



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

Кафедра _____ Гидрология суши _____.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Оценка параметров кривой**
расхода на пороге слива из озера
(на примере озера Сямозеро)

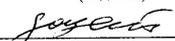
Исполнитель _____ Акшенцев Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

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

_____ Сакович Владимир Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ 
(подпись)

_____ к.г.н. 
(ученая степень, ученое звание)

_____ Сакович Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«20» 06 2017г.

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

	стр
Оглавление	2
Введение	4
1 Физико-географическая характеристика Карелии	5
1.1 Рельеф	5
1.2 Почва и растительность	8
1.3 Климат	13
1.4 Гидрография рек Карелии	16
1.4.1 Подземные воды	18
1.4.2 Годовой, максимальный и минимальный сток	20
1.4.3 Внутригодовое распределение стока	21
1.4.4 Особенности водного режима	22
1.4.5 Термический и ледовый режим	24
1.5 Гидрография озёр Карелии	25
1.5.1 Уровенный режим	28
1.5.2 Термический и ледовый режим	29
2 Построение кривой расхода на истоке из озера	35
2.1 Выбор объектов исследования «река-озеро»	35
2.1.1 Гидрографическая характеристика Сямозера	36
2.1.2 Описание поста на Сямозере в пос.Сяпся	37
2.1.3 Описание поста на реке Сяньга в д.Чуралахта	37
2.2 Исходные данные	38
2.3 Построение зависимости расхода воды на пороге слива из озера от уровня воды в озере	48
2.4 Оценка зимних коэффициентов расходов воды	51
3 Восстановление ряда среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке	54

3.1	Оценка расчетных среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке	57
3.2	Оценка погрешности расчета среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке	57
	Заключение	66
	Список используемой литературы	67
	Приложение А – Хронологические графики среднемесячных расходов воды на рекеСяньга в д.Чуралахта	68
	Приложение Б – Хронологические графики среднемесячных уровней воды на озереСямозере в пос.Сяпся	72
	Приложение В – Сравнение рассчитанных среднемесячных расходов вода и среднемесячных расходов, наблюдаемых на реке	76
	Приложение Г – Сравнительные хронологические графики среднемесячных расходов воды измеренных и вычисленных	78

Введение

Целью работы является изучить возможность восстановления рядов стока на озерной реке по данным измерения уровней на озере.

Задачи работы:

- подобрать озеро с данными наблюдений за уровнем и с данными наблюдений за стоком реки вытекающей из озера;
- по измеренным расходам воды на реке и уровням на озере построить кривую $Q=f(H)$ за один год;
- по полученной кривой $Q=f(H)$ восстановить среднемесячные и среднегодовые расходы воды на реке по соответствующим среднемесячным и среднегодовым уровням в озере;
- оценить погрешность и возможность использования такого подхода к оценке стока реки за длительный период времени.

Работа состоит из трех глав, введения и заключения.

В первой главе дано физико-географическое описание Республики Карелия.

Во второй главе проведен подбор объектов исследования «река-озеро», собраны исходные данные, по измеренным расходам воды на реке и уровням на озере построена кривая $Q=f(H)$ за 1968 год и произведена оценка зимних коэффициентов расходов воды.

В третьей главе восстановлены ряды среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке, произведена оценка погрешностей расчета.

1 Физико-географическая характеристика Карелии

Карелия расположена на северо-западе России и граничит: на западе – с Финляндией, на юге – с Ленинградской и Вологодской областями, на севере – с Мурманской (где граница дважды пересекает Полярный круг), а на Востоке – с Архангельской. На рисунке 1.1 изображена физико-географическая карта Карелии. Ее площадь составляет 172400 км². Основное население – карелы и русские. Столица – Петрозаводск. Расположена в пределах Балтийского щита. Большая часть территории холмистая равнина (наибольшая высота 578м – хребет Манселькя) с ледниковыми формами рельефа. Средняя температура февраля от минус 9 до минус 13 °С, июля от плюс 14 до плюс 16 °С. Осадков выпадает от 400 до 600 мм в год. 50 % территории покрыто хвойным лесом; много озёр (18 % территории).

1.1 Рельеф

Карелия имеет сильно расчленённую поверхность с относительными высотами до 350 м. Важную роль в создании современного строения Карелии сыграло неоднократное оледенение её территории. Ледники и ледниковые воды придали рельефу специфический облик: сглаженные валуны и скалы – «бараньи лбы», волнистые песчаные равнины, вытянутые галечно-песчаные насыпи «озы» втянутые с северо-запада на юго-восток каменистые гряды и кряжи – «сельги».

Преобладающие высоты Карелии от 100 до 200м при абсолютных отметках до 250м над уровнем моря. Наиболее возвышенные места – на западе и северо-западе республики, наименее возвышенные – в районах, прилегающих к Белому морю, Ладожскому (5м) и Онежскому (33м) озёрам.

По характеру рельефа Карелию делят на несколько районов:

– Северный среднегорный, охватывающий северо-западную окраину республики, средние абсолютные отметки колеблются от 300 до 340 м, неширокие понижения сменяются высокими куполообразными возвышенностями с крутыми склонами; высшая точка – гора Нуорунен (577м);

– Западно-Карельская возвышенность средние абсолютные отметки колеблются от 180 до 300м. Можно выделить цепи гряд – западную, центральную и восточную. Западная цепь – шириной от 18 до 20км, имеет относительные высоты от 80 до 100м; максимальные высоты центральной цепи от 300 до 400м (гора Воттоваара – 413м). Самая короткая, восточная цепь имеет высоту 200м и окружена заболоченными равнинами;

– Северный озёрный край. Высоты здесь уменьшаются с запада от 250 до 280м на восток до 200м. На юге района находится Куйтозерская впадина – равнина с абсолютными отметками от 100 до 120м, за исключением водораздела между озёрами Куйто и Ньюозеро, где высоты достигают 250м. Северо-восточная часть Куйтозёрской впадины постепенно переходит в Топозерско-Куйтозёрский водораздел;

– Восточная окраина Северного озёрного края полого опускается, переходя в Прибеломорскую низменность, окаймляющую Белое море полосой от 30 до 100км. Абсолютные отметки в пределах низменности всюду менее 100 м. Поверхность слегка волнистая, заболоченная равнина;

– Онежско-Беломорский водораздел – в целом равнинный, слабо расчленённый, с относительными высотами от 100 до 150 м;

– Южный озёрный край, занимающий весь юг Карелии. Высоты отдельных участков края составляют от 5м у Ладожского озера до 200м у озера Янисъярви. Озёрные побережья изрезаны фьордообразными заливами, много островов. Олонецкая равнина, прилегающая к Ладожскому озеру с востока, имеет абсолютные отметки от 5 до 50м. Восточная часть Олонецкой равнины переходит в Онежско-Ладожское водораздельное плато высотой от 100 до 300м. Плато плоское, заболоченное, изредка встречаются песчаные холмы и гряды. К северо-западу от Онежского озера расположена Прионежская сель-

говая часть района с абсолютными отметками, редко превышающими 100м. Крайний юг-восток Карелии представляет собой слабо расчленённую равнину.



Рисунок 1.1 – Физико-географическая карта Карелии

1.2 Почва и растительность

Основными процессами почвообразования на территории Карелии являются подзолообразования и заболачивание, что обусловлено положением территории в зоне с холодным, влажным климатом, а также преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительности. По характеру почвообразования территория может быть разделена на две зоны: северную и южную. Граница между ними проходит примерно на широте Ладожского и Онежского озёр.

Почвообразующей породой в северной части являются ледниковые наносы, преимущественно неоднородные, грубые по механическому составу; в южной части моренные отложения имеют различный состав – от песков до глин, что и определяет различие в механическом составе почв.

В северо-западной части Карелии преобладают подзолы с железистыми и гумусово-железистым иллювиальным горизонтом. На сравнительно равнинных песчаных участках мощность иллювиального горизонта меньше. По механическому составу большая часть почв отличается высоким содержанием относительно крупных не выветрившихся обломков кристаллических пород; только в районе озера Среднего Куйто почвы имеют песчано-пылеватый состав.

Кроме широко распространённых на грубых песчаных отложениях поверхностных подзолов, на северо-западе Карелии значительно распространены примитивные и скелетные почвы на выходах коренных пород (гольцы с лишайниковым покровом и примитивные подзолы на кристаллических породах, маломощные подзолы с гумусово-железистым иллювиальным горизонтом на склонах выступов кристаллических пород).

Болотные торфяно-подзолисто-глеевые почвы наиболее распространены по побережью Белого моря. Здесь они развиваются в условиях равнинного рельефа и на морских засоленных глинах. По сложению и механическому составу почвы, сформировавшиеся на беломорских засоленных глинах, на-

поминают почвы в долине реки Кеми, где также преобладают безвалунные глины с глеево-подзолистыми почвами.

В южной части Карелии сравнительно благоприятные природные условия и относительно более древний возраст почв способствовали проникновению процесса почвообразования на глубину до 85 см, что в 2 раза глубже, чем в северной части. В юго-восточных районах, с преобладанием супесчаных и суглинистых почв и пород, хорошо выражен дерновой процесс. Мощность перегнойно-аккумулятивного горизонта колеблется от 15 до 25 см, а подзолистый горизонт практически отсутствует.

По механическому составу почвы южной части Карелии отличаются большим разнообразием и по сравнению с составом почв северной части содержат меньше грубых элементов и относительно богаче фракциями песчано-пылеватыми частицами. Наряду с весьма грубыми почвами на средних высотах в пониженных участках встречаются площади суглинистых и супесчаных почв.

Карбонатная морена встречается в Заонежском сельском районе и на Восточно-Онежской равнине. На Онежско-Ладожском водоразделе преобладают слабоподзолистые почвы, развитые на суглинистых и супесчаных породах. На Восточно-Онежской равнине преобладают суглинистые и песчано-пылеватые почвы.

Вблизи Ладожского и Онежского озёр расположены низины, сложенные отложениями различного механического состава, с признаками заболачивания и почти не содержащих валунов. На восточном берегу Ладожского озера (Олонецкая равнина) они сочетаются с крупными болотными массивами, среди которых распространены подзолисто-глеевые почвы.

В Заонежском сельском районе встречаются углисто-сланцевые отложения – «шуньгиты», на которых формируются темноцветные неоподзоленные почвы.

В южной части Карелии встречаются также и дерново-подзолистые почвы. На территории, расположенной к югу от Ладожского и Онежского

озёр, широко распространены слабодерновоподзолистые и среднедерновоподзолистые почвы, подзолистые и болотные.

Изредка встречаются дерново-карбонатные и аллювиальные почвы. По механическому составу здесь различаются почвы глинистые, тяжелосуглинистые, среднесуглинистые и легкосуглинистые, супесчаные и песчаные.

Рассматриваемая территория расположена в зоне достаточного и избыточного увлажнения. Однако влагозапасы в почво-грунтах также находятся в прямой зависимости от механического состава и глубины залегания грунтовых вод.

Влагонасыщенность почв за тёплый период сначала уменьшается и в июле – августе падает до минимума. Затем начинается повышение влажности почвы вследствие увеличения количества осадков и одновременно уменьшение потерь влаги на испарение и транспирацию.

Влагозапасы в почве в зимнее время зависят от промерзания почвы. Влагонасыщенность резко увеличивается за счёт капиллярного подсосывания при ледообразовании, а также за счёт парообразований воды, поднимающейся из нижних слоёв почвы к верхним холодным, где она конденсируется и замерзает.

Глубина промерзания почвы зависит от многих факторов и, в первую очередь, от интенсивности нарастания отрицательных температур воздуха и наличия снежного и растительного покрова, а также от рельефа местности, механического состава почвы и её увлажнения. Сухие и лёгкие почвы промерзают обычно больше, чем влажные и тяжёлые.

Промерзание почвы на открытых (полевых) участках в среднем начинается в октябре-ноябре и, постепенно нарастая, достигая максимума в апреле. Средняя глубина промерзания достигала 150 см. Наименьшее промерзание почвы от 2 до 30 см. В отдельные годы под мощным снежным покровом почва всю зиму может оставаться слабо промёрзшей, а иногда даже талой.

Оттаивание почвы, как правило, происходит сверху и идёт сначала медленно (до схода снежного покрова), а затем быстро под влиянием солнеч-

ных лучей; на болотах (в северной части Карелии), почва может быть промёрзшей и летом. При наличии мощного снежного покрова оттаивание почвы весной происходит также и снизу вверх под влиянием тепла, поступающего из низших талых слоёв. Бывают случаи, когда почва оттаивает раньше, чем начинается весеннее снеготаяние.

Полное оттаивание почвы обычно наблюдается в Карелии в первой декаде мая. В Карелии особо выделяется Заонежский сельгосовый район с шуньгитовыми почвами, где вследствие тёмной окраски почва оттаивает раньше, в конце апреля. В зависимости от характера зимы и начала весны даты оттаивания в отдельные годы могут значительно отклоняться от средних значений.

Рассматриваемая территория расположена преимущественно в пределах таёжной зоны. Карелию пересекают две широтные полосы этой зоны: северо-таёжная, или полоса воронично-лишайниково-зеленомошных хвойных лесов. Граница этих полос совпадает с границей почвенных подзон и проходит примерно по 63 градусу северной широты. Только на крайнем севере территории в горах северного озёрного района находятся тундровые и лесотундровые группировки растительности. Здесь же наиболее ярко выражена вертикальная поясность растительности, которая характеризуется следующим чередованием растительных сообществ от основания крупных гряд к их вершинам:

- сосновые лишайниковые и зеленомошные леса;
- еловые зеленомошные;
- берёзово-еловые редколесья;
- тундровые сообщества с карликовой берёзой и кустарниками.

Таёжные полосы представлены следующими видами растительности:

- еловые леса – на возвышенно-равнинных участках с супесчаными и суглинистыми подзолистыми почвами, в долинах рек и ручьев и по окраинам сфагновых болот с торфяно-подзолистыми почвами;

– сосновые леса – на дренированных возвышенных участках с песчаными и песчано-каменистыми подзолистыми почвами и в замкнутых низинах с торфяно-болотными почвами;

– сфагновые торфяно-осоковые и кустарничковые болота совершенно необлесённые или с редкостойной сосной.

Распределение растительности по территории определяется климатом, рельефом, почвогрунтовыми условиями и фитоценоотическими взаимоотношениями растений. Господствующим типом растительности являются леса, состоящие преимущественно из хвойных пород – сосны и ели. Облесённость отдельных водосборов рек достигает 95%, преобладающая от 75 до 85 %. Преобладание сосновых лесов объясняется широким распространением песчаных отложений и обнажённых коренных пород. В некоторых районах удельный вес древесных древостоев на покрытой лесом площади достигает 92 %.

Еловые леса господствуют на территориях, где подстилающими породами служат супесчаные, суглинистые и глинистые ледниковые отложения с характерным для них содержанием валунов, что наблюдается главным образом в южной части среднетаёжной зоны.

Растительность болот, её состав и распределение зависят от степени увлажнения, проточности и химизма питательной среды. На рассматриваемой территории преобладают болота с умеренным минеральным питанием (олиготрофные и мезотрофные) моховые и торфяно-моховые; реже встречаются болота богатого минерального питания с хорошо развитой травянистой, кустарниковой и древесной растительностью (евтрофные). Наибольшее распространение болота имеют в пониженных частях рельефа, где заболоченность отдельных водосборов рек достигает 57% (река Мяг-река). К ним относятся Прибеломорская низменность, Куйтозерская впадина и многочисленные впадины среднетаёжной полосы.

Луга занимают незначительную часть Карелии и в соответствии с особенностями рельефа они преимущественно низинные, заболоченные и бо-

лотные. Суходольных лугов относительно больше на юге. Наибольшее распространение лугов наблюдается в долинах рек и по берегам озёр.

1.3 Климат

Климат мягкий с обилием осадков, меняется на территории Карелии от морского к умеренно-континентальному. Зима снежная, прохладная, но обычно без сильных морозов, если морозы наступают, то только на несколько дней. Лето непродолжительное и тёплое, с большим количеством осадков. Даже в июне в республике иногда бывают заморозки. Жара бывает редко и наступает на две-три недели по южным районам, но из-за высокой влажности она ощутима и при плюс 20°C. В северных районах жара бывает крайне редко, и длится не более нескольких дней.

Средняя температура воздуха, по территории Карелии, изменяется от 0 на севере до плюс 3°C на юге. Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Средняя месячная их температура составляет до минус 13 °C в северной и минус 10°C в южной части.

На территории Карелии понижение температуры до минус 40°C наблюдается 1-2 раза в 10 лет, в отдельные годы (1 раз в 100 лет) она может снизиться до минус 50°C и более. Самым тёплым месяцем является июль, со средней температурой воздуха плюс 15°C на севере Карелии, абсолютный максимум плюс 36°C, на водоёмах до плюс 31 °C.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через нуль. На севере Карелии он осуществляется в конце апреля, на юге осуществляется к 15 апреля. Период с положительными средними температурами составляет соответственно от 175 до 190 и от 190 до 200 дней.

Лето, за начало которого принимается переход средней суточной температуры воздуха через 10°C, на юге Карелии наступает в конце мая. На севере Карелии переход средних суточных температур через 10°C происходит в

середине июня. Средняя продолжительность лета на юге Карелии три с половиной месяца, на севере менее трех месяцев. В начале лета ещё возможны заморозки, а на севере Карелии это может произойти даже в июле. Осень наступает быстрее также здесь (конец августа). Зима здесь не суровая, но длительная. Период со средними суточными температурами ниже минус 5 °С составляет от 125 до 135 дней на севере и от 115 до 125 на юге территории.

Переход температуры воздуха через минус 5°С осуществляются в середине ноября – в южных районах Карелии и длится до конца марта на севере и до 20-25 марта на юге. Период со средними суточными температурами ниже минус 10°С непродолжительный и колеблется от 70-80 дней на севере до 50-60 дней на юге республики. Устойчивого периода с температурами ниже минус 15°С по Карелии не наблюдается. Наиболее холодная зима присуща северо-западной части Карелии, расчленённой отрогами Маанселькя.

Территория Карелии относится к зоне избыточного увлажнения. Это объясняется сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все seasons года.

На распределение осадков большое влияние оказывают орографические условия местности и подстилающая поверхность, ведущие к нарушению плавного характера изменения осадков. Даже небольшие возвышенности обуславливают перераспределение осадков: увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных склонах и в понижениях за возвышенностями. Заметно уменьшаются осадки вблизи крупных водоёмов таких, как Белое море, Финский залив, Ладожское, Онежское, Ильмень, Псковско-Чудское озёра. Всё это обуславливает неравномерность распределения осадков по территории.

В среднем в год на большей части рассматриваемых районах выпадает от 550 до 750мм осадков. Годовое количество их в Карелии возрастает в направлении с севера на юг. Наименьшая годовая сумма осадков 550мм наблюдается в Прибеломорской низменности и в Куйтоозёрской впадине; в рай-

онах, прилегающих к Ладожскому и Онежскому озёрам, годовая сумма осадков не превышает 650мм. Максимум годовых осадков отмечается в южной части Карелии 750мм.

Внутри года осадки распределяются неравномерно. Характер их распределения по территории в тёплый и холодный период имеет много общего с годовым, однако в тёплый период года влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно, нежели в холодный. Количество осадков за тёплый период с мая по октябрь колеблется от 350 до 400мм. В тёплый период увеличение осадков наблюдается на возвышенностях, расположенных в западной и восточной частях территории.

Осадки холодного периода с ноября по март составляют примерно 40-45 % от годовых. За холодный период в Карелии выпадает от 150 до 250 мм. В отдельные годы месячные суммы осадков могут значительно отклоняться в ту или иную сторону от многолетних величин.

Максимум количества осадков на большей части территории приходится на июль-август и лишь иногда на сентябрь. В эти месяцы выпадает от 70 мм (по северной части Карелии) до 90 мм (на остальной территории).

1.4 Гидрография рек Карелии

Обширная территория Карелии имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, принадлежащую бассейнам Белого и Балтийского морей. Густота её составляет 0.46км/км². Наличие большого количества рек, озёр и болот обуславливается в первую очередь избыточно влажным климатом этого района. Общее число рек составляет 85654, а их суммарная длина достигает 221157 км, причём характерным для гидрографической сети является большое количество мелких рек. Число рек и ручьев длиной менее 10км составляет 97% общего числа, а длина их – 70% общей длины. Рек, длиной более 50 км насчитывается всего 231, а суммарная длина их составляет 23417 км.

Имеющиеся различия в орфографии и геологии территории Карелии обуславливают большое разнообразие в характере распределения и строения гидрографической сети, а также в особенностях водного режима рек.

Гидрографическая сеть Карелии и Карельского перешейка представлена большей частью либо небольшими реками, либо короткими протоками, которые, соединяя между собой многочисленные озёра, образуют отдельные озёрно-речные системы. Очень часты случаи, когда протяжённость озёр больше длины речных участков. Например, протяжённость озёрных участков на реках Ковде, Лендерке, Ногеус-Йоки и других достигает 67 % всей длины реки. Направление гидрографической сети на территории Карелии и Карельского перешейка находится в полном соответствии с её геоморфологическим строением. Особенно резко выделяется здесь северо-западное простирание, господствующее для рек и озёр, и только в северной части территории достаточно распространённым является широтное направление.

Большинство речных и озёрных котловин приурочено к тектоническим рвам, смягчённым сглаженным действием ледника.

Общее число рек в Карелии и на Карельском перешейке составляет 26700 км; суммарная протяжённость их 83000 км. Преобладают водотоки длиной менее 10 км. Количество их 25300 (95%), а общая протяжённость 52300 км, что составляет 63% длины всех рек. Только 12 рек имеют длину более 150 км.

Реки, несмотря на сравнительно небольшую длину, имеют большие площади водосборов за счёт большой озёрности водосборов. Большая озёрность водосборов обуславливает не только общий облик водосборов, но и особый гидрологический режим. Озёрность отдельных рек достигает 32 %.

На территории Карелии наблюдается хорошо выраженная закономерность измерения озёрности: от широты города Петрозаводска озёрность возрастает к северу и быстро падает к югу.

Большое значение для водности реки имеет размещение озёр на водосборе. По размещению более крупных озёр на водосборе на территории Карелии можно выделить три основных типа рек:

– верховой, в котором крупные озёра лежат в верхней части водосбора, замыкая собой от трети до половины всего бассейна (реки Кемь, Суна, Олонка и другие);

– каскадный, в котором наиболее крупные озёра размещены цепочкой на протяжении всей реки (реки Ковда, Лендерка, Сума, Шалица и другие);

– низовой, в котором главное крупнейшее озеро лежит в нижней части бассейна и река, вытекая из него, представляет собой короткий сточный канал (река Янис-Йоки). Этот тип рек особенно характерен для Заонежско-сельгового района.

Значительная приподнятость водоразделов и относительная близость к ним основных базисов эрозии (Белого моря, Онежского и Ладожского озёр) обусловили значительное падение рек. Большая часть величины падения от 80 до 90 % приходится на пороги и «карешки» (малые порожки). Многие реки имеют наибольшие в среднем и нижнем течении, как раз при выходе с высоко расположенной части Карелии к береговым полосам Белого моря, Онежского и Ладожского озёр. Это обстоятельство создаёт благоприятные условия для энергетического использования рек.

Водоразделы рек Карелии преимущественно узкие, заболоченные, с большим количеством озёр, не имеющих видимого поверхностного стока. Это создаёт хорошие условия для переброски стока (бифуркации) в соседний бассейн в период весеннего половодья.

1.4.1 Подземные воды

Одним из факторов, играющих существенную роль в формировании речного стока в бассейнах рек Карелии, являются подземные воды. Для дан-

ной территории характерно значительное развитие речной сети, что активизирует подземный сток в зоне интенсивного водообмена.

Наряду с общей направленностью подземного стока в сторону Балтийского и Белого морей существует движение подземных вод в сторону крупных водоёмов. Приуроченных к обширным котловинам тектонического происхождения озёра Ладожское и Онежское. На направление стока подземных вод на отдельных участках оказывают влияние и древние долины основных рек района.

Котловины озёр и долины рек являются зонами разгрузки не только водоносных горизонтов зоны интенсивного водообмена, но и более глубоких напорных водоносных комплексов.

Подземные воды здесь заключены в породах кристаллического фундамента и перекрывающей их толще четвертичных отложений. В рыхлых отложениях четвертичного возраста и в зоне выветривания древних пород развит комплекс безнапорных, реже слабонапорных подземных вод, уровень которых располагается на глубине до 2 м в понижениях рельефа и может достигать глубины 100 м под вершинами гор. Глубокие до 100 м эрозионные врезы разветвлённой гидрографической сети обычно целиком прорезают верхнюю трещинную зону и расчлениают её на отдельные блоки, характеризующиеся короткими путями фильтрации и значительными уклонами уровня подземных вод.

Кроме горизонта грунтовых вод четвертичных отложений и трещинной зоны кристаллического фундамента на территории Карелии развиты жильные воды, приуроченные к зонам тектонических нарушений и контакта интрузий. Циркуляция подземных вод в кристаллических породах происходит также по трещинам отдельности и плоскостям сланцеватости. Глубина залегания подземных вод в кристаллических породах достигает 500 м. Часто эти воды имеют значительный напор и пьезометрический уровень устанавливается выше поверхности земли. Величина напора изменяется в зависимости от гидрогеологических особенностей территории и достигает 150 м.

Питание грунтовых вод осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка их происходит в гидрографическую сеть, в море и по южной границе территории в породы осадочного чехла Русской плиты, для которой Балтийский щит является региональной областью питания. Водообильность четвертичных отложений и зоны выветривания древних пород разная, преимущественно слабая.

Подземное питание рек Карелии формируется за счёт трещинных вод кристаллических пород и поровых вод четвертичных отложений. Все реки Карелии имеют малоразработанные русла и прорезают в основном моренные и флювиогляциальные отложения. Поэтому основное подземное питание они получают, как правило, из грунтовых водоносных горизонтов моренных суглинков и флювиогляциальных песков, с которыми имеют гидравлическую связь. Модули подземного стока изменяются от 1.2 до 2.6 л/сек км². Уменьшение подземного питания рек происходит от главного водораздела к побережью Белого моря. Наибольшее его значения до 2.6 л/сек км² имеют реки северной и северо-западной Карелии с глубоким эрозионным врезом долин, обычно полностью прорезающих верхнюю зону трещинных вод и вскрывающих напорные воды тектонических нарушений. По мере уменьшения расчленённости рельефа с запада на восток подземное питание рек уменьшается, достигая наименьшего значения на Прибеломорской низменности до 1.2 л/сек км². Доля подземного стока от общего речного (коэффициент подземного питания реки) изменяется от нескольких до 30%, но обычно не превышает 15 %. Коэффициент подземного стока изменяется по территории в относительно небольших пределах от 20 до 10% и менее.

1.4.2 Годовой, максимальный и минимальный сток

Максимальный сток за период половодья по своему происхождению не является однородным и состоит из грунтовой, снеговой и дождевой составляющих. Вследствие значительной сложности и субъективности расчленение

стока по источникам питания объем весеннего половодья принят суммарным с включением грунтового и частично дождевого стока. Границы половодья устанавливались по гидрографам. За начало половодья принимался первый день со значительным увеличением стока, а конец – последний день спада половодья, когда уже отчетливо обозначился переход к летней межени.

Весеннее половодье является наиболее многоводной фазой и составляет от 40 до 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 почти ежегодно наблюдается два пика: первый в результате промыва шуги на вышележащих участках, второй – от снеготаяния. В некоторые годы двухпиковое и даже трёхпиковое половодья обусловлены выпадающими осадками, которые, накладываясь на спад весеннего половодья, вызывают повышения уровня.

Средний слой стока весеннего половодья колеблется от 140 до 230 мм. Большая часть объема весеннего половодья формируется стоком талых вод. Доля дождевого стока составляет от 5 до 15 % суммарного стока. Доля грунтового стока половодья зависит главным образом от характера почвогрунтов, уровня грунтовых вод и глубины вреза русла и составляет от 2 до 10 %.

1.4.3 Внутригодовое распределение стока

Характер распределения стока в году определяется закономерностями внутригодового изменения климатических характеристик: осадков, температуры и влажности воздуха. А также изменением их по территории Карелии в широтном и меридиональном направлениях. Наряду с этими зональными климатическими факторами на распределение стока по сезонам и месяцам оказывают влияние местные физико-географические особенности, из кото-

рых наиболее существенными являются: геоморфологическое строение бассейна, его размеры, озерность и заболоченность, гидрогеологические условия, характер почво-грунтов и растительный покров.

Средние многолетние величины весеннего стока колеблются от 120 до 260 мм. Наименьшие колебания величины стока за весенний сезон наблюдаются в истоках из озер и составляют от 75 до 110 мм. Доля весеннего стока составляет от 26 до 66 % годовой величины стока и зависит от степени озерного регулирования.

Весеннее половодье сменяется летней меженью, в период которой питание реки осуществляется за счет грунтовых вод и сработки озер. Летне-осенняя межень нередко прерывается дождевыми паводками. Осенью за счет длительных дождей и уменьшения испарения с поверхности водосбора межженный сток значительно увеличивается. За счет этого доля летне-осеннего стока значительно возрастает, достигая на отдельных реках доли весеннего.

Средняя величина суммарного стока за летне-осенний период колеблется в пределах от 80 до 180 мм. Доля летне-осеннего стока составляет от 31 до 45 % годового стока.

Для зимнего стока характерно постепенное истощение его, резкое в начале сезона и медленное в конце. Питание рек в этот сезон происходит за счет грунтовых вод и сработки озер. Величина зимнего стока изменяется в диапазоне от 25 до 75 мм. На безозерных реках величина стока уменьшается до 8 мм, и, наоборот, на реках, вытекающих из озер, достигает 92 мм. Доля зимнего стока в годовом составляет от 3 до 25 %.

1.4.4 Особенности водного режима

Наблюдения над уровнем режимом рек начаты в 1911 году на реке Суна. Всего с 1911 по 1965 год в разное время существовало 376 уровней постов. Периоды наблюдений на них, в большинстве своём короткие и неоднородные, исчисляются от нескольких месяцев до 40 лет.

Все реки имеют смешанное питание с преобладанием снегового. В годовом ходе уровня воды чётко выражены четыре фазы: весеннее половодье, летняя межень, осенне-зимний период и зимняя межень. Эти фазы более отчётливо выражены на реках с малой озёрностью. На реках с большим процентом озёрности и в истоках из озёр гидрографы имеют более сглаженный вид. На этих реках наблюдается сравнительно невысокое растянутое половодье и нечётко выраженные дождевые паводки.

Для рек с большим процентом озёрности водосборов и для участков рек, расположенных у истоков из больших озёр, отделить долю грунтового стока от озёрных вод, аккумулированных озёрами в предшествующий тёплый период, не представляется возможным. Поэтому для таких рек величина грунтового и озёрного питания приводится суммарная.

Подъёмы уровня от снеготаяния начинаются в среднем: на севере территории в третьей декаде апреля, на юге – во второй декаде апреля; в ранние вёсны: 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, от 5 см/сутки, затем интенсивность его возрастает до 60 см/сутки.

Подъём уровня в истоках и на небольших реках обычно проходит за 13-18 дней, а на более крупных реках и на реках с большим процентом озёрности – за 20-35 дней. Наивысших уровней половодья достигает преимущественно в первой декаде мая, за исключением больших рек и рек, вытекающих из озёр, где пик половодья проходит во второй декаде мая. Пик половодья держится до 3 дней, затем начинается медленный спад, который заканчивается в июне-августе в зависимости от характера реки. Спад обычно продолжается от 30 до 60 дней это в 2.5 раза дольше, чем подъём. Общая продолжительность половодья в среднем от 40 до 100 дней. Превышение наивысшего уровня весеннего половодья над низшим летним за период наблю-

дений для больших рек составляет до 5 м, а для средних и небольших рек, а так же рек с большим процентом озёрности до 2 м. Наивысшие уровни весеннего половодья являются, как правило, наивысшими годовыми. В прохождении высоких половодий, в основном, существует синхронность по территории, однако высота половодий в различных её частях может быть различной.

Летняя межень на большинстве рек начинается с конца спада половодья и нарушается подъёмами уровня воды от дождей. Чётко выделяется летняя межень только на реках с малым процентом озёрности. На таких реках дождевые паводки выделяются наиболее чётко. В отдельные годы подъёмы от дождей по своей величине приближаются к высшим уровням половодья.

Низшие уровни летней межени наблюдаются в августе-сентябре. На некоторых малых и средних реках в вегетационный период наблюдается зарастание русла водной растительностью, создающее подпор уровня воды.

Осенне-зимний период обычно начинается в конце сентября – начале октября подъёмом уровня воды от дождей, превышающем летнюю межень до 1 м. На многих реках с появлением ледяных образований образуются зажоры. В отдельные годы подъёмы уровней от зажоров достигают уровней весеннего половодья, а иногда превышают их. Размыв зажоров начинается в конце января – начале февраля уровни достигают величин, соответствующих расходу воды. На некоторых реках зажоры держатся всю зиму.

На участках рек, расположенных вблизи истоков из 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 от 130 до 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 5 м, а на малых до 2 м.

1.4.5 Термический и ледовый режим

Термический режим рек определяется главным образом теплообменом, происходящим между атмосферой, водой и грунтом речного ложа. Существенное влияние на термический режим рек оказывают характер питания, направление течения, высотное положение бассейна, наличие карста и т.д.

Эти факторы обуславливают годовой, сезонный и суточный ход температуры воды и различие в термическом режиме не только в пределах разных физико-географических районов, но даже на протяжении отдельных участков одной и той же реки.

Годовой ход температуры воды рек в общих чертах повторяет годовой ход температуры воздуха, но различием между ними является то, что колебания температуры воды происходят более плавно и несколько отстают по времени.

Весной, в результате потепления, температура воды начинает повышаться, но нарастание её происходит в более замедленном темпе, чем нарастание температуры воздуха; осенью, при наступлении холодов, охлаждение воды также значительно медленнее, чем понижение температуры воздуха.

Весеннее повышение температуры речных вод начинается примерно с середины апреля. В мае средняя месячная воды достигает 7°С в северной части Карелии и 13°С на юге. Наиболее интенсивный нагрев воды в реках происходит в июне. Средняя месячная температура воды этого месяца (по сравнению с маем) повышается на 7-9°С. В июле интенсивность нагрева воды значительно снижается (прирост температуры составляет лишь 3-5°С) и годовой максимум температуры воды в реках достигает 28.6°С. Средняя месячная температура воды составляет от 16 до 21°С.

После годового максимума начинается вначале медленное, а затем более ускоренное охлаждение воды. В августе температура воды понижается в среднем на 1.5-2°C, а в сентябре – на 5-8°C. В ноябре, а на некоторых реках Карелии в октябре, устанавливается нулевая температура речной воды. Все внутренние воды Карелии принадлежат к бассейнам двух морей: Балтийского и Белого, температура рек, которых различна.

1.5 Гидрография озёр Карелии

Карелия входит в зону так называемого «Озёрного края» и уже это говорит об обилии здесь озёр. В экономике края озера используются для целей транспорта, сплава леса, водоснабжения, рыбного хозяйства, энергетики и приобретают большое значение как водохранилища для регулирования стока малых и средних рек района.

На рассматриваемой территории насчитывается 82503 озера с общей площадью 50062 км², 80396 озёр (97% общего числа) имеют площадь менее 1 км. Наряду с большим количеством мелких озёр здесь расположены такие крупные озёра, как Ладожское и Онежское, занимающие по площади первое и второе места в Европе. Площадь зеркала этих озёр равна 27420 км², что составляет 55% общей площади зеркала озёр этой территории. Распределение озёр по территории Карелии неравномерное и обусловлено, в основном, геолого-геоморфологическим строением поверхности.

Общее количество озёр, находящихся на территории Карелии и Карельского перешейка (без Ладожского и Онежского) достигает 68162, а суммарная площадь зеркала равна 20324 км², что составляет около 12 % всей площади территории. Больше всего озёр имеется в бассейнах рек: Кеми – 12500, Ковды – 10700, Выга – 9100. Даже сравнительно небольшой бассейн реки Шуи (Онежской) имеет 2800 озёр. Наибольшее количество крупных озёр находится в бассейне реки Ковды, это озёра: Топ-озеро, Пя-озеро, Ковд-озеро, Тикш-озеро – каждое из них имеет площадь более 200 км². В настоя-

щее время все крупные озёра Карелии являются водохранилищами ГЭС, преимущественно многолетнего регулирования. К ним относятся водохранилища: Топо-Пяозерское, созданное на базе озёр Топ-озеро и Пя-озеро, Князегубское – на базе озёр Ковд-озеро и Нот-озеро, Выгозёрское и Сегозёрское. Очень много малых и средних озёр являются водохранилищами лесосплавных плотин с сезонным регулированием стока. Из них наиболее крупное Водлозерское(озеро Водлозеро).

Не меньший интерес в Карелии представляют так называемые озёра-карманы, примыкающие к рекам. Как правило, эти озёра или ламбины соединены с руслом рек очень короткими и глубокими протоками (озеро Лазаревское у реки Воломы, озеро Укш-озеро у реки Шуи и другие). Аккумулируя в себе часть руслового стока в период весеннего половодья, после снижения уровня воды в реке они сбрасывают эти запасы воды в русло, перераспределяя, таким образом, сток на нижележащем участке реки в весенне-летний период.

Второй многочисленный пояс озер расположен в юго-западных частях территории, в районах мореных возвышенностей, реки. Особенно много озер находится на Валдайской(в верховьях бассейна реки Меты, в бассейнах правобережных притоков реки Пола) Струго-Красненской (в бассейне реки Луги) Судомской и Новоржевской (в бассейнах рек Ловати и Великой) возвышенностях.

Происхождение озерных котловин тесно связано с основными рельефообразующими факторами рассматриваемой территории, а именно с тектоническими процессами, сформировавшими депрессии, в которых образовались многие озера, и с эрозионно-аккумулятивной деятельностью ледниковых потоков эпохи материкового обледенения. В соответствии с этим выделяются два основных типа озер по происхождению их котловин: тектонические и моренные.

Озера Карелии преимущественно тектонического происхождения; котловины их развиты в трещинах и сбросах, обычно вытянуты с северо-запада

на юго-восток, состоят из длинного плеса и большого числа узких вытянутых заливов или имеют ластовидную форму.

Тектонические котловины озер носят ярко выраженные следы эрозионной деятельности ледника. Это особенно хорошо видно на примере Онежского и Ладожского озер, северные берега которых изрезаны длинными и узкими заливами, ориентированными в направлении движения ледника с северо-запада на юго-восток. По характеру дна и берегов эти озера резко делятся на две части: северную, отличающуюся большой глубиной, наличием многочисленных длинных и глубоких ям, и южную, имеющую ровный рельеф и сравнительно небольшие глубины. С формированием Онежского озера органически связана группа Кончезерских озер: Палье, Санда, Ниг-озеро, и Кедрозеро и другие, расположенные в нижнем течении рек Суны и Шуи.

Наряду с озерами тектонического происхождения на территории Карелии распространены озера мореного типа. Котловины этих озер приурочены, главным образом, к понижениям между мореными грядами и холмами или образованы в результате подпруживания речных долин ледниковыми отложениями. Они сравнительно не больших размеров, чаще всего имеют слабо развитую округлую форму, слабо развитую береговую линию, плоские берега. Глубины, как правило, не превышают 5-10 м, рельеф дна плоский. На дне озер часто залегают отложения ила, мощность которого достигает от 1 до 3.5 м. Среди озер мореного типа довольно часто встречаются узкие длинные озера, через которые протекают реки.

Помимо озер тектонического и мореного типов на рассматриваемой территории встречаются озера, происхождение котловин которых связано с другими факторами. К ним относятся озера лагунного типа, а также болотные и карстовые. Ряд лагунных озер образовался в результате полного или частичного отчленения от моря мелководных бухт и заливов, или путем затопления морем низовьев рек.

Довольно большое распространение на территории Карелии имеют озера болотного типа. Они имеют преимущественно малые размеры и носят на-

звание «ламп» или «лампбины». Озера сильно зарастают водной растительностью и часто растительный покров почти целиком затягивает поверхность озер, оставляя лишь небольшие открытые пространства – «окна». Среди болотных озер встречаются и крупные.

Почти все озёра рассматриваемой территории преимущественно сточные и проточные; бессточных озёр мало, площадь зеркала их обычно небольшая. На территории Карелии около половины малых и очень малых озёр не имеют видимого поверхностного стока, но удельный вес площади зеркала этих озёр невелик и составляет около 10% суммарной площади всех озёр Карелии.

1.5.1 Уровенный режим

Озера Карелии, расположены в сравнительно одинаковых климатических условиях. В годовом ходе уровня наиболее отчетливо выделяется весенний подъем. Наивысший уровень наступает в мае-июне после очищения озер ото льда. Спад весенних вод плавный, нарушаемый иногда отдельными повышениями от выпадающих осадков. На средних и малых озерах наблюдается осенний подъем уровня от дождей, на озерах с большей акваторией осеннее повышение уровня незаметно.

Летний минимум на крупных озерах наблюдается в сентябре, а на малых – в июле-августе; зимнее понижение уровня до наинизших годовых значений приходится на март-апрель. На больших и средних озерах годовая амплитуда уровней невелика, не более 1.5 м. На малых и некоторых средних озерах она превышает 3 м. Ливневые паводки выражены слабо. На ход уровней больших озер значительное влияние оказывают ветровые сгоны и нагонные.

1.5.2 Термический и ледовый режим

Термический режим озер изучается на водомерных постах у берега и на рейдовых вертикалях и гидрологических разрезах в открытой части водоема.

Температура на поверхности водоема

По данным береговых постов дата перехода температуры воды через 0.2°C весной, как правило, наступает на юге территории в конце апреля, а на севере в первой декаде мая, спустя 10-20 дней после перехода температуры воздуха через 0°C . Самые ранние даты перехода отмечаются как на юге, так и на севере в конце второй декады апреля; позднее в середине мая на южных озерах и в конце мая – на северных.

Наибольшей плотности (при 4°C) вода достигает в середине мая на озерах южной части территории, а через две недели и вода северных озер приобретает температуру 4°C . Для даты перехода температуры воды через 10°C также характерно продвижение ее с юга на север, от озер бассейна Ладожского озера, в первых числах июня до озер бассейна реки Ковды в начале третьей декады июня. Таким образом, процесс нагревания северных озер по сравнению с южными запаздывает в среднем на две недели.

Средняя месячная температура воды озер в июне на севере от 10 до 14°C , на юге от 12 до 15°C . В июле-августе она колеблется в пределах от 15 до 18°C , достигая максимальных суточных значений в июле – $21-26^{\circ}\text{C}$ на севере и $24-28^{\circ}\text{C}$ на юге.

Процесс охлаждения озер протекает в обратном направлении с севера на юг. Переход температуры воды через 10°C начинается в конце второй декады сентября и заканчивается на юге в начале октября. Температура воды озер побережья Белого моря достигает 4°C в середине октября, а озер Приладожья в начале ноября.

Спустя 15-25 дней после перехода температуры воздуха через 0°C наблюдается переход температуры воды через 0.2°C . На севере это происходит

в начале второй декады ноября, на юге – чуть позднее, в конце второй декады ноября.

Весной при переходе температуры воды через 0.2°C условия нагревания всех озер почти не различаются. Дата перехода температуры воды через 4 и 10°C у глубоководных водоемов запаздывает на 7 дней.

Температурный режим малых водоемов, наоборот, более тесно связан с температурой воздуха, поэтому нагревание их происходит быстрее. Дата перехода температуры воды через 4°C наступает на 4 дня, а через 10°C – на 7-8 дней раньше, чем у основной группы озер.

Осенью процесс охлаждения протекает в обратном порядке. В первую очередь охлаждаются озера с небольшой площадью зеркала, примерно на 9 дней раньше большинства озер, а охлаждение глубоководных водоемов запаздывает на 8-9 дней.

Температура поверхности воды в открытой части больших и достаточно глубоких озер значительно отличается (на $2-3^{\circ}\text{C}$) от температуры воды заливов и прибрежных участков в период нагревания и охлаждения водоемов. Средняя температура поверхности воды в открытой части за период с июня по сентябрь изменялась в пределах от 6 до 18°C у северных озер и от 8 до 20°C – у южных.

Если сравнивать температуру воды озер и рек рассматриваемой территории, то вода в реках в мае-июне на $0.5-1.0^{\circ}\text{C}$ теплее воды в озерах, в июле она выравнивается, а в августе-октябре вода озер теплее воды рек. На участках рек вблизи истока из озер температура воды реки отражает температуру воды озера. Средняя месячная температура поверхности воды озер в апреле-июне обычно ниже соответствующей температуры воздуха, а с июля по октябрь – выше.

Распределение температуры воды по глубине

По характеру нагревания озера Карелии можно разделить на две группы в зависимости от глубины водоема и ветрового перемешивания водных масс.

К первой группе относятся водоемы, нагревающиеся летом в условиях гомотермии. Периодически сменяющейся слабо выраженной стратификацией температур. Это неглубокие озера (средняя глубина до 10 м) с берегами, не препятствующими проникновению ветрового потока к водной поверхности. В этих озерах разница между поверхностными и придонными температурами в летнее время не превышает 2-3°C, а иногда и совсем не наблюдается. Абсолютная величина температуры довольно высокая и приближается в летние месяцы с мая по август к температуре воздуха. Хорошо прогреваемыми водоемами являются и некоторые крупные озера, имеющие незначительные глубины.

Второй тип температурного режима озер характеризуется нагреванием их в состоянии устойчивой стратификации температур. В таких озерах, как Пял-озеро, Среднее Куйто, в нижних глубоких слоях гипolimнионе – температура воды летом около 6-10°C и ниже. Средние слои – металимнион – в то же время имеют температуру, изменяющуюся примерно от 7-8 до 14-16°C, а верхние слои – эпилимнион – от 18-20 до 22-24°C. В этих озерах в течение лета ярко выражен температурный скачок, опускающийся к концу периода до 10-15 м.

В период ледостава придонная температура воды равна 3.0°C, а температура средних слоев – около 2.0°C.

Замерзание

Сроки появления ледяных образований на водоемах и их дальнейшее развитие определяются запасом тепла в озерах, интенсивностью перехода суточных температур воздуха через 0°C к отрицательным значениям, ветровым режимом и др.

Осенью после устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C водные массы резко охлаждаются и спустя 15-25 дней начинается замерзание озер. Процесс замерзания начинается с образования сала и заберегов, которые появляются в конце октября – начале ноября на больших озерах и в середине ноября – на крупных и средних. Разница между сроками появления

ледяных образований и наступлением устойчивого ледостава на водоемах Карелии в среднем колеблется от 3 до 14 дней.

При резких и устойчивых похолоданиях и отсутствии ветра ледостав полностью устанавливается быстро, вскоре за первыми ледовыми явлениями (в течение 2-4 дней), а при неустойчивой погоде, характеризующейся чередованием заморозков и оттепелей и сильными ветрами, ледообразование может продолжаться в течение месяца и более. Наименьшая продолжительность замерзания отмечается на небольших озерах и заливах крупных озер и водохранилищ, где ледостав обычно наступает в день появления ледяных образований.

Замерзание озер Карелии по средним многолетним данным происходит в пределах от 5 до 17 ноября. Наиболее раннее замерзание отмечено во второй половине октября, позднее – в конце ноября – середине декабря, исключая озера Сег-озеро и Пял-озеро, которые замерзают позднее.

Ледяной покров

В начале установления ледостава толщина льда на озерах в среднем составляет 10-15 см, а в отдельные годы она увеличивается до 30-40 см. Интенсивное нарастание толщины льда в дальнейшем, по мере увеличения мощности ледяного покрова и высоты снега на нем, замедляется и на большинстве озер в начале апреля прекращается. От момента установления ледостава до конца декабря средний прирост толщины льда составляет 20-30 см, в течение января-февраля 10-20 см, а иногда достигает 30 см, в марте 5-10 см. Средняя многолетняя толщина льда на озерах Карелии изменяется в пределах 40-50 см. Наибольшая толщина льда на южных озерах чаще всего наблюдается в третьей декаде марта, на северных – в первой декаде апреля и в среднем 55-70 см.

Ледяной покров устойчивый, поверхность его преимущественно ровная, на некоторых озерах наблюдаются трещины. Несмотря на более позднее замерзание центральной части водоемов уже к середине зимы толщина льда в ней становится равной, а в ряде случаев превосходит отмеченную на берего-

вых постах. На рост толщины льда также значительное влияние оказывают снежный покров, время его появления, высота, состояние и плотность. Чем выше слой снега в первые месяцы ледостава, тем медленнее даже при сильных морозах будет нарастать толщина льда и, наоборот, при малом снеговом покрове или при его отсутствии рост толщины льда будет интенсивным.

Сравнение толщины льда у берега с толщиной льда, измеренной на ледовых профилях, позволяет отметить, что толщина льда по акватории водоемов довольно однообразна. Средняя продолжительность ледостава 170-190 дней.

Вскрытие водоемов

Весной после перехода температуры воздуха через 0°C начинается прогрев водной массы через лед, и спустя 10-15 дней температура воды достигает 0.2°C . При этом начинается разрушение ледяного покрова, которое проявляется в появлении закраин и подвижек льда. На большинстве озер лед тает на месте.

Разность между сроками вскрытия озер южной и северной Карелии составляет в среднем 15 дней. Средняя дата вскрытия озер южных районов приходится на начало мая, северных — на 15-20 мая.

Средняя продолжительность таяния льда колеблется от 3-11 дней на юге и до 4-17 дней на севере. В затяжные вёсны продолжительность разрушения льда может увеличиваться до 38 дней на северных озерах (Пя-озеро, 1948 г.) и 29 дней — на южных (Водлозеро, 1942 г.). Продолжительность таяния льда зависит также от суровости зим, когда таяние водоемов становится более длительным и вскрытие и очищение ото льда наступают позднее на 10-15 дней.

Средняя дата очищения ото льда озер южной части Карелии приходится на середину мая, северной — на третью декаду мая. Самое раннее очищения на севере наблюдается в первой декаде мая. Южные озера в некоторые годы очищаются ото льда даже в конце апреля (21/IV 1950 г. вскрылось оз. Мегр-озеро).

2 Построение кривой расхода на истоке из озера

2.1 Побор объекта исследования «река-озеро»

Для исследования был необходим гидрографический объект «озеро-река», который можно использовать для определения зависимостей. Подбор такого гидрографического объекта осуществлялся на основе следующих критериев:

- на озере должен находиться пост наблюдения за уровнями воды в озере;
- на реке, вытекающей из озера должен находиться пост наблюдения за расходами воды в реке;
- стокowy пост на реке должен находиться как можно ближе к истоку реки из озера, т.е. расхождение площадей водосборов реки и озера должно быть минимальным.

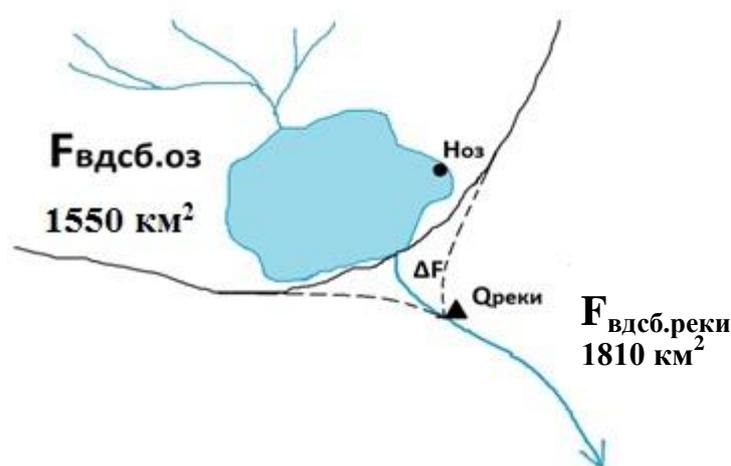


Рисунок 2.1 – Критерии отбора гидрографического объекта

В поисках объекта рассматривались материалы из Государственного водного кадастра [1-2], по территории Карелии. Был подобран следующий объект: Озеро Сямозеро – река Сяньга (республика Карелия, Пряжинский район).

2.1.1 Гидрографическая характеристика Сямозера

Озеро принадлежит к бассейну реки Шуя. Расположено на высоте 106.7 м над уровнем моря. Несут воду в озеро, реки: Сярач, Яймененеги, Кивач, Судак, Кудома, Соуда, Оскельма, Малая Суна и 11 ручьев без названия.

Истоком озеро является для реки Сяньга. Водосбор озера, представляет собой сочетания камовых холмов и озовых гряд высотой от 10-15 до 50 м с равнинами, нередко заболоченными. Понижения между холмами заняты болотами и озёрами. В северной и восточной частях бассейна нередки болотные массивы. Преобладающие грунты песчано-валунные, супесчаные, песчаные и торфянистые. Покрыт водосбор смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Культурные земли располагаются возле населённых пунктов.

Склоны озёрной котловины слабо выражены. На юге и востоке они более высокие (20-35 м) и крутые, на севере и западе преобладающая высота их уменьшается до 10 м; местами они не выражены и сливаются с заболоченной местностью. Берега по своему характеру довольно однообразны, преимущественно низкие. Широко распространены побережья типа песчаного пляжа. Выступающие в озеро мысы, а также южные берега сложены валунной россыпью, каменистые. Скалистые и заболоченные участки встречаются лишь местами. На озере имеется 80 островов общей площадью 4.28 км².

Площадь водосбора озера составляет 1550 км², площадь зеркала 266 км², длина береговой линии 159 км, коэффициент извилистости (развития береговой линии) 2.73; длина озера 24.6 км; ширина: наибольшая 15.1 км, а средняя 10.8 км; глубина: наибольшая 24.5 м, а наименьшая 6.7 м; объём озера 1790·10⁶ м³; многолетняя амплитуда колебания уровня: максимальное 0.79 м, а среднее 0.49 м; рельеф дна пересечённый, выделяются многочисленные луды и сельги. Северная часть озера мелководнее южной. Основной тип донных отложений – илы, занимающие около: 60% площади дна. Всё мелководье озера каменисто-песчаное и песчаное. Значительные площади дна до 22 % заняты железорудными образованиями. Растительность наблюдается в отчле-

нённых заливах и бухтах, в проливах между берегом озера и островами, а также на песчано-иловатых пляжах.

2.1.2 Описание поста на Сямозере в д. Сямозеро (пос.Сяпся)

Пост расположен в деревне на юго-восточном берегу озера, в глубине эллипсовидной бухты, вдающейся в берег озера на расстояние до 2км. До 1985года пост находился в посёлке Сяпся. Уровни на постах увязаны. Котловина озера вытянута с северо-запада на юго-восток. Прилегающая местность мелко-холмистая заболоченная равнина, покрытая смешанным лесом, с преимуществом хвойных пород. В районе поста берег пологий, грунты песчаные, песчано-валунные.

Уровень воды измеряется по рейке, установленной на причале рыбоприёмного пункта. Отметка нуля поста 105.84м БС. Отметки водомерным устройствам переданы нивелированием 4класса гидрографической партией Карельской ГМО в 1962 году. Наблюдения начаты в 1925 году.

Температура воды измеряется у поста, глубина в месте измерения 2м, толщина льда – в50 и 500 м от берега в створе поста.

Наблюдения за ледовыми явлениями производятся с причала у поста, диапазон обзора от юго-запада до северо-востока.

В открытой части озера наблюдения производятся на рейдовой вертикали и ледовом профиле.

2.1.3 Описание поста на реке Сяньга в д.Чуралахта

Пост расположен в 1 км к северо-востоку от Сямозера.

Прилегающая местность – слегка всхолмленная, поросшая смешанным лесом с преобладанием хвойных пород равнина, сложенная песчаными с примесью камней-валунов грунтами. Долина реки неясно выражена, склоны ее сливаются с берегами русла. Русло прямолинейное, песчано-илистое, с не-

высокими, сложенными песками, правым крутым, левым пологим берегами, поросшими лесом и кустарником.

На ход уровня оказывают влияние ветровые нагоны из озера Сямозеро.

Ледостав, как правило, на участке поста не образуется, в течение всей зимы наблюдаются забереги и лишь в особенно суровые зимы образуется непрочный кратковременный ледостав.

В 400 м ниже поста, у моста, образуются заторы льда.

Пост свайный, расположен на правом берегу в 400 м выше моста, оборудован репером. Высота БС реперу поста передана нивелировкой ГМС IV класса в 1952 году. Непрерывно измерения расходов начаты с 1951 года.

Отметка нуля поста 105.55 м БС.

Гидроствор №1 расположен в створе поста и оборудован подвесным гидрометрическим мостиком.

Толщина льда не измеряется.

Наблюдения над уровнем воды на действовавшем в период с 1925 по 1928 годам постус данными поста, открытого на том же месте 30 августа 1951 года не увязаны.

2.2 Исходные данные

В работе были использованы данные двух постов. Озеро Сямозеро – д. Сямозеро (Сяпся) и река Сяньга – д. Чуралоахта. По озерному посту были взяты среднемесячные уровни за период с 1962 по 1964 и с 1966 по 1978 года; по речному посту среднемесячные расходы воды за эти же периоды. А также для построения кривой расходов взяты измеренные расходы воды за 1968 год по речному посту и уровни воды за соответствующие дни по озерному посту [1-2]. Данные представлены в таблицах 2.1 – 2.3. По среднемесячным расходам и уровням построены хронологические графики $Q(t)$ и $H(t)$. На рисунках 2.2 и 2.3 изображены графики уровней и расходов воды маловодного года, на рисунках 2.4 и 2.5 изображены графики уровней и расходов воды

многоводного года и на рисунках 2.6 и 2.7 изображены графики среднемесячных уровней и расходов за весь исследуемый период. Остальные графики представлены в приложение А – по среднемесячным расходам $Q(t)$ и в приложение Б – по среднемесячным уровням $H(t)$.

На рисунке 2.2 видно, что в маловодный 1973 год максимальный расход наблюдается в мае, а минимальный в сентябре-октябре; ярко выражен паводок с апреля по июль, летне-осенняя (август-сентябрь) и зимняя межень (февраль).

На рисунке 2.3 ярко выражена только летне-осенняя межень в сентябре, существенного подъема в паводок и зимней межени не наблюдается на озере так, как на реке.

На рисунке 2.4 ярко выражена зимняя межень с января по март, после резкого увеличения расходов в мае, в последующий период до декабря месяца существенного изменения расходов не наблюдалось.

На рисунке 2.5 видно, что в течение всего года существенных изменений уровней воды не было.

Из рисунка 2.6 можно сделать вывод, что за период с 1962 по 1978 г максимальные расходы наблюдались в мае и июне, а минимальные на февраль и март.

На рисунке 2.7 видно, что уровне на озере в течение года изменяются незначительно, максимум также как и на речном посту в мае и июне.

Таблица 2.1 – Среднемесячные уровни воды по Сямозере–д. Сямозеро (пос.Сяпся), м

"0" графика – 105.84 м БС

Год	Месяцы												Средне- годовой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1962	1.02	0.98	0.93	0.97	1.27	1.18	1.36	1.38	1.27	1.25	1.22	1.27	1.18
1963	1.16	1.06	0.95	0.86	1.02	0.98	0.89	0.75	0.61	0.64	0.71	0.73	0.86
1964	0.72	0.70	0.64	0.60	0.82	0.80	0.67	0.55	0.46	0.48	0.55	0.63	0.64
1966	0.57	0.56	0.55	0.58	0.90	1.12	1.05	0.90	0.74	0.81	0.85	0.83	0.79
1967	0.78	0.73	0.67	0.74	1.05	1.03	0.91	0.73	0.62	0.56	0.66	0.70	0.77
1968	0.69	0.67	0.63	0.66	1.07	1.12	0.91	0.75	0.68	0.68	0.74	0.72	0.78
1969	0.66	0.59	0.53	0.51	0.73	0.72	0.56	0.41	0.37	0.44	0.50	0.63	0.55
1970	0.65	0.64	0.59	0.56	0.85	0.81	0.62	0.48	0.42	0.48	0.56	0.57	0.60
1971	0.58	0.59	0.58	0.55	0.84	0.89	0.89	0.74	0.60	0.55	0.59	0.63	0.67
1972	0.64	0.62	0.57	0.56	0.75	0.78	0.66	0.50	0.38	0.33	0.36	0.48	0.55
1973	0.54	0.55	0.53	0.55	0.71	0.65	0.53	0.39	0.31	0.33	0.42	0.48	0.50
1974	0.49	0.52	0.51	0.50	0.72	0.82	0.73	0.62	0.50	0.44	0.50	0.62	0.58
1975	0.69	0.64	0.59	0.65	0.87	0.75	0.60	0.45	0.35	0.32	0.33	0.40	0.55
1976	0.45	0.46	0.45	0.46	0.61	0.71	0.74	0.78	0.86	0.79	0.70	0.64	0.64

Продолжение таблицы 2.1

Год	Месяцы												Средне- годовой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1977	0.62	0.57	0.53	0.51	0.73	0.80	0.68	0.60	0.53	0.58	0.72	0.76	0.64
1978	0.72	0.64	0.58	0.57	0.63	0.56	0.51	0.51	0.63	0.67	0.68	0.70	0.62

Таблица 2.2 – Среднемесечные расходы воды по посту р. Сяньга– д. Чуралахта

"0" графика – 105.55 м БС

Год	Месяцы												Средне- годовой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1962	15.0	12.3	12.0	14.9	31.0	29.2	34.3	38.2	35.0	32.5	29.1	23.8	25.6
1963	19.8	14.4	13.2	15.0	23.8	22.5	19.2	14.4	12.0	13.0	13.4	11.6	16.0
1964	11.1	9.86	9.74	11.8	19.0	18.3	12.3	10.5	7.87	8.52	6.84	8.32	11.2
1966	7.72	6.70	10.1	10.7	22.2	30.6	26.1	20.3	16.2	18.4	19.0	15.8	17.0
1967	14.4	13.0	13.8	16.1	27.6	26.1	21.1	15.3	12.4	11.3	13.8	11.5	16.4
1968	9.23	10.6	12.1	13.7	28.8	30.7	21.5	16.2	14.2	13.3	14.9	14.6	16.7
1969	11.6	10.1	10.4	9.89	17.2	16.8	11.5	6.48	5.6	7.79	8.71	11.4	10.6
1970	9.37	9.02	10.9	11.7	22.2	20.4	13.6	8.89	7.13	9.16	9.13	9.61	11.8

Продолжение таблицы 2.2

Год	Месяцы												Средне- годовой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1971	10.6	12.0	11.4	11.2	21.2	26.4	22.0	16.5	12.1	10.4	9.83	10.8	14.5
1972	9.02	7.95	9.14	10.8	17.7	18.0	13.2	8.29	5.93	5.15	5.21	6.77	9.76
1973	8.56	7.78	9.09	12.3	17.6	15.0	10.3	6.49	4.76	4.68	6.05	5.66	9.02
1974	5.27	7.96	9.3	9.84	18.3	21.7	17.7	13.6	10.1	8.34	9.37	13.1	12.0
1975	14.3	15.6	14.3	16.8	25.5	19.3	13.6	8.58	5.87	5.22	4.82	6.00	12.5
1976	5.67	6.18	7.74	8.68	15.7	19.2	20.2	21.5	25.3	22.3	18.9	16.6	15.7
1977	12.6	11.9	11.7	12.4	19.5	21.7	16.2	13.2	10.5	12.3	16.4	18.1	14.7
1978	14.8	12.1	11.6	12.4	14.9	11.6	8.83	8.03	12.3	15.8	16.5	10.1	12.4

Таблица 2.3 – Измеренные расходы воды в реке (Q , м³/с) и уровни в озере (H , м) за соответствующие дни 1968 года

Дата	H , м	$H_{\text{испр}}$, м	Q , м ³ /с
05.01.1968	0.70	0.80	9.89
16.01.1968	0.69	0.79	8.80
26.01.1968	0.68	0.78	8.91
07.02.1968	0.68	0.78	10.3
17.02.1968	0.67	0.77	10.9
26.02.1968	0.65	0.75	10.9
06.03.1968	0.64	0.74	11.6
16.03.1968	0.64	0.74	9.96
25.03.1968	0.62	0.72	12.4
06.04.1968	0.64	0.74	13.2
16.04.1968	0.66	0.76	13.8
26.04.1968	0.69	0.79	15.3
03.05.1968	0.80	0.90	18.3
07.05.1968	0.92	1.02	20.6
10.05.1968	1.00	1.10	25.3
16.05.1968	1.11	1.21	30.6
23.05.1968	1.20	1.30	34.6
30.05.1968	1.22	1.32	35.5
04.06.1968	1.20	1.30	34.2
10.06.1968	1.16	1.26	30.8
15.06.1968	1.13	1.23	30.3
20.06.1968	1.08	1.18	26.6
25.06.1968	1.05	1.15	25.1
26.06.1968	1.04	1.14	25.3
08.07.1968	0.94	1.04	23.7

Продолжение таблицы 2.3

Дата	H , м	$H_{\text{испр}}$, м	Q , м ³ /с
12.07.1968	0.92	1.02	22.6
21.07.1968	0.88	0.98	20.5
28.07.1968	0.84	0.94	19.8
07.08.1968	0.78	0.88	17.7
16.08.1968	0.74	0.84	16.6
27.08.1968	0.72	0.82	15.7
07.09.1968	0.71	0.81	15.3
16.09.1968	0.68	0.78	14.5
26.09.1968	0.67	0.77	14.4
08.10.1968	0.66	0.76	13.6
17.10.1968	0.68	0.78	14.6
26.10.1968	0.69	0.79	8.23
05.11.1968	0.74	0.84	15.0
17.11.1968	0.74	0.84	15.3
26.11.1968	0.74	0.84	14.8
06.12.1968	0.74	0.84	15.6
16.12.1968	0.72	0.82	14.4
31.12.1968	0.70	0.80	13.8



Рисунок 2.2 – Хронологический график расходов воды маловодного года; р. Сяньга – д. Чуралахта



Рисунок 2.3 – Хронологический график уровней воды маловодного года; Сямозере–д. Сямозеро (пос.Сяпся)



Рисунок 2.4 – Хронологический график расходов воды многоводного года;
р. Сяньга – д. Чуралахта



Рисунок 2.5 – Хронологический график уровней воды многоводного года;
Сямозере–д. Сямозеро (пос.Сяпся)



Рисунок 2.6– Хронологический график среднемесячных расходов за весь исследуемый период



Рисунок 2.7 – Хронологический график среднемесячных уровней за весь исследуемый период

2.3 Построение зависимости расхода воды на пороге слива из озера от уровня воды в озере

Для установления вида зависимости расхода воды на пороге слива из озера от уровня воды в озере за основу была принята математическая модель в виде гидравлического уравнения кривой расходов на гидротехническом водосливе с широким порогом:

$$Q = \mu \cdot B \cdot \sigma \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}, \quad (2.1)$$

- где Q - расход воды в реке на пороге слива из озера, м³/с;
 μ - коэффициент расхода (характеризует гидравлические условия);
 \bar{B} - ширина порога слива из озера, м;
 σ - коэффициент подтопления;
 H - напор воды над порогом слива, м.

В общем виде кривую расходов воды $Q=f(H)$, описываемую уравнением 2.1 можно представить как степенную зависимость вида:

$$Q = AH^n, \quad (2.2)$$

где:

- A – коэффициент расхода, характеризующий гидравлические и морфометрические характеристики на пороге слива и объединяющий значение всех коэффициентов в уравнении 2.1
 n – интенсивность изменения расхода с изменением уровня воды в озере

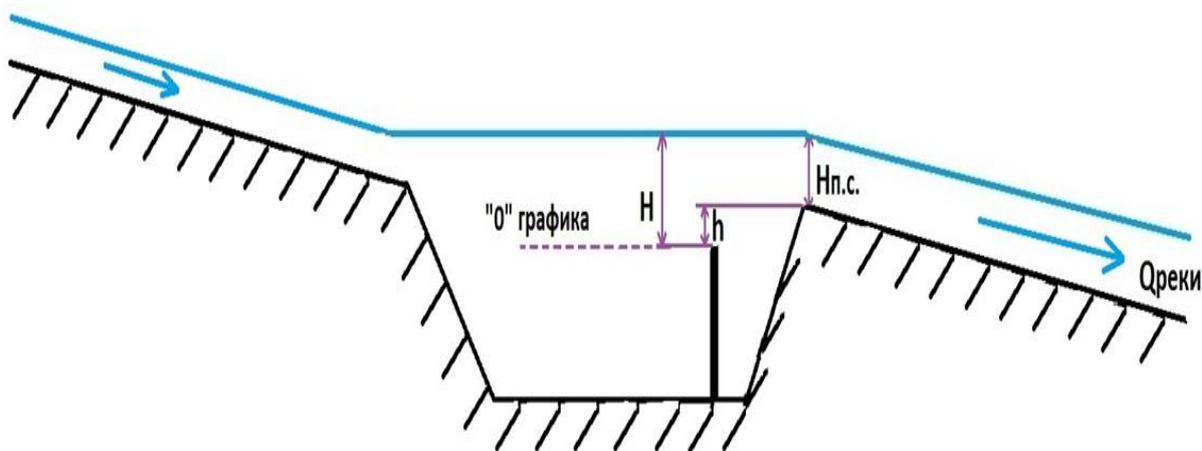


Рисунок 2.8 – Поправка h

С учетом поправки h уравнение 2.2 принимает следующий вид:

$$Q = A(H - h)^n \quad (2.3)$$

Для построения зависимостей были использованы следующие исходные данные из материалов ГВК: измеренные расходы воды в реке (Q , м³/с) и уровни в озере (H , м) за соответствующие дни.

При построении зависимости возникает сложность – уровни воды в озере измеряются над «0» графика, а не над отметкой порога слива и поэтому была введена поправка h , которая представляет собой разницу отметки «0» графика и отметки порога слива, изображенную на рисунке 2.8.

Так как определить значение h в натуральных условиях не было возможности, и данные о ней нигде не значатся, величина h подбиралась исходя из наилучшего соответствия графика степенной зависимости полю точек. При подборе h ориентировались как на наибольшее значение коэффициента корреляции, так и на лучшее зрительное соответствие линии степенной зависимости полю точек $Q=f(H)$. Наблюдаемы на графиках отклонения точек, по всей видимости, вызваны изменениями гидравлических условий на пороге слива, связанными с ледовыми явлениями и развитием растительности. В

практике гидрометрии такие точки исключаются из анализа зависимости между расходом и уровнем воды в реках, и кривая устанавливается только для периода свободного русла. Подобный подход был использован и нами.

Подбор параметров A и n , поправки h в зависимости уравнения 2.3 и построение графиков осуществлялось в программе «Excel».

Для объекта «река – озеро» была построена зависимость расхода воды в реке от уровня воды в озере за 1968 год по данным таблицы 2.3.

Зависимость расхода воды в реке от уровня воды в озере представлена на рисунке 2.9.

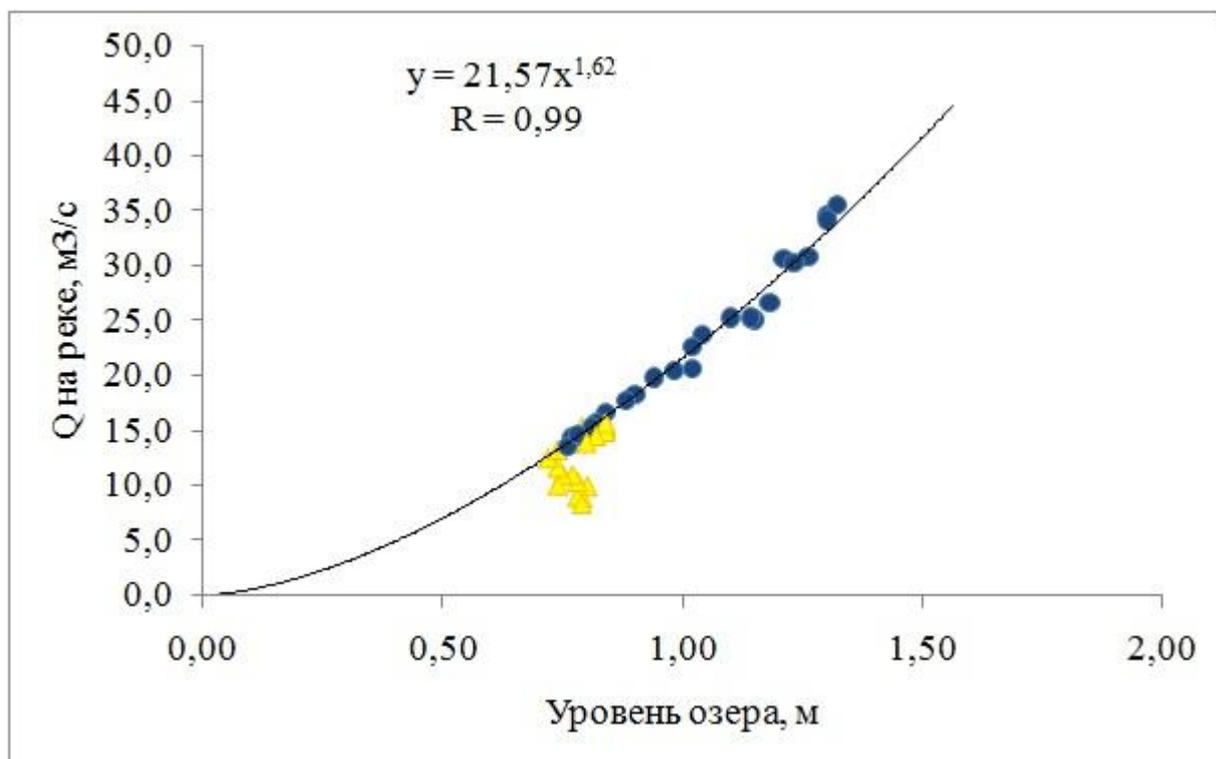


Рисунок 2.9 – Зависимость расхода воды в реке от уровня воды в озере

После построения зависимостей для объектов за выбранный 1968 год, была оценена теснота связи. Критерием тесноты связи служил коэффициент корреляции, который равен 0.99.

2.4 Оценка зимних коэффициентов расходов воды

Для зимних точек зависимости $Q=f(H)$ обратным путем рассчитаны коэффициенты $K_{\text{зим}}$ по формуле 2.4

$$K_{\text{зим}} = \frac{Q_{\text{изм}}}{Q_{\text{граф}}}, \quad (2.4)$$

где:

$Q_{\text{изм}}$ – измеренный расход в зимний период;

$Q_{\text{граф}}$ – расход, вычисленный по установленной для летнего периода степенной зависимости $Q = A(H - h)^n$ по зимнему уровню озера в момент измерения расхода воды на реке.

Построен хронологический график изменения $K_{\text{зим}}(t)$ по таблице 2.4, изображенный на рисунке 2.10.

Таблица 2.4 – Расчет коэффициента $K_{\text{зим}}$

Дата	$H_{\text{испр}}$, м	$Q_{\text{набл}}$, м ³ /с	$Q_{\text{расч}}$, м ³ /с	$K_{\text{зим}}$
05.01.1968	0.80	9.89	15.0	0.66
16.01.1968	0.79	8.80	14.7	0.60
26.01.1968	0.78	8.91	14.4	0.62
07.02.1968	0.78	10.3	14.4	0.71
17.02.1968	0.77	10.9	14.1	0.77
26.02.1968	0.75	10.9	13.5	0.81
06.03.1968	0.74	11.6	13.2	0.88
16.03.1968	0.74	9.96	13.2	0.75
25.03.1968	0.72	12.4	12.7	0.98
06.04.1968	0.74	13.2	13.2	1.00
16.04.1968	0.76	13.8	13.8	1.00

Продолжение таблицы 2.4

Дата	$H_{испр}, \text{ м}$	$Q_{набл}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{расч}, \text{ м}^3/\text{с}$	$K_{зим}$
26.04.1968	0.79	15.3	14.7	1.04
08.10.1968	0.76	13.6	13.8	0.98
17.10.1968	0.78	14.6	14.4	1.01
26.10.1968	0.79	8.23	14.7	0.56
05.11.1968	0.84	15.0	16.3	0.92
17.11.1968	0.84	15.3	16.3	0.94
26.11.1968	0.84	14.8	16.3	0.91
06.12.1968	0.84	15.6	16.3	0.96
16.12.1968	0.82	14.4	15.6	0.92
31.12.1968	0.80	13.8	15.0	0.92

На рисунке 2.10 красными точками изображены коэффициенты $K_{зим}$ забракованные для подсчета, на забракованных участках проведена осредненная линия. На графике видно, что коэффициент до конца декабря практически не изменяется, затем резко уменьшается, и с начала февраля начинает плавно увеличиваться и к середине апреля равняется единице. По этим данным за каждый месяц вычислены средние значения $K_{зимj}$, где j – зимний месяц. Построена диаграмма изменения $K_{зимj}$ изображенная на рисунке 2.11

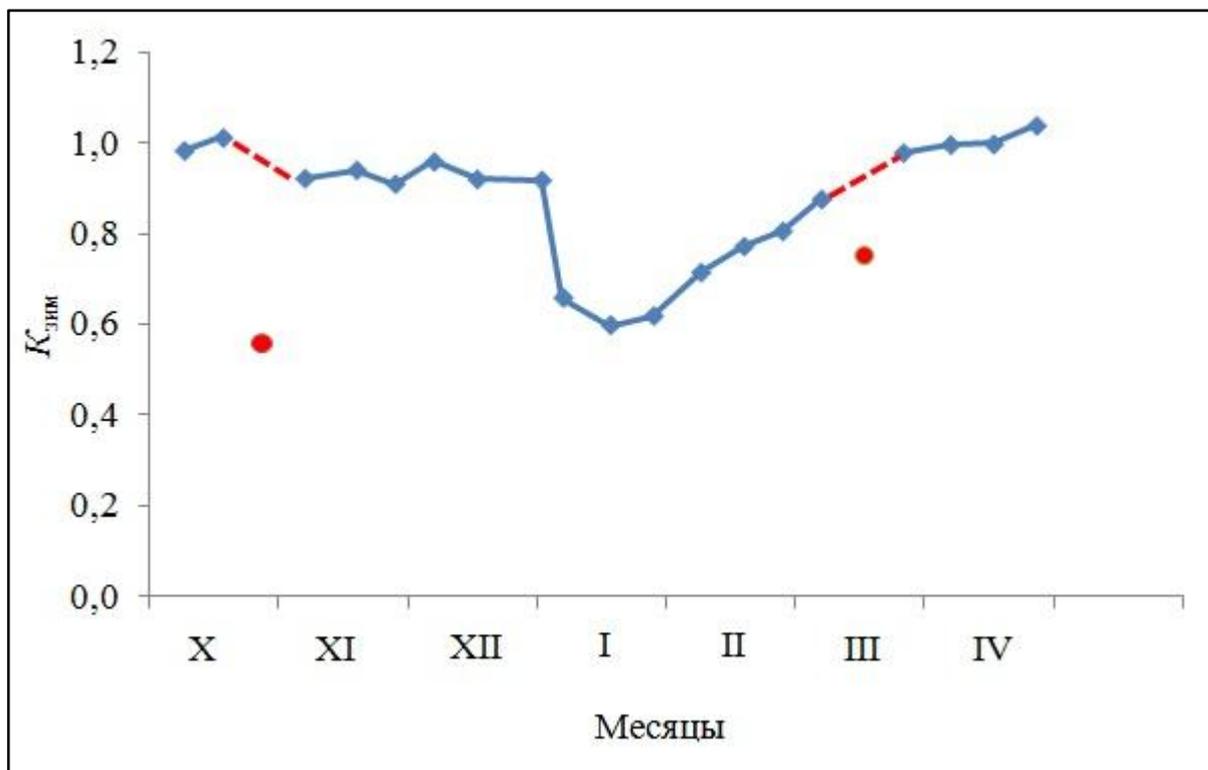


Рисунок 2.10 – Хронологический график изменения $K_{зим}(t)$

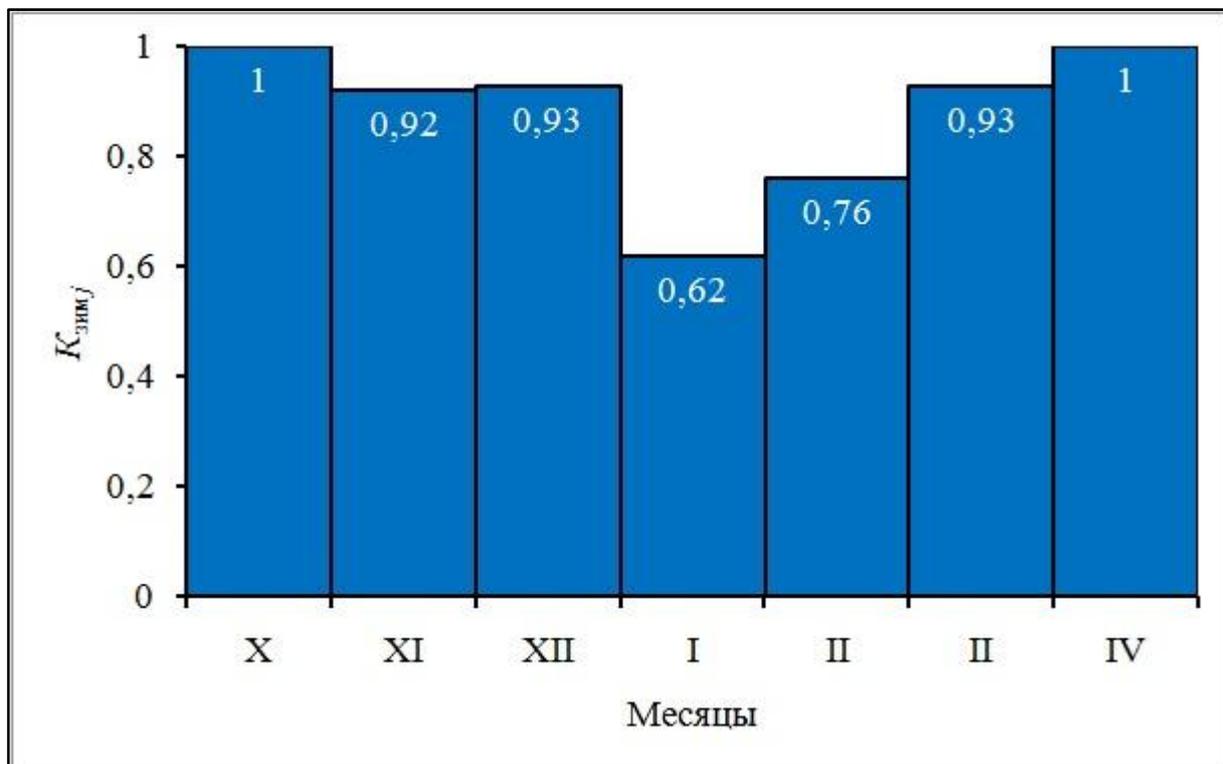


Рисунок 2.11 – Диаграмма изменения $K_{зимj}$

3 Восстановление ряда среднемесячных и среднегодовых расходов воды в реке

Следующим этапом работы было восстановление среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке по уравнению степенной зависимости $Q=f(H)$. Результаты расчета представлены в таблице 3.1.

3.1 Оценка расчетных среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке

Для оценки расчетных среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке из ежегодников выписаны среднемесячные и среднегодовые расходы воды по речному посту. Данные занесены в таблицу в приложение В. По этим данным построены сравнительные хронологические графики среднемесячных расходов воды за каждый год, среднегодовых расходов воды за период с 1962 по 1978 года, среднемесячных расходов воды за период с 1962 по 1978 года.

На рисунке 3.1 представлен сравнительный хронологический график среднегодовых расходов воды за период с 1962 по 1978 года, на рисунке 3.2 – сравнительный хронологический график среднемесячных расходов воды за период с 1962 по 1978 года, на рисунке 3.3 – сравнительный хронологический график среднемесячных расходов воды за маловодный 1973 год, а на рисунке 3.4 – сравнительный хронологический график среднемесячных расходов воды за многоводный 1962 год. Все остальные графики приведены в приложение Г.

Таблица 3.1 – Восстановление ряда среднемесячных расходов воды на реке

Год		Месяц												Среднее
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1962	<i>H</i>	1.12	1.08	1.03	1.07	1.37	1.28	1.46	1.48	1.37	1.35	1.32	1.37	1.27
	<i>Q</i>	16.1	18.6	19.7	24.1	35.9	32.2	39.9	40.7	35.9	35.1	31.1	33.4	30.2
1963	<i>H</i>	1.26	1.16	1.05	0.96	1.12	1.08	0.99	0.85	0.71	0.74	0.81	0.83	0.96
	<i>Q</i>	19.5	20.9	20.3	20.2	25.9	24.4	21.2	16.6	12.4	13.2	14.1	14.8	18.6
1964	<i>H</i>	0.82	0.80	0.74	0.70	0.92	0.90	0.77	0.65	0.56	0.58	0.65	0.73	0.74
	<i>Q</i>	9.69	11.4	11.5	12.1	18.8	18.2	14.1	10.7	8.42	8.91	9.86	12.0	12.2
1966	<i>H</i>	0.67	0.66	0.65	0.68	1.00	1.22	1.15	1.00	0.84	0.91	0.95	0.93	0.89
	<i>Q</i>	6.98	8.35	9.33	11.5	21.6	29.8	27.1	21.6	16.3	18.5	18.3	17.8	17.3
1967	<i>H</i>	0.88	0.83	0.77	0.84	1.15	1.13	1.01	0.83	0.72	0.66	0.76	0.80	0.86
	<i>Q</i>	10.9	12.1	12.3	16.3	27.1	26.3	21.9	15.9	12.7	11.0	12.7	14.0	16.1
1968	<i>H</i>	0.79	0.77	0.73	0.76	1.17	1.22	1.01	0.85	0.78	0.78	0.84	0.82	0.88
	<i>Q</i>	9.12	10.7	11.3	13.8	27.8	29.8	21.9	16.6	14.4	14.4	15.0	14.5	16.6
1969	<i>H</i>	0.76	0.69	0.63	0.61	0.83	0.82	0.66	0.51	0.47	0.54	0.60	0.73	0.65
	<i>Q</i>	8.57	8.98	8.87	9.67	15.9	15.6	11.0	7.23	6.34	7.94	8.66	12.0	10.1

продолжение таблицы 3.1

Год		Месяц												Среднее
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1970	<i>H</i>	0.75	0.74	0.69	0.66	0.95	0.91	0.72	0.58	0.52	0.58	0.66	0.67	0.70
	<i>Q</i>	8.39	10.1	10.3	11.0	19.8	18.5	12.7	8.91	7.47	8.91	10.1	10.5	11.4
1971	<i>H</i>	0.68	0.69	0.68	0.65	0.94	0.99	0.99	0.84	0.70	0.65	0.69	0.73	0.78
	<i>Q</i>	7.15	8.98	10.0	10.7	19.5	21.2	21.2	16.3	12.1	10.7	10.9	12.0	13.4
1972	<i>H</i>	0.74	0.72	0.67	0.66	0.85	0.88	0.76	0.60	0.48	0.43	0.46	0.58	0.65
	<i>Q</i>	8.20	9.62	9.80	11.0	16.6	17.5	13.8	9.42	6.56	5.48	5.63	8.29	10.2
1973	<i>H</i>	0.64	0.65	0.63	0.65	0.81	0.75	0.63	0.49	0.41	0.43	0.52	0.58	0.60
	<i>Q</i>	6.48	8.15	8.87	10.7	15.3	13.5	10.2	6.78	5.08	5.48	6.87	8.29	8.81
1974	<i>H</i>	0.59	0.62	0.61	0.60	0.82	0.92	0.83	0.72	0.60	0.54	0.60	0.72	0.68
	<i>Q</i>	5.68	7.55	8.42	9.42	15.6	18.8	15.9	12.7	9.42	7.94	8.66	11.8	11.0
1975	<i>H</i>	0.79	0.74	0.69	0.75	0.97	0.85	0.70	0.55	0.45	0.42	0.43	0.50	0.65
	<i>Q</i>	9.12	10.1	10.3	13.5	20.5	16.6	12.1	8.18	5.90	5.28	5.05	6.51	10.3
1976	<i>H</i>	0.55	0.56	0.55	0.56	0.71	0.81	0.84	0.88	0.96	0.89	0.80	0.74	0.74
	<i>Q</i>	5.07	6.40	7.11	8.42	12.4	15.3	16.3	17.5	20.2	17.9	13.8	12.31	12.7

продолжение таблицы 3.1

Год		Месяц												Среднее
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1977	<i>H</i>	0.72	0.67	0.63	0.61	0.83	0.90	0.78	0.70	0.63	0.68	0.82	0.86	0.74
	<i>Q</i>	7.85	8.56	8.87	9.67	15.9	18.2	14.4	12.1	10.2	11.5	14.4	15.7	12.3
1978	<i>H</i>	0.82	0.74	0.68	0.67	0.73	0.66	0.61	0.61	0.73	0.77	0.78	0.80	0.72
	<i>Q</i>	9.69	10.1	10.0	11.3	12.9	11.0	9.67	9.67	12.9	14.1	13.3	14.0	11.6

3.2 Оценка погрешности расчета среднемесячных и среднегодовых расходов воды на реке

Для оценки погрешности среднемесячных и среднегодовых расходов воды были посчитаны отклонения по формуле 3.2. По таблице из приложения В посчитано соотношение рассчитанных и фактических расходов воды и построены графики: рисунок 3.5 – зависимость $Q_{изм} = f(Q_{расч})$, рисунок 3.6 – распределение относительных ошибок рассчитанных расходов воды (средние, максимум минус и максимум плюс) и на рисунок 3.7 – хронологический график распределения соотношения рассчитанных и фактических расходов воды.

$$\sigma = \frac{Q_{граф} - Q_{изм}}{Q_{изм}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где:

σ – отклонение среднемесячных и среднегодовых расходов

Результаты расчета среднемесячных и среднегодовых расходов представлены в таблице 3.2, а точность расчетов в таблице 3.3

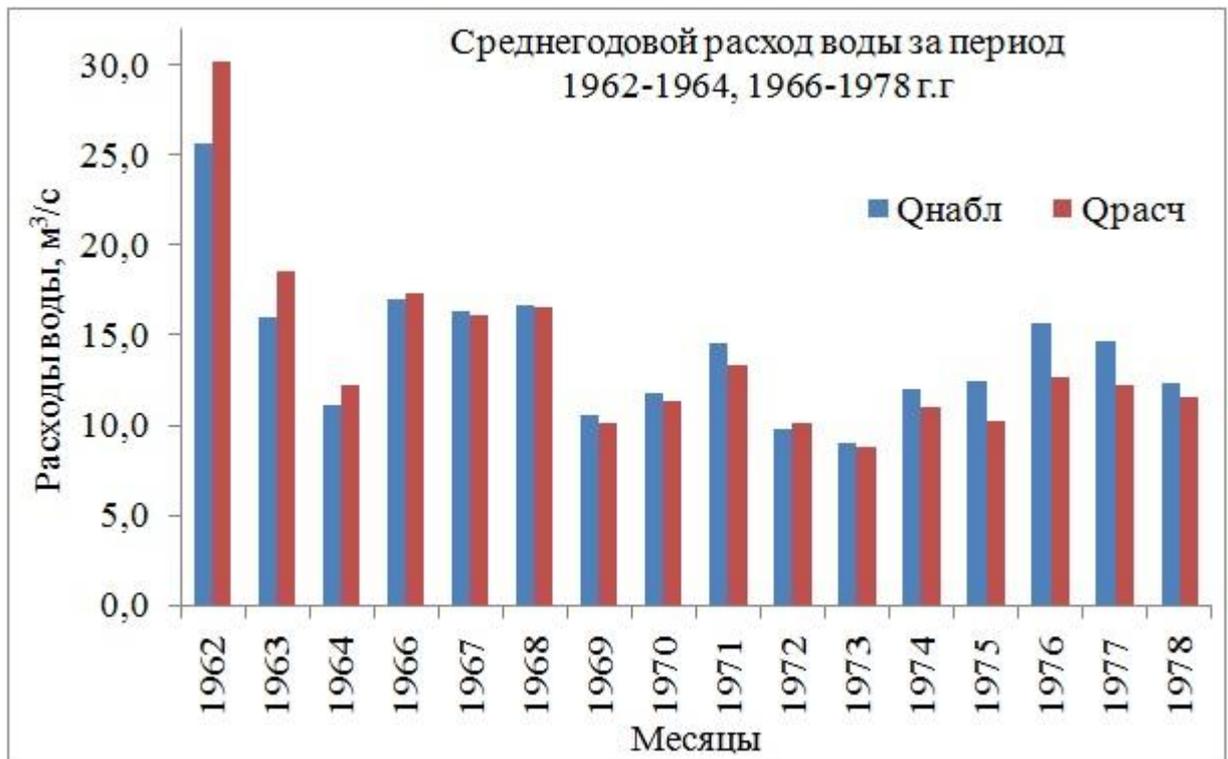


Рисунок 3.1 – Сравнительный хронологический график среднегодовых расходов воды за период с 1962 по 1978 года

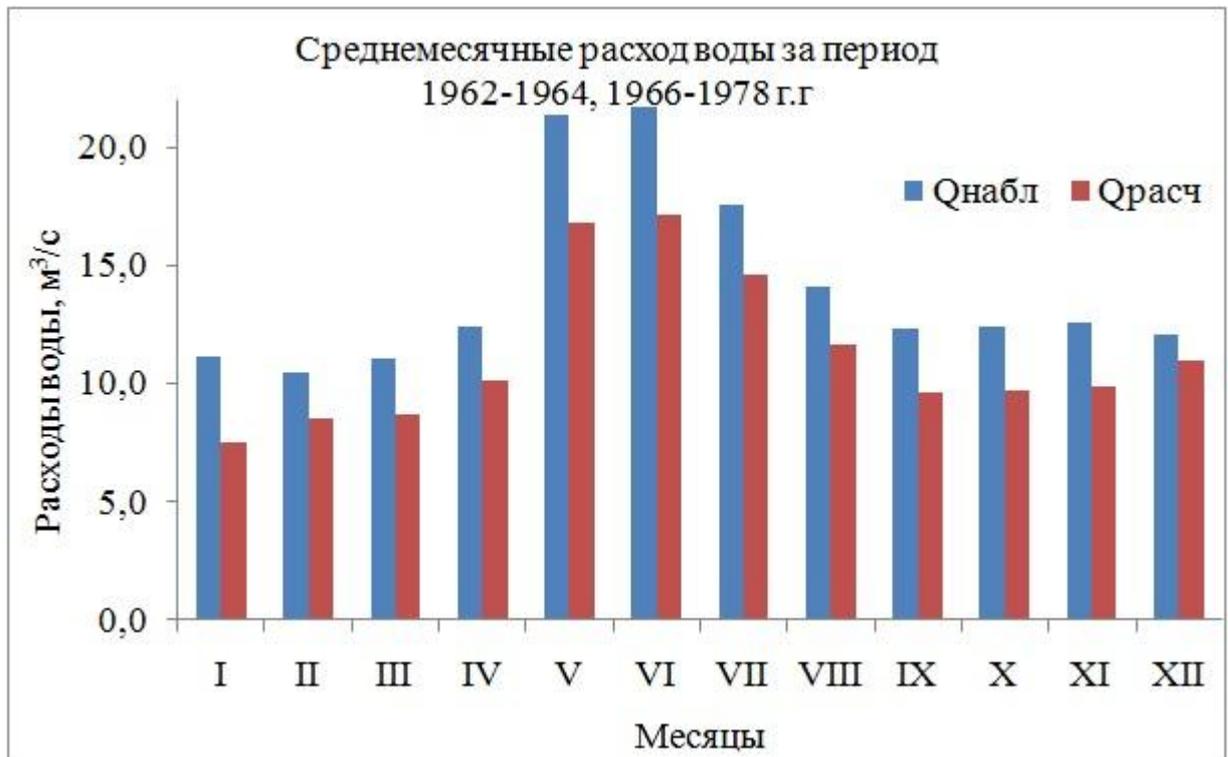


Рисунок 3.2 – Сравнительный хронологический график среднемесячных расходов воды за период с 1962 по 1978 года

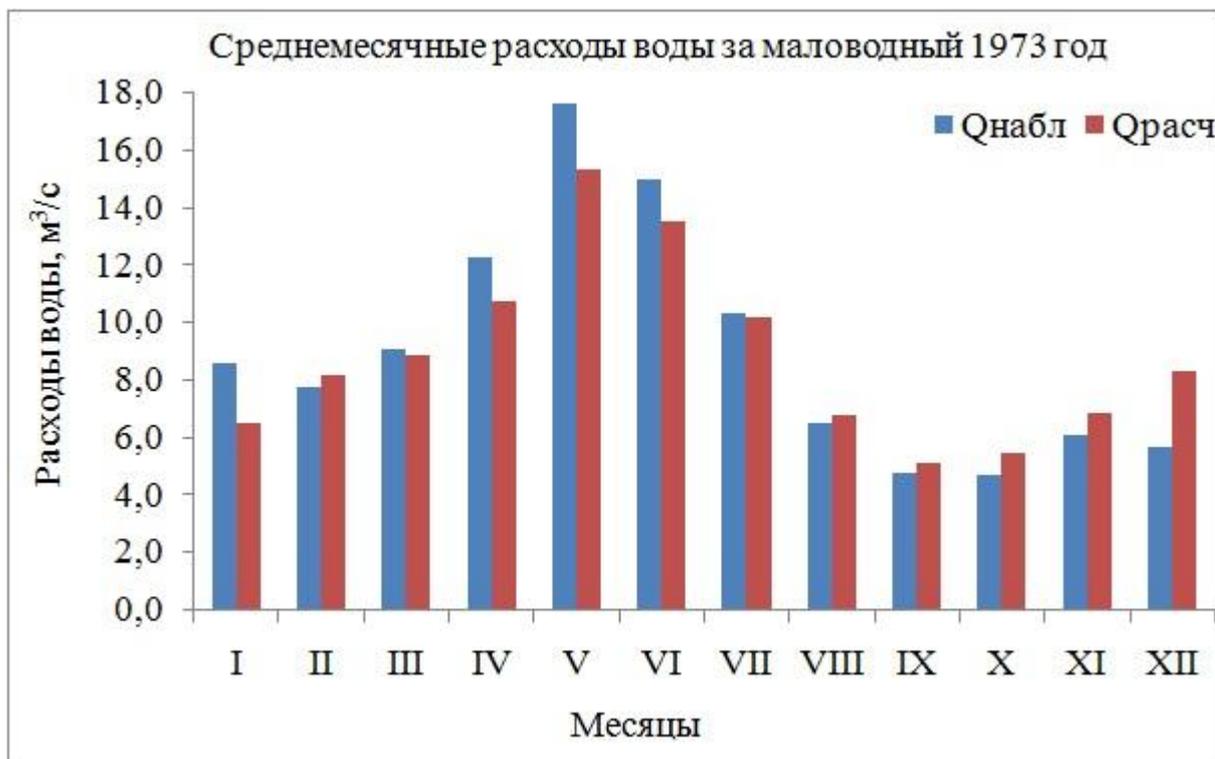


Рисунок 3.3 – Сравнительный хронологический график среднемесячных расходов воды за маловодный 1973 год

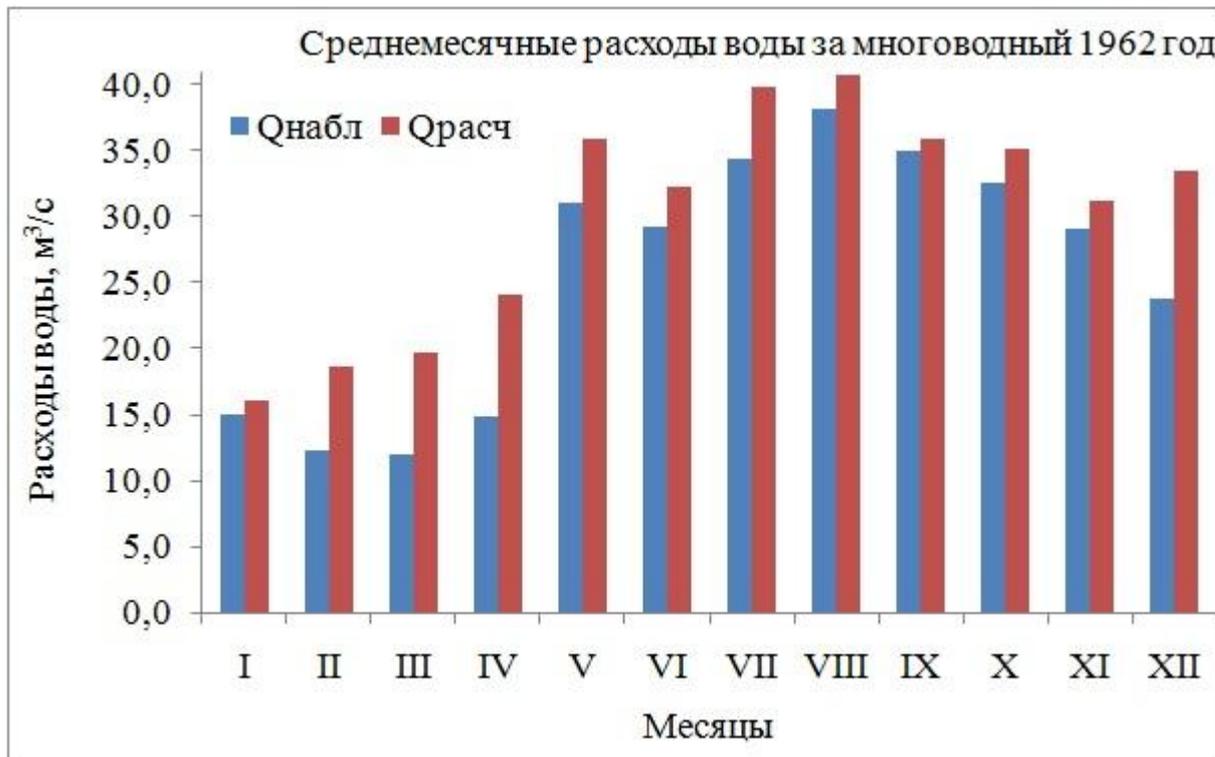


Рисунок 3.4 – Сравнительный хронологический график среднемесячных расходов воды за многоводный 1962 год

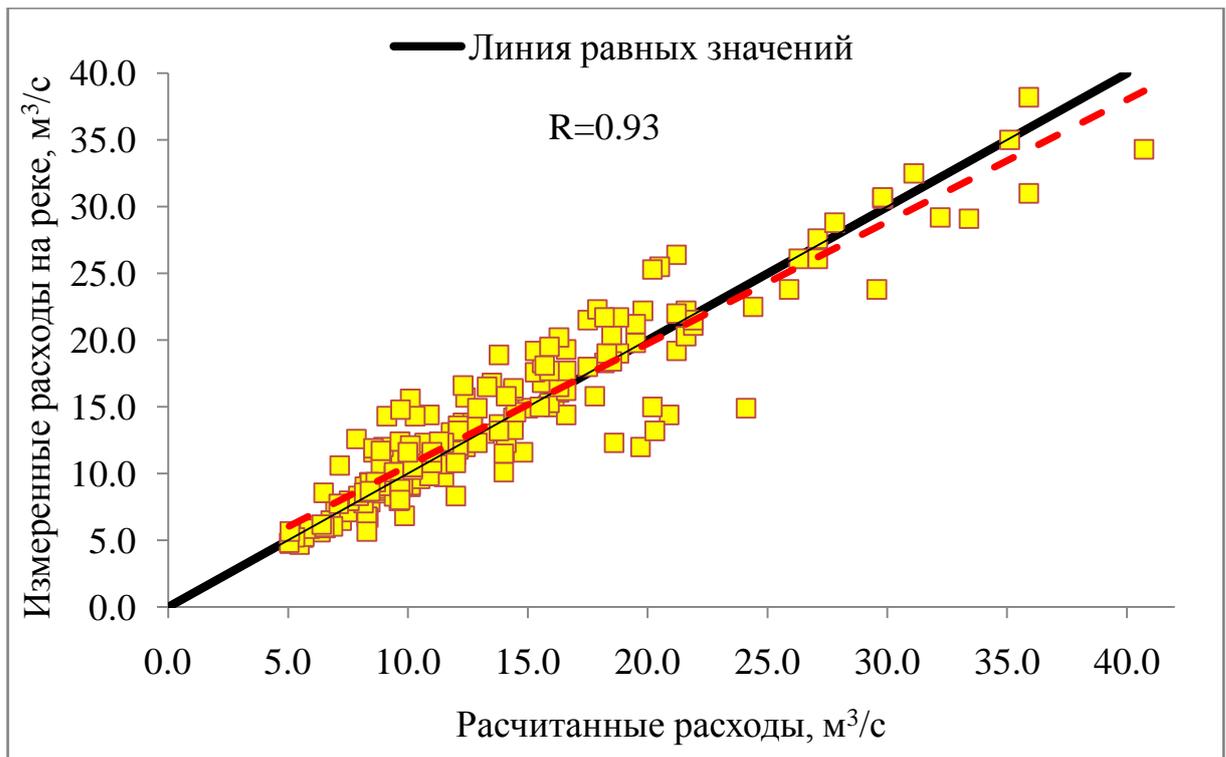


Рисунок 3.5 – Зависимость $Q_{изм} = f(Q_{расч})$

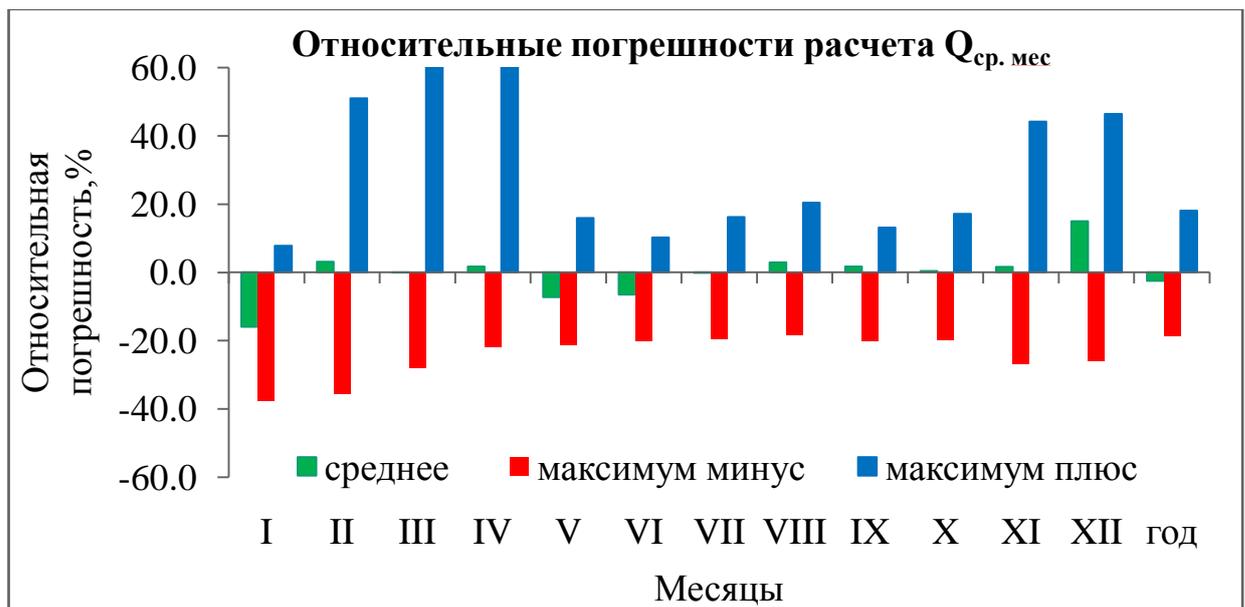


Рисунок 3.6 – Распределение относительных ошибок рассчитанных расходов воды (среднее, максимум минус и максимум плюс)

Таблица 3.2 – Результаты расчета отклонения среднемесячных и среднегодовых расходов

Год	Месяц												Среднее годовое
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1962	7.15	51.0	64.1	61.6	16.0	10.3	16.2	6.67	2.71	8.00	7.00	40.5	18.1
1963	-1.73	44.8	53.9	34.6	8.93	8.62	10.5	15.1	3.12	1.80	5.21	27.8	16.2
1964	-12.7	15.8	18.2	2.48	-0.84	-0.65	14.8	2.12	6.98	4.61	44.2	44.7	8.69
1966	-9.55	24.7	-7.64	7.82	-2.84	-2.67	3.68	6.26	0.34	0.60	-3.90	12.9	1.58
1967	-24.5	-6.80	-11.0	0.96	-1.96	0.77	3.89	4.20	2.08	-2.73	-7.87	21.5	-1.69
1968	-1.16	1.20	-6.93	0.87	-3.38	-2.99	1.96	2.29	1.50	8.37	0.37	-0.43	-0.24
1969	-26.1	-11.1	-14.7	-2.20	-7.31	-6.95	-4.42	11.6	13.1	1.89	-0.54	5.60	-5.18
1970	-10.5	11.5	-5.71	-6.05	-10.6	-9.27	-6.92	0.26	4.71	-2.70	10.8	9.00	-3.19
1971	-32.5	-25.2	-12.0	-4.26	-7.97	-19.6	-3.54	-1.48	-0.06	3.10	10.6	11.5	-7.80
1972	-9.04	21.0	7.21	1.77	-6.38	-2.61	4.69	13.6	10.6	6.50	8.05	22.4	4.05
1973	-24.3	4.75	-2.45	-12.8	-12.9	-9.83	-1.04	4.46	6.66	17.2	13.5	46.4	-2.32
1974	7.80	-5.18	-9.51	-4.30	-14.6	-13.2	-9.93	-6.92	-6.76	-4.83	-7.54	-10.1	-8.75
1975	-36.2	-35.5	-28.1	-19.5	-19.5	-14.1	-11.1	-4.70	0.59	1.14	4.69	8.58	-17.9
1976	-10.6	3.54	-8.09	-3.00	-21.2	-20.2	-19.5	-18.5	-20.2	-19.9	-26.9	-25.9	-18.8

продолжение таблицы 3.2

Год	Месяц												Среднее годовое
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1977	-37.7	-28.1	-24.2	-22.0	-18.2	-16.2	-11.0	-8.39	-2.93	-6.20	-12.3	-13.2	-16.5
1978	-34.5	-16.9	-13.5	-9.17	-13.1	-5.24	9.54	20.5	5.24	-10.7	-19.6	38.3	-6.94
Среднее	-16.0	3.10	-0.03	1.67	-7.25	-6.49	-0.14	2.94	1.73	0.38	1.61	15.0	-2.54
Максимум минус	-37.7	-35.5	-28.1	-22.0	-21.2	-20.2	-19.5	-18.5	-20.2	-19.9	-26.9	-25.9	-18.8
Максимум плюс	7.80	51.0	64.1	61.6	16.0	10.3	16.2	20.5	13.1	17.2	44.2	46.4	18.1

Таблица 3.3 – Соотношение рассчитанных и фактических расходов

Год	Месяц												Среднее
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1962	1.07	1.51	1.64	1.62	1.16	1.10	1.16	1.07	1.03	1.08	1.07	1.40	1.18
1963	0.98	1.45	1.54	1.35	1.09	1.09	1.11	1.15	1.03	1.02	1.05	1.28	1.16
1964	0.87	1.16	1.18	1.02	0.99	0.99	1.15	1.02	1.07	1.05	1.44	1.45	1.09
1966	0.90	1.25	0.92	1.08	0.97	0.97	1.04	1.06	1.00	1.01	0.96	1.13	1.02
1967	0.75	0.93	0.89	1.01	0.98	1.01	1.04	1.04	1.02	0.97	0.92	1.21	0.98

продолжение таблицы 3.2

Год	Месяц												Среднее
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1968	0.99	1.01	0.93	1.01	0.97	0.97	1.02	1.02	1.02	1.08	1.00	1.00	1.00
1969	0.74	0.89	0.85	0.98	0.93	0.93	0.96	1.12	1.13	1.02	0.99	1.06	0.95
1970	0.89	1.12	0.94	0.94	0.89	0.91	0.93	1.00	1.05	0.97	1.11	1.09	0.97
1971	0.67	0.75	0.88	0.96	0.92	0.80	0.96	0.99	1.00	1.03	1.11	1.11	0.92
1972	0.91	1.21	1.07	1.02	0.94	0.97	1.05	1.14	1.11	1.06	1.08	1.22	1.04
1973	0.76	1.05	0.98	0.87	0.87	0.90	0.99	1.04	1.07	1.17	1.14	1.46	0.98
1974	1.08	0.95	0.90	0.96	0.85	0.87	0.90	0.93	0.93	0.95	0.92	0.90	0.91
1975	0.64	0.64	0.72	0.81	0.81	0.86	0.89	0.95	1.01	1.01	1.05	1.09	0.82
1976	0.89	1.04	0.92	0.97	0.79	0.80	0.80	0.82	0.80	0.80	0.73	0.74	0.81
1977	0.62	0.72	0.76	0.78	0.82	0.84	0.89	0.92	0.97	0.94	0.88	0.87	0.84
1978	0.65	0.83	0.87	0.91	0.87	0.95	1.10	1.20	1.05	0.89	0.80	1.38	0.93

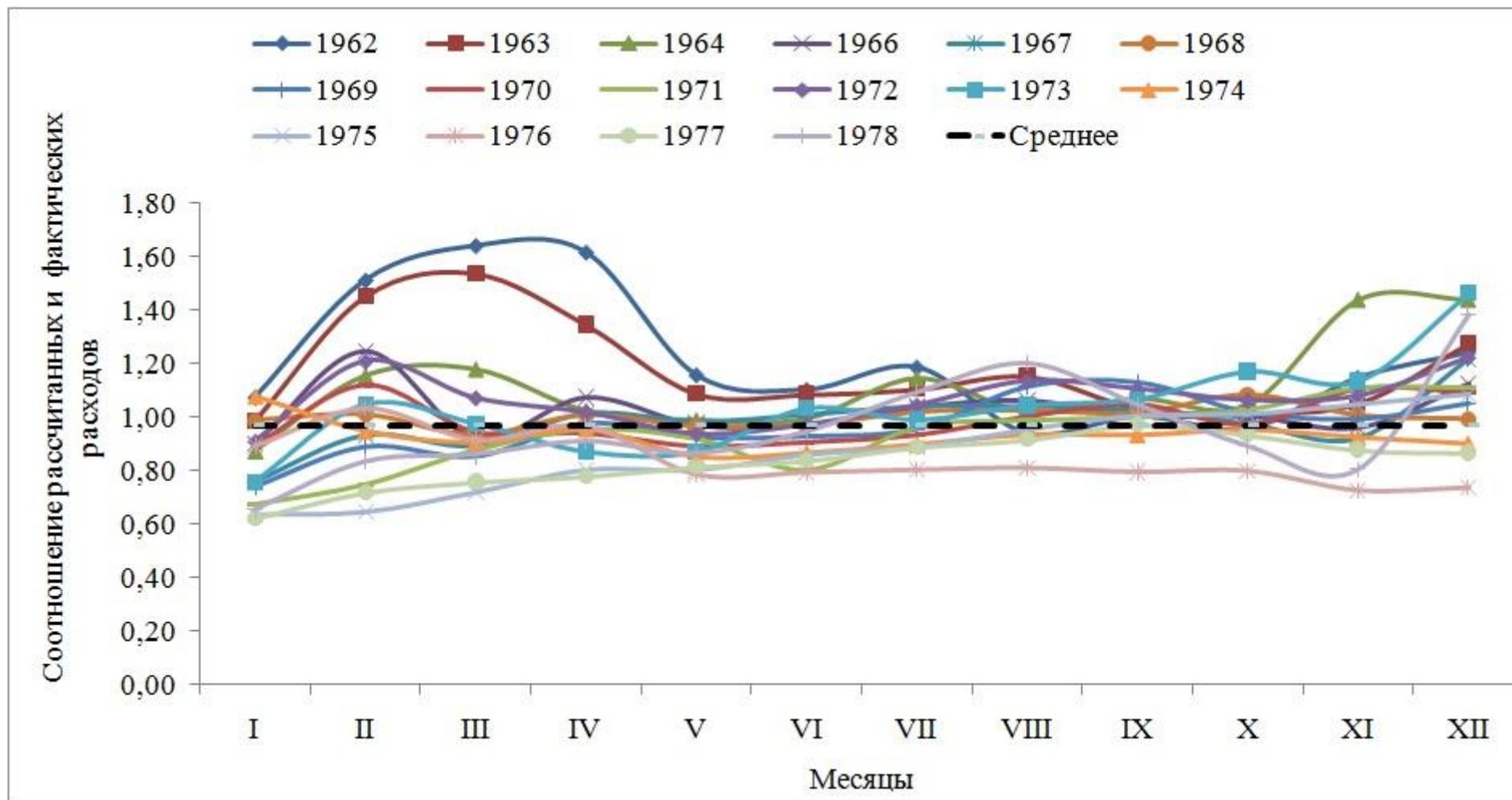


Рисунок 3.7 – Хронологический график распределения соотношения рассчитанных и фактических расходов

Заключение

В целом можно сделать вывод, что использование данных наблюдений за уровнем воды в озере могут использоваться для восстановления рядов стока на реке, вытекающей из озера. С этой целью необходимо провести наблюдения за расходами воды на истоки из озера, обеспечивающей построение кривой стока.

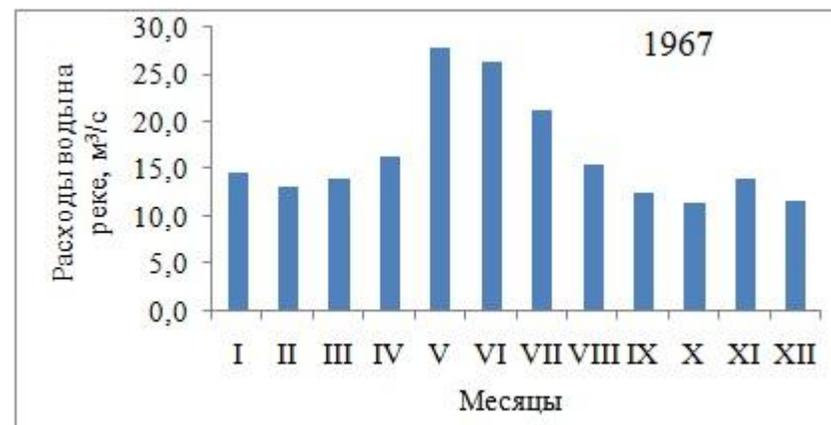
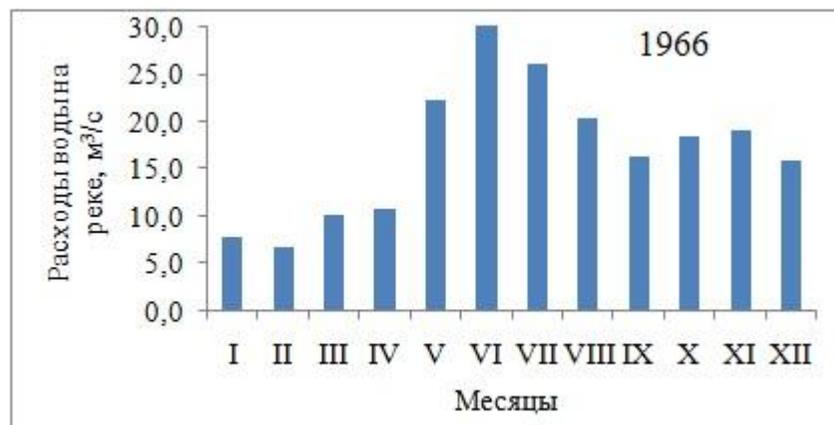
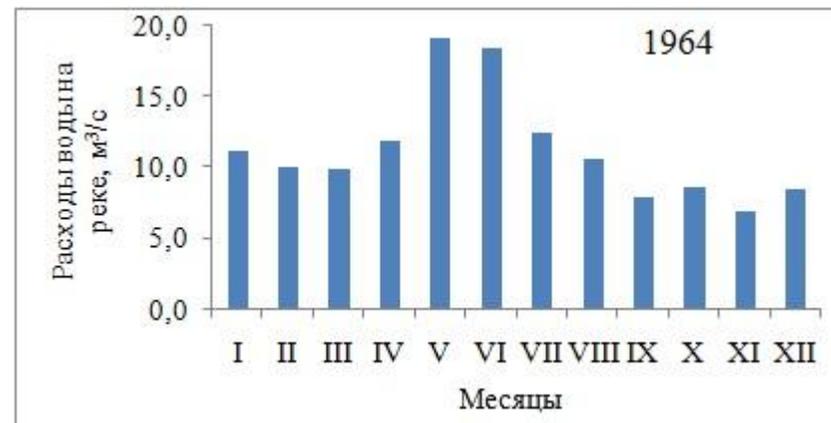
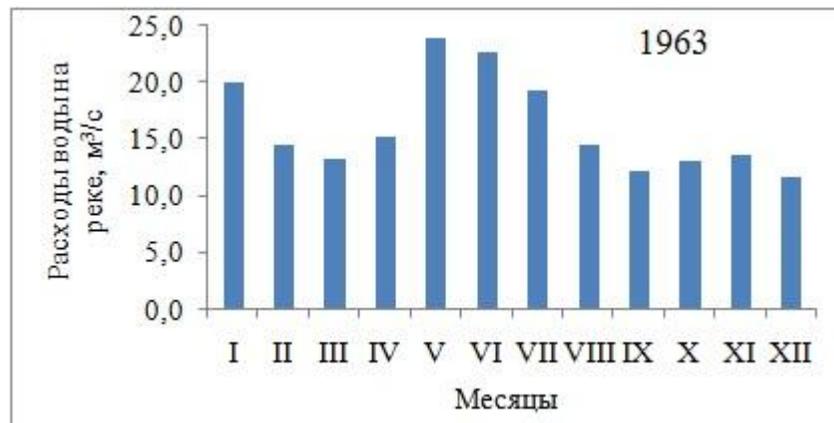
Результат работы показывает, что для этого достаточно провести измерения в течение одного года. Точность расчетов может при этом составлять 79 %. При этом максимальная погрешность составляет 139 %, а минимальная – 49 %.

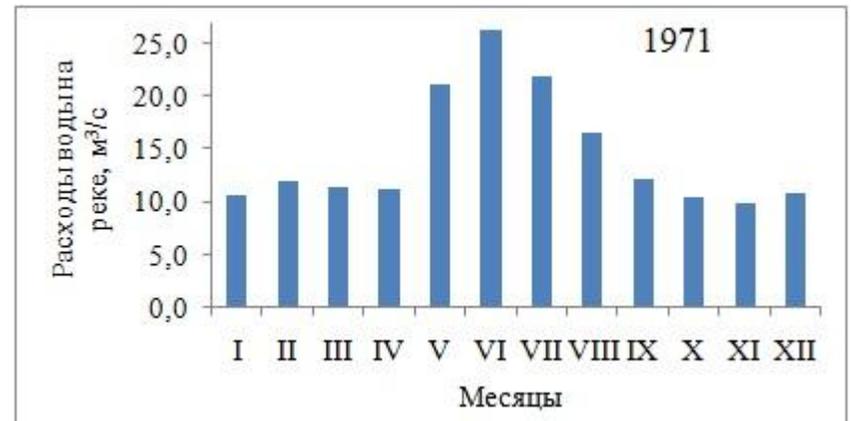
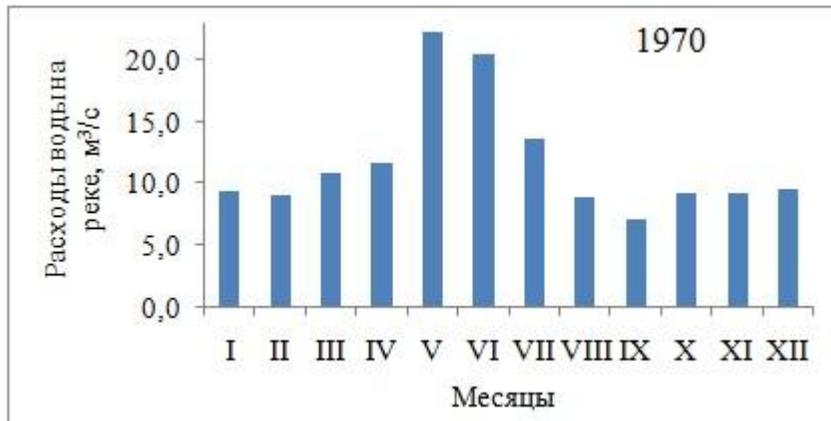
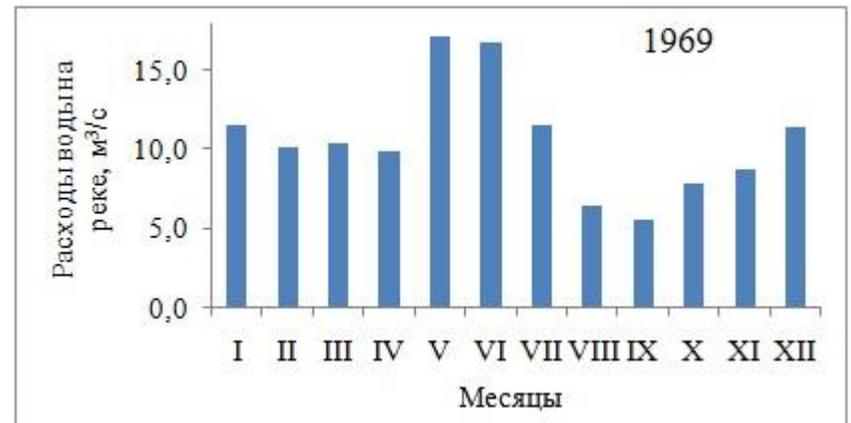
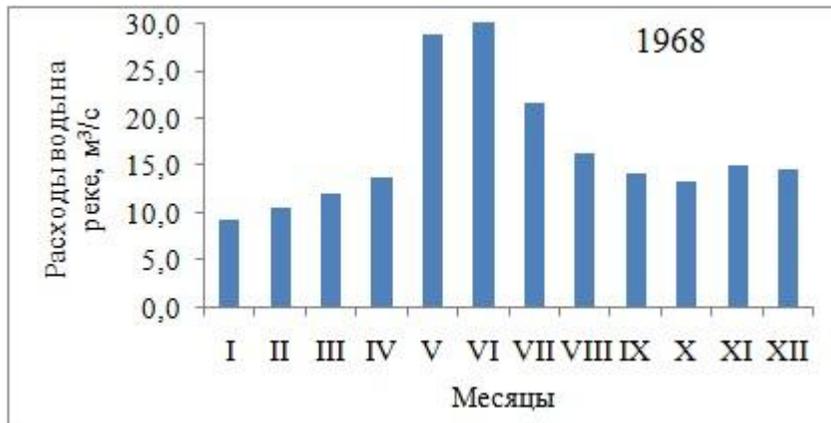
По всей видимости, для повышения точности восстановленных значений среднемесячного стока, следует рекомендовать проведение наблюдений за стоком не один год, и продолжительный период, в который бы входили и многоводные и маловодные годы.

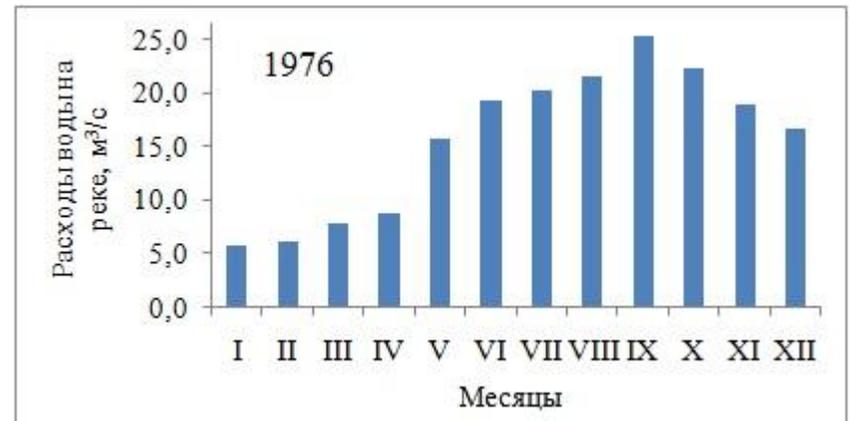
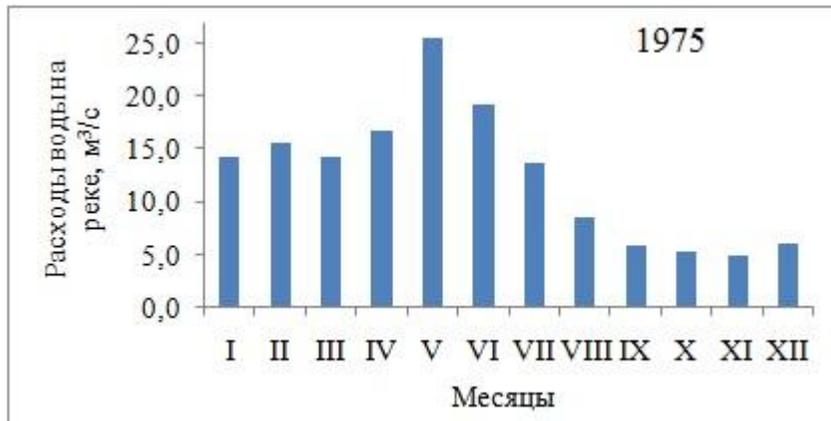
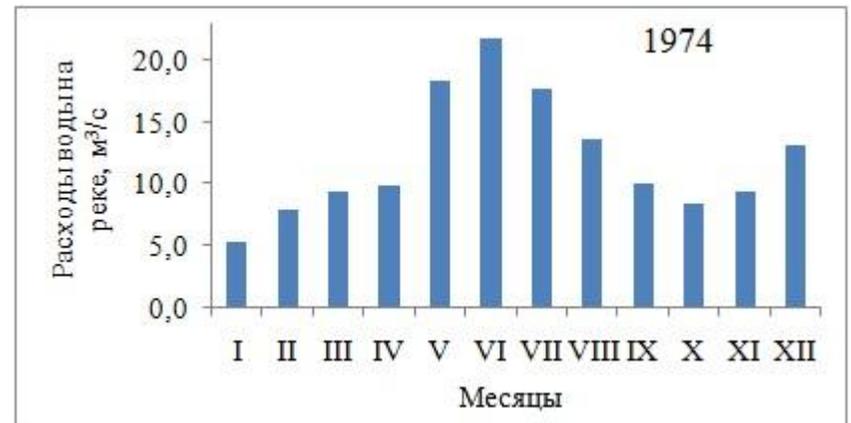
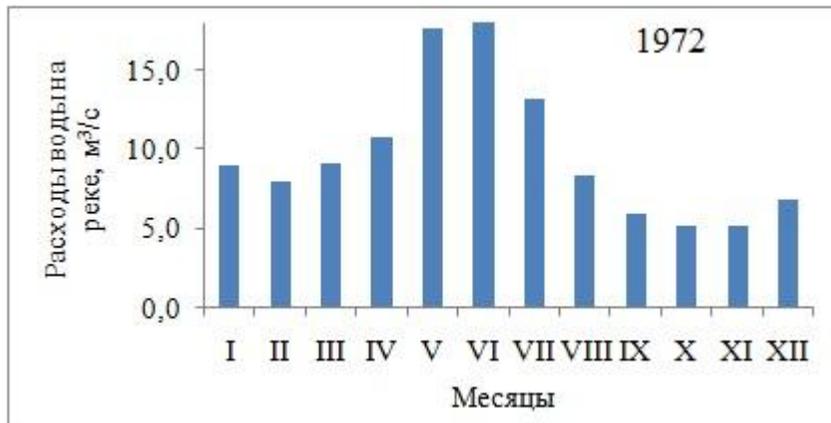
Список использованной литературы

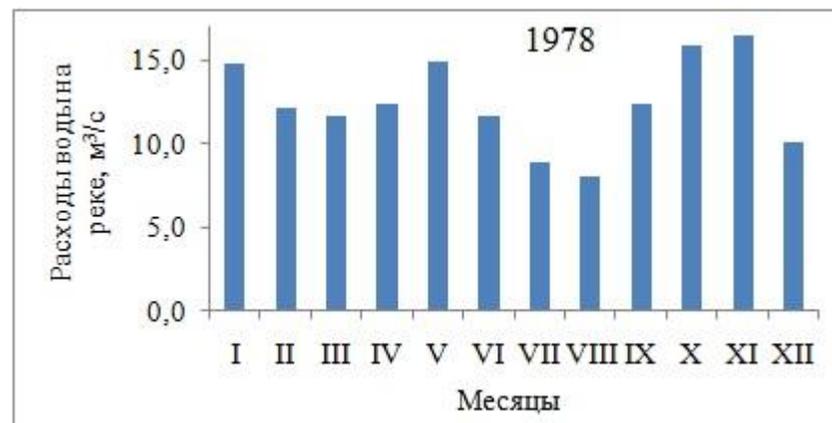
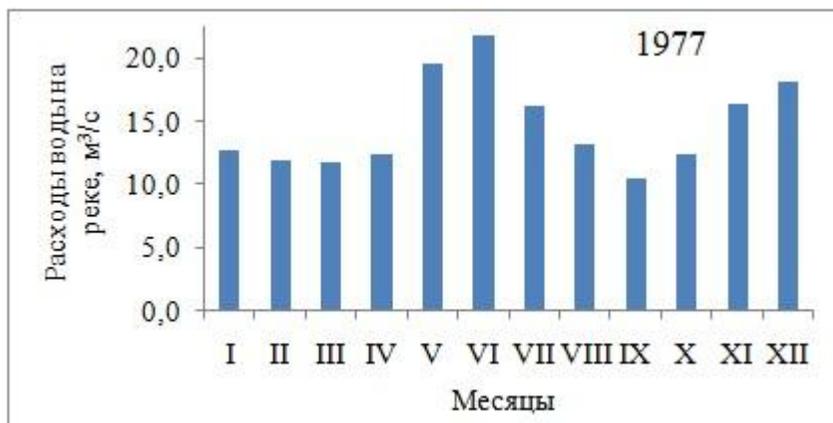
- 1 Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Часть 1. Реки и каналы. Том 1. Бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3. Бассейн Финского и Рижского заливов Балтийского моря – Л.: Гидрометеиздат, 1962-1964; 1966-1978.
- 2 Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Часть 2. Озера и водохранилища. Том 1. Бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3. Бассейн Финского и Рижского заливов Балтийского моря – Л.: Гидрометеиздат, 1962- 1964; 1966-1978.
- 4 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Часть 1 – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
- 5 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Часть 3. Гидрографическое описание рек и озер – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
- 6 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики Том 2. Карелия и Северо-Запад. – Л.: Гидрометеиздат, 1967.
- 7 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 2. Бассейн Финского и Рижского заливов Балтийского моря – Л.: Гидрометеиздат, 1967.
- 8 Чугаев, А.А. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982
- 9 Лучшева, А.А. Практическая гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1983.

Приложение А – Хронологические графики среднемесячных расходов воды на реке Сяньга в д. Чуралахта

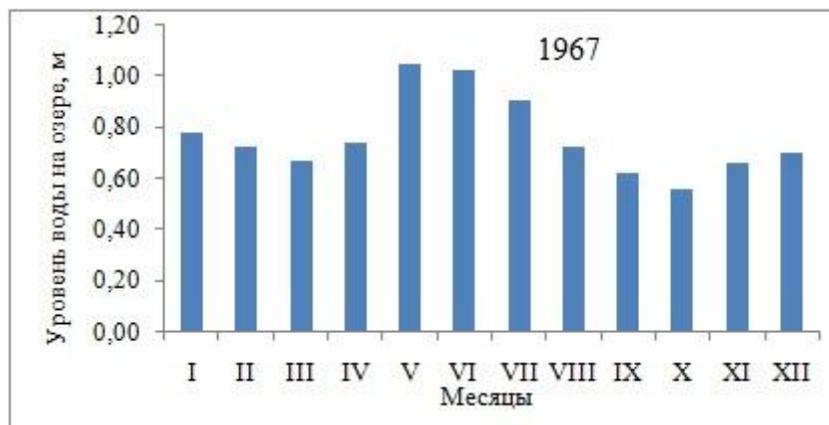
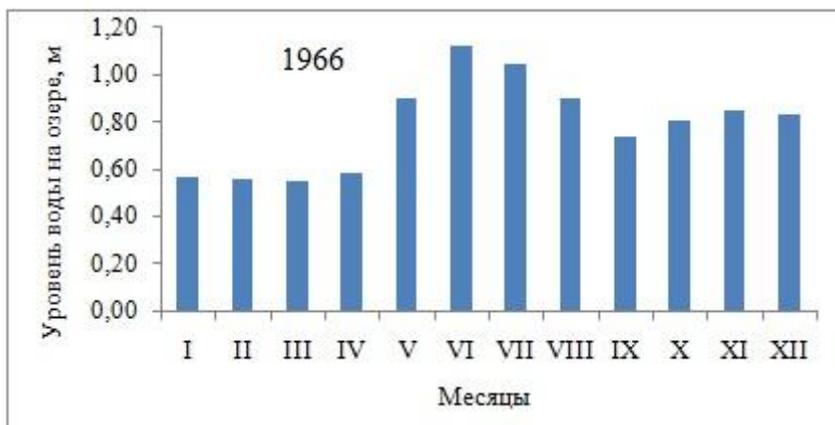
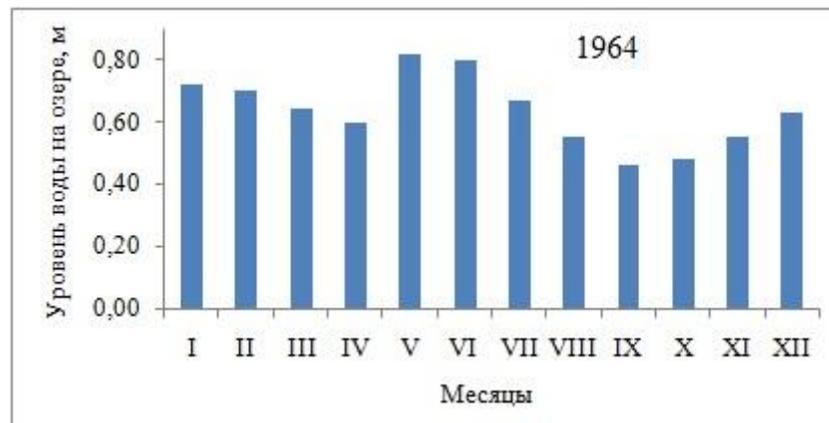
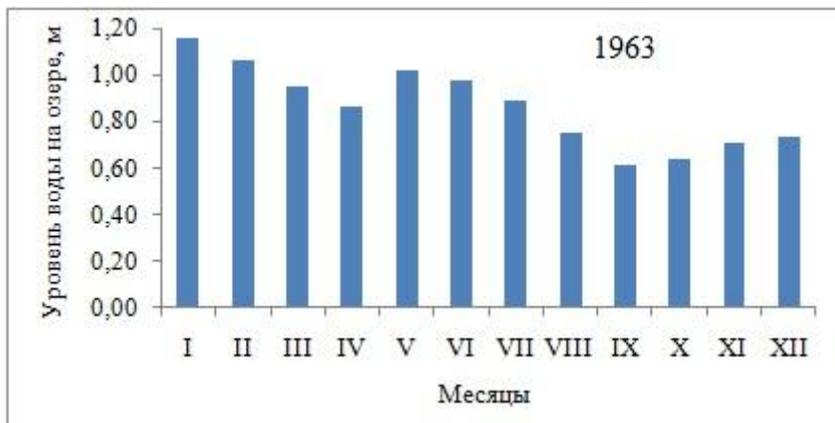


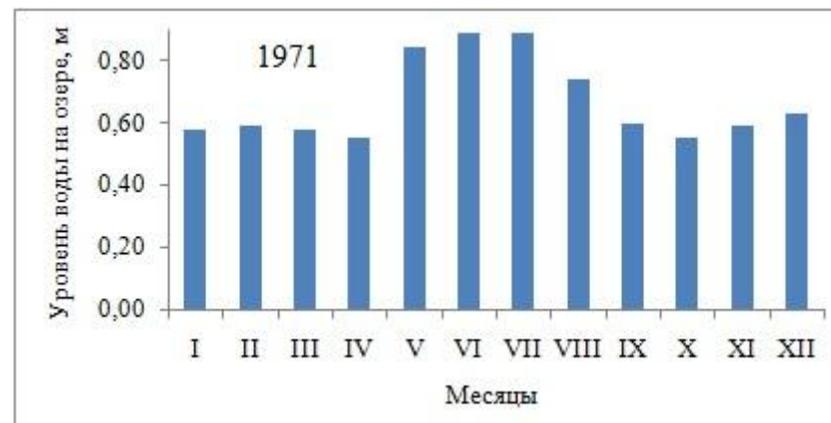
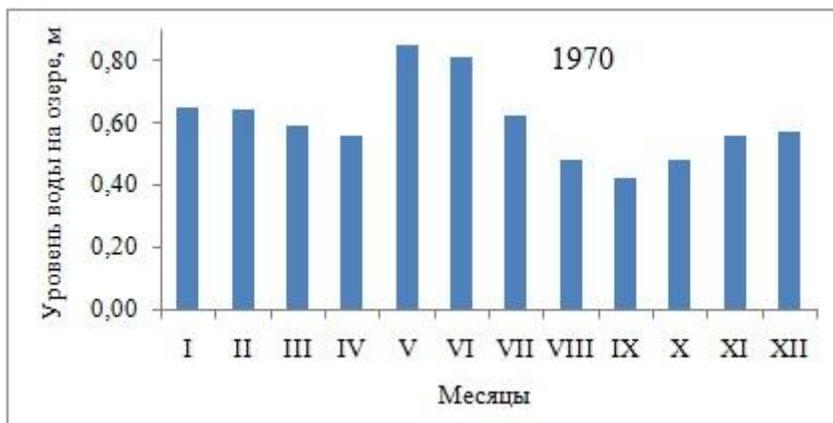
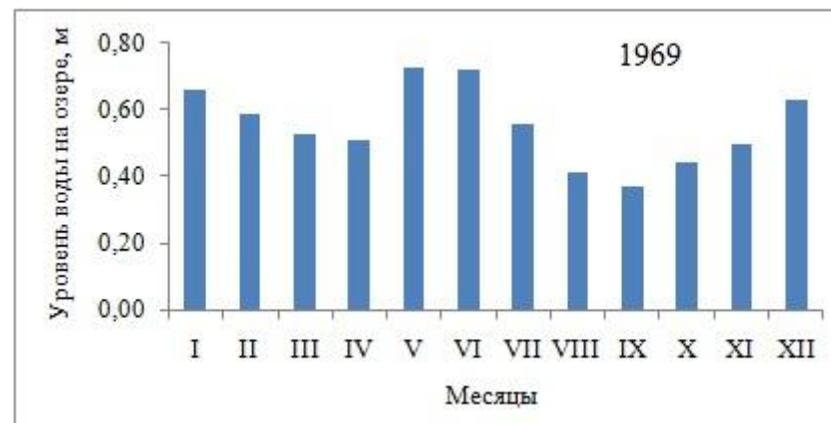
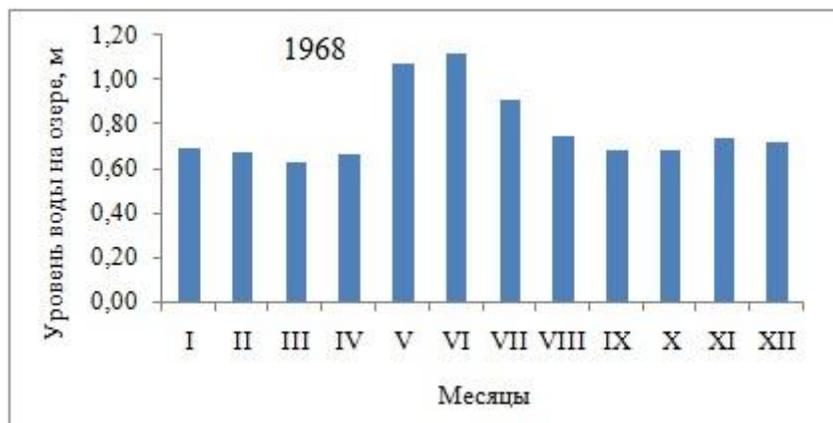


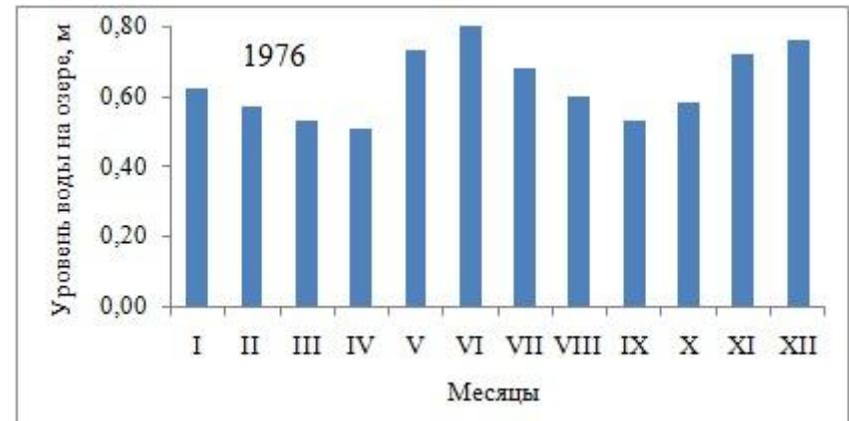
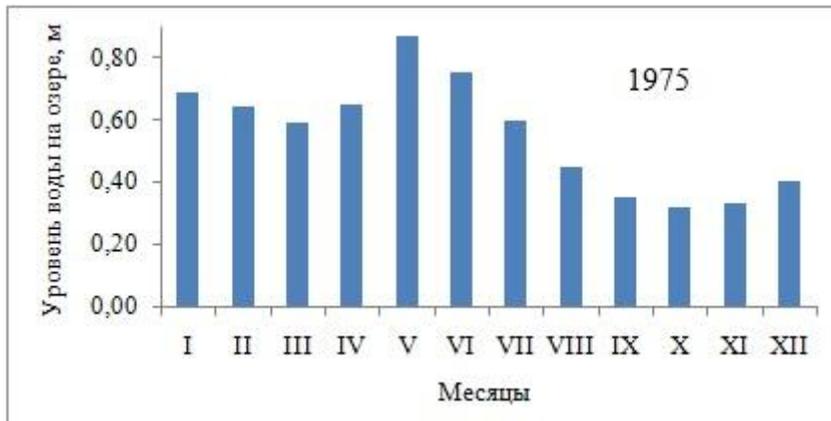
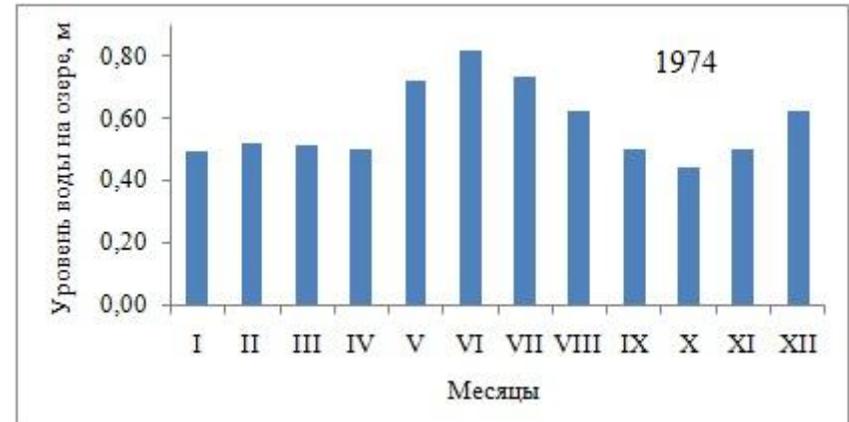
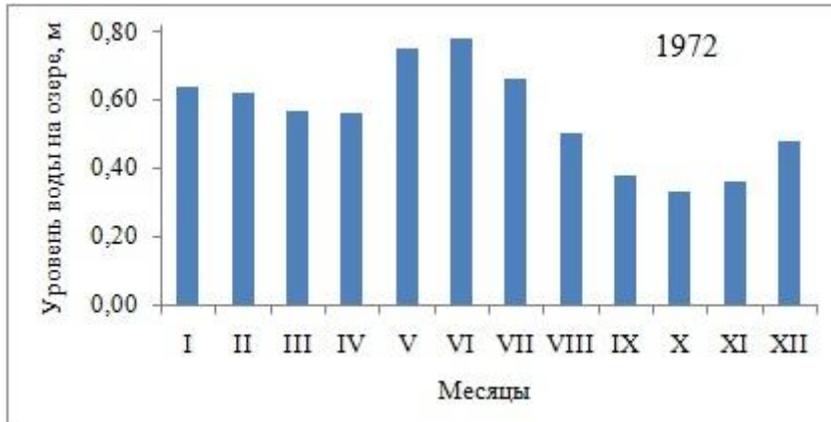


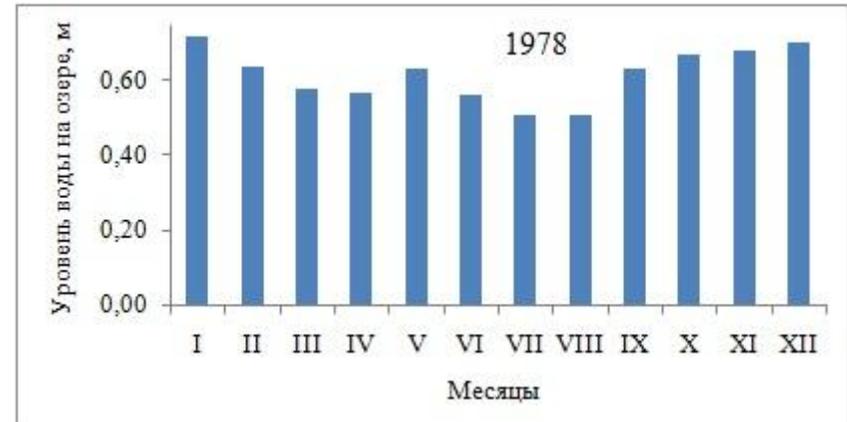
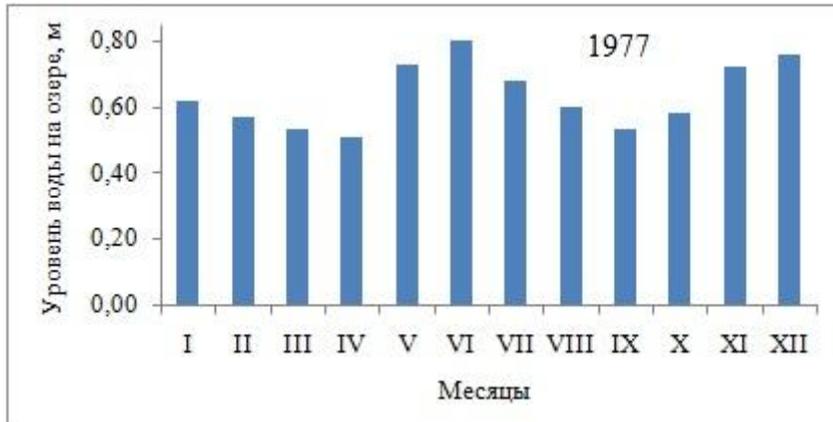


Приложение Б – Хронологические графики среднемесячных уровней воды на озере Сямозере в пос. Сяпся









Приложение В – Сравнение рассчитанных среднемесячных расходов вода и среднемесячных расходов наблюдаемых на реке Сяньга в д. Чурахлахта

Год		Месяц												Среднее
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1962	$Q_{\text{набл}}$	15.0	12.3	12.0	14.9	31.0	29.2	34.3	38.2	35.0	32.5	29.1	23.8	25.6
	$Q_{\text{расч}}$	16.1	18.6	19.7	24.1	35.9	32.2	39.9	40.7	35.9	35.1	31.1	33.4	30.2
1963	$Q_{\text{набл}}$	19.8	14.4	13.2	15.0	23.8	22.5	19.2	14.4	12.0	13.0	13.4	11.6	16.0
	$Q_{\text{расч}}$	19.5	20.9	20.3	20.2	25.9	24.4	21.2	16.6	12.4	13.2	14.1	14.8	18.6
1964	$Q_{\text{набл}}$	11.1	9.86	9.74	11.8	19.0	18.3	12.3	10.5	7.87	8.52	6.84	8.32	11.2
	$Q_{\text{расч}}$	9.69	11.4	11.5	12.1	18.8	18.2	14.1	10.7	8.42	8.91	9.86	12.0	12.2
1966	$Q_{\text{набл}}$	7.72	6.70	10.1	10.7	22.2	30.6	26.1	20.3	16.2	18.4	19.0	15.8	17.0
	$Q_{\text{расч}}$	6.98	8.35	9.33	11.5	21.6	29.8	27.1	21.6	16.3	18.5	18.3	17.8	17.3
1967	$Q_{\text{набл}}$	14.4	13.0	13.8	16.1	27.6	26.1	21.1	15.3	12.4	11.3	13.8	11.5	16.4
	$Q_{\text{расч}}$	10.9	12.1	12.3	16.3	27.1	26.3	21.9	15.9	12.7	11.0	12.7	14.0	16.1
1968	$Q_{\text{набл}}$	9.23	10.6	12.1	13.7	28.8	30.7	21.5	16.2	14.2	13.3	14.9	14.6	16.7
	$Q_{\text{расч}}$	9.12	10.7	11.3	13.8	27.8	29.8	21.9	16.6	14.4	14.4	15.0	14.5	16.6
1969	$Q_{\text{набл}}$	11.6	10.1	10.4	9.89	17.2	16.8	11.5	6.48	5.60	7.79	8.71	11.4	10.6
	$Q_{\text{расч}}$	8.57	8.98	8.87	9.67	15.9	15.6	11.0	7.23	6.34	7.94	8.66	12.0	10.1

Продолжение приложения В

Год		Месяц												Среднее
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1970	$Q_{\text{набл}}$	9.37	9.02	10.9	11.7	22.2	20.4	13.6	8.89	7.13	9.16	9.13	9.61	11.8
	$Q_{\text{расч}}$	8.39	10.1	10.3	11.0	19.8	18.5	12.66	8.91	7.47	8.91	10.1	10.5	11.4
1971	$Q_{\text{набл}}$	10.6	12.0	11.4	11.2	21.2	26.4	22.0	16.5	12.1	10.4	9.83	10.8	14.5
	$Q_{\text{расч}}$	7.15	8.98	10.0	10.7	19.5	21.2	21.2	16.3	12.1	10.7	10.9	12.0	13.4
1972	$Q_{\text{набл}}$	9.02	7.95	9.14	10.8	17.7	18.0	13.2	8.29	5.93	5.15	5.21	6.77	9.76
	$Q_{\text{расч}}$	8.20	9.62	9.80	11.0	16.6	17.5	13.8	9.42	6.56	5.48	5.63	8.29	10.2
1973	$Q_{\text{набл}}$	8.56	7.78	9.09	12.3	17.6	15.0	10.3	6.49	4.76	4.68	6.05	5.66	9.02
	$Q_{\text{расч}}$	6.48	8.15	8.87	10.7	15.3	13.5	10.19	6.78	5.08	5.48	6.87	8.29	8.81
1974	$Q_{\text{набл}}$	5.27	7.96	9.30	9.84	18.3	21.7	17.7	13.6	10.1	8.34	9.37	13.1	12.0
	$Q_{\text{расч}}$	5.68	7.55	8.42	9.42	15.6	18.8	15.9	12.7	9.42	7.94	8.66	11.77	11.0
1975	$Q_{\text{набл}}$	14.3	15.6	14.3	16.8	25.5	19.3	13.6	8.58	5.87	5.22	4.82	6.00	12.5
	$Q_{\text{расч}}$	9.12	10.1	10.3	13.5	20.5	16.6	12.1	8.18	5.90	5.28	5.05	6.51	10.3
1976	$Q_{\text{набл}}$	5.67	6.18	7.74	8.68	15.7	19.2	20.2	21.5	25.3	22.3	18.9	16.6	15.7
	$Q_{\text{расч}}$	5.07	6.40	7.11	8.42	12.4	15.3	16.3	17.5	20.2	17.9	13.8	12.3	12.7
1977	$Q_{\text{набл}}$	12.6	11.9	11.7	12.4	19.5	21.7	16.2	13.2	10.5	12.3	16.4	18.1	14.7
	$Q_{\text{расч}}$	7.85	8.56	8.87	9.67	15.9	18.2	14.4	12.1	10.2	11.5	14.4	15.7	12.3
1978	$Q_{\text{набл}}$	14.8	12.1	11.6	12.4	14.9	11.6	8.83	8.03	12.3	15.8	16.5	10.1	12.4
	$Q_{\text{расч}}$	9.69	10.1	10.0	11.3	12.9	11.0	9.67	9.67	12.9	14.12	13.3	14.0	11.6

Приложение Г – Сравнительные хронологические графики среднемесячных расходов воды измеренных и вычисленных

