



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

Кафедра гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Водный режим реки Пчевжа**
в современных условиях

Исполнитель

Шаймарданова Сабина Радиковна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

(ученая степень, ученое звание)

Винокуров Игорь Олегович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«20» июня 2017г.

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

	Введение	3
1	Физико-географическая и климатическая характеристика района	5
1.1	Рельеф	5
1.2	Геологическое строение	7
1.3	Почвенный покров	9
1.4	Растительный покров	13
1.5	Климат	16
1.6	Многолетнее распределение метеорологических характеристик	19
2	Методы обработки рядов гидрологических наблюдений	21
3	Годовой сток	33
3.1	Построение хронологического графика	35
3.2	Построение разностно-интегральной кривой	35
3.3	Квантильный анализ	36
3.4	Проверка рядов гидрологических наблюдений на случайность	37
3.5	Проверка рядов гидрологических наблюдений на однородность	37
3.6	Гидрологические характеристики и их погрешности	39
3.7	Построение эмпирических и аналитических кривых	41
4	Максимальный сток	43
4.1	Построение хронологического графика	43
4.2	Проверка рядов гидрологических наблюдений на случайность	44
4.3	Проверка рядов гидрологических наблюдений на однородность	44
4.4	Гидрологические характеристики и их погрешности	46
4.5	Построение эмпирических и аналитических кривых	47
5	Минимальный сток	49
5.1	Минимальный сток за период ледостава	50
5.1.1	Построение хронологического графика	50
5.1.2	Проверка рядов гидрологических наблюдений на случайность	51
5.1.3	Проверка рядов гидрологических наблюдений на однородность	52
5.1.4	Гидрологические характеристики и их погрешности	54
5.1.5	Построение эмпирических и аналитических кривых	55
5.2	Минимальный сток за период открытого русла	57
5.2.1	Построение хронологического графика	57
5.2.2	Проверка рядов гидрологических наблюдений на случайность	58
5.2.3	Проверка рядов гидрологических наблюдений на однородность	58
5.2.4	Гидрологические характеристики и их погрешности	60
5.2.5	Построение эмпирических и аналитических кривых	61
6	Внутригодовое распределение стока	62
6.1	Расчет внутригодового распределения	64
	Заключение	74
	Список использованной литературы	79
	Приложения	

Введение

В последнее столетие отмечается потепление климата, которое проявляется как в глобальном масштабе, так и на всей территории России. В целом за последние сто лет средняя температура поверхностного слоя атмосферы повысилась на 0,3–0,8 °С, площадь снежного покрова в северном полушарии снизилась на 8%, а уровень Мирового океана поднялся в среднем на 10–20 сантиметров. Климат изменяется, и это может негативно отразиться на гидрологическом режиме и использовании водных ресурсов.

При глобальном потеплении практически повсюду характеристики стока станут более изменчивы в течение года и в многолетнем ряду, увеличатся их максимальные показатели при более мощных паводках, участятся наводнения и одновременно засухи, изменится внутригодовое распределение стока. Многолетние наблюдения за химическим составом вод 168 рек России показали, что изменение стока на 30 – 50 мм (которое возможно при росте температуры на 1 – 2оС) увеличит загрязнение рек, вызовет превышение ПДК загрязняющих веществ и увеличит их растворимость. Повышение температуры воды озер и водохранилищ приведет к развитию микроорганизмов и водорослей. Все это вызовет ухудшение качества поверхностных вод,

Основным климатообразующим фактором является общая циркуляция атмосферы. Совокупность атмосферных течений может выступать в качестве одной из характеристик состояния климатической системы. Так же она может оказывать большое влияние на формирование климатического режима отдельных регионов. Водный режим рек находится в тесной зависимости от климатических факторов. Отклонения климатических параметров от средних значений, вызванные изменениями в атмосферной циркуляции, определяют условия, формирующие речной сток и элементы водного режима.

Целью данной бакалаврской работы является всестороннее изучение и полный анализ различных характеристик стока реки Пчевжа в условиях изменения климата.

Необходимость этих расчетов заключается в том, что все гидрологические характеристики, опубликованные в МДС и ОГХ, были рассчитаны в 80-ых годах и могут не отражать изменения климата, которое мы имеем на сегодняшний день.

Для широкого исследования влияния климата на режим реки в работе будет проведен сбор и анализ рядов наблюдений за различными характеристиками стока: среднемесячным и среднегодовым стоком, максимальным стоком, минимальным стоком за период открытого русла и за период ледостава. Так же в состав работы войдут статистическая обработка рядов наблюдений, исследование внутригодового распределения стока.

В качестве исходных данных возьмем ряды: среднемесячных и среднегодовых расходов воды, максимальных, минимальных открытого русла и минимальных за период ледостава, среднемесячная температура и осадки за период существования поста. Исходные данные относятся к регулярному типу данных.

1 Физико-географическая и климатическая характеристика района

Река Пчевжа является правым притоком реки Волхов и протекает в Новгородской и Ленинградской областях России. Длина реки составляет 157 километров. Площадь бассейна 1970 км², средний расход воды 12,2 м³/с.

Течение реки направлено с юго-востока на северо-запад. Пчевжа берет начало из болотистой местности близ села Усадьена северо-востоке Новгородской области России. В низовье река течет в Чудовском районе Новгородской области и впадает в реку Волхов около села Черницы.

В верховье река очень узкая и извилистая. Здесь ширина составляет около 5 метров, встречаются перекаты и большие камни, течение быстрое. Берега реки сильно заболочены. После впадения слева реки Рапля, Пчевжа становится более полноводной, течение замедляется, хотя перекаты встречаются. В низовье, где ширина реки составляет 30-40 метров, течение совсем медленное. Питание реки смешанное, преобладает снеговое питание. Половодье проходит в апреле-мае, осенью наблюдаются паводки. Ледостав на реке устанавливается в ноябре-декабре, вскрывается в апреле.

1.1 Рельеф

Рассматриваемая территория по характеру геоморфологического и геологического строения делится на две области: Северо-Запад и Карелию.

Карелия характеризуется холмисто-равнинным рельефом. Отдельные массивы достигают высоты 300-600 м.

Территория северо-запада по характеру рельефа разделяется на две части: 1) северо-западную – низменную и 2) восточную, юго – восточную и южную – возвышенную. Северо-Западная часть в основном расположена на Прибалтийской низменности, уходящей на западе на территорию Эстонии и Латвии, а на севере и северо – востоке – в Карелию.

Прибалтийская низменность представляет собой однообразную слабоволнистую равнину, на которой отчетливо выражается ряд возвышенностей и понижений. Абсолютные отметки поверхности на Прибалтийской низменности в среднем составляют 50-100 м, а наиболее значительные возвышенности, такие как возвышенность в центральной части Карельского перешейка, Силурийское плато, Судомская и Бежаницкая возвышенности достигают около 300 м.

Центральная Карельская возвышенность является моренной равниной, с сильно развитой речной сетью. Силурийское плато представляет собой плоскую возвышенную равнину, вытянутую в широтном направлении от реки Нарвы на западе до реки Сяси на востоке.

Судомская и Бежаницкая возвышенности составляют меридиональный пояс краевых ледниковых образований и представляют собой сложное чередование гряд, конечноморенных и камовых холмов.

Понижение рельефа с абсолютными отметками от 0 до 50 м, расположены в северной, центральной и западной частях территории. Это Вуоксинская низина в северной части Карельского перешейка, Прильменская низина и Предглинтовая низменность.

Сеть рек, расположенная на Прибалтийской равнине, характеризуется густотой. Так же в низинах и на плоских междуречных пространствах характерно развитие болот, так как долины рек врезаются неглубоко, и только при пересечении склонов водораздельных возвышений они врезаются на глубину от 20 до 50 м.

Возвышенная часть территории Северо-Запада-восточная, юго-восточная и южная расположена в пределах Валдайской возвышенности, которая в свою очередь окаймляет Прибалтийскую низменность и тянется от Онежского озера до города Великие Луки. Валдайская возвышенность является краевой зоной валдайского ледника и относится к Карбоновому плато, сложенному известняком нижне- и среднекаменноугольного возраста. Южнее города Валдая возвышенность относится к выступам в рельефе девонских пород

и состоит из многочисленных холмов и гряд, которые разделены долинами и лощинами с множеством озер. Абсолютные отметки возвышенности в среднем составляют 150 – 200 м, а в районе г. Валдая достигают 320 м. Валдайская возвышенность отделена от Прибалтийской низменности Карбоновым уступом. Уступ представляет собой склон высотой до 70-100 м и шириной 5-30 км, местами замаскированный конечно-моренными образованиями.

1.2 Геологическое строение

В геологическом отношении территория Карелии является восточной частью Балтийского кристаллического щита и представляет собой область распространения пород архейско-протерозойского комплекса.

Большая часть территории Северо-Запада, расположенная в пределах северо-западной части Русской платформы, в свою очередь сложена дочетвертичными осадочными породами палеозойского комплекса, залегающими под четвертичными породами на архейском или протерозойском основании. Самая северная окраина территории Северо-Запада относится к южной оконечности Балтийского щита и сложена древнейшими породами архейско-протерозойского комплекса, представленного гнейсами и сланцами.

Осадочные коренные образования территории преимущественно представлены палеозойскими отложениями: толщами нижнего кембрия, ордовика, среднего и верхнего девона и среднего и нижнего карбона.

Древние стратиграфические горизонты палеозойского периода погружаются под более молодые горизонты под углом 10-15° в направлении с северо-запада на юго-восток. На северо-западе области залегают рыхлые песчано-глинистые породы мощностью 200-500 м нижнего кембрия.

К югу располагается полоса ордовикских отложений, образующая Ордовикское плато. Ордовикские отложения представлены песчаниками, известняками и доломитами мощностью 100-150 м. В основании глинта

Ордовикского плато и по долинам рек наблюдаются выходы кембрийских песчаников и синих глин.

К югу и востоку от Ордовикского плато обширно развита область, занимающая 60 % всей области Северо-Запада, рыхлых девонских отложений. Она представлена средним (песчаники, доломиты, мергели) девоном мощностью 50-150 м, и верхним девоном мощностью до 300 м.

С востока и северо-востока девонские отложения сменяются породами каменноугольного возраста, слагающими Карбоновое плато. Каменноугольные отложения представлены двумя отделами: нижним и средним. Средний карбон сложен известняками и доломитами. Известняки закарстованные и трещиноватые. Нижний карбон сложен известняково-глинистыми и известняково-доломитовыми породами мощностью 60-95 м. Его мощность неравномерна и изменяется в пределах от 12 до 80 м.

Палеозойские осадочные породы на всей области перекрыты толщей четвертичных отложений, мощность которых изменяется от 0,5 до 200. Четвертичные отложения представлены комплексом ледниковых и послеледниковых образований. Московская морена и сопровождающие ее водно-ледниковые осадки являются самыми древними. Выше залегает комплекс позднеледниковых песчаных и песчано-глинистых отложений.

Разрез четвертичной толщи заканчивается послеледниковыми и современными отложениями. Это покровные образования: озерные, морские песчано-глинистые отложения, аллювиальные наносы, торфяники, эоловые (дюнные) пески.

Наибольшая мощность четвертичных отложений, составляющая 100-180 м, наблюдается на Судомской возвышенности. Наименьшая их мощность составляет 0,5-5 м на силурийском плато.

В пределах описываемой территории карстовыми процессами затронуты растворимые отложения от нижнего ордовика до среднего карбона. Эти процессы наиболее развиты в двух основных районах: на Силурийском и Карбонном плато. В состав закарстованных пород входят известняки, мергели,

доломиты, гипсы и соленосно-карбонатные породы. Карстовые массивы хорошо аккумулируют подземные воды. По краям возвышенностей обычно наблюдается обильное выклинивание карстовых массивов, что вызывает повышенные значения модулей стока. Закарстованные области характеризуются большим изменением стока на небольших площадях и несовпадением поверхностных и подземных водосборов.

Наиболее сильно карст развит на Ижорском плато, покрытом маломощным слоем морены 1-2 м. Плато характеризуется малоразвитой гидрографической сетью. Так как карстовые воронки, слепые долины и суходолы поглощают дождевые и талые воды, переводя их в подземный сток.

Подземные формы карста представляют собой систему хорошо разработанных трещин, полостей и пустот.

1.3 Почвенный покров

Основными процессами почвообразования на территории Северо-Запада являются подзолообразование и заболачивание. Это обусловлено тем, что территория расположена в зоне с холодным и влажным климатом, а также преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительности.

По характеру почвообразования территория может быть разделена на две зоны: южную и северную. Граница между ними проходит примерно на широте Ладожского и Онежского озер.

В северной части почвообразующей породой являются ледниковые наносы. Они преимущественно неоднородные и грубые по механическому составу. В южной части преобладают моренные отложения. Они 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-железистыми иллювиальными горизонтами. На вершинах холмов и гряд большей частью образуются подзолы с железистым иллювиальным

горизонтом. На склонах, по границам болот и заболоченных участков преобладают подзолы с гумусово-железистым иллювиальным горизонтом. На сравнительно равнинных участках мощность иллювиального горизонта меньше. По механическому составу большая часть почв отличается высоким содержанием относительно крупных не выветрившихся обломков кристаллических пород. Так же в этой части Карелии распространены примитивные и скелетные почвы на выходах коренных пород.

Болотные торфяно-подзолистые почвы наиболее распространены по побережью Белого моря. Они развиваются в условиях равнинного рельефа и на морских засоленных глинах.

В южной части Карелии преобладают супесчаные и глинистые почвы. По механическому составу почвы южной части Карелии большим разнообразием. По сравнению с составом почв северной части Карелии содержат меньше грубых элементов. Так же здесь встречаются дерново-подзолистые почвы.

Карбонатная морена встречается в Заонежскосельговом районе и на Восточно-Онежской равнине.

На Онежско-Ладожском водоразделе преобладают слабоподзолистые почвы, развитые на суглинистых и супесчаных породах.

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

На территории, расположенной к югу от Ладожского и Онежского озер широко распространены подзолистые, болотные, слабодерновоподзолистые и среднедерновоподзолистые почвы. Изредка встречаются аллювиальные и дерново-карбонатные и почвы.

По механическому составу здесь различаются почвы глинистые, тяжелосуглинистые, среднесуглинистые и легкосуглинистые, супесчаные и

песчаные. Суглинистые почвы преобладают на валунных суглинках, но много почв и супесчаных.

В Приладожье и районах Приволжской низины встречаются подзолисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы, на Карельском перешейке распространены слабоподзолистые и среднеподзолистые, суглинные и супесчаные.

В бассейне реки Луги большое распространение имеют дерново-подзолистые и дерново-карбонатные почвы на карбонатных суглинках. В центральной части бассейна и низовье встречаются заболоченные почвы.

Для северной части Псковской области характерны подзолистые почвы легкого механического состава. Для южной части области характерна значительно большая связность почв (более тяжелый механический состав) и меньшая их оподзоленность, чем в северной части. Подзолистые горизонты в почвах Псковской области часто имеют буроватую или желтоватую окраску в отличие от белого цвета северных подзолов. В них значительно лучше развит гумусовый дерновый горизонт, они более влагоемки. Такие почвы называются дерново-буро-подзолистыми. По побережью Псковского озера, благодаря близкому расположению уровня грунтовых вод и подтоплению водами озера, образовались осоковые и тростниково-камышовые болота низинного типа.

В Новгородской области наибольшее распространение имеют все разновидности подзолистых почв. Юго-западная часть Приильменской низины в основном сложена карбонатно-валунными суглинками. Здесь распространены дерново-карбонатные почвы. Они отличаются отсутствием подзолистого горизонта, хорошо развитым перегнойным горизонтом и сравнительно тяжелым механическим составом. На восточном побережье оз. Ильмень распространены аллювиально-луговые почвы.

Волховско-Ильменская низменность к северу от озера Ильмень в основном сложена ленточными глинами. В отдельных местах встречаются карбонатные отложения. Но они залегают на значительной глубине и их роль в почвообразовании незначительна. Здесь имеют широкое распространение подзолисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы. Только к востоку от реки

Волхов встречаются песчаные отложения с преобладанием сильно подзолистых почв.

В Предвалдайской полосе (западная часть Предвалдайской гряды) широко распространены супесчаные и песчаные отложения, а так же выщелоченные валунные суглинки. На этих отложениях формируются подзолистые и болотные почвы. Для Валдайской гряды типичен ландшафт конечных морен, который обуславливает значительную пестроту почвообразующих пород.

В основном она сложена валунными суглинками, а ложбины и впадины, занимающие пространство между грядами, заняты озерами, болотами и заболоченными почвами. Поэтому почвенный покров здесь крайне разнообразен. Преобладают дерновые, дерново-слабоподзолистые и сильноподзолистые почвы различного механического состава. На вершинах холмов встречаются слаборазвитые или смытые почвы, отличающиеся тяжелым механическим составом. В юго-восточной части Валдайской возвышенности имеются карбонатные отложения, к которым приурочены дерновые и дерново-подзолистые почвы. В южной части возвышенности встречаются суглинистые и грубопесчаные отложения с преобладанием среднеподзолистых и сильноподзолистых почв.

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 теплый период сначала уменьшается в июле – августе (реже в июле). Затем вследствие увеличения количества осадков начинается повышение влажности почвы и одновременно уменьшение потерь влаги на испарение и транспирацию.

В зимнее время влагозапасы в почве зависят от промерзания почвы. Влагонасыщенность почвы резко увеличивается за счет капиллярного подсосывания при ледообразовании, а также за счет парообразной воды,

поднимающейся из теплых нижних слоев почвы к верхним холодным, где она конденсируется и замерзает.

В первую очередь, глубина промерзания почвы зависит от интенсивности нарастания отрицательных температур воздуха и наличия снежного и растительного покрова, а также от рельефа местности, механического состава почвы и ее увлажнения. Сухие и легкие почвы промерзают обычно больше, чем влажные и тяжелые.

Промерзание почвы на открытых (полевых) участках в среднем начинается в октябре-ноябре и, постепенно нарастая, достигает максимума в марте на территории Северо - Запада. Средняя глубина промерзания колеблется от 30 до 60 см. В отдельные годы почва под мощным снежным покровом может всю зиму оставаться слабо промерзшей, а иногда даже талой.

Оттаивание почвы происходит сверху и идет сначала медленно (до схода снежного покрова), а затем быстро под влиянием солнечных лучей. При наличии мощного снежного покрова оттаивание почвы весной происходит также и снизу вверх под влиянием тепла, поступающего из нижних талых слоев. Бывают случаи, когда почва оттаивает раньше, чем начинается весеннее снеготаяние.

1.4 Растительный покров

Распределение растительности по территории Карелии обусловлено климатом, рельефом, почво-грунтовыми условиями и фитоцентрическими взаимоотношениями растений. Господствующим типом растительности являются леса, состоящие преимущественно из хвойных пород - сосны и ели. облесенность отдельных водосборов рек достигает 95%, преобладающая 75-85%.

Преобладание сосновых лесов объясняется широким распространением песчаных отложений и обнаженных коренных пород. В некоторых районах

удельный вес сосновых древостоев на покрытой лесом площади составляет 92%.

Еловые леса господствуют на территориях, где подстилающими породами являются супесчаные, суглинистые и глинистые ледниковые отложения с характерным для них содержанием валунов, что наблюдается в южной части средне-таежной зоны.

Растительность болот, ее состав и происхождение зависят от степени увлажнения, проточности и химизма питательной среды. На рассматриваемой территории преобладают болота с умеренным минеральным питанием моховые и торфяно-моховые. Реже встречаются болота богатого минерального питания с хорошо развитой травянистой, кустарниковой и древесной растительностью.

Луга занимают незначительную часть Карелии. В соответствии с особенностями рельефа они преимущественно низинные, заболоченные и болотные. Наибольшее распространение лугов наблюдается в долинах рек и по берегам озер.

Территория Северо-Запада расположена в южной подзоне тайги. Лишь небольшая северо-восточная часть ее находится в подзоне средней тайги, а крайняя юго-западная – в зоне смешанных лесов.

Наиболее характерны темнохвойные (еловые) леса, покрывавшие в прошлом большую часть территории Северо-Запада. Они приурочены к водоразделам с суглинистыми и частично супесчаными почвами. Основная группа – ельники-зеленомошники характеризуется хорошо развитым древостоем из ели и обильным напочвенным покровом из мхов. В северной части эта группа представлена в основном типом черничного ельника с моховым покровом и с обильным развитием черники в травяно-кустарниковом ярусе. Широко распространены заболоченные еловые леса (сфагновые ельники). На дне долин, на заболоченных почвах встречаются травяные ельники с густым и высоким травяным покровом. В условиях равнинного рельефа на плохо дренированных сильно оподзоленных почвах развиты ельники-долгомошники.

На более легких песчаных и супесчаных почвах широко распространены сосновые леса, образующие такие же сообщества, как и еловые. На песках развиты лишайниковые боры-беломошники с редким травяным покровом с преобладанием брусники и вереска. Нередко лес приобретает характер смешанного елово-соснового с некоторой примесью березы.

Состав лиственных лесов представлен главным образом мелколиственными породами (березой, осиной, ольхой). На юго-западе значительна примесь широколиственных пород (липы, клена, дуба, ясеня, вяза). По побережью Финского залива и по рекам Волхову и Луге встречаются небольшие дубравы.

Всего под лесом находится половина площади Северо-Запада. Под влиянием вырубок и поваров широко распространились производные березовые и осиновые леса, а также сероольховые заросли, в некоторых ландшафтах почти полностью заменившие коренные лесные сообщества. Производными (на месте ельников) являются и многие сосновые леса. Наиболее залесены (70-80%) северные и северо-восточные районы территории.

Болота и заболоченные земли занимают около 30% территории. Сильной заболоченностью выделяется Приильменная низина. Много болот в долине р. Невы, у Ладожского озера, в нижнем течении р. Свири. Болота преимущественно верховые (сфагновые), отчасти низинного и переходного характера (осоковые, осоково-пушицевые, осоково-сфагновые).

Под лугами находится 7% территории. Большинство лугов суходольные со злаково-разнотравной растительностью. Поименно-заливные луга приурочены к долинам крупных рек. Большие массивы заливных лугов расположены в долине р. Волхов, на побережье оз. Ильмень и в низовьях рек, впадающих в это озеро. Здесь типичны злаковые и бобовые сообщества ежи, тимофеевки, пырея, мышиного горошка, клевера с примесью лугового разнотравья.

Растительный покров области подвергся длительному воздействию человека. Большое количество земель распаханно или превращено в различные

сельскохозяйственные угодья. В настоящее время культурной растительностью занято около 12% площади. Наименьшей распаханностью (1-5%) характеризуются северные и северо-восточные районы, наибольшей (до 20-30%) – западные и южные.

1.5 Климат

На климат рассматриваемой территории оказывают большое влияние атлантические, континентальные и арктические массы воздуха. Во все сезоны года здесь господствуют воздушные массы умеренных широт. Нередко на территорию заходят атлантические циклоны. Они приносят достаточное количество влаги во все месяцы года. С этим же связана и большая облачность, предохраняющая поверхность земли от сильного выхолаживания зимой и иссушения летом.

Значение годового радиационного баланса изменяется в пределах 28 – 32 ккал/см² на территории Карелии и 32 – 35 ккал/см² на территории Северо – Запада, составляя 40 – 45% суммарной радиации. Радиационный баланс является положительным с третьей декады марта до начала ноября. Наибольших значений он достигает в мае – июле и составляет 7,0 – 8,5 ккал/см², т.е. 50 – 60% суммарной радиации. Наименьших в декабре-январе и составляет 0,5-1,2 ккал/см².

Среднегодовая температура воздуха на территории Северо – Запада колеблется от 2° в северо-восточной части до 4,5° в южной. На территории Карелии она изменяется от 0 на севере и до 3° на юге.

Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Средняя месячная температура в январе на территории Северо- Запада составляет -7° на западе и ниже -11° на северо-востоке территории. Абсолютный минимум на территории Ленинградской, Псковской и Новгородской областей достигает -50,-52°. На остальной территории Северо-Запада абсолютный минимум составляет -40°.

Июль является самым теплым месяцем на всей рассматриваемой территории со средней месячной температурой воздуха 14-15° на севере Карелии и 16-17 ° на всей остальной территории. Абсолютный максимум составляет 31-36°.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры через 0°. На севере Карелии он осуществляется в конце апреля.

В Новгородской и Псковской областях весна начинается в конце марта-начале апреля. В Ленинградской области весенний период начинается в конце первой декады апреля. Весна на рассматриваемой территории характеризуется частыми похолоданиями, а иногда краткосрочными установлениями снежного покрова. Это объясняется географическим положением и характером атмосферных циркуляций.

За начало лета принимается переход средней суточной температуры через 10°. В Псковской и Новгородской областях лето начинается в первой декаде мая, на остальной территории в середине мая. Средняя продолжительность лета составляет 3,5 месяца. Самая большая продолжительность лета наблюдается на территории Новгородской области.

Раньше всего осень наступает на территории Карелии (в конце августа). В Ленинградской и Новгородской областях осень наступает в начале второй декады сентября. Осень на рассматриваемой территории длится около двух месяцев.

На рассматриваемой территории зима начинается в конце октября-начале ноября. Первая половина зимы характеризуется преобладающими выпадениями мокрого снега и дождевых осадков. Обычно в середине ноября появляется снежный покров, но держится он недолго. Средняя суточная температура с середины декабря составляет примерно -5° на всей территории.

В связи с большой изменчивостью атмосферных циркуляций погодные условия в отдельные годы значительно отличаются от общих условий. Так зимы 1939-1940 и 1940-1941 г. были аномально холодными. Средняя месячная температура в эти зимы была на 11° меньше средней многолетней. А зимой

1951-1952 года средняя месячная температура воздуха была выше среднегодовой на 7°.

Территория Северо-Запада и Карелии относится к зоне избыточного увлажнения. Это объясняется маленьким приходом тепла и сильным влиянием циклонических процессов. Подстилающая поверхность и орографические особенности оказывают большое влияние на распределение осадков. Это приводит к неравномерному изменению осадков по рассматриваемой территории.

На большей части данной территории в среднем выпадает 550 – 750 мм осадков. Годовое количество их возрастает в направлении с юго-запада на северо-восток. Так же осадки распределяются неравномерно внутри года. Их распределение по территории в теплый и холодный период имеет много общего с годовым распределением. Однако в теплый период года влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно, нежели холодный.

Осадки холодного периода (ноябрь-март) составляют примерно 40-45% от годовых осадков. В Карелии за холодный период выпадает 150-200 мм. На Северо-Западе за тот же период выпадает 200-250 мм. На теплый период приходится примерно 55 – 60% годового количества осадков. Максимум количества осадков на рассматриваемой территории выпадает в июле-августе. В эти месяцы осадки составляют примерно 70-90 мм.

Месячные суммы осадков за теплый период изменяются достаточно сильно из года в год. По данным метеостанции Ефимовская в июле 1942 года месячная сумма осадков составила 241 мм, что составляет 25% от месячной нормы. А в том же месяце 1938 года выпало 16 мм осадков или около 17% от месячной нормы.

Снежный покров на севере рассматриваемой территории появляется в середине октября. В отдельные годы снежный покров может образовываться в третьей декаде сентября. По мере продвижения на юг его появление задерживается до конца октября-начала ноября.

Высота снежного покрова в начале зимнего сезона маленькая-менее 10 см. Он достигает максимальной мощности в третьей декаде февраля-первой декаде марта. Средняя наибольшая мощность снежного покрова на полевых участках составляет 30-50 см. На лесных участках средняя наибольшая высота снега колеблется около 60 см.

В соответствии с высотой снежного покрова по территории распределяется запас воды в снеге. Снегозапасы достигают наибольших значений к моменту снеготаяния. В лесу и на лесных полянах запас воды в снеге значительно увеличивается. Однако величина запасов воды в снежном покрове в лесу зависит от характера и плотности леса, пород деревьев. Так в глубине елового леса величина запаса воды в снеге может быть намного меньше, чем на полевом участке. Это объясняется тем, что часть снега, задержанная кронами деревьев, испарится не достигнув земли. На большей части рассматриваемой территории средний из наибольших запасов воды в снежном покрове на полевых участках достигает 100-150 мм. На лесных полянах и в лесу средний наибольший запас может достигать 200 мм.

Плотность снега на территории Карелии меняется незначительно. В поле она может достигать 0,22-0,28 г/см³. В лесистой местности плотность снега составляет 0,01-0,03 г/см³. На Северо-Западе плотность снежного покрова меняется от 0,19 до 0,27 г/см³.

Продолжительность снежного покрова колеблется от 160-180 дней на территории и Карелии и 100-150 дней на Северо-Западе.

1.6 Многолетнее распределение метеорологических характеристик

Для оценки изменения климата территории, были взяты данные по температуре воздуха г.Тихвин. На основе метеорологических данных, был произведен пространственно-временной анализ, в основе которого лежит разделение ряда наблюдений на два периода. Разделение производилось в год, когда наблюдалось аномальное изменение температуры. В целях выявления

точки разладки были построены несколько графиков зависимости температуры от времени за целый период наблюдений и разделенные на два периода. По каждому полю точек были построены линии тренда и проанализированы зависимости.

Анализ графиков показал, что аномальное изменение температуры наблюдалось в 1979-1980 гг. В дальнейших расчетах все ряды гидрологических наблюдений будут рассмотрены с разбивкой на два периода с 1941 по 1979 и с 1980 по 2013. Ниже приведен один из самых показательных графиков зависимости температуры от времени.

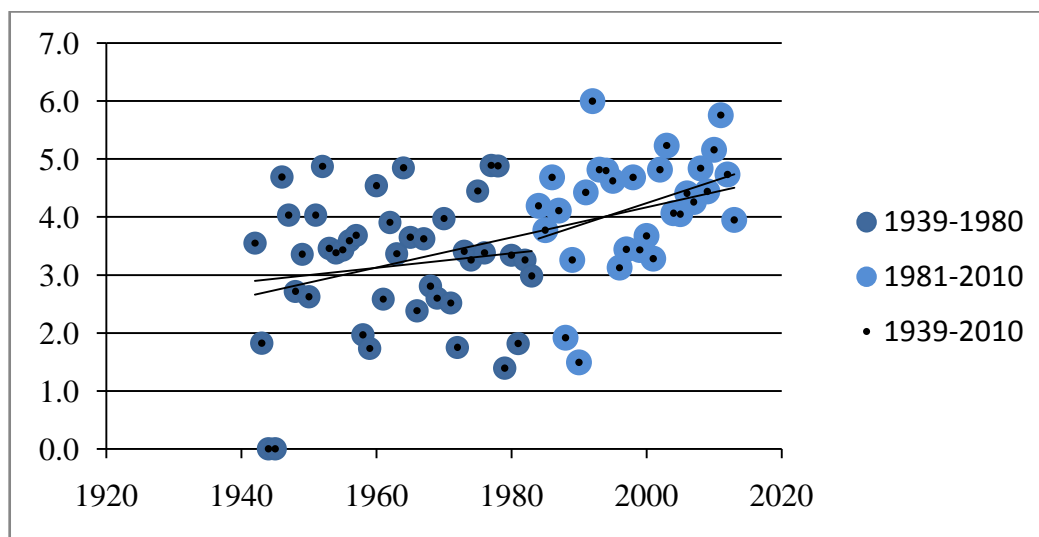


Рисунок 1.1-Зависимость температуры от времени г. Тихвин (деление по 1980 г.)

По вышеприведенному графику видно, что за современный период наблюдается более явный тренд на увеличение температуры.

2 Методы обработки рядов гидрометрических наблюдений

Для исследования влияния климата на гидрологический режим реки Пчевжа расчеты необходимо проводить в соответствии с методами, приведенными в нормативной документации.

В настоящее время основным нормативным документом при выполнении гидрологических расчетов является СП 33-101-2003. Несмотря на то, что расчет каждой гидрологической характеристики имеет свои отличия, методика расчетов во всех случаях одинакова. Она основана на применении методов теории вероятности и математической статистики.

В инженерной гидрологической практике применяются различные методы анализа. Это связано со сложностью гидрологических процессов и их многообразием. Различия в климатических условиях и подстилающей поверхности речных водосборов обуславливают разные условия поверхностного и подземного стока вод или транспорта наносов, аккумуляцию и потери влаги в бассейнах рек.

Генетический анализ условий формирования речного стока заключается в определении физических причин, которые обуславливают неоднородность исходных данных наблюдений. При применении данного анализа учитывается происхождение данных и последующее развитие физического процесса. Наиболее широко генетический метод анализа используется при определении эмпирических зависимостей характеристик стока от определяющих их физико-географических факторов. На основании исследований закономерностей процесса стока воды разработана генетическая теория и получена генетическая формула стока. Так же ярким примером генетического анализа служит географо-гидрологический метод. Данный метод устанавливает тесную связь всех вод с географическим ландшафтом. Разновидностями географо-гидрологического метода можно считать методы

гидрологической аналогии, географической интерполяции, водного баланса, изохрон стока.

Применяемые в гидрологических расчетах методы генетического анализа, показывают взаимосвязь рассматриваемых характеристик, но не позволяют произвести их количественную оценку. Для количественной оценки гидрологических характеристик применяются различные методы математического анализа. К ним относятся приближенные вычисления, графические методы, разделы комбинаторики, элементы интегрального и дифференциального вычисления. Но наиболее широко используется математическая статистика.

При производстве гидрологических расчетов приходится работать с большим количеством исходной информации, получаемой в результате гидрометрических измерений и других наблюдений. Эти данные образуют статистические ряды, которые должны обрабатываться методами математической статистики с использованием методов теории вероятности. Применение вероятностно-статистических методов анализа позволяет получить количественное значение гидрологических характеристик и установить вероятность их появления (превышения или не превышения). Вероятностно-статистические методы являются основными методами анализа при гидрологических расчетах и дают достаточно хорошие результаты в большинстве случаев, поскольку еще и интерпретируются с учетом физико-географических законов и закономерностей.

Исследование гидрологических характеристик реки Пчевжа в рамках нормативного документа СП-33-101-2003 включает в себя расчет всех гидрологических характеристик таких как: расчет средних значений, а так же характеристики рассеивания: дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии их погрешностей. Так же необходимо исследовать аналитические функции распределения ежегодных вероятностей превышения - кривых обеспеченностей.

В соответствии с СП-33-101-2003 при проведении расчетов необходимо работать с продолжительными рядами наблюдений. Ряд наблюдений считается продолжительным, если относительная средняя квадратическая погрешность среднего значения исследуемой характеристики не превышает 10% для годового и сезонного стоков, 20% - для максимального и минимального стоков, а погрешность коэффициента вариации не превышает 15%.

Если относительные средние квадратические погрешности превышают указанные пределы, необходимо осуществить приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду методом гидрологической аналогии.

Перед проведением расчета гидрологических характеристик и исследования закона распределения необходимо провести первичный анализ и оценку репрезентативности ряда. Методами первичного анализа и оценки репрезентативности ряда являются: хронологические графики, разностно-интегральные кривые, квантильный анализ, проверка рядов гидрометрических наблюдений на однородность и случайность.

Хронологический график это графическое представление изменения гидрологической характеристики по времени. Для построения графика необходимо по оси X отложить значения времени, а по оси Y значения исследуемой характеристики. Хронологический график позволяет осуществить визуальную проверку ряда гидрометрических наблюдений на однородность и наличие тренда.

Более эффективной визуальной проверкой ряда гидрометрической информации и оценки водности являются разностно-интегральные кривые. Разностно-интегральная кривая характеризует изменение нарастающих сумм отклонений гидрологической характеристики от её среднего значения по времени. Ординаты кривой вычисляются как $\Sigma(K-1)$. Для того чтобы можно было сопоставить многолетние колебания стока разных рек, производится исключения влияния временной изменчивости стока, отражаемой

коэффициентом вариации (изменчивости) ряда наблюдений (C_v), т.е. $\Sigma(K-1)/C_v$. Положительные значения отклонений модульных коэффициентов при суммировании за интервал времени дают наклон разностной интегральной кривой вверх относительно горизонтальной линии, а отрицательные их значения – наклон кривой вниз. Использование разностных интегральных кривых дает представление о циклических колебаниях без эффекта смещения границ между фазами циклов большой и малой продолжительности. Разностно-интегральные кривые позволяют выделить многоводные и маловодные периоды, оценить и сравнить водность.

Так же для анализа многоводных и маловодных групп лет применяется квантильный анализ данных. Каждый временной ряд рассматривается как реализация случайного процесса $x(t)$, за основную вероятностную характеристику которого принимается функция распределения $F(x_p)$ и ее квантили x_p . Наибольший интерес представляют пять квантилей $x_{0,25}, x_{0,5}, x_{0,75}, x_{min}, x_{max}$. Где x_{min}, x_{max} - крайние члены ранжированного (выстроенного в порядке возрастания) ряда; $x_{0,5}$ - медиана, которая при неизвестном законе распределения вычисляется по формулам:

-если длина ряда четная

$$x_{0,5} = \left(\frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2} \right) \quad (1)$$

где

$x_{0,5}$ -медиана ранжированного ряда

x_n -член n-ого порядка

-если длина ряда нечетная

$$x_{0,5} = \frac{x_{n+1}}{2} \quad (2)$$

$x_{0,25}, x_{0,75}$ – медианы соответствующих половин ранжированного ряда, рассчитывающиеся по аналогичным формулам.

Полученные значения наносятся на график хронологического хода расходов воды. Значения, пересекающие линию верхнего или нижнего барьера (x_{max} или x_{min}), называются экстремально многоводными или

экстремально маловодными. Значения, лежащие между медианой и верхней или нижней квантилями, называются многоводными или маловодными.

Методы обработки эмпирических данных пригодны лишь для рядов гидрометрических наблюдений, вероятностная структура которых соответствует математической модели случайной величины. Так же проверка ряда на случайность необходима для грамотного выбора наиболее подходящей математической модели для описания вероятностной структуры ряда. В качестве проверки ряда гидрометрических наблюдений на случайность служат критерии: общего числа серий, наибольшей длины серии, повышений-понижений, экстремумов и значимости коэффициента автокорреляции.

В данной работе проверка рядов производилась с помощью критерия значимости автокорреляции.

При использовании данного критерия ряд сдвигается относительно самого себя на величину $\tau=1$. При сдвиге у исходного ряда теряется последнее значение, а у сдвинутого ряда первое. Совместный период для полученных рядов составит $n-1$. Для полученных рядов рассчитывается коэффициент парной корреляции $r(1)$. Он характеризует тесноту связи между смежными членами ряда.

$$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x})(x_{i+1} - \bar{x})}{(n-2)D_x} \quad (3)$$

Где \bar{x} и D_x - соответственно среднее значение и дисперсия исходного ряда

Соответствие ряда модели случайной величине проверяется с помощью нулевой гипотезы $|r(1)| \leq \sigma_r t_{95\%}$

Где $t_{95\%}$ -квантиль нормированного нормального распределения. определяемый по таблице

σ_r -среднеквадратическая погрешность коэффициента автокорреляции

$$\sigma_r = \frac{1 - (r1)^2}{\sqrt{n - 2}} \quad (4)$$

Если коэффициент автокорреляции входит в пределы доверительного интервала, то он является статистически незначимым и гипотеза о случайности ряда не опровергается.

Расчет гидрологических характеристик является корректным только в том случае, если ряд гидрометрических наблюдений однороден. То есть в течение периода наблюдений условия формирования стока не менялись.

Для оценки статистической однородности применяют критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова-Граббса и Диксона), критерии однородности дисперсии (критерий Фишера) и среднего значения (критерий Стьюдента).

Для проверки ряда на однородность по дисперсии (критерий Фишера) и среднему значению (критерий Стьюдента) необходимо разбить ряд на приблизительно равные части и для каждой части рассчитать среднее значение, среднеквадратическое отклонение и дисперсию.

Для проверки ряда по критерию Фишера нужно рассчитать эмпирическое значение критерия Фишера:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad (5)$$

Где D_1 и D_2 -дисперсии по одной и другой частям ряда, причем в числитель следует ставить большую из двух дисперсий.

Эмпирическое значение критерия Фишера сравнивается с теоретическим F_T при уровне значимости $2\alpha=5\%$. Теоретическое значение критерия Фишера определяется по таблице F-распределения в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы v_1 и v_2 :

$$v_1 = n_1 - 1 \quad (6)$$

$$v_2 = n_2 - 1 \quad (7)$$

Где n_1 и n_2 -соответственно длина выборки с большей дисперсией и меньшей дисперсиями.

Если эмпирическое значение критерия Фишера меньше теоретического, то гипотеза об однородности по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается.

Для проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента необходимо рассчитать эмпирическое значение критерия Стьюдента:

$$t^* = \frac{(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 n_2 - 2}}} \quad (8)$$

Где n_1 и n_2 -длина первой и второй частей ряда

$\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2$ -средние значения по первой и второй частям ряда

σ_1 и σ_2 - среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда.

Эмпирическое значение критерия Стьюдента сравнивается с теоретическим t_T при уровне значимости $2\alpha=5\%$. Теоретическое значение критерия Стьюдента определяется по таблице t-распределения в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы ν :

$$\nu = n - 1 \quad (9)$$

Где n -общая длина исследуемого ряда.

Если эмпирическое значение критерия Стьюдента меньше теоретического, то гипотеза об однородности по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается.

В СП-33-101-2003 включены два дополнительных критерия однородности: критерии Смирнова-Граббса и Диксона.

При использовании указанных критериев исходный ряд ранжируется в возрастающем порядке. Затем определяются значения Q_1, Q_2 и Q_{n-1} , а так же среднее значение и среднеквадратическое отклонение.

При проверке ряда на однородность по критерию Диксона рассчитываются эмпирические значения критерия Диксона для максимального и минимального членов выборки :

$$D_{max}^* = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{Q_n - Q_1} \quad (10)$$

$$D_{min}^* = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 - Q_n} \quad (11)$$

Теоретическое значение критерия Диксона определяется по таблице «Критические значения статистики Диксона для максимального и минимального членов выборки» в зависимости от принятого уровня значимости, коэффициента асимметрии, длины выборки и коэффициента автокорреляции.

Если эмпирическое значение критерия Диксона меньше теоретического, то гипотеза об однородности по критерию Диксона при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается.

Эмпирические значения критерия Смирнова-Граббса для максимального и минимального членов выборки имеют вид:

$$G_{max}^* = \frac{Q_n - \bar{Q}}{\sigma^*} \quad (12)$$

$$G_{min}^* = \frac{\bar{Q} - Q_1}{\sigma^*} \quad (13)$$

Где \bar{Q} -среднее значение

σ^* -выборочное среднеквадратическое отклонение.

Теоретическое значение критерия Смирнова-Граббса определяется по таблице «Критические значения статистики Смирнова-Граббса для максимального и минимального членов выборки» в зависимости от принятого уровня значимости, коэффициента асимметрии, длины выборки и коэффициента автокорреляции.

Если эмпирическое значение критерия Смирнова-Граббса меньше теоретического, то гипотеза об однородности по критерию Диксона при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается.

После того как ряд гидрометрических наблюдений прошел проверку на репрезентативность необходимо исследовать закон распределения.

Каждая случайная величина характеризуется законом распределения.

Эмпирическую вероятность превышения гидрологических характеристик определяют по формуле:

$$p = \frac{m}{n + 1} * 100\% \quad (14)$$

Где m -порядковый номер члена ряда в ряду, расположенном в убывающем порядке

n -длина ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строят на клетчатках вероятностей. Тип клетчатки вероятностей выбирают в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v .

Расчет гидрологических характеристик при наличии данных гидрологических наблюдений достаточной продолжительности осуществляют путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения - кривых обеспеченностей. Аналитическим выражением закона распределения может являться дифференциальная или интегральная функция. Аналитическая функция применяется для сглаживания и экстраполяции эмпирической кривой обеспеченности. Функция записывается в виде параметрического выражения, где в качестве параметров используются числовые характеристики случайной величины: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение и так далее. Наиболее часто используемые в практике гидрологических расчетов функции распределения: нормальное распределение, закон равномерной плотности, логарифмически нормальное, закон распределения крайних членов выборки (распределение Гумбеля), распределение Пирсона III типа (непрерывное биномиальное распределение), распределение Крицкого-Менкеля (трехпараметрическое гамма-распределение), распределение Джонсона.

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения, как правило, применяют трехпараметрические распределения: Крицкого-Менкеля при любом отношении C_s/C_v . Распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_s/C_v \geq 2$. Логарифмически нормальное распределение при $C_s \geq (3C_v + C_v^3)$ и другие распределения, имеющие предел простираения случайной переменной от нуля или положительного значения до бесконечности. При надлежащем обосновании допускается применять двухпараметрические распределения, если эмпирическое отношение C_s/C_v и аналитическое отношение C_s/C_v , свойственные данной функции распределения, приблизительно равны. При неоднородности ряда гидрометрических наблюдений (различные условия формирования стока) применяют усеченные и составные кривые распределения.

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение, коэффициент вариации и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v устанавливают по рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой методом наибольшего правдоподобия и методом моментов. На начальных стадиях проектирования допускается использование графоаналитического метода (метода квантилей).

Аппроксимация считается надежной, если аналитическая кривая хорошо согласуется с эмпирической кривой.

Для удобства анализа используются клетчатки вероятности. На такой клетчатке по оси ординат откладываются значения случайной величины, по которой проводятся исследования, либо ее модульные коэффициенты. По оси абсцисс откладываются значения обеспеченности в %.

Масштабы трансформируются таким образом, чтобы график кривой обеспеченности представлял прямую линию. Наиболее распространенной клетчаткой является клетчатка, спрямляющая нормальный закон

распределения. Данная клетчатка может использоваться для изображения кривых обеспеченности с умеренной асимметрией. В таком случае кривые с отрицательной симметрией будут иметь выпуклую форму, а кривые с положительной симметрией вогнутую.

Для построения аналитической кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля необходимо рассчитать среднегодовое значение, коэффициент вариации и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v .

Так как погрешность коэффициента асимметрии намного выше допустимой, на практике значение C_s не используется. Значение коэффициента асимметрии определяется по среднему районному соотношению C_s/C_v по таблице.

Таблица 2.1- Рекомендуемые значения C_s/C_v

Эмпирическое значение	Рекомендуется принять
$(C_s/C_v) < 1,5$	$(C_s/C_v) = 1$
$1,5 \leq (C_s/C_v) \leq 2,5$	$(C_s/C_v) = 2$
$2,5 < (C_s/C_v) \leq 4$	$(C_s/C_v) = 3$
$(C_s/C_v) > 4$	$(C_s/C_v) = 4$

Для расчета ординат аналитической кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля в зависимости от соотношения C_s/C_v и коэффициента вариации выписываются модульные коэффициенты для каждой опорной обеспеченности из таблицы «Ординаты кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля в модульных коэффициентах».

Так же в данной работе были рассчитаны гидрологические характеристики: среднее значение, а так же дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии и их погрешности. В данной работе эти гидрологические характеристики рассчитаны с использованием метода моментов.

Среднее многолетнее значение рассчитывается по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (15)$$

Где Q_i -расход, м³/с

n-длина ряда

Коэффициент вариации:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} \quad (16)$$

Коэффициент асимметрии:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)(n - 2)C_v^3} \quad (17)$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = C_v \bar{Q} \quad (18)$$

Дисперсия:

$$D = \sigma^2 \quad (19)$$

Абсолютные погрешности рассчитываются по формулам:

Для среднего многолетнего значения:

$$\varepsilon_Q = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

Для коэффициента вариации:

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} \quad (21)$$

Для коэффициента асимметрии:

$$\varepsilon_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n}(1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} \quad (22)$$

Относительные погрешности рассчитываются по формулам:

Для среднего многолетнего значения:

$$\varepsilon_{Q,\%} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} * 100\% \quad (23)$$

Для коэффициента вариации:

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} * 100\% \quad (24)$$

Для коэффициента асимметрии:

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} * 100\% \quad (25)$$

3 Годовой сток

Главной характеристикой речного стока являются расходы воды. Расход воды выражается в объеме воды, который проходит через поперечное сечение за единицу времени. Так же допустимо применять производные характеристики: объем стока, слой стока, модуль стока и коэффициент стока.

Факторами, влияющими на формирование стока, являются: климатические (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферные циркуляции), рельеф (уклон, средняя высота водосборов, ориентация склонов), почвы, озера, болота, леса, антропогенное воздействие.

Под нормой годового стока понимают среднее значение за многолетний период, включающий в себя несколько полных циклов колебаний водности реки при неизменных физико-географических и климатических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне. Значение нормы годового стока выражают в виде среднего многолетнего расхода воды.

Для проведения исследования использовались данные о среднегодовых расходах воды река Пчевжа- д. Белая. Ряды гидрометрических наблюдений, разбитые на два периода, были обработаны и проанализированы в соответствии с нормативной документацией. Анализ и исследование законов распределения были проведены с помощью методов и формул, описанных в пункте 2.

3.1 Построение хронологического графика

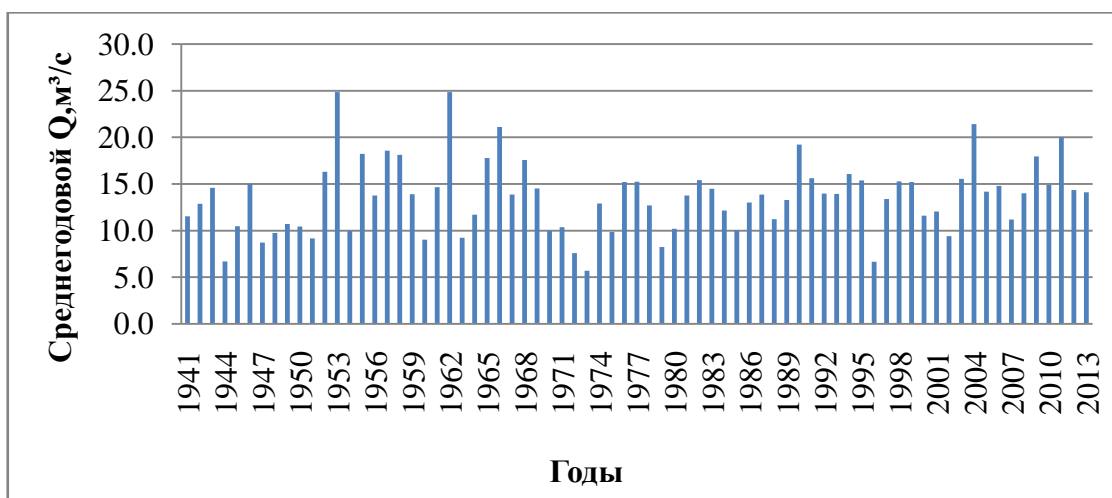


Рисунок 3.1- Хронологический график среднегодовых расходов воды река Пчевжа-д.Белая 1941-2013 год

Анализ хронологического графика среднегодовых расходов воды показывает однородность ряда гидрометрических наблюдений и отсутствие явных трендов.

3.2 Построение разностно-интегральной кривой

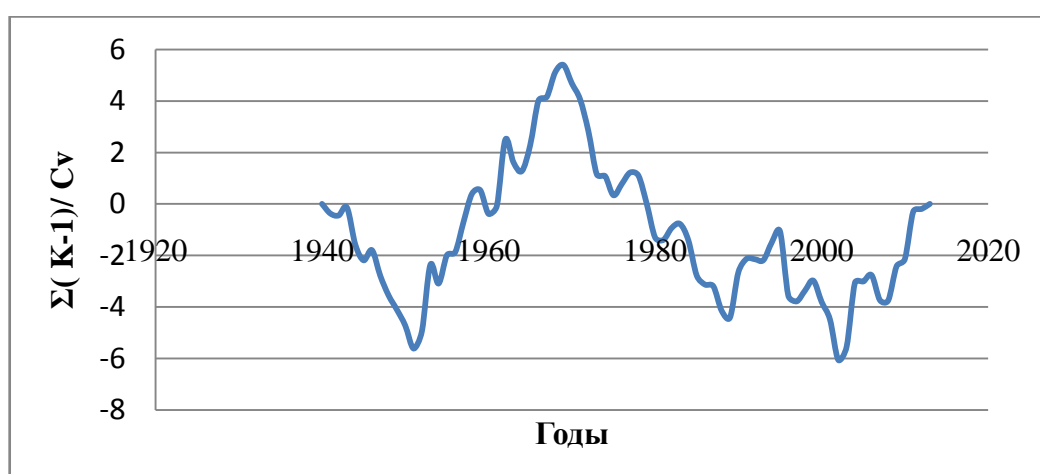


Рисунок 3.2- Разностно-интегральная кривая среднегодовых расходов воды река Пчевжа-д.Белая 1941-2013 год

По разностно-интегральной кривой среднегодовых расходов воды видно, что многоводный период наблюдался с 1951 по 1968 год. Маловодный период наблюдался на реке Пчевжа-д.Белая с 1969 по 2002 год.

3.3 Квантильный анализ

Таблица 3.1-Статистические характеристики межгодовой изменчивости среднегодовых расходов воды на реке Пчевжа-д.Белая 1941-1979 г

Статистические характеристики	Значение
Количество лет	73
Q0,5, м ³ /с	13,9
Q0,25, м ³ /с	10,5
Q0,75, м ³ /с	15,3
Qmax, м ³ /с	45,8
Qmin, м ³ /с	-20,3
R, м ³ /с	19,2
S, м ³ /с	4,80
Qв, м ³ /с	22,5
Qн, м ³ /с	3,3
T*, м ³ /с	13,4
As	-0,21

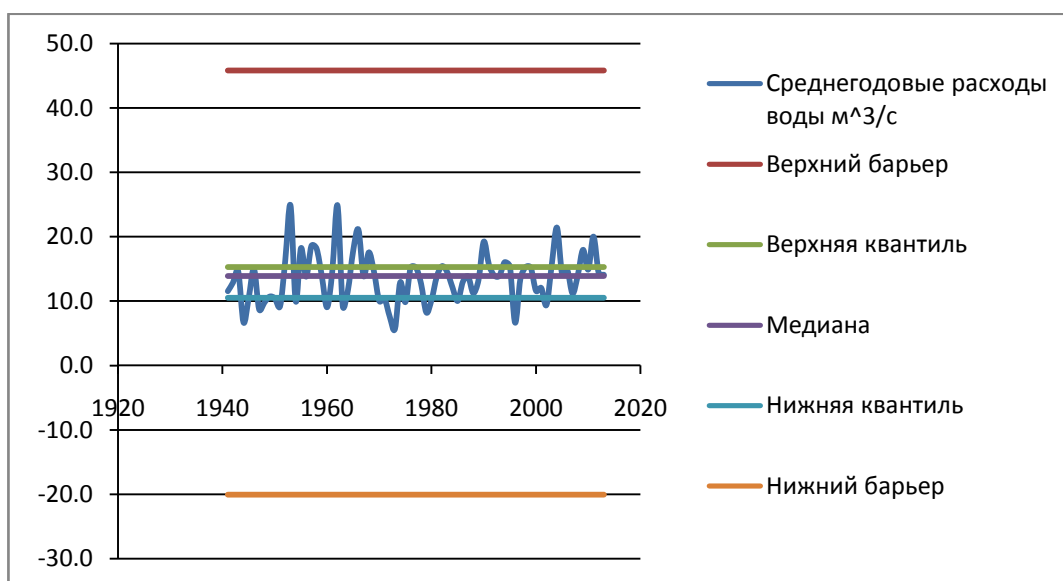


Рисунок 3.3- Реализация среднегодовых расходов воды река Пчевжа-д.Белая 1941-2013 год

Таблица 3.2- Многоводные и маловодные годы река Пчевжа-д.Белая

Многоводные годы	Маловодные годы
1943,1946,1952,1953,1955, 1957,1958, 1961,1962,1965, 1966,1968,1969,1976,1977, 1982,1983,1987,1990,1991, 1992,1993,1994,1995,1998, 1999,2003,2004,2005,2006,2008, 2009,2010,2011,2012,2013	1941,1942,1944,1945,1946, 1947,1948,1949,1950,1951, 1954,1956,1959,1960,1961, 1963,1964,1967,1970,1971, 1972,1973,1974,1975,1978, 1979,1980,1981,1984,1985, 1986,1988,1989,1996,1997,2000,2001

3.4 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на случайность

В данной работе проверка рядов производилась с помощью критерия значимости автокорреляции по методике, описанной в пункте 2

$$|r(1)| \leq \sigma_r t_{95\%}$$

Таблица 3.4- Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды на случайность при уровне значимости $2\alpha=10\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	$r(1)$	$\sigma_r t_{95\%}$	Вывод
1941-2013	0,17	0,25	Гипотеза о случайности ряда при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается
1941-1979	0,16	0,26	
1980-2013	0,15	0,28	

По результатам таблицы 3.4 видно, что проверяемые ряды соответствуют модели случайной величины. Значит, статистическая обработка информации возможна.

3.5 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на однородность

- Критерий Фишера

Таблица 3.5-Вспомогательная таблица для проверки рядов среднегодовых расходов воды на однородность по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-2013	2,28	2,75	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1941-1979	0,45	0,97	
1980-2013	-1,23	2,04	

- Критерий Стьюдента

Таблица 3.6-Вспомогательная таблица для проверки рядов среднегодовых расходов воды на однородность по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-2013	-0,61	2	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1941-1979	0,12	2,02	
1980-2013	-1,35	2,11	

- Критерий Диксона

Таблица 3.7- Вспомогательная таблица для проверки рядов среднегодовых расходов на однородность по критерию Диксона при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	D*max	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-2013		0,0981	0,61	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1941-1979		0,078	0,44	
1980-2013		0,0945	0,36	
Период	D*min	Фактическое	Теоретическое	
1941-2013		0,0072	0,52	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1941-1979		0,0053	0,44	
1980-2013		0,1859	0,29	

- Критерий Смирнова-Граббса

Таблица 3.8- Вспомогательная таблица для проверки рядов среднегодовых расходов на однородность по критерию Смирнова-Граббса при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	G*max	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-2013		3,2	4,3	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1941-1979		2,57	4	
1980-2013		2,51	3,5	
Период	G*min	Фактическое	Теоретическое	
1941-2013		2,9	4,4	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1941-1979		1,65	3,5	
1980-2013		2,49	2,8	

При проверке рядов годового стока с разбивкой на два периода выявлено, что гипотеза об однородности всех рядов гидрологических наблюдений не опровергается.

3.6 Гидрологические характеристики и их погрешности

В соответствии с нормативной документацией статистические характеристики необходимо рассчитывать методом наибольшего правдоподобия. Гидрологические характеристики в данной работе были рассчитаны с помощью метода моментов, так как полученные значения также находятся в зоне допустимых нормативной документацией значений.

Таблица 3.9- Основные гидрологические характеристики река Пчевжа-д.Белая

Период	n	Q, м ³ /с	Cv	Cs	Cs/Cv	σ	D
1941-2013	73	13,6	0,29	0,31	1,08	8,2	79,5
1941-1979	39	13,2	0,34	0,81	2,35	4,54	20,6
1980-2013	34	14,0	0,21	0,17	0,78	2,96	8,75

При анализе вышеприведенной таблицы видно, что значение нормы годового стока за период с 1980 по 2013 превышает значение этой же гидрологической характеристики за более ранний период. Кроме этого наблюдается изменение таких гидрологических характеристик как Cv, Cs, Cs/Cv, σ, D. Так значение коэффициента вариации Cv в период с 1980 по 2013 уменьшилось на 0,13 по сравнению с периодом с 1941 по 1979. Так же наблюдается уменьшение всех характеристик рассеивания в период с 1980 по 2013.

Таблица 3.10- Погрешности гидрологических характеристик река Пчевжа-д.Белая

Период	Абсолютные			Относительные		
	EQ	Ecv	Ecs	EQ,%	Ecv,%	Ecs,%
1941-2013	3,30	0,32	3,13	9,3	13,4	139
1941-1979	0,73	0,04	0,52	5,50	11,8	64,8
1980-2013	0,51	0,03	0,47	3,61	12,3	288

Согласно пункту 2 средняя квадратическая погрешность среднего значения годового стока не должна превышать 10 %, а Cv 15%. При анализе таблицы 3.10 в соответствии с вышесказанным погрешности этих характеристик не превышают допустимые пределы.

3.7 Построение эмпирической и аналитической кривых

По методике, изложенной в пункте 2 была построена эмпирическая кривая (Приложения Б)

В качестве аналитической кривой выбрана кривая Крицкого-Менкеля так, как действующие в России нормативные документы рекомендуют данную кривую в качестве стандартной кривой при проведении гидрологических расчётов.

Таблица 3.11- Ординаты аналитических кривых Крицкого-Менкеля

Период			
1941-1979		1980-2013	
P, %	k_p	P, %	k_p
0,01	2,79	0,01	1,99
0,1	2,39	0,1	1,81
1	1,96	1	1,60
5	1,62	5	1,41
10	1,30	10	1,32
20	1,27	20	1,20
30	1,14	30	1,12
50	0,96	50	0,99
70	0,80	70	0,87
80	0,71	80	0,79
90	0,60	90	0,70
95	0,52	95	0,62
99	0,38	99	0,49
99,9	0,27	99,9	0,37

При анализе таблицы 3.11 можно сказать, что аналитическая кривая хорошо описывает эмпирические точки. В зоне средних обеспеченностей значение k_p за современный период больше, чем за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

4 Максимальный сток

Максимальный сток - это речной сток в периоды высоких паводков и половодий. Его изучение и расчеты имеют исключительно важное значение, поскольку объем максимального стока составляет от 50 до 90% (а иногда и более) суммарного годового стока рек, а максимальные расходы являются определяющими при проектировании наиболее ответственных и дорогостоящих водосбросных и водопропускных гидротехнических сооружений.

Так же при исследовании влияния климата на режим реки Пчевжа были проведены исследования максимального стока реки.

По рядам данных гидрометрических наблюдений была проведена проверка и оценка рядов на репрезентативность методами, изложенными в пункте 2. По проверенным рядам был исследован закон распределения. Так же были рассчитаны и оценены гидрологические характеристики.

4.1 Построение хронологического графика

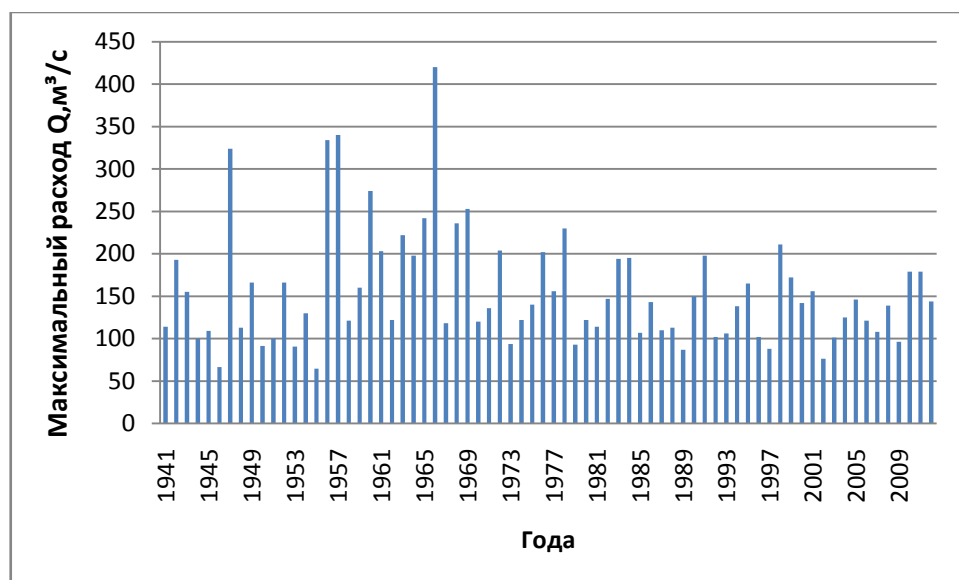


Рисунок 4.1- Хронологический график максимальных расходов воды река Пчевжа-д.Белая 1941-2013 год

Анализ хронологического графика максимальных расходов воды показывает однородность ряда гидрометрических наблюдений отсутствие явных трендов.

4.2 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на случайность

В данной работе проверка рядов производилась с помощью критерия значимости автокорреляции по методике, описанной в пункте 2.

$$|r(1)| \leq \sigma_r t_{95\%}$$

Таблица 4.1- Результаты проверки рядов максимальных расходов воды на случайность при уровне значимости $2\alpha=10\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	$r(1)$	$\sigma_r t_{95\%}$	Вывод
1941-1979	0,009	0,27	Гипотеза о случайности ряда при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается
1980-2013	0,116	0,29	

По результатам таблицы 4.1 видно, что проверяемые ряды соответствуют модели случайной величины. Значит, статистическая обработка информации возможна.

4.3 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на однородность - Критерий Фишера

Таблица 4.2- Вспомогательная таблица для проверки рядов максимальных расходов воды на однородность по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	1,1	2,17	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013	0,45	0,91	

- Критерий Стьюдента

Таблица 4.3- Вспомогательная таблица для проверки рядов максимальных расходов воды на однородность по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	1941-1979	-1,02	2,03	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013	1980-2013	-0,12	2,04	

- Критерий Диксона

Таблица 4.4- Вспомогательная таблица для проверки рядов максимальных расходов воды на однородность по критерию Диксона при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период		Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	D*max	0,195	0,46	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		0,096	0,38	
Период		Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	D*min	0,13	0,28	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		0,079	0,3	

-Критерий Смирнова-Граббса

Таблица 4.5- Вспомогательная таблица для проверки рядов максимальных расходов воды на однородность по критерию Смирнова-Граббса при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	G*max	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		2,98	3,9	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		2,09	3,5	
Период	G*min	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		1,94	2,1	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		1,65	2,4	

При проверке рядов максимального стока с разбивкой на два периода выявлено, что гипотеза об однородности всех рядов гидрологических наблюдений при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается.

4.4 Гидрологические характеристики и их погрешности

Гидрологические характеристики в данной работе были рассчитаны с помощью метода моментов.

Таблица 4.6- Основные гидрологические характеристики река Пчевжа-д.Белая

Период	n	Q, м ³ /с	Cv	Cs	Cs/Cv	σ	D
1941-1979	39	172	0,48	1,13	2,35	83,0	6903
1980-2013	33	136	0,27	0,43	1,63	35,9	1289

По таблице 5.6 видно, что норма максимального стока уменьшилась с 172 м³/с до 136 м³/с. Так же значения всех характеристик рассеивания

практически в два раза уменьшились по сравнению со значениями тех же характеристик за период с 1941 по 1979.

Таблица 4.7- Погрешности гидрологических характеристик река Пчевжа-д.Белая

Период	Абсолютные			Относительные		
	EQ	Ecv	Ecs	EQ,%	Ecv,%	Ecs,%
1941-1979	13,3	0,06	0,64	7,72	12,3	56,6
1980-2013	6,25	0,03	0,51	4,61	12,6	119

В соответствии с нормативной документацией средние квадратические погрешности среднего значения и Cv для максимального стока не должны превышать 10 и 15 % соответственно. В связи с этим по таблице 4.7 можно сделать вывод о допустимости данных расчетов.

4.5 Построение эмпирической и аналитической кривой Крицкого-Менкеля

По методике, изложенной в пункте 2 была построена эмпирическая кривая (Приложения Б)

В качестве аналитической кривой выбрана кривая Крицкого-Менкеля так, как действующие в России нормативные документы рекомендуют данную кривую в качестве стандартной кривой при проведении гидрологических расчётов.

Таблица 4.8- Ординаты аналитических кривых Крицкого-Менкеля

Период			
1941-1979		1980-2013	
P, %	k_p	P, %	k_p
0,01	4,07	0,01	2,28
0,1	3,33	0,1	2,01
1	2,79	1	1,80
5	2,55	5	1,70
10	1,96	10	1,46
20	1,68	20	1,21
30	1,39	30	1,11
50	1,19	50	0,98
70	0,91	70	0,85
80	0,68	80	0,78
90	0,57	90	0,69
95	0,43	95	0,62
99	0,33	99	0,50
99,9	0,20	99,9	0,39

При анализе таблицы 4.8 можно сказать, что аналитическая кривая хорошо описывает эмпирические точки. В зоне средних обеспеченностей значение k_p за современный период больше, чем за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

5 Минимальный сток

Минимальным стоком называется сток, который проходит в реках в летне-осеннюю и зимнюю межень, когда река переходит на грунтовое питание, а поверхностный сток прекращается.

По своему генезису (происхождению) максимальный сток рек подразделяют на весеннее половодье, дождевые паводки и сток смешанного происхождения, обусловленный как таянием снега, так и дождями.

Весеннее половодье типично для большинства рек России. Формирование максимального стока во время половодья - сложный и многофакторный процесс. Основные факторы, определяющие количество воды, поступающей на водосбор в этот период, - высота и плотность снежного покрова, площадь и характер его распределения.

Существенное влияние на сток весеннего половодья оказывает интенсивность снеготаяния, то есть количество талых вод, образующихся в единицу времени. Она зависит главным образом от солнечной радиации и ряда других факторов (температуры воздуха, скорости ветра, характеристик ландшафта и т. д.). Не вся вода, образовавшаяся в результате таяния снега, поступает в речную сеть. Часть ее (до 10%) теряется на испарение с поверхности талых вод и снега, а часть расходуется на просачивание (инфильтрацию) в почву.

Дождевые паводки обусловлены ливнями и продолжительными дождями. Они могут наблюдаться повсеместно, но наиболее часто - на Дальнем Востоке, в Карпатах, на Кавказе, в Крыму.

Важнейшие факторы, влияющие на формирование максимального дождевого стока, - интенсивность дождя, его продолжительность и площадь,

охватываемая дождем, инфильтрация воды в почву, добегание дождевых вод до русловой сети бассейна.

Формирование дождевого стока происходит под действием также таких физико-географических факторов, как рельеф, почвенно-геологические условия, озерность, заболоченность, залесенность и др.

Так же при исследовании влияния климата на режим реки Пчевжа были проведены исследования минимального стока реки.

По рядам данных гидрометрических наблюдений была проведена проверка и оценка рядов на репрезентативность методами, изложенными в пункте 2. По проверенным рядам был исследован закон распределения. Так же были рассчитаны и оценены гидрологические характеристики.

5.1 Минимальный сток за период ледостава

5.1.1 Построение хронологического графика

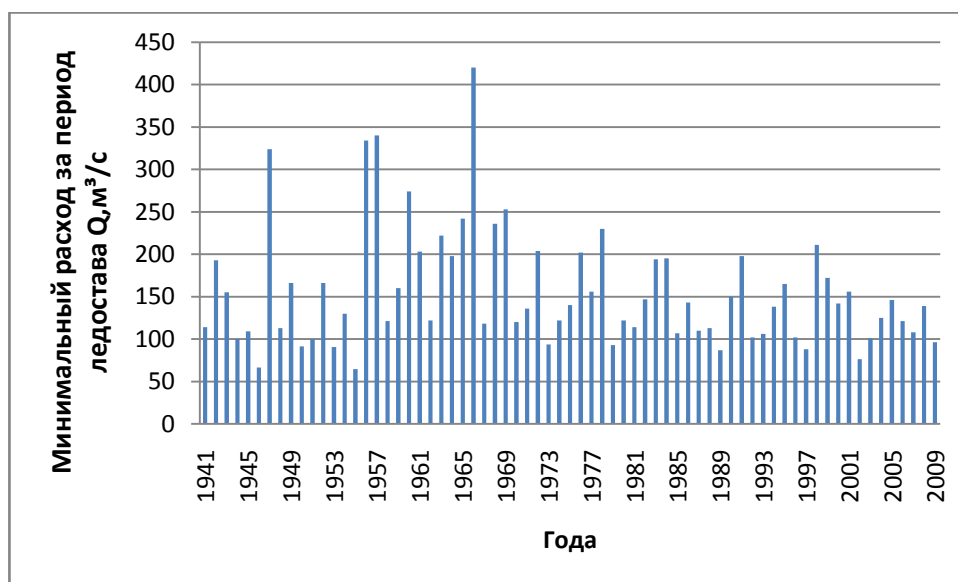


Рисунок 5.1- Хронологический график минимальных за период ледостава расходов воды река Пчевжа-д.Белая 1941-2013 год

Анализ хронологического графика минимальных расходов воды за период ледостава показывает однородность ряда гидрометрических наблюдений отсутствие явных трендов.

5.1.2 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на случайность

В данной работе проверка рядов производилась с помощью критерия значимости автокорреляции по методике, описанной в пункте 2.

$$|r(1)| \leq \sigma_r t_{95\%}$$

Таблица 5.1- Результаты проверки рядов минимальных за период ледостава расходов воды на случайность при уровне значимости $2\alpha=10\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Период	$r(1)$	$\sigma_r t_{95\%}$	Вывод
1941-1979	1941-1979	0,260	0,262	Гипотеза о случайности ряда при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается
1980-2013	1980-2013	0,05	0,29	

По результатам таблицы 5.1 видно, что проверяемые ряды соответствуют модели случайной величины. Значит, статистическая обработка информации возможна.

5.1.3 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на однородность

- Критерий Фишера

Таблица 5.2-Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период ледостава расходов воды на однородность по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	2,10	2,17	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013	3,01	2,38	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ опровергается

- Критерий Стьюдента

Таблица 5.3-Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период ледостава расходов воды на однородность по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	1941-1979	2,43	2,03	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ опровергается
1980-2013	1980-2013	0,25	2,06	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается

- Критерий Диксона

Таблица 5.4- Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период ледостава расходов воды на однородность по критерию Диксона при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	D*max	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		0,06	0,39	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		0,07	0,4	
Период	D*min	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		0,04	0,26	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		0,12	0,28	

-Критерий Смирнова-Граббса

Таблица 5.5- Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период ледостава расходов воды на однородность по критерию Смирнова-Граббса при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	G*max	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		2,48	3,2	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		1,69	1,9	
Период	G*min	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		2,27	3,3	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		1,99	3,1	

Гипотеза об однородности ряда наблюдений за минимальными расходами за период ледостава за период с 1980 по 2013 с помощью критерия Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ опровергается. Так же гипотеза об однородности по критерию Стьюдента опровергается для ряда наблюдений за период с 1941 по 1979.

5.1.4 Гидрологические характеристики и их погрешности

Гидрологические характеристики в данной работе были рассчитаны с помощью метода моментов.

Таблица 5.6- Основные гидрологические характеристики река Пчевжа-д.Белая

Период	n	Q, м ³ /с	Cv	Cs	Cs/Cv	σ	D
1941-1979	37	0,94	0,69	2,02	2,93	0,65	0,42
1980-2013	33	1,8	0,68	1,73	2,53	1,23	1,51

По таблице 5.6 видно, что норма минимального стока за период ледостава за период с 1980 по 2013 увеличилась по сравнению с более ранним периодом. Значение Cv практически не изменилось. Так же значения остальных характеристик рассеивания практически в увеличались по сравнению с значениями тех же характеристик за период с 1941 по 1979.

Таблица 5.7- Погрешности гидрологических характеристик река Пчевжа-д.Белая

Период	Абсолютные			Относительные		
	EQ	Ecv	Ecs	EQ,%	Ecv,%	Ecs,%
1941-1979	13,3	0,06	0,64	7,72	12,3	56,6
1980-2013	6,25	0,03	0,51	4,61	12,6	119

Согласно пункту 2 средние квадратические погрешности среднего значения и C_v для рядов наблюдений за минимальным стоком за период ледостава не должны превышать 10 и 15 % соответственно. Согласно с этим погрешности, приведенные в таблице 5.7, входят в допустимые пределы.

5.1.5 Построение эмпирической и аналитической кривой Крицкого-Менкеля

По методике, изложенной в пункте 2 была построена эмпирическая кривая (Приложения Б)

В качестве аналитической кривой выбрана кривая Крицкого-Менкеля так, как действующие в России нормативные документы рекомендуют данную кривую в качестве стандартной кривой при проведении гидрологических расчётов.

Таблица 5.8- Ординаты аналитических кривых Крицкого-Менкеля

Период			
1941-1979		1980-2013	
P,%	k_p	P,%	k_p
0,01	3,98	0,01	2,79
0,1	3,27	0,1	2,47
1	2,51	1	2,08
5	1,94	5	1,74
10	1,67	10	1,57
20	1,38	20	1,36
30	1,19	30	1,21
50	0,92	50	0,97
70	0,69	70	0,75
80	0,57	80	0,63
90	0,44	90	0,48
95	0,34	95	0,37
99	0,21	99	0,21
99,9	0,11	99,9	0,09

При анализе таблицы 5.8 можно сказать, что аналитическая кривая хорошо описывает эмпирические точки. В зоне средних обеспеченностей значение

k_p за современный период больше, чем за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

5.2 Минимальный сток за период открытого русла

5.2.1 Построение хронологического графика

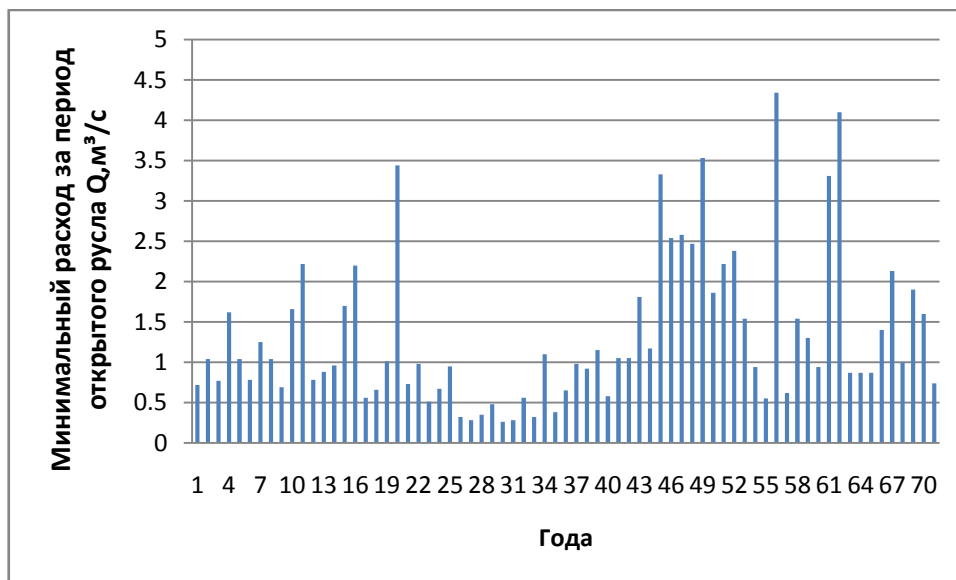


Рисунок 5.2- Хронологический график минимальных за период открытого русла расходов воды река Пчевжа-д.Белая 1941-2013 год

Анализ хронологического графика среднегодовых расходов воды показывает однородность ряда гидрометрических наблюдений отсутствие явных трендов.

5.2.2 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на случайность

В данной работе проверка рядов производилась с помощью критерия значимости автокорреляции по методике, описанной в пункте 2.

$$|r(1)| \leq \sigma_r t_{95\%}$$

Таблица 5.9- Результаты проверки рядов минимальных за период открытого русла расходов воды на случайность при уровне значимости $2\alpha=10\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	$r(1)$	$\sigma_r t_{95\%}$	Вывод
1941-1979	0,20	0,27	Гипотеза о случайности ряда при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается
1980-2013	0,09	0,29	

По результатам таблицы 5.9 видно, что проверяемые ряды соответствуют модели случайной величины. Значит, статистическая обработка информации возможна.

5.2.3 Проверка рядов гидрометрических наблюдений на однородность

-Критерий Фишера

Таблица 5.10-Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период открытого русла расходов воды на однородность по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ Пчевжа-д.Белая

Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	0,45	0,48	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013	0,16	2,11	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается

- Критерий Стьюдента

Таблица 5.11-Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период за период открытого русла расходов воды на однородность по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период	Период	Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	1941-1979	1,69	1,93	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013	1980-2013	1,7	0,15	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается

Критерий Диксона

Таблица 5.12- Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период открытого русла расходов воды на однородность по критерию Диксона при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период		Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	D*max	0,38	0,58	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		0,32	0,79	
Период		Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979	D*min	0,05	0,06	Гипотеза об однородности ряда при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается
1980-2013		0,05	0,07	

-Критерий Смирнова-Граббса

Таблица 5.13- Вспомогательная таблица для проверки рядов минимальных за период открытого русла расходов воды на однородность по критерию Смирнова-Граббса при уровне значимости $2\alpha=5\%$ река Пчевжа-д.Белая

Период		Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		G*max	3,86	4,00
1980-2013	3,49		3,60	
Период		Фактическое	Теоретическое	Вывод
1941-1979		G*min	1,05	1,60
1980-2013	1,02		1,7	

Гипотеза об однородности для всех рядов наблюдений за минимальным стоком за период открытого русла при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается.

5.2.4 Гидрологические характеристики и их погрешности

Гидрологические характеристики в данной работе были рассчитаны с помощью метода моментов.

Таблица 5.14- Основные гидрологические характеристики река Пчевжа-д.Белая

Период	n	Q, м ³ /с	Cv	Cs	Cs/Cv	σ	D
1941-1979	36	1,34	0,49	0,86	1,75	0,66	0,43
1980-2013	33	2,46	0,42	0,16	0,39	1,03	1,05

По таблице 5.14 видно, что норма минимального стока за период ледостава увеличилась с 1,34 м³/с до 2,46 м³/с. Так же значения всех

характеристик рассеивания кроме C_v и C_s увеличились по сравнению со значениями тех же характеристик за период с 1941 по 1979.

Таблица 5.15- Погрешности гидрологических характеристик река Пчевжа-д.Белая

Период	Абсолютные			Относительные		
	EQ	E_{cv}	E_{cs}	EQ,%	$E_{cv},\%$	$E_{cs},\%$
1941-1979	0,11	0,09	0,90	11,32	13,4	44,5
1980-2013	0,21	0,10	0,94	11,89	14,1	54,6

Согласно пункту 2 погрешности гидрологических характеристик минимального стока за оба периода, приведенные в таблице 5.16, не превышают допустимые пределы.

5.2.5 Построение эмпирической и аналитической кривой Крицкого-Менкеля

По методике, изложенной в пункте 2 была построена эмпирическая кривая (Приложения Б)

В качестве аналитической кривой выбрана кривая Крицкого-Менкеля так, как действующие в России нормативные документы рекомендуют данную кривую в качестве стандартной кривой при проведении гидрологических расчётов.

Таблица 5.16- Ординаты аналитических кривых Крицкого-Менкеля

Период			
1941-1979		1980-2013	
P, %	k_p	P, %	k_p
0,01	7,56	0,01	7,41
0,1	5,35	0,1	5,26
1	3,46	1	3,41
5	2,32	5	2,30
10	1,86	10	1,85
20	1,42	20	1,41
30	1,16	30	1,16
50	0,83	50	0,83
70	0,58	70	0,59
80	0,47	80	0,48
90	0,35	90	0,35
95	0,27	95	0,28
99	0,16	99	0,17
99,9	0,09	99,9	0,10

При анализе таблицы 5.16 можно сказать, что аналитическая кривая хорошо описывает эмпирические точки. В зоне средних обеспеченностей значение k_p за современный период совпадает со значением k_p за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

6 Внутригодовое распределение стока

Внутригодовое распределение стока - это изменение стока внутри года по сезонам, месяцам, декадам, неделям, суткам. Является отражением типа водного режима, базирующегося на типе питания реки. Установление закономерностей внутригодового хода стока рек по календарным периодам, сезонам и внутри сезонов имеет важное научное и практическое значение, так как на его основе ведется планирование использования водных ресурсов для различных водохозяйственных целей, определяются основные параметры водохранилищ и гидротехнических сооружений.

Внутригодовое распределение стока обычно рассчитывается не по календарным годам, а по водохозяйственным, начиная с первого месяца многоводного сезона. Границы сезонов назначаются едиными для всех лет с округлением до месяца. В отдельных случаях возможно выполнение расчетов внутригодового распределения стока для гидрологических лет, начинающихся с первого месяца периода накопления влаги, или для обычных календарных лет. При расчетах внутригодового распределения стока целесообразно переводить расходы в объемы стока в км, так как при этом учитывают различие в числе дней не високосных и високосных лет и в числе секунд в разные месяцы года.

В зависимости от задач водохозяйственного проектирования расчетная вероятность превышения стока за год, лимитирующие период и сезон назначаются в соответствии с задачами водохозяйственного использования стока реки. Внутригодовое распределение стока может быть представлено в календарной последовательности или в порядке убывания расходов воды. В первом случае производится построение расчетного гидрографа или используется табличная форма, во втором - построение кривой продолжительности стояния (обеспеченности) суточных расходов воды.

Определение расчетного календарного внутригодового распределения стока при длительности рядов наблюдений, равной 15 годам и более, производят следующими методами: компоновки; реального года; среднего распределения стока за годы характерной градации водности. При отсутствии данных гидрометрических наблюдений в створе проектирования расчетное внутригодовое распределение стока определяют по данным рек-аналогов, по районным схемам и по региональным зависимостям.

6.1 Расчет внутригодового распределения

Основной способ расчета календарного внутригодового распределения стока - метод компоновки. Расчет внутригодового распределения стока по методу компоновки делится на две части: межсезонное распределение, имеющее наиболее важное значение и рассчитываемое более точно, внутрисезонное распределение (по месяцам или декадам) устанавливается приближенно, с некоторой схематизацией.

В зависимости от типа внутригодового распределения стока год делится на два периода: многоводный и маловодный (межень). В зависимости от цели использования один из них назначается лимитирующим. Лимитирующим считается наиболее напряженный с точки зрения водохозяйственного использования период. В такой период может включаться один или два сезона.

При расчете по методу компоновки внутригодовое распределение стока принимается из условия равенства вероятности превышения стока за год, стока за лимитирующий период и внутри его за лимитирующий сезон. Поэтому необходимо определить расходы заданной проектом обеспеченности для года, лимитирующих периода и сезона. Следовательно, требуется рассчитать параметры кривых обеспеченности \bar{Q} , C_v , C_s для лимитирующих периода и сезона. Вычисления производятся методом моментов.

Исходными данными для расчета являются среднемесячные расходы воды и выбранные в зависимости от цели использования расчета заданный процент обеспеченности $p\%$ и деление на периоды и сезоны.

Расчет распределения выполняется по гидрологическим годам, который начинается с многоводного сезона. Продолжительность многоводного сезона назначается так, чтобы в границах сезона помещалось половодье как в годы с наиболее ранним сроком наступления, так и с наиболее поздним сроком окончания.

Величина стока за отдельные сезоны и периоды определяется суммой среднемесячных расходов.

Во всех методах расчета по значениям стока за отдельные водохозяйственные годы (а в методах компоновки и реального года и за расчетные внутригодовые интервалы времени: лимитирующий период, лимитирующий сезон, нелимитирующий сезон, лимитирующий месяц и др.) определяют расчетные квантили. Стандартными квантилями кривых распределения вероятностей стока являются следующие: для многоводных лет, периодов, сезонов и месяцев - 1%, 3%, 5%, 10% и 25%. Для маловодных лет, периодов, сезонов и месяцев - 75%, 90%, 95%, 97% и 99%. Для средних по водности лет - 50%. При использовании метода компоновки распределение стока по периодам и сезонам года определяют следующим образом. Расчетные значения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц определяют по соответствующим аналитическим кривым распределения стока. Сток за нелимитирующий период определяют по разности расчетных значений объемов стока за водохозяйственный год и лимитирующий период. Сток за нелимитирующий сезон - по разности расчетных объемов стока за лимитирующий период и лимитирующий сезон. А суммарный объем стока всех нелимитирующих месяцев внутри нелимитирующего сезона - по

разности расчетных объемов стока за лимитирующий сезон и лимитирующий месяц.

Расчетные значения месячного стока внутри лимитирующего сезона и нелимитирующего сезона определяют с таким расчетом, чтобы получить для этих сезонов наиболее неравномерные распределения стока. С этой целью внутри каждого из этих сезонов, входящих в соответствующую группу водности, месячные объемы стока располагают в убывающем порядке с указанием календарных месяцев, к которым они относятся. Для составного периода (например, для лимитирующего периода), включающего в себя два сезона (лимитирующий сезон и нелимитирующий сезон), месячные объемы стока располагают в порядке убывания отдельно для каждого из составляющих их сезонов (лимитирующий сезон и нелимитирующий сезон). Каждому ранжированному месячному значению каждого из лет, входящих в рассматриваемую группу водности, присваивают свой порядковый номер. Для всех лет данной группы водности производят суммирование месячных объемов стока, имеющих одинаковые порядковые номера в полученных ранжированных их внутрисезонных рядах. Путем сложения этих сумм для всех месяцев, входящих в рассматриваемый сезон, находят их сумму за сезон. Делением сумм стока месяцев, имеющих одинаковые порядковые номера, на их общую сумму за сезон определяют относительное внутрисезонное распределение стока (по месяцам внутри сезона в долях от единицы или в процентах от суммарного объема стока). Полученным средним за лет месячным долям (или %) вместо присвоенных ранее порядковых номеров присваивают названия того календарного месяца, который встречался наиболее часто при сложении указанных значений месячного стока одинакового номера из всех лет рассматриваемой градации водности. Таким же или упрощенным способом (без ранжирования и перестановок месячных значений стока, то есть методом расчета средних месячных значений за годы

данной градации водности) находят расчетные относительные месячные значения стока внутри нелимитирующего периода.

Расчетные месячные значения стока определяют как произведения их относительных значений (долей от сезонного) на расчетное значение стока соответствующего сезона заданной вероятности превышения. Эти расчеты производят по сезонам для всех месяцев ВГ. Относительное внутригодовое распределение месячного стока в долях (или процентах) от объема стока за водохозяйственный год вычисляют делением расчетных месячных объемов стока на расчетное годовое его значение заданной вероятности превышения.

Таблица 6.1-Расчет стока 5%-ой обеспеченности с 1941 по 1979 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	27,8	11,6	2,21	41,7	3,86	6,21	4,79	8,79	18,0	41,7	19,3	8,42	41,7	16,7	41,7	100
м ³ /с	66,8	27,9	5,30	100	9,26	15,0	12,0	21,1	43,2	100	46,3	20,2	100	40,0	100	240

Таблица 6.2-Расчет стока 25%-ой обеспеченности с 1941 по 1979 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	32,0	13,4	2,54	47,9	4,44	7,14	5,51	10,1	20,7	47,9	22,2	9,68	47,9	12,5	16,7	100
м ³ /с	59,2	24,7	4,70	88,6	8,21	13,2	10,2	18,7	38,3	88,6	41,0	17,9	115	30,0	40,0	185

Таблица 6.3- Расчет стока 50%-ой обеспеченности с 1941 по 1979 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	27,8	11,6	2,21	41,7	3,86	6,21	4,79	8,79	18,0	41,7	19,3	8,42	41,7	11,7	7,08	100
м ³ /с	40,4	16,9	3,20	60,4	5,59	9,00	6,95	12,7	26,1	60,4	28,0	12,2	100	28,0	17,0	145

Таблица 6.4-Расчет стока 75%-ой обеспеченности с 1941 по 1979 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	23,7	9,88	1,88	35,4	3,28	5,28	4,07	7,47	15,3	35,4	16,4	7,15	35,4	9,58	2,92	100
м ³ /с	27,2	11,4	2,16	40,7	3,77	6,07	4,68	8,59	17,6	40,7	18,9	8,23	85,0	23,0	7,00	115

Таблица 6.5-Расчет стока 95%-ой обеспеченности с 1941 по 1979 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	17,5	7,32	1,39	26,3	2,43	3,91	3,02	5,54	11,3	26,3	12,2	5,30	26,3	5,83	1,25	100
м ³ /с	14,0	5,86	1,11	21,0	1,94	3,13	2,42	4,43	9,07	21,0	9,72	4,24	63	14,0	3,00	80

Таблица 6.6-Расчет стока 5%-ой обеспеченности с 1980 по 2013 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	25,6	8,4	2,20	36,2	4,56	4,20	3,16	7,74	16,0	36,2	19,0	5,75	36,2	29,8	34,0	100
м ³ /с	60,2	19,7	5,2	85,0	10,7	9,86	7,43	18,2	37,6	85,0	44,7	13,5	85,0	70,0	80,0	235

Таблица 6.7-Расчет стока 25%-ой обеспеченности с 1980 по 2013 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	28,6	9,38	2,46	40,4	5,09	4,69	3,53	8,65	17,9	40,4	21,3	6,43	40,4	23,4	17,02	100
м ³ /с	54,4	17,8	4,67	76,8	9,68	8,91	6,71	16,4	33,9	76,8	40,4	12,2	95,0	55,0	40,0	190

Таблица 6.8-Расчет стока 50%-ой обеспеченности с 1980 по 2013 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	30,1	9,87	2,59	42,6	5,36	4,94	3,72	9,11	18,8	42,6	22,4	6,77	42,6	21,3	8,51	100
м ³ /с	51,2	16,8	4,40	72,34	9,11	8,39	6,32	15,5	32,0	72,3	38,1	11,5	100	50,0	20,0	170

Таблица 6.9-Расчет стока 75%-ой обеспеченности с 1980 по 2013 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	26,5	8,69	2,28	37,4	4,72	4,34	3,27	8,01	16,6	37,4	19,7	5,95	37,45	17,9	4,26	100
м ³ /с	37,1	12,2	3,19	52,4	6,61	6,08	4,58	11,2	23,2	52,4	27,6	8,34	88,0	42,0	10,0	140

Таблица 6.10-Расчет стока 95%-ой обеспеченности с 1980 по 2013 год река Пчевжа-д.Белая

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный сток			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	весна	лето-осень	зима	год
%	25,0	8,19	2,15	35,3	4,45	4,10	3,09	7,56	15,6	35,3	18,6	5,62	35,3	7,23	2,13	100
м ³ /с	26,3	8,60	2,25	37,1	4,67	4,30	3,24	7,94	16,4	37,1	19,5	5,90	83,0	17	5,00	105

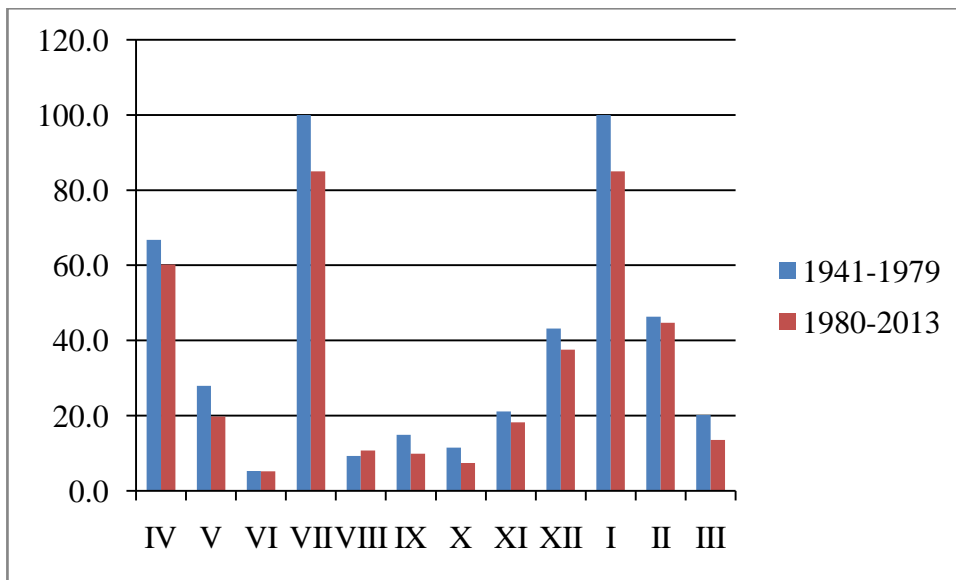


Рисунок 6.2- Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 5%-ой обеспеченности воды река Пчевжа-д.Белая

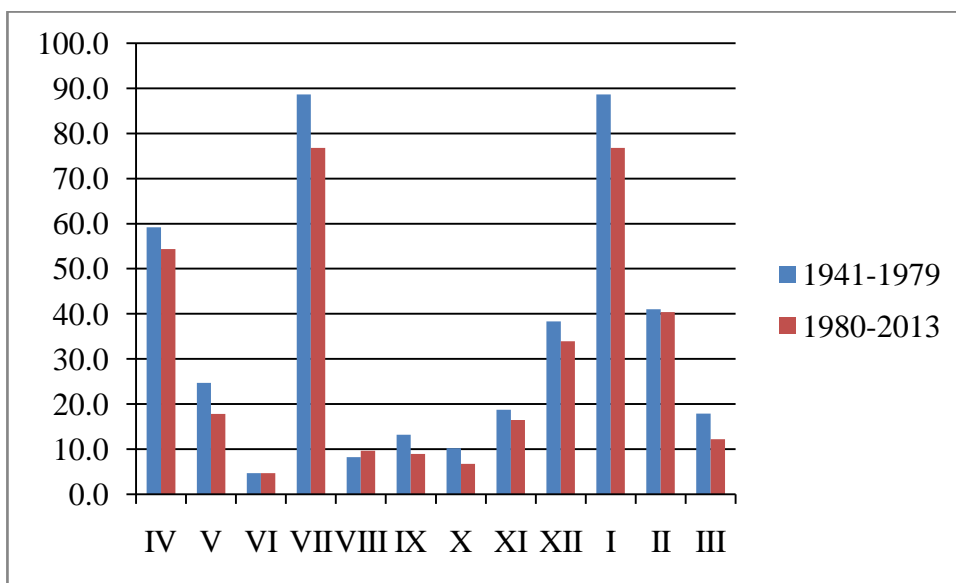


Рисунок 6.3- Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 25%-ой обеспеченности воды река Пчевжа-д.Белая

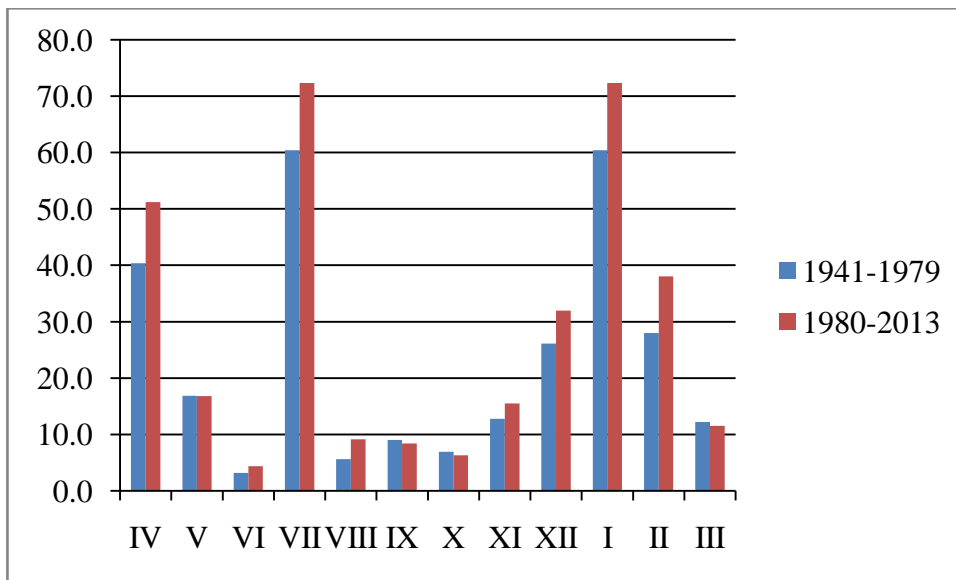


Рисунок 6.4- Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 50%-ой обеспеченности воды река Пчевжа-д.Белая

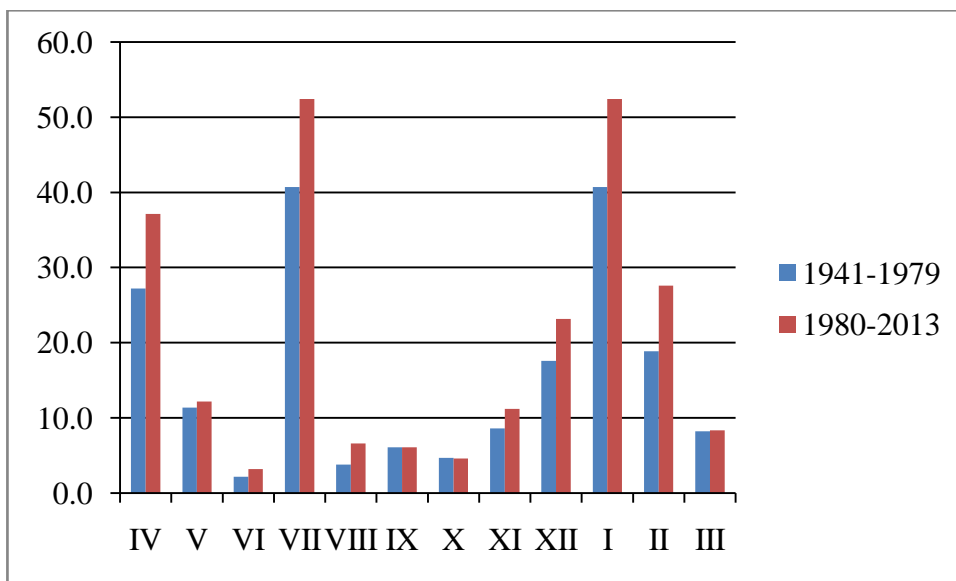


Рисунок 6.5-Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 75%-ой обеспеченности воды река Пчевжа-д.Белая

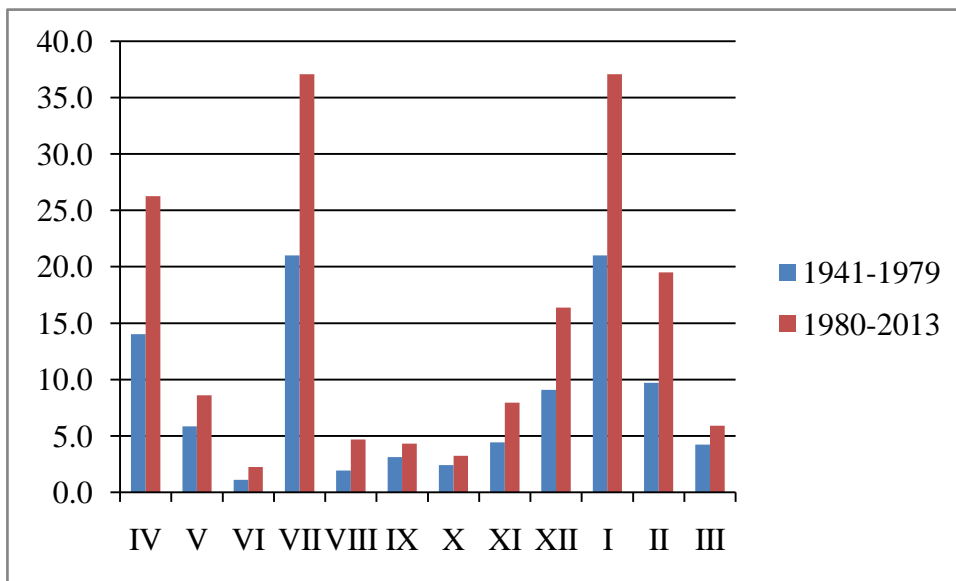


Рисунок 6.6-Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 95%-ой обеспеченности воды река Пчевжа-д.Белая

Совмещенные гидрографы среднемесячных расходов воды для многоводных групп показывают, что за период с 1980 по 2013 год расходы воды в каждом месяце уменьшились, по сравнению с периодом с 1941 по 1979. Для групп средней водности характерно перераспределение стока в весенние и летние месяцы. В маловодной группе наблюдается увеличение стока за период с 1980 по 2013.

Заключение

Полученные данные позволили построить целый ряд кривых обеспеченностей расчетных характеристик стока, всесторонне проанализировать изменения стока воды в разные фазы водного режима.

В результате проделанных исследований получены следующие результаты. На основе анализа метеорологических данных сделан вывод об изменении климата после 1979 года, поэтому общий ряд наблюдений был разделен на два периода с начала наблюдений по 1979 год и с 1977 по 2014 гг.

Были построены и проанализированы хронологические графики. Была построена разностно-интегральная кривая годового стока. По данной кривой были выделены маловодные и многоводные фазы. При проведении квантильного анализа годового стока были выделены многоводные и маловодные годы. Они наблюдались примерно одинаково. Экстремально многоводные и экстремально маловодные не наблюдались ни разу. При анализе статистических характеристик рядов было выявлено, что значение нормы среднегодового стока за период с 1980 по 2013 превышает значение этой же гидрологической характеристики за более ранний период. Кроме этого наблюдается изменение таких гидрологических характеристик как C_v , C_s , C_s/C_v , σ , D . Так значение коэффициента вариации C_v в период с 1980 по 2013 уменьшилось на 0,13 по сравнению с периодом с 1941 по 1979. Так же наблюдается уменьшение всех характеристик рассеивания в период с 1980 по 2013.

Для изучения изменения среднегодового стока были построены эмпирические и аналитические кривые среднегодовых расходов. В качестве аналитической кривой была выбрана кривая Крицкого-Менкеля, так как она рекомендована нормативной документацией. Аналитическая кривая хорошо описывает эмпирические точки. В зоне средних обеспеченностей значение

k_p за современный период больше, чем за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

Для изучения максимального стока были обработаны ряды гидрологических наблюдений с разбивкой на два периода. В обработку рядов входило построение хронологического графика изменения максимальных расходов воды по времени. Анализ графика не выявил явных трендов. При проверке на случайность было выявлено, что ряды соответствуют модели случайной величины. При проверке рядов максимального стока с разбивкой на два периода выявлено, что гипотеза об однородности всех рядов гидрологических наблюдений при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не опровергается. При анализе статистических характеристик видно, что норма максимального стока уменьшилась с $172 \text{ м}^3/\text{с}$ до $136 \text{ м}^3/\text{с}$. Так же значения всех характеристик рассеивания практически в два раза уменьшились по сравнению со значениями тех же характеристик за период с 1941 по 1979.

Так же были построены эмпирическая кривая и аналитическая кривая Крицкого-Менкеля. В зоне средних обеспеченностей значение k_p за современный период больше, чем за более ранний период. В зоне высоких обеспеченностей значение k_p за современный период больше, чем за более ранний период.

При изучении минимального стока за период ледостава был проведен анализ на выявление явных трендов с помощью хронологического графика. Анализ явных трендов не показал. Так же ряды с разбивкой на два периода были проверены на случайность и однородность. При проверке на однородность гипотеза об однородности ряда наблюдений за минимальными расходами за период с 1980 по 2013 с помощью критерия Фишера при уровне значимости $2\alpha=5\%$ была опровергнута. Так же гипотеза об однородности по критерию Стьюдента была опровергнута для ряда наблюдений за период с 1941 по 1979

При анализе статистических характеристик было выявлено, что норма минимального стока за период ледостава стока увеличилась с $0,94 \text{ м}^3/\text{с}$ до $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Значение C_v практически не изменилось. Так же значения остальных характеристик рассеивания увеличились по сравнению с значениями тех же характеристик за период с 1941 по 1979.

Средние квадратические погрешности среднего значения и C_v для рядов наблюдений за минимальным стоком за период с 1941 по 1979 составили 7,72 и 12,3 % соответственно, что входит в допустимые пределы. Так же погрешности за современный период удовлетворяют нормативным нормам.

В зоне средних обеспеченностей значение аналитической кривой Крицкого-Менкеля k_p за современный период больше, чем за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

При обработке рядов наблюдений за минимальным стоком за период открытого русла был построен хронологический график, который явных трендов не выявил. Так же ряды с разбивкой на два периода были проверены на случайность и однородность. При проверке на однородность гипотеза об однородности для всех рядов наблюдений за минимальным стоком за период открытого русла при уровне значимости $2\alpha=5\%$ не была опровергнута.

Анализ статистических характеристик показал, что норма минимального стока за открытого русла увеличилась с $1,34 \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,46 \text{ м}^3/\text{с}$. Так же значения всех характеристик рассеивания кроме C_v и C_s увеличились по сравнению со значениями тех же характеристик за период с 1941 по 1979.

Погрешности гидрологических характеристик минимального стока с разбивкой на два периода не превысили допустимые пределы.

Анализируя кривую Крицкого-Менкеля можно сказать, что в зоне средних обеспеченностей значение k_p за современный период совпадает со

значением k_p за более ранний период. В зоне малых обеспеченностей значение k_p за современный период меньше, чем за более ранний период.

Было рассчитано годовое распределение стока, построены совмещенные гидрографы для разных уровней обеспеченностей. За период с 1980 по 2013 год расходы воды в каждом месяце уменьшились, по сравнению с периодом с 1941 по 1979. Для групп средней водности характерно перераспределение стока в весенние и летние месяцы. В маловодной группе наблюдается увеличение стока за период с 1980 по 2013.

Таким образом, при расчете статистических характеристик всех видов сезонного стока и внутригодового распределения стока допустимо применять для расчетов только данные за современный период наблюдений, так как они наиболее полно выражают водный режим реки в соответствии с влиянием изменения климата.

Список использованной литературы

1. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. –278 с.
2. Владимиров А. М. Гидрорасчеты.–Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
3. Методические указания по дисциплине гидрологические расчёты часть 1, под ред. СиканА.В. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2012-52 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Северо-Запад. -Л.:Гидрометеоиздат, 1972.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Части 1-6. Вып.8. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
7. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Северо-Запад. – Гидрометеоиздат

