,38
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10	22,40	17,40	17,54
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	17,88
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	13,74
1984	11,80	12,90	12,90	14,90	24,80	19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	14,43
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	11,63
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	11,52
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,93
1988	15,80	14,40	13,30	14,00	24,10	25,00	15,90	15,20	16,70	17,90	17,40	16,60	17,19
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	12,46
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38	6,37	5,92	6,00	11,45
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	15,21
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	20,80
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50	20,50	19,70	20,60	19,00	17,30	16,00	14,60	16,93
1994	12,90	10,80	12,00	13,10	26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90	23,50	17,00	18,72
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	17,93
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50	18,20	15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	10,11

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	10,91
1998	7,68	5,57	9,74	9,42	20,40	25,20	23,00	16,80	15,30	13,10	15,60	14,60	14,70
1999	13,50	11,90	10,00	11,50	18,50	15,30	10,30	5,01	2,52	2,80	2,40	3,38	8,93
2000	3,83	5,53	6,14	9,19	20,70	18,00	12,50	9,69	8,25	8,47	10,80	12,90	10,50
2001	16,50	15,50	16,40	17,20	23,10	20,60	14,70	5,91	4,43	4,53	5,73	6,55	12,60
2002	6,36	7,81	7,85	7,59	14,20	11,90	8,02	4,60	2,93	2,48	2,04	1,46	6,44
2003	1,39	1,90	2,33	3,14	6,31	6,01	4,93	4,42	3,48	4,73	6,47	7,65	4,40
2004	7,20	7,15	6,98	8,01	19,60	22,00	18,80	17,90	19,70	21,40	21,40	22,80	16,08
2005	23,60	20,60	17,90	18,20	40,50	38,90	23,90	17,00	12,10	10,50	11,10	13,80	20,68
2006	12,40	11,20	10,70	11,30	18,50	19,90	12,50	6,92	6,20	6,50	12,30	14,80	11,94
2007	15,80	14,80	19,40	21,00	28,30	28,40	21,20	14,60	12,30	11,90	9,72	10,80	17,35
2008	11,60	11,90	11,70	14,50	25,20	25,10	16,30	11,70	10,70	12,30	18,60	20,90	15,88
2009	24,80	21,80	18,30	15,30	19,20	17,50	14,90	12,00	11,90	12,50	16,40	17,80	16,87
2010	16,40	15,60	16,30	17,60	24,60	23,20	17,80	10,20	6,69	6,97	9,48	10,90	14,65
2011	12,00	12,00	11,60	11,80	21,70	21,30	15,20	9,53	10,50	12,20	12,50	16,30	13,89
2012	21,60	15,00	18,20	17,60	32,30	29,50	23,90	17,40	13,40	13,00	15,60	14,60	19,34
2013	11,30	16,10	14,80	14,30	22,20	21,10	18,00	13,70	9,83	8,45	13,30	14,70	14,82
2014	19,00	19,10	17,00	14,30	15,10	13,30	9,13	5,58	4,43	3,81	3,60	4,19	10,71

Приложение Б2 – Эталонные значения статистических характеристик р. Сяньга – д. Чуралахта, 1975 – 2014 г.

Стат. характеристика	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Среднее значение	12,61	12,33	12,45	13,34	22,22	21,55	16,23	11,99	10,68	10,97	11,98	12,05	14,03
С.К.О.	5,50	4,50	3,85	4,03	6,95	6,64	5,20	4,92	5,55	5,65	5,64	5,26	5,31
Cv	0,44	0,37	0,31	0,30	0,31	0,31	0,32	0,41	0,52	0,51	0,47	0,44	0,39
Cs	0,16	-0,01	-0,19	0,02	0,80	0,54	0,11	0,27	0,75	0,52	0,07	-0,15	0,24
Cs/Cv	0,36	-0,02	-0,60	0,07	2,57	1,74	0,33	0,66	1,44	1,01	0,14	-0,35	0,61

Приложение В1 – Эталонные значения расходов воды р. Пяльма – д. Пяльма, 1975 – 2014 г.

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1975	8,29	5,30	4,91	50,10	21,70	5,43	4,01	2,24	3,74	10,80	12,90	7,50	11,41
1976	4,55	1,81	1,73	10,60	66,50	8,82	6,63	11,50	34,90	7,14	4,74	5,81	13,73
1977	2,79	1,79	2,10	23,80	29,40	6,89	2,36	2,74	11,30	21,40	25,30	3,69	11,13
1978	2,17	2,33	2,96	3,60	33,20	12,00	3,01	5,16	18,20	18,40	16,20	7,15	10,37
1979	3,19	1,70	1,57	3,93	67,70	6,03	5,29	4,62	5,00	15,40	17,70	16,60	12,39
1980	6,06	3,41	2,24	5,21	44,90	4,08	2,11	1,43	2,01	2,74	2,69	4,06	6,75
1981	4,18	3,98	2,58	4,20	101,00	27,80	4,98	4,13	8,37	26,90	16,30	5,62	17,50
1982	3,40	2,33	2,47	19,80	60,20	11,50	7,84	2,84	6,57	8,44	27,40	20,30	14,42
1983	8,15	4,07	6,35	71,00	28,30	4,84	2,18	2,42	3,22	24,10	30,20	8,80	16,14
1984	8,45	4,97	3,77	21,90	58,60	3,12	2,16	2,46	4,67	17,70	13,30	4,03	12,09
1985	2,45	2,10	3,33	3,30	35,40	12,70	12,70	4,16	5,12	15,40	14,80	3,42	9,57
1986	2,08	2,09	2,45	34,20	38,60	7,02	3,80	2,04	10,50	10,40	14,90	12,80	11,74
1987	2,79	1,81	1,73	5,49	43,50	24,30	12,80	13,50	13,30	6,91	3,96	3,19	11,11
1988	4,96	3,22	1,77	13,20	68,30	14,50	5,93	13,90	11,60	18,80	8,77	3,93	14,07
1989	3,83	4,39	5,42	57,60	33,10	4,55	2,29	2,29	6,09	19,20	9,79	3,13	12,64
1990	5,24	6,10	8,79	67,70	26,60	8,31	4,04	3,53	2,01	4,48	4,43	3,10	12,03
1991	2,08	2,22	6,88	29,10	46,70	10,80	4,25	6,06	7,02	19,90	23,60	30,90	15,79
1992	15,40	9,93	5,17	4,34	77,90	3,89	2,68	2,18	5,30	10,80	13,30	13,80	13,72
1993	10,10	4,67	2,43	7,62	68,80	9,33	5,08	12,90	11,10	15,20	6,55	4,24	13,17
1994	4,45	3,41	2,92	34,00	33,40	7,54	2,79	1,39	7,69	37,40	20,90	7,11	13,58
1995	4,73	5,21	5,68	54,40	68,30	6,46	3,43	2,84	3,63	5,30	5,32	4,10	14,12
1996	3,16	2,65	1,88	2,57	48,10	9,63	23,90	3,77	2,85	4,20	10,50	11,50	10,39
1997	4,08	2,65	9,00	8,87	79,80	13,00	4,23	3,32	8,53	13,00	13,50	7,61	13,97

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1998	4,72	4,52	4,85	7,96	65,90	18,50	9,47	10,30	18,20	20,80	27,20	13,10	17,13
1999	4,22	2,29	1,51	43,70	13,30	8,59	2,92	1,55	4,35	10,60	11,00	15,40	9,95
2000	8,84	4,71	4,56	71,60	33,90	10,00	3,67	10,90	19,80	28,00	28,50	21,40	20,49
2001	13,10	5,20	0,85	40,40	34,70	18,10	2,30	0,89	0,53	4,14	7,12	3,57	10,91
2002	1,33	2,86	3,69	22,70	54,90	3,31	1,79	0,99	2,12	5,08	4,80	3,17	8,90
2003	0,78	1,11	1,47	13,90	44,90	3,63	2,11	2,40	4,90	18,30	17,20	6,53	9,77
2004	3,38	2,78	3,25	6,24	52,20	12,50	8,29	6,62	15,20	18,10	19,40	15,60	13,63
2005	9,04	4,15	2,96	51,80	70,50	8,23	3,16	1,67	1,57	2,13	17,90	16,40	15,79
2006	6,77	2,40	1,54	18,80	29,00	18,00	1,83	1,51	2,71	14,60	22,40	40,50	13,34
2007	16,20	3,14	4,24	36,30	25,90	14,60	15,70	9,42	23,90	10,70	8,00	4,59	14,39
2008	3,47	3,27	3,21	21,90	63,70	8,93	3,94	20,10	16,90	30,40	45,00	21,60	20,20
2009	5,26	4,41	3,31	4,73	63,40	12,80	8,86	9,96	12,90	31,00	26,90	28,60	17,68
2010	4,06	2,49	2,81	29,00	35,30	6,46	1,98	1,30	3,03	5,82	17,50	6,60	9,70
2011	2,78	2,17	1,43	23,90	47,00	5,09	1,14	1,53	5,66	11,70	8,69	8,43	9,96
2012	7,47	2,57	2,56	42,60	60,30	11,80	9,19	21,00	7,71	18,40	27,20	5,80	18,05
2013	3,31	2,96	1,94	34,20	26,70	3,54	3,09	8,22	2,93	10,40	33,10	25,60	13,00
2014	11,50	1,04	4,56	26,70	24,90	9,02	5,45	2,08	1,82	3,58	5,47	3,54	8,31

Приложение В2 – Эталонные значения статистических характеристик р. Пяльма – д. Пяльма, 1975 – 2014 г.

Стат. характеристика	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Среднее значение	5,57	3,36	3,42	25,82	48,16	9,89	5,33	5,55	8,42	14,44	16,11	10,82	13,08
С.К.О.	3,68	1,65	1,94	20,48	19,54	5,62	4,52	5,19	7,19	8,66	9,63	8,99	8,09
Cv	0,66	0,49	0,57	0,79	0,41	0,57	0,85	0,94	0,85	0,60	0,60	0,83	0,68
Cs	1,37	1,72	1,28	0,76	0,46	1,31	2,35	1,51	1,71	0,65	0,78	1,53	1,29
Cs/Cv	2,07	3,49	2,26	0,96	1,13	2,30	2,77	1,62	2,00	1,09	1,31	1,84	1,90

Приложение Г1 – Значения расходов воды р. Сяньга – д. Чуралахта по методу «Исключение пропусков»,1975 – 2014 г.

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1975	14,30	15,60	14,30	16,80	25,50	19,30	13,60	8,58	5,87	5,22	4,82	6,00	12,49
1976	5,67		7,74	8,68	15,70	19,20	20,20	21,50	25,30	22,30	18,90	16,60	
1977	12,60	11,90	11,70	12,40	19,50	21,70	16,20	13,20	10,50	12,30	16,40	18,10	14,71
1978		12,10	11,60	12,40	14,90	11,60	8,83	8,03	12,30	15,80	16,50	10,10	
1979	9,98	9,96	12,00	10,70	16,70	17,40	10,90	7,82	6,79	8,00		17,40	
1980	15,80	13,40	12,70	11,70		16,80	10,70	6,36	4,64		4,74	5,02	
1981	7,16	7,84	7,58	9,39	20,30	29,80	27,60	21,00	19,90	20,10		17,40	
1982	16,20	17,50	17,70	16,10	30,30	28,50	23,10	16,30	13,40	10,90	11,40	13,10	17,88
1983	14,10	14,00	14,70	21,70	26,50	21,60	13,80	8,06	6,05	7,37	7,95	9,10	13,74
1984	11,80	12,90	12,90	14,90		19,20	13,30	10,20	7,99	12,80	16,90	15,50	
1985	12,10	10,60	11,10	10,10	15,60	16,90	14,20	10,80	8,38	9,54	10,30	9,96	11,63
1986	9,75	9,08	8,77	10,70	17,30	15,60	11,50	8,69	11,00	13,30	14,90	7,61	11,52
1987	7,90	12,70	11,30	12,20	16,70	19,20	18,20	17,00	22,50	22,70	16,10	14,70	15,93
1988	15,80	14,40		14,00	24,10	25,00	15,90		16,70	17,90	17,40	16,60	
1989	15,60	14,30	13,60	16,80	26,80	19,40	11,60	7,38	6,68	6,43	5,98	4,95	12,46
1990	5,26	9,43	11,70	16,60	24,30	20,80	15,10	8,57	7,38		5,92	6,00	
1991	7,00	6,80	9,37	13,00	22,70	24,10	20,00	16,60	14,60	14,80	15,80	17,70	15,21
1992	18,70	19,40	18,00	20,60	41,20	37,00	23,30	15,30	13,20	14,30	14,10	14,50	20,80
1993	18,60	15,50	11,60	9,25	20,50		19,70	20,60	19,00	17,30	16,00		
1994	12,90	10,80	12,00		26,50	28,30	23,50	19,20	16,90	20,90		17,00	
1995	19,80	18,00	16,30	17,60	34,70	33,90	21,80	15,20	10,50	9,57	9,01	8,76	17,93
1996	7,77	9,37	10,10	9,38	14,50		15,60	11,80	7,28	5,10	5,87	6,38	
1997	5,65	8,02	12,40	13,50	20,90	20,70	15,60	9,15	5,78	5,76	6,57	6,93	10,91

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1998	7,68	5,57	9,74	9,42	20,40	25,20	23,00	16,80	15,30	13,10	15,60	14,60	14,70
1999	13,50	11,90	10,00		18,50	15,30	10,30	5,01	2,52		2,40	3,38	
2000	3,83	5,53	6,14	9,19	20,70	18,00		9,69	8,25	8,47	10,80	12,90	
2001	16,50	15,50	16,40	17,20	23,10	20,60	14,70	5,91	4,43	4,53	5,73	6,55	12,60
2002	6,36	7,81	7,85	7,59	14,20	11,90	8,02	4,60	2,93	2,48	2,04	1,46	6,44
2003	1,39	1,90	2,33	3,14		6,01	4,93	4,42	3,48	4,73	6,47	7,65	
2004	7,20	7,15	6,98		19,60	22,00	18,80	17,90	19,70	21,40	21,40	22,80	
2005	23,60	20,60	17,90	18,20	40,50	38,90			12,10	10,50	11,10	13,80	
2006	12,40	11,20		11,30	18,50	19,90	12,50	6,92	6,20	6,50	12,30	14,80	
2007	15,80	14,80	19,40	21,00	28,30	28,40	21,20	14,60	12,30	11,90	9,72	10,80	17,35
2008	11,60	11,90	11,70	14,50	25,20	25,10	16,30	11,70	10,70	12,30	18,60	20,90	15,88
2009	24,80	21,80	18,30	15,30	19,20	17,50	14,90		11,90	12,50	16,40	17,80	
2010	16,40	15,60	16,30	17,60	24,60	23,20	17,80	10,20	6,69	6,97	9,48	10,90	14,65
2011	12,00	12,00	11,60	11,80	21,70	21,30	15,20	9,53	10,50	12,20	12,50	16,30	13,89
2012	21,60	15,00	18,20	17,60	32,30	29,50	23,90	17,40	13,40	13,00	15,60	14,60	19,34
2013	11,30	16,10	14,80	14,30	22,20	21,10	18,00	13,70	9,83	8,45	13,30	14,70	14,82
2014	19,00	19,10	17,00	14,30	15,10	13,30	9,13	5,58	4,43	3,81	3,60	4,19	10,71

Приложение Г2 – Значения расходов воды р. Пяльма – д. Пяльма по методу «Исключение пропусков»,1975 – 2014 г.

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1975	8,29	5,30	4,91	50,10	21,70	5,43	4,01	2,24	3,74	10,80	12,90	7,50	11,41
1976	4,55	1,81	1,73		66,50	8,82	6,63	11,50	34,90	7,14	4,74	5,81	
1977	2,79	1,79	2,10		29,40	6,89		2,74	11,30	21,40	25,30		
1978		2,33	2,96	3,60	33,20	12,00	3,01	5,16	18,20	18,40	16,20	7,15	
1979	3,19			3,93		6,03	5,29	4,62	5,00	15,40	17,70	16,60	
1980	6,06	3,41		5,21	44,90	4,08	2,11	1,43	2,01	2,74	2,69	4,06	
1981	4,18		2,58	4,20	101,00	27,80	4,98	4,13	8,37	26,90	16,30	5,62	
1982	3,40	2,33	2,47	19,80	60,20	11,50	7,84	2,84	6,57	8,44	27,40	20,30	14,42
1983	8,15	4,07	6,35	71,00	28,30	4,84	2,18	2,42	3,22	24,10	30,20	8,80	16,14
1984	8,45	4,97	3,77	21,90					4,67	17,70	13,30	4,03	
1985	2,45	2,10	3,33	3,30	35,40	12,70	12,70	4,16	5,12	15,40	14,80	3,42	9,57
1986	2,08	2,09	2,45	34,20	38,60	7,02		2,04	10,50	10,40	14,90	12,80	
1987	2,79	1,81	1,73	5,49	43,50	24,30	12,80	13,50	13,30	6,91		3,19	
1988	4,96	3,22	1,77	13,20	68,30	14,50	5,93	13,90	11,60	18,80	8,77	3,93	14,07
1989	3,83	4,39	5,42	57,60	33,10	4,55	2,29	2,29	6,09	19,20	9,79	3,13	12,64
1990	5,24	6,10	8,79	67,70	26,60	8,31	4,04	3,53	2,01	4,48	4,43	3,10	12,03
1991	2,08	2,22	6,88	29,10	46,70	10,80	4,25	6,06	7,02	19,90	23,60	30,90	15,79
1992	15,40	9,93	5,17	4,34	77,90	3,89	2,68	2,18	5,30	10,80	13,30	13,80	13,72
1993	10,10	4,67	2,43	7,62	68,80	9,33	5,08	12,90	11,10		6,55	4,24	
1994	4,45	3,41	2,92	34,00	33,40	7,54	2,79	1,39	7,69	37,40	20,90	7,11	13,58
1995	4,73	5,21	5,68	54,40	68,30	6,46	3,43	2,84	3,63	5,30	5,32	4,10	14,12
1996	3,16	2,65	1,88	2,57	48,10	9,63	23,90	3,77	2,85	4,20	10,50	11,50	10,39
1997	4,08	2,65	9,00	8,87	79,80	13,00	4,23		8,53	13,00	13,50	7,61	

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1998	4,72	4,52	4,85	7,96	65,90	18,50	9,47		18,20	20,80	27,20	13,10	
1999	4,22	2,29	1,51	43,70	13,30	8,59	2,92	1,55	4,35	10,60	11,00	15,40	9,95
2000	8,84	4,71	4,56	71,60	33,90	10,00	3,67	10,90		28,00	28,50	21,40	
2001	13,10	5,20	0,85	40,40	34,70	18,10	2,30	0,89	0,53	4,14	7,12	3,57	10,91
2002	1,33	2,86	3,69	22,70	54,90	3,31	1,79	0,99	2,12	5,08	4,80	3,17	8,90
2003	0,78	1,11	1,47	13,90	44,90	3,63	2,11	2,40	4,90	18,30	17,20	6,53	9,77
2004	3,38	2,78	3,25	6,24	52,20	12,50	8,29	6,62	15,20	18,10	19,40	15,60	13,63
2005	9,04	4,15	2,96	51,80	70,50	8,23	3,16	1,67	1,57	2,13	17,90	16,40	15,79
2006	6,77	2,40	1,54	18,80	29,00	18,00		1,51	2,71	14,60	22,40	40,50	
2007	16,20	3,14	4,24	36,30	25,90	14,60	15,70	9,42	23,90	10,70	8,00	4,59	14,39
2008	3,47	3,27	3,21	21,90	63,70	8,93	3,94	20,10	16,90	30,40		21,60	
2009	5,26	4,41	3,31	4,73	63,40		8,86	9,96	12,90	31,00	26,90	28,60	
2010	4,06	2,49	2,81	29,00	35,30	6,46	1,98	1,30	3,03	5,82	17,50	6,60	9,70
2011	2,78	2,17	1,43	23,90	47,00	5,09		1,53	5,66	11,70	8,69	8,43	
2012	7,47	2,57	2,56	42,60	60,30	11,80	9,19	21,00	7,71	18,40	27,20	5,80	18,05
2013	3,31	2,96	1,94	34,20	26,70	3,54	3,09	8,22	2,93	10,40	33,10	25,60	13,00
2014	11,50	1,04	4,56	26,70	24,90	9,02	5,45	2,08	1,82	3,58	5,47	3,54	8,31

Приложение Д – Корреляционная функция по 25 отобранным постам,1975 – 2014 г.

Код поста		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	49094	1,0																								
2	49103	0,6	1,0																							
3	72130	0,5	0,3	1,0																						
4	49054	0,3	0,6	0,3	1,0																					
5	49014	0,6	0,6	0,4	0,6	1,0																				
6	48058	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	1,0																			
7	49093	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0																		
8	49120	0,7	0,7	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7	1,0																	
9	72113	0,5	0,4	0,8	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3	1,0																
10	48011	0,4	0,4	0,8	0,2	0,4	0,5	0,4	0,3	0,6	1,0															
11	48069	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	1,0														
12	49053	0,3	0,5	0,2	0,8	0,8	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6	1,0													
13	72109	0,6	0,5	0,8	0,4	0,5	0,7	0,7	0,4	0,9	0,6	0,6	0,4	1,0												
14	49110	0,5	0,8	0,2	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,3	0,2	0,4	0,6	0,4	1,0											
15	49114	0,6	0,7	0,3	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5	0,7	1,0										
16	48071	0,7	0,5	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,6	0,8	0,5	0,6	1,0									
17	48030	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4	0,6	0,5	0,2	0,7	0,6	0,6	0,4	0,8	0,3	0,5	0,7	1,0								
18	49123	0,6	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3	0,6	0,5	0,6	0,7	0,9	0,6	0,6	1,0							
19	48038	0,5	0,8	0,4	0,6	0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	1,0						
20	48029	0,3	0,6	0,4	0,5	0,3	0,8	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,6	0,6	0,3	0,5	0,6	0,5	0,8	1,0					
21	72739	0,4	0,4	0,7	0,5	0,4	0,6	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,5	0,9	0,3	0,5	0,8	0,8	0,5	0,6	0,6	1,0				
22	48091	0,4	0,3	0,6	0,1	0,3	0,5	0,5	0,2	0,7	0,6	0,5	0,2	0,6	0,2	0,3	0,6	0,6	0,3	0,4	0,3	0,6	1,0			
23	48090	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,7	0,4	1,0		
24	48021	0,5	0,6	0,7	0,5	0,4	0,8	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,5	0,7	1,0	
25	72090	0,4	0,7	0,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,9	0,7	0,6	0,4	0,6	0,7	1,0

Приложение Е – Эталонные значения расходов воды р. Олонка – с. Верховье, 1975 – 2014 г.

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1975	14,5	7,39	6,22	49	18,1	4,92	2,71	2,2	2,5	4,39	5,24	8,66	10,49
1976	6,3	3,6	3,5	24,7	62,5	18,1	11,6	23,6	35,3	8,28	7,16	11,5	18,01
1977	5,32	3,78	3,64	29,5	37	10,4	3,86	9,39	8,98	20,7	37,9	10,4	15,07
1978	5,73	3,46	3,33	26,9	17,5	6,04	4,42	7,68	19,1	18,2	33,4	10,7	13,04
1979	3,76	2,91	3,1	9,89	49,3	6,74	3,52	6,26	7,79	15,3	22,7	18,9	12,51
1980	6,75	3,98	3,54	21,3	40	5,65	3,61	2,02	2,28	4,19	11	11,9	9,69
1981	6,96	5,46	4,48	15,4	98,3	29,8	11,1	9,65	9,3	23,9	26,3	11,4	21,00
1982	7,2	4,45	4,18	40,7	69,3	12,7	8,16	8,42	10,6	12,2	29,4	27,4	19,56
1983	18,9	7,48	5,82	59,2	25	5,88	3,08	2,47	3,01	21	37	14,2	16,92
1984	12	7,23	4,91	54,2	63	8,08	4,6	3,46	9,03	37,1	21,6	5,57	19,23
1985	3,18	2,61	2,47	11,3	44,8	8,12	6,58	3,22	5,1	13,6	17,2	6,88	10,42
1986	4,82	3,39	3,11	38,3	36,8	7,33	4,8	5,32	19,4	20,3	28,4	25,2	16,43
1987	5,66	3,97	3,37	8,67	46,4	27,4	13,5	15,1	22,5	13,6	6,87	5,08	14,34
1988	9,58	4,88	4,1	26,7	34,5	7,2	3,86	21,7	19,7	30	16,9	9,29	15,70
1989	7,51	12,9	19,8	70,4	32,4	5,98	2,6	2,24	3,44	8,32	9,52	5,94	15,09
1990	4,89	17,1	30,3	58,1	26,9	7,76	4,85	4,12	2,93	4,51	6,81	8,67	14,75
1991	6,98	5,5	4,54	41,8	49,8	13,1	11,8	11,3	10,9	27,4	40,7	22,4	20,52
1992	11,6	7,84	11,7	34,2	69,4	6,54	3,35	2,22	5,32	6	8,2	11,8	14,85
1993	8,9	6,27	6,2	23,6	50,8	7,43	6,93	14,2	10,6	14,4	7,09	4,1	13,38
1994	4,74	3,7	4,09	52,9	54,5	19,8	5,47	1,74	5,75	38,9	14,4	9,39	17,95
1995	13,4	10,2	16,4	51	59,5	9,05	2,92	2,17	2,17	7,83	12,1	7,38	16,18
1996	4,58	3,57	2,99	8,92	44,1	8,65	6,19	3,6	1,82	2,54	12,7	17,5	9,76
1997	6,72	6,1	21,7	22	60,7	9,25	3,21	2,04	3,47	9,48	17,8	7,64	14,18

Год	Месяц												ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1998	5,2	4,51	6,34	12,4	79,5	10,6	7	14,9	12,3	21,6	23,6	6,64	17,05
1999	5,84	4,5	3,65	49,4	16	5,69	2,56	1,38	1,38	3,86	5,4	20,3	10,00
2000	11,3	7,89	11,7	73,1	32,5	9,03	12,9	8,71	10,3	12,6	34	39,6	21,97
2001	8,29	6,01	6,08	41	23,3	10,3	3,05	3,31	2,22	6,25	25,1	7,64	11,88
2002	5,87	12,7	10,7	37,3	42,9	5,98	7,49	2,97	1,9	2,88	3,26	3,1	11,42
2003	2,45	2,73	3,08	20,4	35,7	5,2	2,63	2,79	4,51	16,7	13,3	11,7	10,10
2004	10	6,32	6,19	30,6	39,5	9,11	5,25	13,5	18,6	28,3	37,3	20,4	18,76
2005	21,9	9,36	6	42	65,5	7,99	3,47	3,81	2,67	4,05	17,1	17,7	16,80
2006	7,86	4,76	3,7	28,6	29	14,5	2,83	2,08	2,78	11,1	29,2	46,3	15,23
2007	17,9	8,41	11,5	36,3	28,7	15,1	8,24	5,81	21	10,8	10,7	13,1	15,63
2008	9,5	9,86	9,15	56,2	39,5	12	6,36	15,2	13,6	29,9	51	25,3	23,13
2009	13,5	9,22	7,15	14,5	33,3	15	13	5,44	14,3	28,8	23,3	25,8	16,94
2010	7,14	5,57	6,11	44,2	30,5	14	5,32	2,07	9,41	12,2	34,8	11,5	15,24
2011	6,75	6,52	6,08	38,3	44,9	9,89	4,19	4,93	17,2	20,8	16,1	37,2	17,74
2012	27,5	8,09	6,9	37,1	61,8	16	21,2	13,5	10,1	15,4	32,5	14,2	22,02
2013	7,97	6,44	6,1	33,3	20,5	4,93	3,74	3,87	1,98	9,8	43,4	39,1	15,09
2014	23,5	8,48	9,01	22,5	21,2	6,3	2,79	2,45	3,42	3,23	10,7	12	10,47