



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 **Расчет максимальных расходов
воды с использованием составных
кривых обеспеченностей**

Исполнитель Акбашева Аделлина Римовна

Руководитель кандидат географических наук, доцент

Сикан Александр Владимирович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук. Сикан Александр Владимирович

«20» . 06 2016 г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1.КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	4
1.1 Географическое положение	4
1.2 Рельеф	5
1.3 Почвы	6
1.4 Растительность	8
1.5 Водные ресурсы	10
1.6 Климат.....	13
1.7 Экологическое состояние.....	15
2. АНАЛИЗ И НАЧАЛЬНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ....	18
2.1 Общая информация о реках исследуемого района.....	18
2.2 Описание гидрологических постов.....	20
2.3 Проверка рядов на однородность	26
2.4 Приведение коротких рядов к многолетнему периоду	30
2.5 Оценка основных статистических характеристик	39
3.ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ	43
3.1 Построение кривых обеспеченностей для однородных рядов.....	43
3.2 Построение усеченных кривых обеспеченностей	50
4. РАСЧЕТ НАИВЫСШИХ В ГОДУ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ.....	60
4.1 Описание расчетной методики	60
4.2 Построение составных кривых обеспеченностей для рек северо-запада Челябинской области	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67
ПРИЛОЖЕНИЯ	69

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях многие гидрологические ряды являются неоднородными и нестационарными. Основные причины неоднородности и нестационарности:

- тренды в рядах гидрологических характеристик – как следствие изменений климата;
- неоднородность рядов, вызванная локальными антропогенными воздействиями;
- генетическая неоднородность рядов.

В этих случаях нормативные документы допускают использовать усеченные и составные кривые обеспеченностей. Однако методическая сторона вопроса проработана недостаточно полно. Так в СП 33-101-2003 дан только один алгоритм построения усеченной кривой обеспеченностей – с точкой усечения в медиане.

В настоящей работе исследуется возможность построения усеченных и составных кривых обеспеченностей для абсолютных годовых максимумов, когда максимум может быть сформирован как в период весеннего половодья, так и в период дождевых паводков. Исследования выполнены на примере рек северо-запада Челябинской области.

1. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

1.1 Географическое положение

Челябинская область находится на стыке двух частей света – Европы и Азии. По территории области проходят два участка условной границы «Европа – Азия»: горный – по Урал-тау и Уральскому хребту и водный – по реке Урал. В настоящее время область занимает площадь 88.5 тыс. км² и простирается с юга на север на 490 км, с запада на восток – на 400 км (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Карта-схема Челябинской области.

На севере Челябинская область граничит со Свердловской областью, на востоке – с Курганской, на юге – с Оренбургской, на западе – с Республикой Башкортостан. Юго-восточная часть границы области с Казахстаном является государственной границей России.

1.2 Рельеф

Рельеф Южного Урала отличается большим разнообразием. Он формировался на протяжении миллионов лет. В Челябинской области имеются различные формы рельефа – от низменностей и холмистых равнин до хребтов, вершины которых превышают 1000 м.

Западно-Сибирская низменность ограничена с запада горизонталью (отметка 190 м над уровнем моря), что проходит через села Багаряк, Кунашак и далее через Челябинск – на юг. Низменность слабо наклонена на северо-восток, понижаясь до 130 м у восточной границы области. Низменность расчленена широкими долинами рек.

Зауральская холмистая возвышенная равнина (Зауральский пенеплен) занимает центральную часть территории области и простирается полосой вдоль восточных склонов Уральских гор от 50 км на севере до 150 км на юге. На юго-восточной окраине равнины расположен Уральский мелкосопочник, включающий Карагайские горы и возвышенность Куйбас. Поверхность равнины испещрена котловинами озер и речными долинами с пологими склонами.

Горы занимают северо-западную часть области. Профиль горной части ассиметричен: крутой восточный склон, ширина которого до водораздельного хребта Уралтау всего 17 км, и относительно пологий западный склон шириной до 175 км (район города Аша).

Высокогорная часть начинается с хребта Юрма, южнее которого Уральские горы повышаются. Хребты гигантским каменным веером расходятся к югу. Основные хребты (Таганай, Зигальга, Уреньга, Нургуш) покрыты каменными россыпями, их вершины без леса (гольцы) и украшены причудливыми

скалами. Западный район и часть горной области сложены в основном известняками. Здесь повсеместно встречаются карстовые образования: воронки, глубокие ущелья, пещеры. Их проточила в известняках вода.

На территории области учтено более 110 карстовых полей, их поверхность изрыта воронками, в глубинах таятся пещеры, шумят подземные реки. Самые обширные карстовые плато – Шалашовско – Миньярское (Ашинский район) и Шемахинское (Нязепетровский район). Буквально на каждом шагу встречаются пещеры на реке Сим возле деревни Серпиевка. Здесь, в овечьей легендами Игнatieвской пещере, находится знаменитая "картинная галерея каменного века". По состоянию на 01. 12. 2000 г. в области учтено спелеологами более 390 пещер. Если сложить вместе длину всех известных пещер, то она составит 27.8 км, а общая глубина достигнет 3.2 км. Почти все пещеры находятся в западной и северо-западной части области. 29 уникальных по различным признакам пещер и карстовых форм объявлено памятниками природы.

Одна из вершин хребта Нургуш - гора Большой Нургуш (1406.6 м) является самой высокой точкой области. А самая низкая точка находится в долине реки Уй на границе с Курганской областью (102 м над уровнем моря).

1.3 Почвы

Неоднородность природных условий Южного Урала определяет разнообразие его почвенного покрова.

Почвообразовательные процессы в горно-лесной зоне зависят от большой залесенности, горного рельефа, влажного и прохладного климата. Почвенный покров зоны очень неоднороден. Здесь четко прослеживается вертикальная поясность в распространении почв.

Верхние части гор заняты либо каменными россыпями, либо горно-тундровыми почвами с тундровой растительностью. Ниже расположены высокогорные луга с горно-луговыми почвами. На склонах хребтов и сопок распространены щебенчатые и дресвяные оподзоленные суглинистые и супесча-

ные почвы - основной почвенный фон зоны. В верхней части лесного пояса представлены травяные леса с горно-луговыми оподзоленными почвами. Под хвойными и смешанными лесами преобладают горные серые и темно-серые лесные почвы. Встречаются горные дерново-лесные почвы под массивами смешанных лесов с травяно-моховым покровом.

На остепененных склонах восточных предгорий Южного Урала появляются горные черноземы, чаще оподзоленные и выщелоченные черноземы.

Территория Зауральского пенеplена и примыкающей к нему Западно-Сибирской низменности характеризуется достаточно выраженной сменой широтных зон. В северной части лесостепной зоны под березовыми лесами формируются серые лесные почвы, реже оподзоленные черноземы. Под лугово-степной растительностью - выщелоченные черноземы с пятнами темно серых лесных почв.

На плоских, слабо дренированных междуречьях встречаются лугово-черноземные почвы с пятнами солонцов и солодей, а в понижениях преобладают лугово-болотные комплексы.

В степной зоне выделяются две подзоны: северная с обыкновенными черноземами и южная – с южными черноземами. В южной части Зауральского пенеplена небольшое распространение имеют темно-каштановые почвы.

К выходам засоленных третичных глин приурочены солонцеватые черноземы, которые наиболее характерны для подзоны южных черноземов, распространенных на Западно-Сибирской низменности.

Сравнительно небольшие площади в степной зоне занимают солончаки и аллювиальные почвы. Солончаки - это почвы, которые в верхнем горизонте содержат много солей, выносимых грунтовыми водами.

Аллювиальные, или пойменные, почвы расположены в долинах таких рек, как Урал, Уй, Тогузак и др. Вследствие ежегодных наносов илистых частиц, богатых органическими остатками, пойменные почвы отличаются высоким плодородием.

1.4 Растительность

В связи с тем, что Челябинская область расположена в трех природных зонах, растительный покров ее отличается большим разнообразием. В ее пределах можно встретить самые различные типы ландшафта, начиная от горных тундр и темнохвойных таежных, смешанных и широколиственных лесов до ковыльных степей. Не менее богата растительность Челябинской области по видовому составу – от горно-арктических до полупустынных форм.

Уральские горы, являясь важным климатическим рубежом, обуславливают значительные различия в характере растительности европейского и азиатского склонов.

В горной части области в растительном покрове прослеживается вертикальная поясность. В наиболее высокогорной части Южного Урала различают три пояса. Основным из них является пояс горно-таежных темнохвойных лесов, простирающийся до высоты 1000–1500 метров над уровнем моря. В нижней его полосе преобладают пихтово-еловые леса, среди которых встречаются лиственнично-сосновые леса, иногда с липой в подлеске. Там, где основные породы были вырублены, выросли осиново-березовые леса. Леса в этом поясе чередуются с луговыми полянами. Выше идет подгольцевый пояс, переходный от горно-таежных к гольцевому. Прирост древесины здесь замедлен более суровым климатом и коротким вегетационным периодом. Лес в этом поясе редкий и низкорослый (криволесье из ели, пихты, лиственницы, березы, рябины), чередуется с влажными субальпийскими лугами из горца альпийского, кислицы, ветреницы пермской и др.

На западных склонах Южного Урала, в пределах высот 250-650 м расположены южно-таежные хвойно-широколиственные леса. Наиболее распространены сосновые, лиственнично-сосновые и смешанные липово-сосновые леса. К ним добавляются широколиственные породы: клен, ильм, отчасти дуб и различные кустарники. Для этих лесов характерно видовое богатство растительности и пестрота растительного покрова. Богатый травяной покров вклю-

чают папоротники, копытень европейский, сныть обыкновенную, воронец колосистый, дельфиниум, манжетку, костянику. Вклинившиеся в пределы Челябинской области участки Уфимского плато заняты лесостепью. Это можно видеть на западе Саткинского и Нязепетровского, северо-востоке Ашинского районов.

Равнинные зауральские пространства Челябинской области почти поровну делятся между лесостепной и степной зонами. Примерной границей между ними является река Уй. В северной части лесостепной зоны в растительном покрове чередуются между собой сосновые (иногда с лиственницей), елово-сосновые и березово-сосновые леса с суходольными лугами и участками луговой степи. Луговые и разнотравно-злаковые степи чередуются здесь с борами, сосново-березовыми рощами и березовыми колками.

Боры в лесостепной зоне приурочены обычно к выходам на поверхность гранитных пород, либо к отложениям песка в долинах рек. В пределах зоны известны такие боры, как Каштакский, Челябинский, Уйский, Варламовский и другие.

Характер растительности степной зоны в целом определяется вхождением в ее полосу разнотравно-типчаково-ковыльных степей. Но в связи с обширностью территории, разнообразием рельефа и, отчасти, климата растительный покров в отдельных частях зоны имеет свои особенности.

Челябинская область имеет большой фонд кормовых угодий. Здесь имеется свыше 500 тыс. гектаров сенокосов и более 1 млн. гектаров пастбищ.

Дикорастущая флора области содержит виды, которые могут быть использованы в пищу, в частности, для лечебного питания, поскольку обладают уникальным химическим составом, оказывающим благоприятное воздействие на организм. Некоторая часть традиционно входит в рацион питания человека: орехово-плодные (лещина), ягодные (земляника, брусника, клюква, смородина, вишня, черника, боярышник и прочие), пряно-вкусовые, салатные (одуванчик, борщевик сибирский, дягиль лекарственный и другие).

1.5 Водные ресурсы

В пределах области берут начало многочисленные реки, принадлежащие к бассейнам Камы, Тобола и Урала. Так как здесь, в основном, их верховья, поэтому они маловодны.

Рек длиной более 10 км насчитывается в области 348, их суммарная длина составляет 10235 км.

Протяженность свыше 100 км имеют всего 17 рек. И только 7 рек: Миасс, Уй, Урал, Ай, Уфа, Увелька, Гумбейка - имеют в пределах области длину более 200 км.

Реки текущие в северо-западном направлении, такие как Уфа, Ай, Юрюзань, Сим и другие, относятся к Волжско-Камскому бассейну. Для них, как горных рек, характерны каменистое дно, быстрое течение, особенно на порогах, узкие долины, обрывистые берега. На многих реках горнолесной зоны, начиная с XVIII века, создавались водохранилища – заводские пруды: Нижне-Уфалейский, Саткинский, Юрюзанский, Катав-Ивановский и другие. Все они сохранились до сих пор, и играют заметную роль в водоснабжении. В последнее время на горных реках появились новые крупные водоемы для снабжения Златоуста (на реке Ай), Миасса (Иремельское водохранилище, на реке Киалим и Атлян) и Екатеринбурга (на реке Уфа).

Ресурсы речного стока в среднем за многолетний период составляют примерно 6.3 куб. км/год, а в засушливые годы снижаются до 2.7 куб. км/год. Потребность же в воде в области уже сейчас превышает 10 куб. км/год.

Водохранилища. В области построено и реконструировано около 110 водохранилищ, суммарная емкость их приближается к 3 млрд. куб. м. Наибольшее количество водохранилищ приходится на бассейн Тобола – 72, в бассейне Урала – 18, в Камском бассейне – 17. Самые большие по площади водохранилища сооружены на реках Миасс и Урал. Преобладают небольшие водохранилища, объемом до 10 млн. кубометров, и только 7 водохранилищ имеют емкость выше 100 млн. кубометров.

Озера. Южный Урал – край озер. На территории Челябинской области их насчитывается около 3170, общая площадь 2125 кв. км. Размеры озер от 1–2 га до 70–80 кв. км. Преобладают малые, величиной менее 0.5 кв. км (примерно 80%). Озер площадью более 0.5 кв. км – 566, из них 468 имеют площадь от 0.5 до 5.0 кв. км и только 98 озер – выше 5 кв. км.

Наиболее высокой озерностью (10–14 %) отличаются восточные предгорья Урала, что определяется наличием многочисленных котловин, связанных с тектоническими разломами. Озера протянулись почти сплошной полосой от Чебаркульской озерной группы на юге до Синарской – на севере. Здесь расположены самые крупные озера области: Увильды, Иртяш, Тургойак, Б. Кисегач, Каслинские озера. Это тектонические озера, имеющие глубокие (до 30–40 м) котловины. Озера восточных предгорий располагают большими ресурсами пресной воды.

Много озер и в лесостепном Зауралье. Здесь такие крупные водоемы, как Уелги, Шаблиш, Аргаяш, Б.Куяш, Калды, Сугояк, Тишки и др. Глубины озер на Зауральской равнине заметно уменьшаются и не превышают 8–10 м. По происхождению эти озера относятся к эрозионно-тектоническому типу. Тектонические впадины были видоизменены в результате воздействия эрозионных процессов. Многие озера Зауралья приурочены к древним ложбинам стока рек (Еткуль, Песчаное, Алакуль, Камышное и другие).

В юго-восточных районах области, в пределах Западно-Сибирской низменности, преобладают озера малых размеров. Их глубины изменяются от 0.5–10 м до 2–3 м. Котловины этих озер просадочного происхождения. Их образование связано с вымыванием рыхлых пород грунтовыми водами и оседанием грунта. К этой группе относятся многие озера Увельского, Октябрьского, Троицкого, Чесменского и Варненского районов.

Особый тип представляют карстовые озера, возникшие на месте карстовых воронок и провалов. Примером могут служить озера Круглое (в окрестно-

стях города Челябинска) и Боровушка (возле села Еткуль). Карстовые озера имеют обычно малые размеры, но большие глубины (до 10–15 м и более).

В результате изменения направления течения рек в старицах образуются пойменные озера. Как правило, они неглубокие и не большие по площади. Такие озера можно встретить в долинах Урала, Гумбейки, Миасса, Течи и других рек.

В Зауралье наряду с пресными озерами много соленых, сумма ионов в которых составляет 5-10 г/л. Максимальная соленость озер юго-восточных районов достигает 100 г/л и более (Таузаткуль, Солёный Кулат, Лаврушино).

Озера Челябинской области богаты разнообразными бальнеологическими ресурсами (органические и минеральные грязи, щелочные воды). По разнообразию лечебных грязей Зауралье занимает одно из первых мест в нашей стране. На ряде озер созданы здравницы, дома и базы отдыха. Особенно богаты лечебными ресурсами Увельский, Еткульский, Октябрьский районы.

Озера Зауралья широко используются для рыбозаведения, т.к. обладают богатой кормовой базой, но рыбопродуктивность снижается из-за заморных явлений.

Более благоприятные условия для ихтиофауны в озерах предгорных районов, отличающихся устойчивым гидрологическим режимом. Здесь хорошо акклиматизировались такие ценные породы, как сиг, рипус, лещ, пелядь, судак.

Болота. Слабый дренаж междуречий и обильные выходы грунтовых вод в районе восточных предгорий ведут к интенсивному заболачиванию. Развитие болот идет также за счет зарастания озер. Общая площадь болот превышает 2500 кв. км. Процент заболоченности в среднем составляет 2.8 %.

В горных и предгорных районах располагается зона олиготрофных и мезотрофных сосново-березово-сфагновых болот. Значительное место занимают эвтрофные болота с ерником, осоками, гипновыми мхами. Характерным для болот является наличие отложений торфа. Крупнейшими болотами этой части

являются Таганайское, Чусовское, Агардяшское, Треустанское и др. Заболоченность высокая, около 10 %. Болота восточных предгорий приурочены к тектоническим впадинам и межгорным понижениям, а также к долинам водостоков.

Болота лесостепных районов Зауралья относятся к зоне эвтрофных, тростниковых и крупно осоковых болот. Развитие болот идет как путем зарастания озер, так и в результате заболачивания низинных мест в междуречьях. В восточных районах области заболоченность увеличивается до 12–15 %, преобладающими являются тростниковые и засоленные болота. Самое крупное болото Донгузлы (к востоку от Копейска) занимает площадь 108 кв. км.

В южных районах с более сухим климатом заболоченность резко снижается. Мало болот и на западных предгорьях, где широко распространены карстующиеся известняковые породы.

Подземные воды. Часть потребности в воде удовлетворяется за счет подземных и озерных вод. Запасы подземных вод, возможных к использованию, невелики и не обеспечивают необходимые нужды. Доля подземного питания рек уменьшается от 30-40% в горных районах до 20-10% в Зауралье.

На территории Челябинской области для хозяйственно-питьевого снабжения разведано 19 месторождений подземных вод с эксплуатационными запасами около 600 тыс. куб. м/сутки. В эксплуатацию вовлечено более половины разведанных водозаборов. Одиночных водозаборных скважин около 9 тысяч с водозабором около 1 млн. куб. м/сутки.

1.6 Климат

Климат Челябинской области – континентальный. Зима холодная и продолжительная, лето относительно жаркое с периодически повторяющимися засухами. Особенности климата связаны с расположением области в глубинах Евразии, на большом удалении от морей и океанов.

На формирование климата существенно влияют Уральские горы, создающие препятствие на пути движения западных воздушных масс.

Зимой Южный Урал находится под влиянием Азиатского антициклона. Континентальный воздух, поступающий из Сибири, приносит морозную и сухую погоду. Наблюдаются также частые вторжения холодных воздушных масс с севера. В суровые зимы абсолютный минимум температуры воздуха составляет минус 46–48 градусов по Цельсию.

Летом на территории области преобладает низкое давление. С вхождением континентального тропического воздуха устанавливается жаркая и сухая погода. Западные ветры с Атлантического океана приносят влажную и неустойчивую погоду.

Особенности рельефа Южного Урала обуславливают наличие четко выраженной широтной зональности в Зауралье и вертикальной поясности в горах. Континентальность климата возрастает с северо-запада на юго-восток.

Атмосферные осадки на территории области распределяются неравномерно. Наибольшее их количество выпадает на наветренных склонах и вершинах наиболее высоких гор (700–800 мм).

Восточные склоны гор получают 500–600 мм осадков. На равнинном Зауралье годовые суммы осадков уменьшаются с севера на юг от 500 до 300 мм. Наибольшая сумма осадков приходится на летний сезон. Зимой количество осадков резко уменьшается. В теплую половину года выпадает 75–78 % годовой суммы осадков.

Количество летних осадков колеблется в больших пределах. Изменчива и годовая величина осадков, она может в разные по влажности годы изменяться в три-четыре раза. Снежный покров более мощный (44–48 см) и продолжительный (165–170 дней) бывает в горно-лесной зоне. Влага, полученная от снега, составляет здесь не менее 30 %. В лесостепной зоне средняя мощность снежного покрова достигает 34–38 см при продолжительности 156–160 дней. В общей сумме осадков влага от снега составляет около 25 %.

Наименьшими показателями характеризуется снежный покров в степной зоне. Средняя мощность его 24–30 см продолжительность 153–155 дней, влага от снега не превышает 22 % годовой суммы осадков.

Таким образом, если горнолесная зона по количеству осадков является районом избыточного увлажнения, а лесостепная зона – районом умеренного увлажнения, то степная – районом недостаточного увлажнения.

Самыми мокрыми местами в Челябинской области являются Аша (761 мм осадков) и Златоуст (704 мм осадков).

1.7 Экологическое состояние

Богатые природные условия и особое географическое положение (середина России, перекресток магистральных путей государства) поставили Челябинскую область в ряд регионов, где природа эксплуатируется наиболее интенсивно, земные недра черпаются уже два с половиной века. Превращение края в гигантский промышленный бастион, увы, не сопровождалось защитой окружающей среды от загрязнения промышленными выбросами в воздух, неочищенными стоками в реки и водоемы, от уничтожения и засыпки плодородной земли карьерами, отвалами и свалками, от варварского истребления лесных ресурсов.

Сегодня, даже при спаде производства, уровень загрязнения природной среды в области остается одним из самых высоких в России. По суммарному количеству выбросов вредных веществ в атмосферу и сбросов загрязненных вод в водные объекты Челябинский промышленный центр занимает 10-е место в России. В перечне наиболее загрязненных российских городов – Челябинск, Магнитогорск, Карабаш.

Размещение промышленных предприятий вблизи зон проживания населения, пренебрежение основными требованиями и нормами природопользования привели к неблагоприятной экологической обстановке во многих районах области.

Загрязнение почвы. Деятельность предприятий черной и цветной металлургии, горнодобывающей и угольной промышленности приводит к нарушению почвенного слоя – промышленной эрозии почв. На территории области действует около 90 горнорудных предприятий, 160 карьеров, 20 шахт. Изобилуют карьерами и отвалами окрестности городов Сатка, Верхний Уфалей, Копейск, Коркино, Еманжелинск, Пласт. Около города Бакал безжизненный "лунный" ландшафт создают 10 карьеров глубиной до 200 м и многочисленные отвалы высотой до 50–70 м.

В области ежегодно образуется около 500 млн. тонн промышленных и 5 млн. тонн бытовых отходов. В Челябинском промузле отходами 9 перерабатывающих предприятий и ТЭЦ занято 984,5 га земли. В городе ежегодно складывается более 60 млн. тонн отходов с повышенным содержанием хрома, меди, свинца, мышьяка, бария и других токсичных соединений. Геохимическое воздействие подобных "хранилищ" на атмосферный воздух, гидросферу и почвы приводит к возникновению районов экологического неблагополучия.

Загрязнение воздуха. В среднем на каждого жителя страны только из атмосферы выпадает 372 кг вредных веществ в год. В нашей области этот показатель колеблется в пределах от 200 до 2000 кг, а в городе Карабаше несколько лет тому назад он достигал величины 25 кг в день.

Основными загрязнителями воздушного бассейна области являются предприятия топливной энергетики, коксохимические, электродные и другие предприятия металлургического комплекса. В области насчитывается более 600 промышленных предприятий и организаций, имеющих выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от 22 тысяч стационарных и 300 тысяч передвижных источников. В составе загрязняющих веществ особо опасные: бензопирен, ртуть металлическая, свинец, хром шестивалентный, марганец и целый "букет" газообразных канцерогенных веществ.

Загрязнение вод. Интенсивное промышленное освоение области без наличия генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ре-

сурсов привело к значительному загрязнению большинства водоемов области и дефициту водных ресурсов.

Сброс сточных вод в пригородные водоемы составляет до 885 млн. куб. м/год и из них до 80 % загрязненные. Основными приемниками загрязненных сточных вод являются бассейны рек Миасс, Ай, Урал, Теча. В этих реках наблюдается скопление нитратов, фосфатов, аммиака, нефтепродуктов, металлов и других загрязнителей. Проблема качества воды особенно остро ощущается в Октябрьском, Троицком, Чесменском, Варненском, Карталинском, Брединском, Агаповском районах, где подземные воды отличаются повышенной минерализацией с содержанием железа более 1 мг/л. Дополнительным источником загрязнения природных вод стало нерациональное применение в сельском хозяйстве удобрений и ядохимикатов.

Радиоактивное загрязнение. К промышленному и сельскохозяйственному загрязнению окружающей среды в области добавилось радиоактивное - результат деятельности производственного объединения "Маяк".

Наиболее крупные радиоактивные загрязнения Уральского региона и, в частности, Челябинской области произошли в период с 1949 по 1956 годы, когда была загрязнена речная система Теча-Исеть-Тобол (суммарная активность сброшенных в реку радиоактивных отходов составила 2.7 млн. кюри), и в 1957 году – в результате взрыва емкости с высокоактивными отходами. Взрыв сопровождался выбросом радиоактивных веществ (суммарная активность 20 млн. кюри), рассеянных ветром над районами Челябинской и Свердловской областей. Загрязненная территория получила название Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Площадь ВУРСа в Челябинской области около 23 тыс. кв. км. Эти территории Каспийского и Кунашакского районов изъяты из хозяйственного оборота на десятилетия.

2. АНАЛИЗ И НАЧАЛЬНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

2.1 Общая информация о реках исследуемого района

В западной горной части Челябинской области, протекают реки бассейна Камы: Уфа, Ай, Юрюзань и другие со своими притоками.

Река Уфа и ее притоки берут свое начало в пределах горной и предгорной территории западного склона Уральских гор. Имеют умеренно извилистое русло, двухстороннюю пойму шириной 30–700 м, хорошо выраженную долину шириной от 1 до 2 км. Берега обрывистые, в большинстве случаев сливаются со склонами долины. Бассейны рек местами закарстованы. Залесенность бассейнов составляет около 50 %, заболоченность – 1 %. Основным источником питания рек является снежный покров, на долю которого приходится 50–70 % годового стока. Характерны дождевые паводки, максимальный сток которых в отдельные годы равен или даже превышает максимальный сток в период весеннего половодья.

Исток р. Уфы находится в 10 км от г. Карабаша. Река является крупным правобережным притоком р. Белой, ее протяженность по территории Челябинской области 245 км.

На реке расположена Павловская ГЭС. Также созданы крупные водохранилища Долгобродское, Нязепетровское и Верхне-Араслановское. Воды широко используются для водоснабжения, из Нязепетровского водохранилища вода перекачивается для водоснабжения Екатеринбурга, из Долгобродского водохранилища – для водоснабжения Челябинска, Копейска, Кыштыма.

Юрюзань – левобережный приток р. Уфы. Среднегодовой расход воды – около 55 м³/с. Длина реки 404 км, протекает по горнозаводской зоне Челябинской области через города Юрюзань, Трехгорный, Усть-Катав и далее по территории Республики Башкортостан до впадения в Павловское водохранилище на р. Уфе. Протяженность реки по территории Челябинской области составля-

ет 160 км, на этом участке река имеет несколько притоков, одним из них является река Тюлюк.

Устье реки Тюлюк находится в 340 км по правому берегу реки Юрюзань. Длина реки составляет 25 км. В верховьях, среди болот, река спокойная, широкая (до 10 м). Брод труднонаходим, река достигает глубин 12 м. Тюлюк некоторое время течёт под землёй, далее путь реки пролегает по горным долинам. Сейчас Тюлюк является природоохранной зоной, где хозяйственная деятельность запрещена.

Ай берет начало в 40 км от г. Златоуста. Река, протекая по территории Челябинской области и Республики Башкортостан, впадает в р. Уфу. На территорию Челябинской области приходится 242 км из общей протяженности реки 552 км. Питание преимущественно снеговое. У города Златоуст 67.1 % годового стока приходится на весенний период (апрель – июнь), 25.6 % - летне-осенний (июль – ноябрь), 7.3 % - зимний (декабрь – март); к устью весенний сток снижается до 62.6 %, летне-осенний увеличивается до 27.4 %, зимний до 10 % (вследствие закарстованности, наличия прудов). Среднегодовой расход воды у Златоуста составляет 8.6 м³/с, у села Лаклы Салаватского района – 48.2 м³/с, в устье – 84.0 м³/с.

В районе города Златоуст река зарегулирована Верхнее-Айским водохранилищем и городским прудом.

Основные притоки: Куса, Большая Арша, Киги, Большой Ик, Ик – справа, Большая Сатка, Лемазы, Мелекас – слева.

Исток реки Куса – на западном склоне хребта Юрма, на границе национального парка «Таганай» и Аршинского заказника. Спустившись с гор, река течет в юго-западном направлении до поселка Магнитка. В поселке Магнитка река Куса круто меняет свое направление и течет уже на восток. Река впадает в Ай на окраине города Куса. Длина реки составляет 59 км, а площадь водосбора 287 км².

Куса и все ее крупные притоки – горные реки с быстрым течением, каменистым руслом и узкой долиной. По обоим берегам реки раскинулись лиственно-хвойные леса.

У подножья горы Тураташ берет свое начало река Большая Арша. Протекает по территории Кусинского района, возле границы с Башкирией и впадает в реку Ай, неподалеку от села Петропавловка. Арша несет свои воды на протяжении 56 км. Побережья реки представляют собой густо разросшиеся темнохвойные леса, ближе к низовью смешанные сосновые и березовые.

2.2 Описание гидрологических постов

р. Уфа – г. Нязепетровск

Пост расположен в 570 м выше впадения р. Ураим, в 135 м ниже ж.-д. моста. Местность, прилегающая к долине реки, мелкохолмистая.

Пойма двухсторонняя. Левобережная – шириной до 1.0 км, изрезана старицами, затопляется при уровне 170 см, течение отсутствует. Правобережная – незначительная по ширине, затопляется при уровне 520 см. За последние 5 лет пойма затоплялась 1 раз в 1987 г. Сток поймы учитывается. Русло извилистое, песчано-гравелистое, деформирующееся, незначительно зарастает водной растительностью. Берега высотой 4.0-5.0 м, крутые, местами обрывистые, сложены суглинком. Левый берег имеет искусственное углубление – земляную дамбу, в паводок берега размываются.

Уровенный и ледовотермический режим искажен работой водохранилищ, расположенных на р. Нязя и р. Уфа и промышленными стоками. В отдельные годы в период половодья при высоких уровнях наблюдается подпор от р. Ураим.

В 1966 г. в 200 м ниже поста построен деревянный мост, способствующий образованию заторов и создающий небольшой подпор.

С 1976 г. из Нязепетровского водохранилища, расположенного в 40 км выше поста на р. Уфа, по трубопроводам вода перебрасывается в р. Западная Чусовая.

Пост свайного типа расположен на левом берегу. Отметка нуля поста 284.61 м БС. Нижний уклонный пост расположен в 205 м ниже поста, верхний совмещен с основным. Температура вода, измеряется в створе поста у берега, толщина льда – в створе поста на середине реки.

В связи с постройкой выше поста водохранилища сезонного регулирования и переброской части стока в другой бассейн, однородность наблюдений за уровнями и стоком воды с 1976 г. нарушена (данные взяты из «Государственный водный кадастр», «ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши», 1990 г., с исправлениями по состоянию на 2009г., Том 1, вып. 25, бассейн р. Кама, Екатеринбург 2001г.).

Примечание: наблюдения за стоком реки Уфа начаты в 1929г. и ведутся, по сей день. Имеются отсутствие наблюдений: для максимального стока половодья и паводка с 1942 по 1960гг., для среднегодовых расходов с 1944 по 1960 гг.

Данные были выписаны из таблиц ежегодных расходов воды с анализом комплексных графиков из архива ГМС «Златоуста».

р. Куса – пгт. Магнитка

Пост расположен в южной части поселка, в 1.4 км ниже впадения р. Изранда.

Местность, прилегающая к долине, крупнохолмистая, переходящая в горную, за пределами поселка поросла лесом. Пойма левобережная, шириной 150–200 м, луговая, местами неровная, частично заболоченная, заросшая кустарником, затопляется при уровне 180 см. Сток поймы учитывается. Русло реки извилистое, песчано-гравелистое, местами каменистое. Правый берег крутой, скальный, высотой до 8 м, левый пологий до 1.5–2.0 м, сложен песчаными и супесчаными грунтами. Левый берег при большой воде подвергается разрушению. Зимой наблюдаются выходы наледной воды.

Пост свайного типа расположен на левом берегу. Отметка нуля поста 359.43 м БС. Температура воды измеряется в створе поста у берега, толщина льда – в створе поста на середине реки.

р. Ай – г. Златоуст

Пост расположен в городе: в 1.0 км ниже впадения р. Каменки, в 75 м выше Кусинского моста, в 50 м выше автодорожного моста.

Местность, прилегающая к долине, крупнохолмистая, ниже и выше поста занята промышленными строениями города. Долина реки V-образная, шириной 500–600 м. Склоны высотой 40–50 м крутые, сложенные хрящеватыми грунтами, местами скальными. Пойма левобережная, затопление поймы происходит снизу при уровне 400 см на ширину 150 м. Русло умеренно извилистое, песчано-галечное, во время половодий и паводков подвержено деформации, значительно зарастает водной растительностью, которая не отмирает и в зимнее время. Правый берег высокий, имеет искусственную насыпь в виде террасы шириной 10 м, левый – высотой 2.0–2.5 м, местами обрывистый, сложен суглинком, разрушается.

На уровенный, ледовый и термический режим оказывают влияние заводские плотины (Балашихинское водохранилище, Златоустовский пруд с 1735 года, два Тесьминских водохранилища (притоки р. Ай)), расположенные в 500 м, а 1.0 и 7.0 км выше поста и сбросы промышленных вод.

Пост свайного типа расположен на левом берегу. Отметка нуля поста 411.78 м БС. Температура воды измеряется в створе поста у берега.

В мае 1958 г., в результате возведения у правого берета дамбы, сужено русло, ряд наблюдений за уровнями воды неоднороден.

В связи со строительством в 50 м ниже поста, автодорожного моста через железнодорожные пути и реку, ряд наблюдений за уровнями воды с 1980 г. неоднороден.

Примечание: С 1980 г. по 1988 гг., на посту г. Златоуст наблюдались только уровни воды (впоследствии наблюдения за расходами возобновлены). В это же время началось строительство Кусинского моста; выписка из Анализа данных 1979 г.: «в 50 м ниже поста строится мост. Для установки опоры в середине русло засыпалось до паводка с левого берега, с 22/VII засыпана первая сторона до опоры».

Так как изменился профиль реки, то изменились и расходы, поэтому установление среднегодовых и максимальных расходов по измеренным уровням производилось по новой кривой 1989 г. $Q = f(H)$ (из архива поста).

р. Большая Арша – д. Вознесенка

Пост расположен у деревни, в 800 м ниже впадения р. Миса.

Местность, прилегающая к долине, холмистая, покрыта смешанным лесом. Долина реки V-образная, шириной до 1,0 км. Склоны долины умеренно крутые, местами обрывистые, высотой 50–100 м, рассечены оврагами и балками, заросшие кустарником. Пойма левобережная, шириной до 500 м, покрыта кустарником и лесом. Затопляется при уровне 300 см. Сток поймы учитывается. Русло реки извилистое, песчано-галечное, деформирующееся. Берега высотой 2.0–3.0 м. В половодье и дождевые паводки берега разрушаются. Выше и ниже поста в 25–100 м имеются перекаты, способствующие выходу наледной воды.

Пост расположен на правом берегу. Отметка нуля поста 347.10 м БС.

Температура воды в половодье и паводки измеряется в створе поста, в период летней межени – в 5 м выше основного поста у берега. Толщина льда измеряется в створе поста на середине реки.

р. Юрюзань – пгт. Вязовая

Пост расположен на западной окраине поселка, в 12 км ниже Юрюзанской плотины.

Местность, прилегающая к долине, крупнохолмистая, сильно изрезана оврагами, покрыта лесом. Долина реки V-образная, извилистая, шириной до 1,0 км. Левый склон крутой, до 40–80 град., правый – менее крутой, имеет две террасы. Склоны покрыты лесом и кустарником. Пойма правобережная, шириной 70 м, сухая, занята постройками. Выход воды на пойму в районе поста начинается при уровне 100 см, выше поста – при уровне 300 см. Сток поймы учитывается. Русло реки умеренно извилистое, галечно-песчаное, гравелистое, слабо деформирующееся, зарастает редкой водной растительностью.

На уровенный и ледово-термический режим реки оказывают влияние работа вышерасположенного водохранилища и сбросы теплых промышленных вод.

Пост свайного типа расположен на правом берегу. Отметка нуля поста 316.63 м БС. Температура воды измеряется в створе поста у берега, толщина льда – в створе поста на середине реки.

Для увязки уровней обоих постов необходимо к уровням поста, существовавшего в 1932–1942 гг. вводить поправку (-1.85 м).

Примечание: Имеется прерванный ряд наблюдений с 1941 по 1965 г.г. (восстановленный ряд будет $n = 72$ года.). В это время велись гидрологические наблюдения на р. Юрюзань – с. Екатериновка (с 1931 по 1982 гг., $n = 52$ года, $F = 1740$ км²). Пост Екатериновка находится примерно в 32 км выше по реке относительно Вязовой.

При анализе паводков в районе Вязовой (1994 г.) обнаружилось катастрофическое повышение расхода (выдающееся значение) $Q = 1070$ м³/с, $q = 440$ л/с* км². В таблице расходов было отмечено буквой «ю». Со слов очевидцев уровень в реке поднялся на 4–5 м.

Так же обнаружилось несоответствие измеренных расходов половодий в 1968 г. Для Вязовой $Q = 134$ м³/с, а для Екатериновки $Q = 334$ м³/с. Предположительно, несмотря на то что между постами расположено Юрюзанское водохранилище что могло «сгладить» пик паводка, судя по совмещенному графику

причиной стало несоответствие времени измерения расхода и времени прохождения максимального пика. Расход бракуется.

р. Тюлюк – с. Тюлюк

Пост расположен в селе, в 220 м выше деревянного моста.

Местность, прилегающая к долине, средне холмистая, переходящая в горную. Долина реки трапецеидальная, шириной 320 м. Склоны долины умеренно крутые, местами обрывистые, высотой 50–100 м, рассеченные оврагами и балками, заросшие кустарником. Пойма правобережная, шириной 35 м, занята жилыми постройками, затопляется при уровне 200 см. Сток поймы учитывается. Последние 5 лет пойма не затоплялась (до 1990г). Русло реки прямолинейное, каменистое с большими валунами.

В суровые зимы при частичном замерзании русла наблюдаются значительные выходы наледной воды.

Пост свайного типа расположен на левом берегу. Отметка нуля поста 558.23 м БС. Температура воды измеряется в створе поста у берега, толщина льда – в створе поста на середине реки.

В связи с расчисткой русла на участке поста 22.11.1969 морфометрические характеристики русла изменились, уровень нулевого расхода понизился на 20–30 см. Уровенный ряд наблюдений прерван.

р. Ай – с. Веселовка

Пост расположен на юго-восточной окраине села, в 500–600 м ниже моста.

Местность, прилегающая к долине, холмистая, переходящая в горную, покрыта смешенным лесом. Долина реки трапецеидальная, шириной до 1 км. Правый склон высотой до 50 м, пологий, левый – высотой до 100 м, крутой. Пойма правобережная, шириной 500 м имеет плоский, слабопересеченный рельеф, местами заболочена. Сложена пойма хрящеватыми грунтами и суг-

линками, затопляется при уровне 180 см. Сток поймы учитывается. Русло реки гравелистое, неразветвленное, умеренно извилистое, на участке поста прямое, в 200 м выше поста река делает крутой поворот на 100 град., зарастает водной растительностью. Берега высотой 1.0–1.5 м обрывистые. В половодье и паводки, берега и русло подвержены деформации. Зимой наблюдаются выходы наледной воды.

Пост свайного типа расположен на левом берегу. Отметка нуля поста 477.03 м БС. Температура воды и толщина льда измеряется в створе поста у берега.

2.3 Проверка рядов на однородность

Перед проведением любых статистических расчетов необходимо осуществить проверку однородности исходных гидрологических рядов. Для проверки однородности гидрологических рядов используются критерии двух типов: параметрические и непараметрические. В параметрических критериях при построении анализируемой статистики используют выборочные оценки параметров распределения. При этом считается, что исходная выборка относится к генеральной совокупности с известным типом распределения.

Непараметрические критерии базируются на использовании непараметрических статистик.

Статистика $g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ является непараметрической, если ее распределение не зависит от распределения X . Поэтому наряду с термином “непараметрический” используется более точный: “свободный от распределения”. Хотя непараметрические критерии часто менее эффективны, чем стандартные, потеря эффективности в этом случае компенсируется более широкими возможностями их применения.

Для проверки однородности исходных гидрологических рядов используем параметрические критерии, а именно критерий Стьюдента и Фишера, так как они относятся к категории стандартных критериев и рекомендуются в

большинстве нормативных документов в качестве официального теста на однородность.

Критерий Фишера используется для проверки однородности рядов по дисперсии. Исходный ряд делится на две части, затем оцениваются дисперсии для каждой из частей ряда, и вычисляется эмпирическое значение статистики Фишера

$$F^* = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (2.1)$$

где $S_1^2 > S_2^2$

S_1^2, S_2^2 – выборочная дисперсия по 1-ой и 2-ой частям ряда.

Полученное значение F^* сравнивается с табличным значением $F_{1-\alpha}$. Если $F^* < F_{1-\alpha}$, то расхождение дисперсий считается незначимым и гипотеза об однородности не опровергается.

Критерий Стьюдента используется для проверки однородности гидрологических рядов по среднему значению. При его применении следует учитывать три момента.

1. При построении критерия предполагалось, что анализируемые выборки относятся к нормальным совокупностям, а большинство гидрологических рядов, как правило, имеют небольшую положительную асимметрию, что повышает риск совершить ошибку.

2. При построении критерия предполагалось, что анализируемые выборки имеют одинаковую (хотя и неизвестную) дисперсию, поэтому перед использованием критерия Стьюдента следует проверить ряд на однородность по дисперсии.

3. В классической статистике длина выборок предполагается значительно большей, чем та, которую мы имеем на практике. Поэтому нельзя исключить ситуацию, когда гипотеза об однородности ряда опровергается из-за недостаточной длины этого ряда. Например, если ряд включает серию маловодных и серию многоводных лет, то

при разрезке пополам в одну выборку могут попасть расходы мало-водной фазы, а в другую - многоводной.

Исходный ряд делится на две части. Если дата возможного нарушения стока не известна, то ряд делится пополам. При этом разница двух выборочных средних должны быть незначимой. Уровень значимости равен $2\alpha=5\%$.

Вычисляется эмпирическое значение статистики Стьюдента.

$$t^* = \left[\frac{(Q_1 - Q_2)}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \right] \times \sqrt{\frac{n_1 * n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (2.2)$$

где Q_1, Q_2 – среднее значение расхода по 1-ой и 2-ой частям ряда;
 σ_1, σ_2 – среднеквадратическое отклонение по 1-ой и 2-ой частям;
 n_1, n_2 – длина 1-ой и 2-ой частям ряда.

Полученное значение t^* сравнивается с табличным значением t_t . Если при принятом уровне значимости оказывается, что $t^* < t_t$, то гипотеза об однородности ряда по среднему значению не опровергается.

В таблицах 2.1–2.7 представлены результаты проверки рядов на однородность для максимальных расходов весеннего половодья и максимальных расходов дождевых паводков рек северо-запада Челябинской области.

Таблица 2.1 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Уфа – г. Нязепетровск

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	1.19	1.85	не опровергается	-0.44	2	не опровергается
Максимальный дождевой	1.05	1.85	не опровергается	-0.96	2	не опровергается

Таблица 2.2 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Юрюзань – пгт. Вязовая

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	0.34	0.49	не опровергается	-2.79	2.01	не опровергается
Максимальный дождевой	1.58	2.01	не опровергается	-0.41	2.01	не опровергается

Таблица 2.3 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Тюлюк – с. Тюлюк

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	0.2	0.48	не опровергается	-1.65	2.02	не опровергается
Максимальный дождевой	1.76	2.08	не опровергается	-1.53	2.02	не опровергается

Таблица 2.4 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Ай – г. Златоуст

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	0.56	0.58	не опровергается	-1.07	1.99	не опровергается
Максимальный дождевой	1.08	1.74	не опровергается	-0.98	1.99	не опровергается

Таблица 2.5 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Ай – с. Веселовка

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	1.49	1.74	не опровергается	-1.56	1.99	не опровергается
Максимальный дождевой	0.34	0.48	не опровергается	-0.21	2.02	не опровергается

Таблица 2.6 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Куса – пгт. Магнитка

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	0.43	0.48	не опровергается	-0.22	2.02	не опровергается
Максимальный дождевой	1.26	2.08	не опровергается	-0.11	2.02	не опровергается

Таблица 2.7 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность р. Бол. Арша – д. Вознесенка

Вид стока	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
Максимальный весенний	1.17	2.05	не опровергается	0.34	2.01	не опровергается
Максимальный дождевой	1.46	2.04	не опровергается	-0.48	2.01	не опровергается

Как видно из таблиц, гипотеза об однородности рядов во всех случаях не опровергается. Однако как показал дальнейший анализ, значительная часть рядов является генетически неоднородными.

2.4 Приведение коротких рядов к многолетнему периоду

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетного гидрографа необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов.

При выборе пункта-аналога основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов, которые количественно выражают через коэффициент парной корреляции между стоком в этих пунктах. Также необходимо учитывать пространственную связанность рассматриваемой гидрологической характеристики, которую количественно выражают через матрицу парных коэффициентов корреляции. Её определяют в однородном гидрологическом и физико-географическом районе.

Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду, как правило, осуществляют аналитическими методами. Для предварительного приведения допускается использование графических и графоаналитических методов.

В расчете параметров распределения и значений стока за отдельные годы Q_i с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n \geq 10; |r| \geq 0.7; \frac{|r|}{\sigma_r} \geq 2; \frac{|a|}{\sigma_a} \geq 2; |b|/\sigma_b \geq 2, \quad (2.3)$$

где n – число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах;

r – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-

аналогах;

σ_r – стандартная ошибка коэффициента парной или множественной корреляции;

a – коэффициент уравнения регрессии;

σ_a – стандартная ошибка коэффициента регрессии;

b – свободный член;

σ_b – стандартная ошибка свободного члена.

Если хотя бы один из коэффициентов уравнения регрессии не удовлетворяет условию (2.3), то это уравнение не используют для приведения к многолетнему периоду.

В СП 33 – 101 – 2003 приводится метод восстановления ряда расчётной реки по уравнению линейной регрессии с использованием данных реки – аналога:

$$\tilde{Q}_i = aQ_{i,a} + b, \quad (2.4)$$

В настоящей работе было проведено восстановление 3 рядов весеннего половодья.

Рассмотрим расчет на примере р. Бол. Арша в створе д. Вознесенка

В качестве реки – аналога использовалась р. Уфа – г. Нязепетровск.

График связи представлен на рисунке 2.1, параметры уравнения регрессии даны в таблице 2.8.

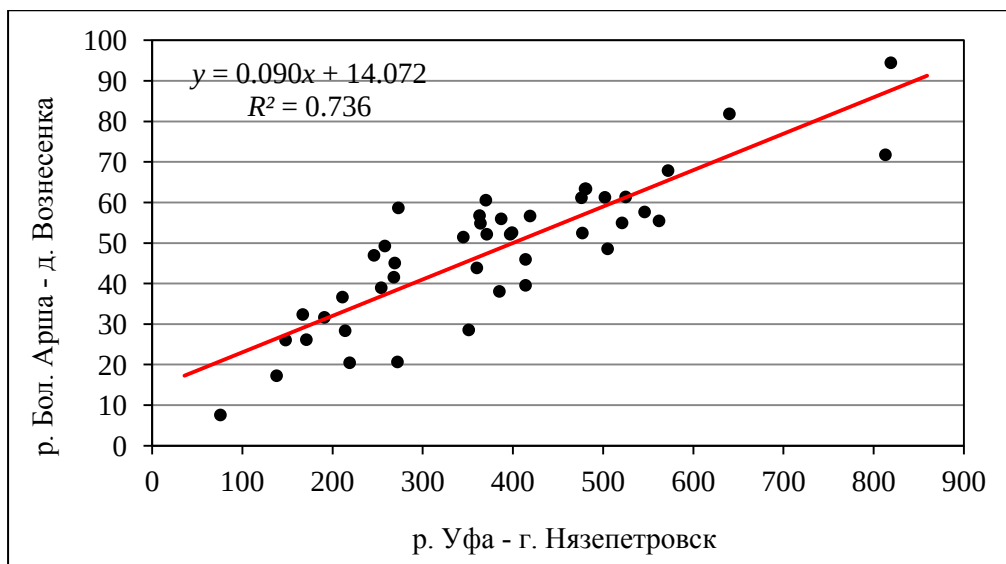


Рисунок 2.1 – График связи стока весеннего половодья расчетной реки и реки – аналога за совместный период наблюдений

Таблица 2.8 – Параметры уравнения линейной регрессии

n	r	r/σ_r	a	b	a/σ_a	b/σ_b
44	0.87	21.3	0.09	14.1	10.8	4.11

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

$$\tilde{Q}_i = \frac{Q_i - \bar{Q}_n}{R} + \bar{Q}_n, \quad (2.5)$$

где $\tilde{Q}_i$ – расчётные погодичные значения расходов воды восстановленной части ряда;

Q_i – погодичные значения, полученные по уравнению регрессии;

$\bar{Q}_n$ – среднее значение расхода воды расчётной реки за совместный период наблюдений.

Таблица 2.9 – Восстановление ряда стока весеннего половодья р. Бол. Арша – д. Вознесенка по р. Уфа – г. Нязепетровск

№ п/п	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$	ная часть
1	1961	399	52.6			
2	1962	351	28.6			

№ n/n	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$	
3	1963	481	63.4			
4	1964	254	39			
5	1965	546	57.7			
6	1966	397	52.2			
7	1967	75.7	7.62			
8	1968	345	51.5			
9	1969	813	71.8			
10	1970	562	55.5			
11	1971	477	52.5			
12	1972	360	43.9			
13	1973	572	67.9			
14	1974	521	55			
15	1975	371	52.2			
16	1976	167	32.4			
17	1977	505	48.6			
18	1978	272	20.7			
19	1979	819	94.5			
20	1980	414	46			
21	1981	414	39.6			
22	1982	211	36.7			
23	1983	258	49.3			
24	1984	138	17.3			
25	1985	502	61.3			
26	1986	476	61.2			
27	1987	640	81.9			
28	1988	191	31.7			
29	1989	385	38.1			
30	1990	268	41.6			
31	1991	419	56.7			
32	1992	387	56			
33	1993	148	26.1			
34	1994	370	60.6			
35	1995	363	56.8			
36	1996	246	47			
37	1997	458		55.3	56.5	Восстанов- ленная часть
38	1998	477		57.0	58.5	
39	1999	382		48.5	48.5	
40	2000	613		69.2	72.8	
41	2001	525	61.4			Исходная часть
42	2002	273	58.7			
43	2003	214	28.4			
44	2004	219	20.5			
45	2005	480	63.4			
46	2006	269	45.1			

№ п/п	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$
47	2007	364	54.9		
48	2008	171	26.2		

Аналогичным образом были восстановлены ряды р. Ай – д. Веселовка и р. Куса – пгт. Магнитка.

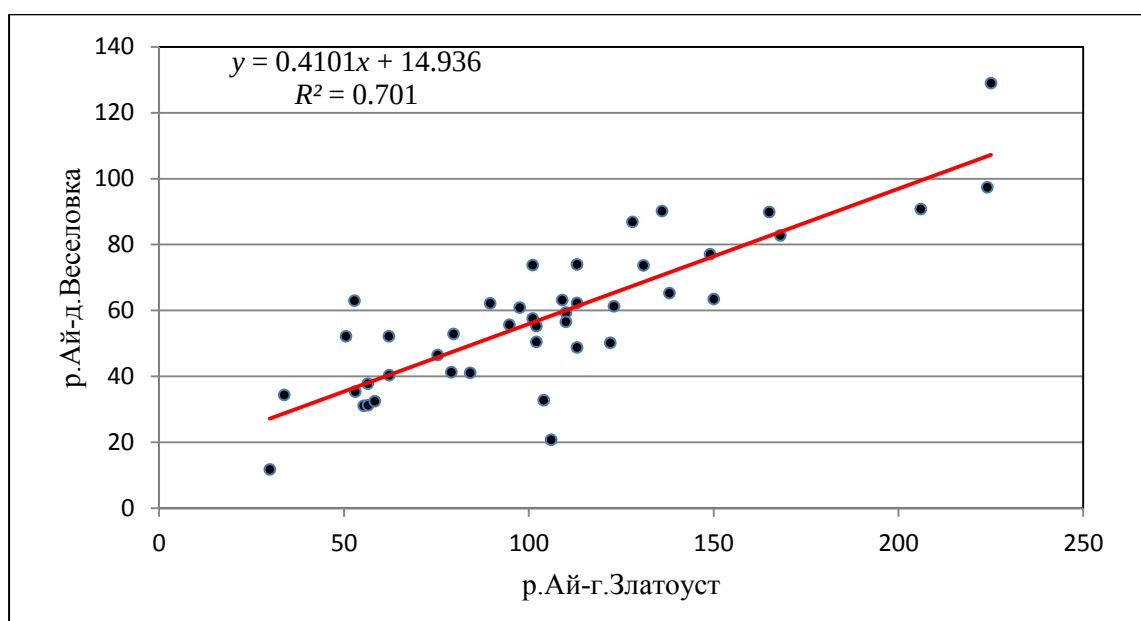


Рисунок 2.2 – График связи стока весеннего половодья расчетной реки и реки – аналога за совместный период наблюдений

Таблица 2.10 – Условия надежности уравнения линейной регрессии

n	R	r/σ_r	a	b	a/σ_a	b/σ_b
43	0.84	15.2	0.41	14.936	9.804	3.116

Таблица 2.11 – Восстановление ряда стока весеннего половодья р.Ай – д. Веселовка по р. Ай – г. Златоуст

№ п/п	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$	Восстановленная часть ряда
1	1934	76.9		46.5	44.2	
2	1935	42.6		32.4	27.4	
3	1936	72		44.5	41.8	
4	1937	54.1		37.1	33.1	
5	1938	179		88.3	94.2	
6	1939	52		36.3	32.0	

№ n/n	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$	
7	1940	44		33.0	28.1	
8	1941	158		79.7	83.9	
9	1942	112		60.9	61.4	
10	1943	98		55.1	54.6	
11	1944	71.7		44.3	41.7	
12	1945	128		67.4	69.3	
13	1946	133		69.5	71.7	
14	1947	167		83.4	88.4	
15	1948	135		70.3	72.7	
16	1949	104		57.6	57.5	
17	1950	61.7		40.2	36.8	
18	1951	133		69.5	71.7	
19	1952	65		41.6	38.4	
20	1953	77		46.5	44.3	
21	1954	92.2		52.7	51.7	
22	1955	42.7		32.4	27.5	
23	1956	91.7		52.5	51.5	
24	1957	126		66.6	68.3	
25	1958	70.8		44.0	41.2	
26	1959	117		62.9	63.9	
27	1960	81.9		48.5	46.7	
28	1961	77.5		46.7	44.5	
29	1962	70.6		43.9	41.1	
30	1963	113		61.3	61.9	
31	1964	126		66.6	68.3	
32	1965	118		63.3	64.4	
33	1966	101	57.6			Исходная часть ряда
34	1967	29.9	11.8			
35	1968	97.5	60.9			
36	1969	102	50.5			
37	1970	131	73.7			
38	1971	106	20.8			
39	1972	165	89.9			
40	1973	113	74			
41	1974	79.6	52.9			
42	1975	62.1	52.2			
43	1976	33.8	34.4			
44	1977	109	63.2			
45	1978	62.2	40.4			
46	1979	136	90.2			
47	1980	101	73.8			
48	1981	94.7	55.7			
49	1982	89.5	62.2			
50	1983	84.1	41.1			

№ n/n	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$
51	1984	55.3	31.1		
52	1985	123	61.3		
53	1986	113	62.3		
54	1987	224	97.4		
55	1988	53	35.4		
56	1989	52.8	63		
57	1990	225	129		
58	1991	122	50.2		
59	1992	110	59.4		
60	1993	56.4	37.8		
61	1994	113	48.8		
62	1995	56.5	31.3		
63	1996	75.3	46.5		
64	1997	138	65.3		
65	1998	79	41.3		
66	1999	104	32.8		
67	2000	150	63.5		
68	2001	149	77.1		
69	2002	128	86.9		
70	2003	58.3	32.5		
71	2004	110	56.6		
72	2005	206	90.8		
73	2006	102	55.3		
74	2007	168	82.8		
75	2008	50.5	52.2		

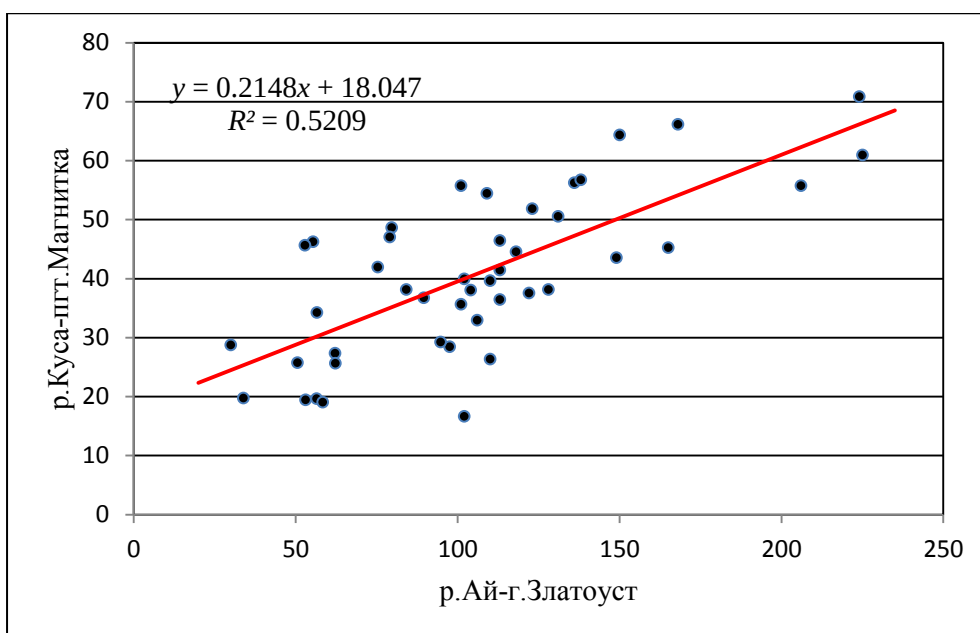


Рисунок 2.3 – График связи стока весеннего половодья расчетной реки и реки – аналога за совместный период наблюдений

Таблица 2.12 – Условия надежности уравнения линейной регрессии

N	R	r/σ_r	a	B	a/σ_a	b/σ_b
44	0.72	9.878	0.215	18.047	6.757	4.95

Таблица 2.13 – Восстановление ряда стока весеннего половодья р. Куса – пгт. Магнитка по р. Ай – г. Златоуст

№ п/п	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$	Восстановленная часть ряда
1	1934	76.9		34.6	32.2	
2	1935	42.6		27.2	22.0	
3	1936	72		33.5	30.7	
4	1937	54.1		29.7	25.4	
5	1938	179		56.5	62.6	
6	1939	52		29.2	24.8	
7	1940	44		27.5	22.4	
8	1941	158		52.0	56.3	
9	1942	112		42.1	42.7	
10	1943	98		39.1	38.5	
11	1944	71.7		33.4	30.7	
12	1945	128		45.5	47.4	
13	1946	133		46.6	48.9	
14	1947	167		53.9	59.0	

№ n/n	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$	Исходная часть ряда
15	1948	135		47.0	49.5	
16	1949	104		40.4	40.3	
17	1950	61.7		31.3	27.7	
18	1951	133		46.6	48.9	
19	1952	65		32.0	28.7	
20	1953	77		34.6	32.2	
21	1954	92.2		37.9	36.8	
22	1955	42.7		27.2	22.0	
23	1956	91.7		37.7	36.6	
24	1957	126		45.1	46.8	
25	1958	70.8		33.3	30.4	
26	1959	117		43.2	44.1	
27	1960	81.9		35.6	33.7	
28	1961	77.5		34.7	32.4	
29	1962	70.6		33.2	30.3	
30	1963	113		42.3	42.9	
31	1964	126		45.1	46.8	
32	1965	118	44.6			
33	1966	101	35.7			
34	1967	29.9	28.8			
35	1968	97.5	28.5			
36	1969	102	40			
37	1970	131	50.6			
38	1971	106	33			
39	1972	165	45.3			
40	1973	113	41.5			
41	1974	79.6	48.7			
42	1975	62.1	27.4			
43	1976	33.8	19.8			
44	1977	109	54.5			
45	1978	62.2	25.7			
46	1979	136	56.3			
47	1980	101	55.8			
48	1981	94.7	29.3			
49	1982	89.5	36.8			
50	1983	84.1	38.2			
51	1984	55.3	46.3			
52	1985	123	51.9			
53	1986	113	46.5			
54	1987	224	70.9			
55	1988	53	19.5			
56	1989	52.8	45.7			
57	1990	225	61			

№ п/п	Год	$Q_{p.a} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{p.p} \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i \text{ м}^3/\text{с}$	$\tilde{Q}_i \text{ м}^3/\text{с}$
58	1991	122	37.6		
59	1992	110	39.7		
60	1993	56.4	19.7		
61	1994	113	36.5		
62	1995	56.5	34.3		
63	1996	75.3	42		
64	1997	138	56.8		
65	1998	79	47.1		
66	1999	104	38.1		
67	2000	150	64.4		
68	2001	149	43.6		
69	2002	128	38.2		
70	2003	58.3	19.1		
71	2004	110	26.4		
72	2005	206	55.8		
73	2006	102	16.7		
74	2007	168	66.2		
75	2008	50.5	25.8		

Как видно из таблиц 2.8, 2.10, 2.12 восстановление выполнено корректно – требования СП 33 – 101 – 2003 выполняются.

2.5 Оценка основных статистических характеристик

Расчет статистических характеристик выполнялся методом моментов.

Ниже приведены используемые формулы для этого метода:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (2.6)$$

где $\bar{Q}$ – средний многолетний расход воды;

Q_i – среднегодовые расходы воды;

n – длина ряда.

Коэффициент вариации C_v характеризует колебания годовых значений стока относительно их средней величины и определяется непосредственно по имеющемуся ряду наблюдений.

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_1^n (K_i - 1)^2}{n-1}} \quad (2.7)$$

$$\sigma = C_v \times \bar{Q} \quad (2.8)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{(n-1) \times (n-2) \times C_v^3} \quad (2.9)$$

где C_v – коэффициент вариации;
 $K_i = Q_i / \bar{Q}$ – модульный коэффициент;
 σ – среднеквадратическое отклонение;
 C_s – коэффициент асимметрии;
 n – длина ряда.

Для каждого вида стока C_s/C_v определяется в пределах гидрологического однородного района. Относительные погрешности статистических характеристик рассчитываются:

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \times \sqrt{\frac{n \times (1+C_v^2)}{2}} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \times \sqrt{\frac{6}{n} \times (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} \times 100\% \quad (2.12)$$

Результаты расчета параметров распределения и их погрешностей представлены в таблицах 2.14–2.20.

Таблица 2.14 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Уфа – г. Нязепетровск

Вид стока	N	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	61	360.2	0.46	0.49	1.07	5.87	9.82	100
Максимальный дождевой	61	97.5	0.84	2.08	2.46	10.8	11.3	42.2

Таблица 2.15 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Юрюзань – д. Вязовая

Вид стока	N	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	48	292	0.39	1.56	3.96	5.69	10.8	32.4
Максимальный дождевой	48	205.4	1.08	2.09	1.93	15.7	13.7	65.3

Таблица 2.16 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Тюлюк – д. Тюлюк

Вид стока	N	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	44	23.7	0.54	1.79	3.34	8.09	11.8	36.5
Максимальный дождевой	44	14	0.78	1.18	1.52	11.7	12.8	79.2

Таблица 2.17 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Ай – д. Златоуст

Вид стока	N	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	75	101.5	0.42	0.77	1.83	4.83	8.77	54.8
Максимальный дождевой	75	56.7	0.89	1.99	2.22	10.3	10.5	42.7

Таблица 2.18 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Ай – д. Веселовка

Вид стока	N	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	75	56.3	0.37	0.64	1.74	4.27	8.64	60.7
Максимальный дождевой	43	27.8	0.99	1.9	1.9	15.1	13.9	67.5

Таблица 2.19 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Куса – пгт. Магнитка

Вид стока	n	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	75	39.5	0.32	0.31	0.97	3.69	8.52	117

Вид стока	n	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный дождевой	44	20.5	0.72	0.94	1.6	10.8	12.5	91.5

Таблица 2.20 – Сводная таблица основных статистических характеристик ряда максимального стока р. Бол. Арша – д. Вознесенка

Вид стока	n	$\bar{Q}$ м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	$\varepsilon_{\bar{Q}}$ %	ε_{C_v} %	ε_{C_s} %
Максимальный весенний	50	48.8	0.34	-0.08	-0.24	4.88	10.5	-558
Максимальный дождевой	46	17.3	0.82	1.09	1.34	12.1	12.7	88.9

Как видно из таблиц, во всех случаях погрешности среднего значения и коэффициента вариации не превышают 20 %.

3. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

При расчетах максимального стока обычно приходится решать две проблемы:

- обеспечение безаварийности работы сооружений и безопасность прилегающих к ним территорий и населения;
- не завысить стоимость сооружений в результате принятия неоправданно больших расходов воды.

Таким образом, необходимо научно сочетать и обосновать требования безопасности и экономические вопросы. Для этого устанавливается величина наблюдаемых максимальных расходов воды на основе анализа гидрологического режима реки и рассчитывается вероятность их превышения, а в конечном итоге определяется максимальный расход воды требуемой обеспеченности.

Кривые обеспеченностей для половодья и паводков строятся отдельно, однако если максимальные расходы воды разделить по генетическому признаку очень трудно, то кривые обеспеченностей строятся по наибольшему в году максимуму. Тогда ряд становится генетически неоднородным и требует специальной обработки.

3.1 Построение кривых обеспеченностей для однородных рядов

Эмпирическая обеспеченность наблюдаемых максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков определяются по формуле Крицкого – Менкеля [формула (3.1)].

$$P = \left(\frac{m}{n+1}\right) \times 100, \quad (3.1)$$

где m – порядковый номер расхода в ранжированном ряду;

n – длина ряда;

P – обеспеченность в процентах.

Для построения аналитической кривой обеспеченностей воспользуемся распределением Гумбеля. Так как закон распределения Гумбеля разрабатывался для случая, где в качестве случайной величины рассматриваются экстремальные характеристики гидрометеорологического режима, например максимальный в году срочный расход. Функция обеспеченностей Гумбеля определяется выражением:

$$P(x) = 1 - \exp[-\exp(-y)], \quad (3.2)$$

где y – безразмерная величина, связанная с x выражением:

$$y = \frac{x - \mu}{\lambda}, \quad (3.3)$$

где μ – мода случайной величины X ;

λ – параметр масштаба.

Параметр μ и λ определяются по следующим формулам:

$$\mu = \bar{x} - \bar{y}\lambda, \quad (3.4)$$

$$\lambda = \sigma_x / \sigma_y, \quad (3.5)$$

где $\bar{y}, \sigma_y$ – определяются в зависимости от длины анализируемого ряда по таблице Гумбеля;

$\bar{x}$ – среднее значение наблюдаемого ряда;

σ_x – среднеквадратическое отклонение исходного ряда.

Для расчета вместо уравнения (3.3) используется уравнение, полученное при решении относительно x :

$$x_p = y_p \lambda + \mu, \quad (3.6)$$

где y_p – можно получить из выражения (2.14) после двукратного логарифмирования

$$y_p = -\ln \left\{ -\ln \left[\frac{100-p}{100} \right] \right\}, \quad (3.7)$$

где p – расчетная обеспеченность в процентах.

Рассмотрим расчет на примере р. Тюлюк в створе д. Тюлюк.

Длина ряда ровняется $n = 44$ следовательно (по таблице Гумбеля),

$\bar{y} = 0.5458$ и $\sigma_y = 1.1499$.

По формулам (3.4–3.5) вычисляем параметры λ и μ весеннего половодья р. Тюлюк – д. Тюлюк:

$$\lambda = \frac{12.74}{1.1499} = 11.07799$$

$$\mu = 23.7 - 0.5458 \times 11.07799 = 17.69841$$

Таблица 3.1 – Расчет ординат аналитической кривой обеспеченности максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Тюлюк – д. Тюлюк

Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	y	$-\exp(-y)$	$P \%$
100	7.43	-0.000593609	0.06
95	6.98	-0.000932218	0.09
90	6.53	-0.001463976	0.15
85	6.08	-0.002299063	0.23
80	5.62	-0.003610503	0.36
75	5.17	-0.00567002	0.57
70	4.72	-0.008904334	0.89
65	4.27	-0.013983577	1.39
60	3.82	-0.02196014	2.17
55	3.37	-0.034486723	3.39
50	2.92	-0.054158767	5.27
45	2.46	-0.08505221	8.15
40	2.01	-0.133568004	12.50
35	1.56	-0.209758355	18.92
30	1.11	-0.329409487	28.07
25	0.66	-0.517312457	40.39
20	0.21	-0.81239973	55.62
15	-0.24	-1.27581177	72.08
10	-0.69	-2.003565009	86.51
5	-1.15	-3.146445924	95.70

Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	y	$-\exp(-y)$	$P \%$
0	-1.60	-4.941253172	99.29

Таблица 3.2 – Расчет ординат эмпирической кривой обеспеченности максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Тюлюк – д. Тюлюк

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$P \%$
1	1965	22.6	67.6	2.2
2	1966	24.3	65.2	4.4
3	1967	5	42.2	6.7
4	1968	37.2	40.5	8.9
5	1969	18.2	37.5	11.1
6	1970	33.8	37.2	13.3
7	1971	26	36.5	15.6
8	1972	22.1	33.8	17.8
9	1973	15.9	30.3	20.0
10	1974	12.9	29.3	22.2
11	1975	18.5	29.1	24.4
12	1976	16.5	27.9	26.7
13	1977	15.3	26.7	28.9
14	1978	18.2	26	31.1
15	1979	29.1	24.3	33.3
16	1980	27.9	24	35.6
17	1981	17	23.4	37.8
18	1982	19.1	22.6	40.0
19	1983	19.1	22.1	42.2
20	1984	14.9	21.7	44.4
21	1985	23.4	20.9	46.7
22	1986	16.9	20.4	48.9
23	1987	40.5	20.1	51.1
24	1988	8.34	19.1	53.3
25	1989	42.2	19.1	55.6
26	1990	65.2	18.8	57.8
27	1991	24	18.5	60.0
28	1992	37.5	18.2	62.2
29	1993	30.3	18.2	64.4
30	1994	67.6	17	66.7
31	1995	9.34	16.9	68.9
32	1996	29.3	16.5	71.1
33	1997	36.5	16.1	73.3
34	1998	15.3	15.9	75.6
35	1999	15.7	15.7	77.8
36	2000	26.7	15.3	80.0

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$P \%$
37	2001	18.8	15.3	82.2
38	2002	20.9	15.2	84.4
39	2003	15.2	14.9	86.7
40	2004	20.1	12.9	88.9
41	2005	21.7	9.34	91.1
42	2006	16.1	9.19	93.3
43	2007	20.4	8.34	95.6
44	2008	9.19	5	97.8

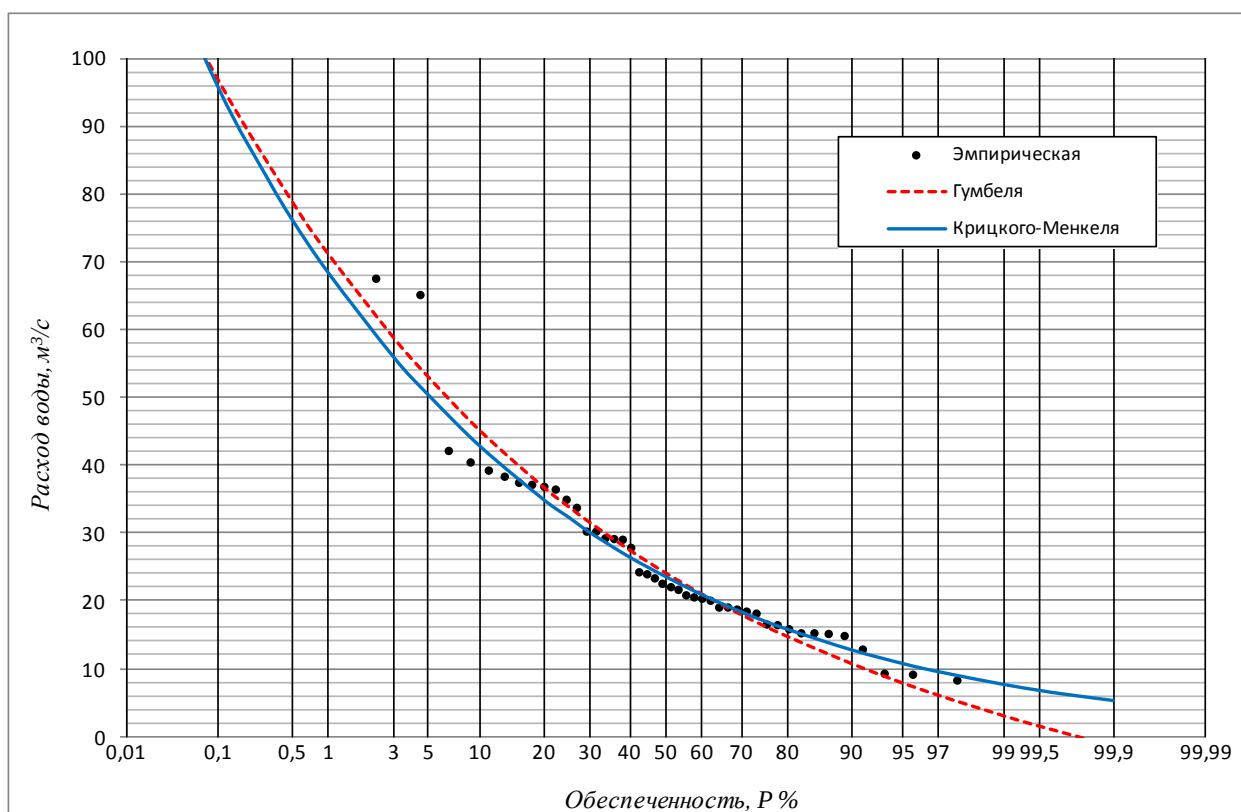


Рисунок 3.1 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья, р. Тюлюк – д. Тюлюк;

$$Q_{ср} = 23.7; C_v = 0.49.$$

Аналогичным образом для максимальных расходов воды дождевых паводков р. Тюлюк – д. Тюлюк.

$$\lambda = \frac{10.85}{1,1499} = 9.431554$$

$$\mu = 14 - 0,5458 \times 9.431554 = 8.814758$$

Таблица 3.3 – Расчёт ординат аналитической кривой обеспеченности максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Тюлюк – д. Тюлюк

Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	y	$-\exp(-y)$	$P \%$
100	9.67	-6.32697E-05	0.01
95	9.14	-0.000107506	0.01
90	8.61	-0.000182669	0.02
85	8.08	-0.000310385	0.03
80	7.55	-0.000527394	0.05
75	7.02	-0.000896128	0.09
70	6.49	-0.001522667	0.15
65	5.96	-0.002587259	0.26
60	5.43	-0.004396172	0.44
55	4.90	-0.00746981	0.74
50	4.37	-0.012692419	1.26
45	3.84	-0.021566479	2.13
40	3.31	-0.036644946	3.60
35	2.78	-0.06226571	6.04
30	2.25	-0.105799543	10.04
25	1.72	-0.179770589	16.45
20	1.19	-0.305459397	26.32
15	0.66	-0.519025076	40.49
10	0.13	-0.881907813	58.60
5	-0.40	-1.498504461	77.65
0	-0.93	-2.546202205	92.16

Таблица 3.4 – Расчет ординат эмпирической кривой обеспеченности максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Тюлюк – д. Тюлюк

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$P \%$
1	1965	6.9	39.3	2.2
2	1966	8.89	38.4	4.4
3	1967	39.3	38.1	6.7
4	1968	15.8	36.9	8.9
5	1969	35	35	11.1
6	1970	8.71	30.3	13.3
7	1971	38.4	29.2	15.6
8	1972	5.47	23.4	17.8
9	1973	13.5	20.6	20.0
10	1974	9.1	19.2	22.2
11	1975	0.6	18.4	24.4
12	1976	9.33	18.2	26.7
13	1977	4.86	17.7	28.9
14	1978	36.9	16.6	31.1

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$P \%$
15	1979	19.2	15.8	33.3
16	1980	6.95	14.3	35.6
17	1981	30.3	14.1	37.8
18	1982	7.12	13.5	40.0
19	1983	18.4	13.1	42.2
20	1984	8.57	12.2	44.4
21	1985	17.7	9.33	46.7
22	1986	20.6	9.13	48.9
23	1987	9.13	9.1	51.1
24	1988	4.97	8.89	53.3
25	1989	6.0	8.71	55.6
26	1990	3.99	8.62	57.8
27	1991	5.18	8.57	60.0
28	1992	4.28	7.12	62.2
29	1993	23.4	6.97	64.4
30	1994	38.1	6.95	66.7
31	1995	4.1	6.95	68.9
32	1996	13.1	6.9	71.1
33	1997	4.29	6.0	73.3
34	1998	3.66	5.5	75.6
35	1999	16.6	5.47	77.8
36	2000	29.2	5.18	80.0
37	2001	12.2	4.97	82.2
38	2002	14.1	4.86	84.4
39	2003	5.5	4.29	86.7
40	2004	6.97	4.28	88.9
41	2005	8.62	4.1	91.1
42	2006	18.2	3.99	93.3
43	2007	14.3	3.66	95.6
44	2008	6.95	0.6	97.8

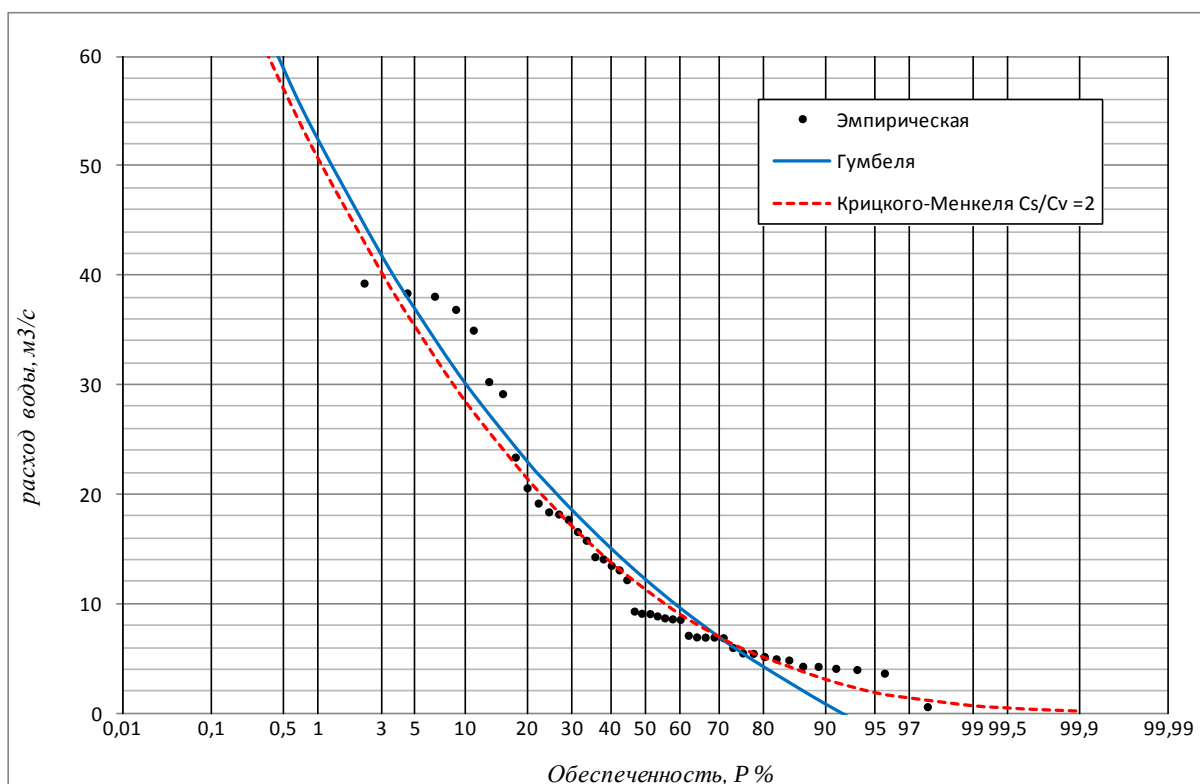


Рисунок 3.2 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов дождевых паводков, р. Тюлюк – д. Тюлюк;
 $Q_{ср} = 14$; $C_v = 0.78$.

По графикам видно, что гидрологический ряд является генетически неоднородным, так как эмпирические точки заметно отклоняются от аналитической кривой. Такие кривые невозможно рекомендовать в качестве репрезентативной кривой, в таком случае допустимо использовать усеченные кривые обеспеченностей.

Анализ остальных рядов показал тот же результат.

3.2 Построение усеченных кривых обеспеченностей

Теория усеченных распределений рассматривается в гидрологии как один из эффективных методов обработки данных.

При использовании этого метода исходный ряд ранжируется и затем делится на две части по медиане.

В дальнейшем рассматривают только верхнюю часть кривой распределения максимальных расходов воды, поэтому при выборе аналитической кривой допустимо ограничить выбор двухпараметрическими распределениями.

Наиболее удобными являются распределения, которые можно линеаризовать с помощью обычных алгебраических преобразований, поэтому в работе использовалось распределение Гумбеля.

Из формул (3.6–3.7) видно, что зависимость между x_p и y_p является линейной и параметры λ и μ легко находятся методом наименьших квадратов.

В настоящей работе было проведено усечение 6 рядов весеннего половодья и 7 рядов дождевых паводков.

Рассмотрим расчет максимальных расходов воды весеннего половодья на примере р. Ай в створе с. Веселовка, результаты расчетов по формулам (3.1 и 3.7) представлены в таблице (3.5).

Таблица 3.5 – Расчет эмпирических значений переменной y_p

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1934	44.2	129	0.013	4.324118
2	1935	27.4	97.4	0.026	3.624282
3	1936	41.8	94.2	0.039	3.212052
4	1937	33.1	90.8	0.053	2.917527
5	1938	94.2	90.2	0.066	2.687462
6	1939	32.0	89.9	0.079	2.498137
7	1940	28.1	88.3	0.092	2.336899
8	1941	83.9	86.9	0.105	2.196194
9	1942	61.4	83.9	0.118	2.07115
10	1943	54.6	82.8	0.132	1.958438
11	1944	41.7	77.1	0.145	1.855683
12	1945	69.2	74.0	0.158	1.761132
13	1946	71.7	73.8	0.171	1.673451
14	1947	88.3	73.7	0.184	1.591603
15	1948	72.7	72.7	0.197	1.514767
16	1949	57.5	71.7	0.211	1.442277
17	1950	36.8	71.7	0.224	1.373592
18	1951	71.7	69.2	0.237	1.308259
19	1952	38.4	68.3	0.250	1.245899

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
20	1953	44.3	68.3	0.263	1.186193
21	1954	51.7	65.3	0.276	1.128865
22	1955	27.5	64.3	0.289	1.073678
23	1956	51.5	63.9	0.303	1.020426
24	1957	68.3	63.5	0.316	0.968928
25	1958	41.2	63.2	0.329	0.919025
26	1959	63.9	63.0	0.342	0.870576
27	1960	46.7	62.3	0.355	0.823454
28	1961	44.5	62.2	0.368	0.777546
29	1962	41.1	61.9	0.382	0.73275
30	1963	61.9	61.4	0.395	0.688972
31	1964	68.3	61.3	0.408	0.646128
32	1965	64.3	60.9	0.421	0.604141
33	1966	57.6	59.4	0.434	0.562938
34	1967	11.8	57.6	0.447	0.522453
35	1968	60.9	57.5	0.461	0.482625
36	1969	50.5	56.6	0.474	0.443395
37	1970	73.7	55.7	0.487	0.404708
38	1971	20.8	55.3	0.500	0.366513
39	1972	89.9	54.6	0.513	0.32876
40	1973	74.0	52.9	0.526	0.291403
41	1974	52.9	52.2	0.539	0.254395
42	1975	52.2	52.2	0.553	0.217692
43	1976	34.4	51.7	0.566	0.181251
44	1977	63.2	51.5	0.579	0.145029
45	1978	40.4	50.5	0.592	0.108982
46	1979	90.2	50.2	0.605	0.07307
47	1980	73.8	48.8	0.618	0.037248
48	1981	55.7	46.7	0.632	0.001472
49	1982	62.2	46.5	0.645	-0.0343
50	1983	41.1	44.5	0.658	-0.07012
51	1984	31.1	44.3	0.671	-0.10603
52	1985	61.3	44.2	0.684	-0.14209
53	1986	62.3	41.8	0.697	-0.17835
54	1987	97.4	41.7	0.711	-0.21486
55	1988	35.4	41.3	0.724	-0.2517
56	1989	63.0	41.2	0.737	-0.28893
57	1990	129	41.1	0.750	-0.32663
58	1991	50.2	41.1	0.763	-0.36489
59	1992	59.4	40.4	0.776	-0.40381
60	1993	37.8	38.4	0.789	-0.4435
61	1994	48.8	37.8	0.803	-0.48408
62	1995	31.3	36.8	0.816	-0.52572

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
63	1996	46.5	35.4	0.829	-0.56859
64	1997	65.3	34.4	0.842	-0.61293
65	1998	41.3	33.1	0.855	-0.65899
66	1999	32.8	32.8	0.868	-0.70712
67	2000	63.5	32.5	0.882	-0.75777
68	2001	77.1	32.0	0.895	-0.8115
69	2002	86.9	31.3	0.908	-0.86912
70	2003	32.5	31.1	0.921	-0.93176
71	2004	56.6	28.1	0.934	-1.00111
72	2005	90.8	27.5	0.947	-1.07992
73	2006	55.3	27.4	0.961	-1.17314
74	2007	82.8	20.8	0.974	-1.29132
75	2008	52.2	11.8	0.987	-1.46574

Для того чтобы найти параметры λ и μ строится зависимость расходов от параметров y_p . По этому графику приближенно определяется точка усечения (рисунок 3.3). Затем строится такой же график (рисунок 3.4) для верхней части усеченной кривой и определяются параметры λ и μ , которые являются параметрами уравнения линейной регрессии. С использованием полученных параметров рассчитываются ординаты усеченной кривой обеспеченности до точки усечения по формулам (3.6–3.7). Расчет представлен в таблице 3.6.

На клетчатке вероятностей строятся эмпирическая кривая обеспеченностей и усеченная кривая для максимальных расходов воды (рисунок 3.5).

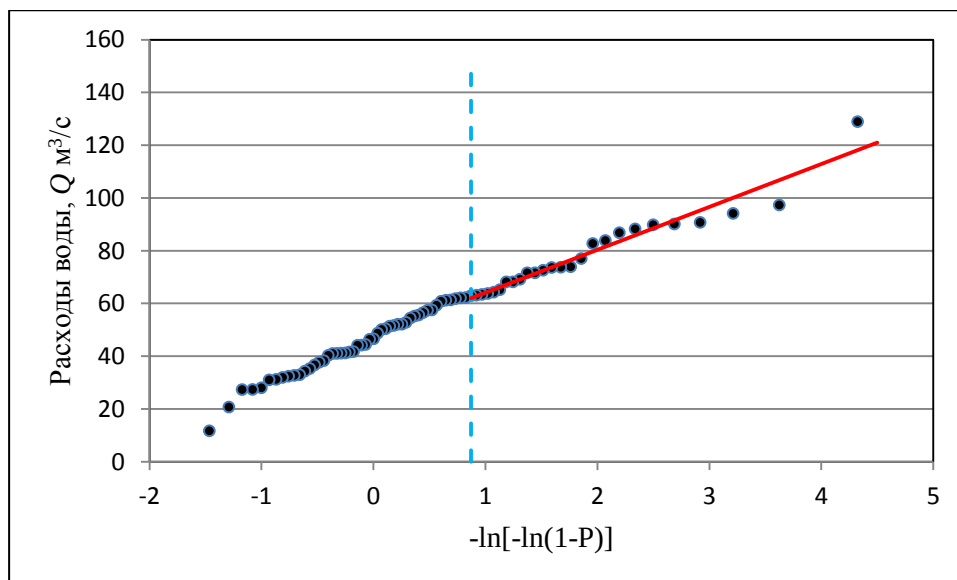


Рисунок 3.3 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Ай – с. Веселовка (определение точки усечения)

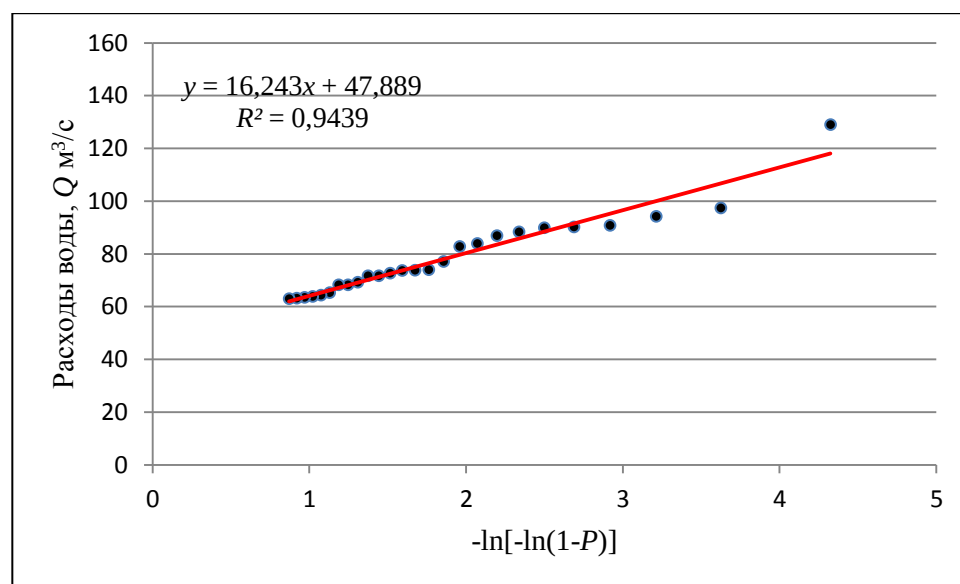


Рисунок 3.4 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Ай – с. Веселовка, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица 3.6 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Ай – с. Веселовка;
 $\lambda = 16.243$; $\mu = 47.889$

$P \%$	u_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	197

$P \%$	y_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.1	6.907255	160
0.3	5.807641	142
0.5	5.295812	134
1	4.600149	123
3	3.491367	105
5	2.970195	96
10	2.250367	84
20	1.49994	72
25	1.245899	68
30	1.03093	65

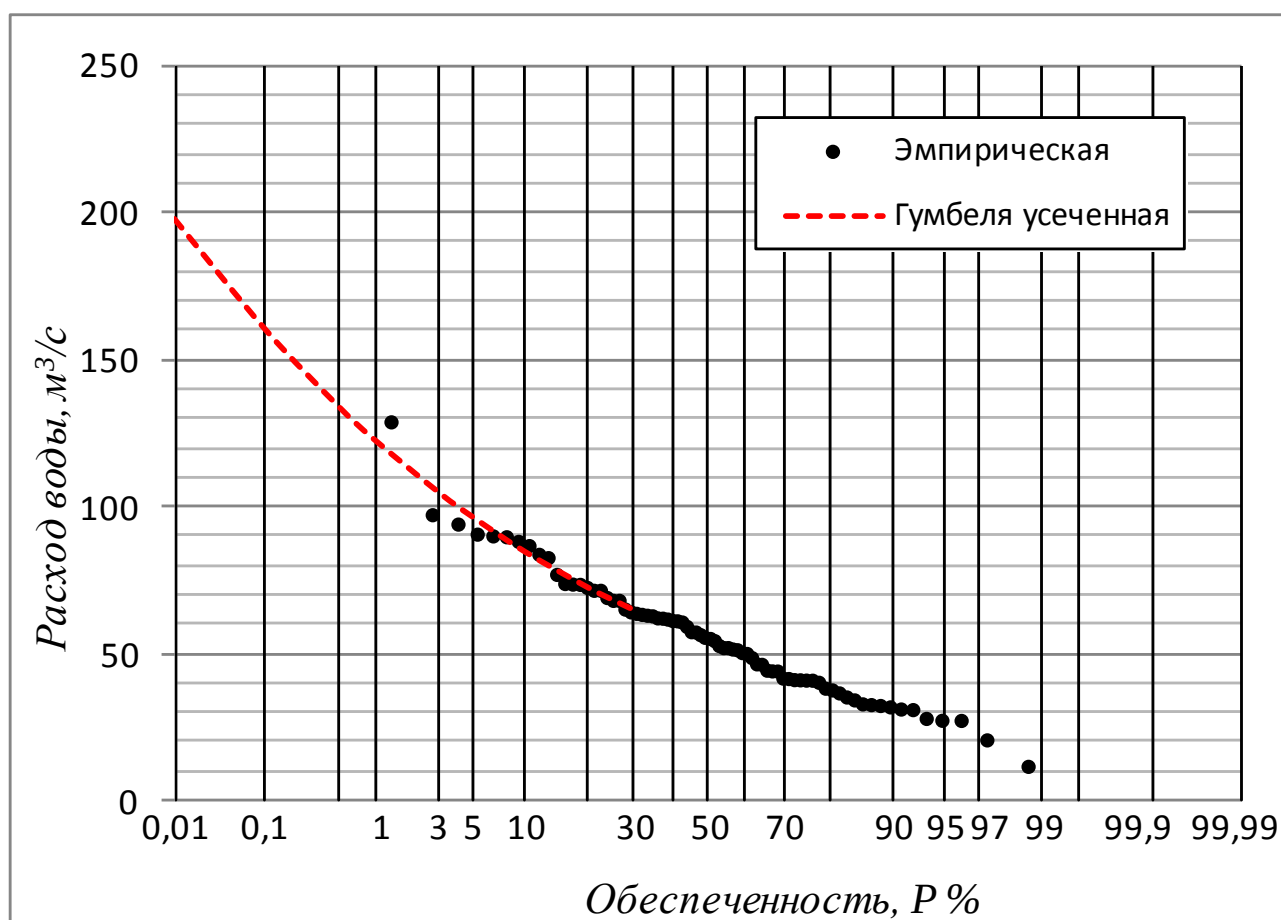


Рисунок 3.5 – Эмпирическая кривая обеспеченностей и усеченная кривая для максимальных расходов весеннего половодья, р. Ай – с. Веселовка;
 $Q_{cp} = 56.3$; $C_v = 0.37$

Аналогично проведен расчет для максимальных расходов воды дождевых паводков р. Ай – с. Веселовка.

Таблица 3.7 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных расходов воды дождевых паводков р. Ай – с. Веселовка

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1966	15.1	126	0.023	3.772717
2	1967	50	103	0.045	3.067873
3	1968	28	88.2	0.068	2.650476
4	1969	88.2	74.8	0.091	2.350619
5	1970	33.9	58.7	0.114	2.115044
6	1971	57.6	57.6	0.136	1.920024
7	1972	4.12	50	0.159	1.752894
8	1973	27.5	44.1	0.182	1.60609
9	1974	24.5	37.3	0.205	1.474725
10	1975	0.84	33.9	0.227	1.355458
11	1976	15.3	32.3	0.250	1.245899
12	1977	12.8	32.1	0.273	1.144278
13	1978	32.1	32.1	0.295	1.049244
14	1979	32.3	29.2	0.318	0.959741
15	1980	9.92	28.6	0.341	0.874924
16	1981	16.7	28	0.364	0.794106
17	1982	6.11	27.5	0.386	0.716717
18	1983	27.1	27.1	0.409	0.642277
19	1984	29.2	25.1	0.432	0.570374
20	1985	44.1	24.5	0.455	0.500651
21	1986	12	24.2	0.477	0.432792
22	1987	25.1	21.5	0.500	0.366513
23	1988	6.15	18.1	0.523	0.301555
24	1989	9.33	17.2	0.545	0.237677
25	1990	9.78	16.7	0.568	0.17465
26	1991	3.35	15.3	0.591	0.112253
27	1992	4.39	15.1	0.614	0.050266
28	1993	28.6	12.8	0.636	-0.01153
29	1994	18.1	12	0.659	-0.07338
30	1995	3.2	11.3	0.682	-0.13552
31	1996	4.77	9.92	0.705	-0.19823
32	1997	17.2	9.78	0.727	-0.26181
33	1998	5.11	9.33	0.750	-0.32663
34	1999	32.1	6.15	0.773	-0.39313
35	2000	126	6.11	0.795	-0.46182
36	2001	24.2	5.11	0.818	-0.53342
37	2002	103	4.77	0.841	-0.60883
38	2003	21.5	4.39	0.864	-0.68936
39	2004	74.8	4.12	0.886	-0.77691
40	2005	37.3	3.69	0.909	-0.87459

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
41	2006	58.7	3.35	0.932	-0.9879
42	2007	11.3	3.2	0.955	-1.12851
43	2008	3.69	0.84	0.977	-1.33083

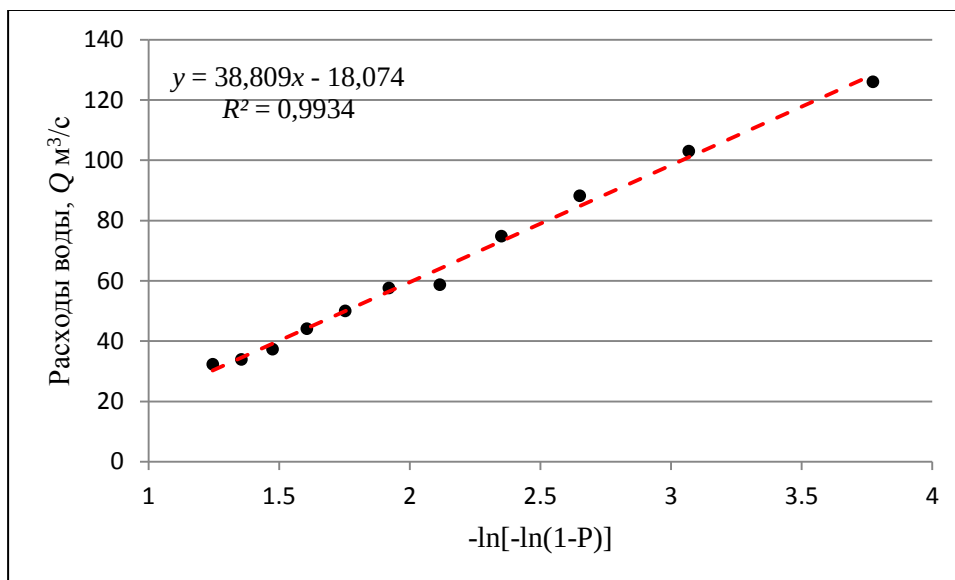
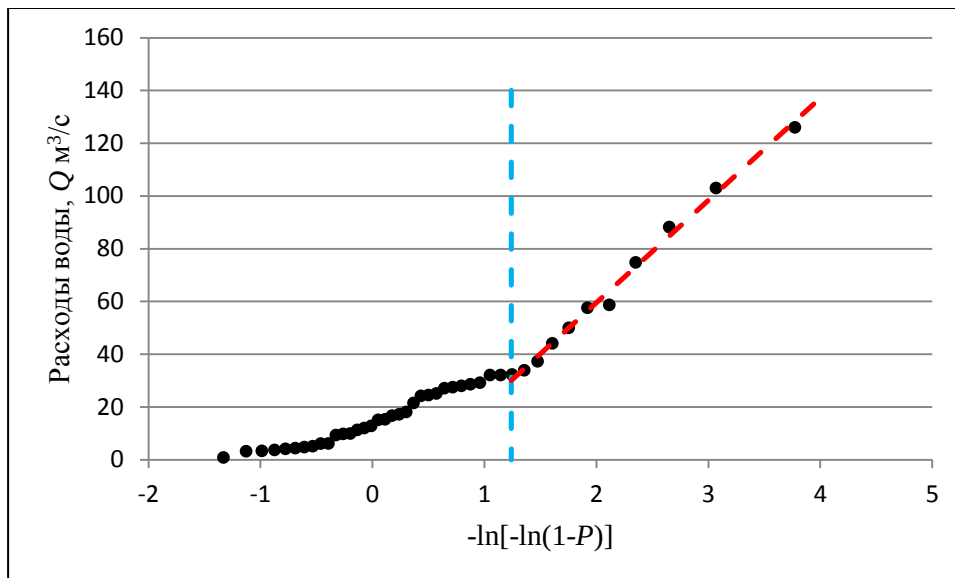


Таблица 3.8 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды дождевых паводков р. Ай – с. Веселовка;
 $\lambda = 38.809$; $\mu = -18.074$

$P \%$	Y_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	339
0.1	6.907255	250
0.3	5.807641	207
0.5	5.295812	187
1	4.600149	160
3	3.491367	117
5	2.970195	97
10	2.250367	69
20	1.49994	40
25	1.245899	30

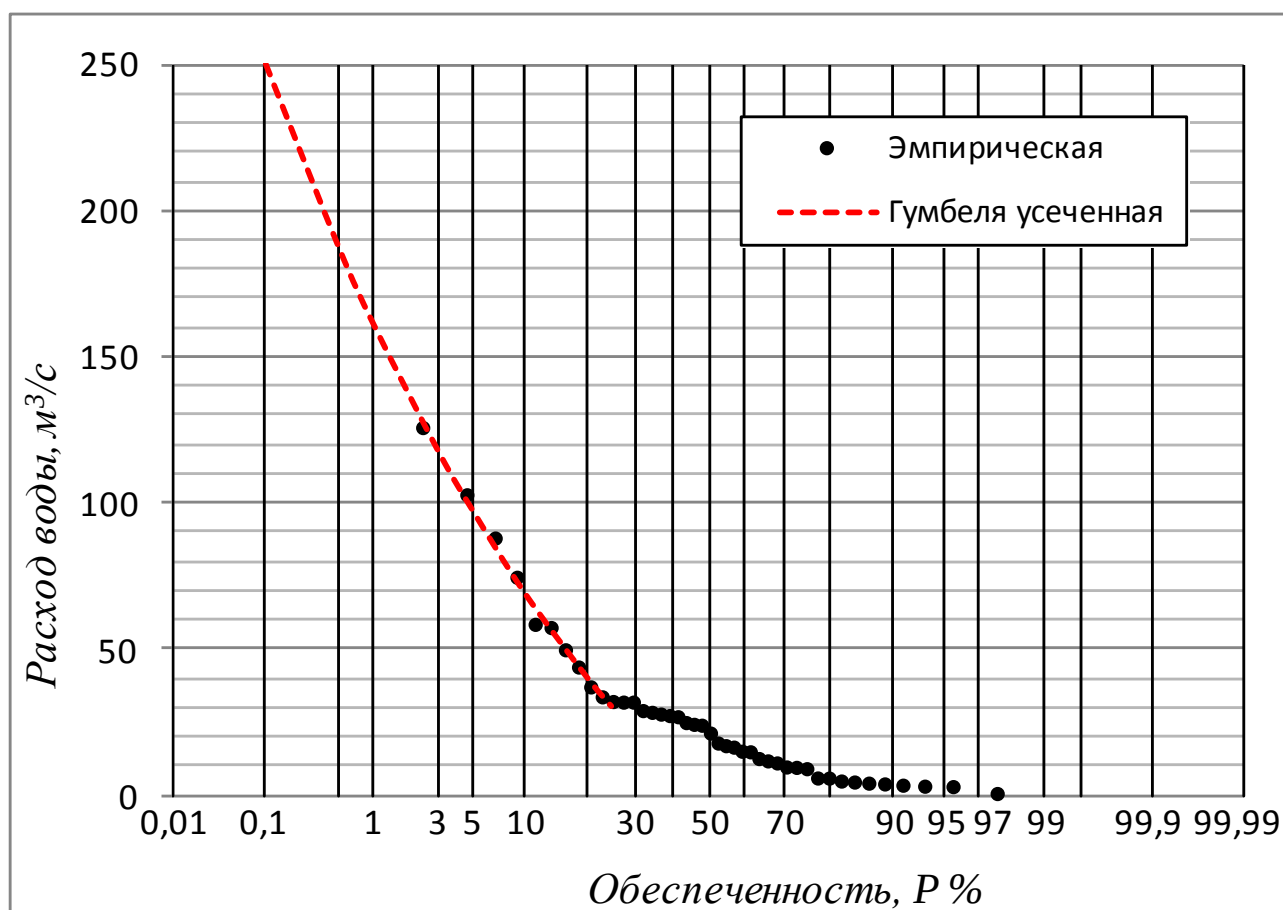


Рисунок 3.8 – Эмпирическая кривая обеспеченностей и усеченная кривая для максимальных расходов дождевых паводков, р. Ай – с. Веселовка;
 $Q_{ср} = 27.8$; $C_v = 0.99$

Подобным образом были усечены кривые остальных рассматриваемых рядов, которые можно наблюдать в приложении А, Б.

4. РАСЧЕТ НАИВЫСШИХ В ГОДУ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

Расчет максимального стока является важной и сложной задачей в гидрологических расчетах. Оценка параметров половодий и паводков имеет большое научное и практическое значение.

В научном отношении половодья и паводки определяют общие черты режима стока рек данного района. Объем их стока составляет основную долю стока рек, а для малых рек засушливой зоны может представлять и весь сток, поэтому сведения о максимальном стоке необходимы при изучении многих аспектов гидрологического режима рек.

По характеру происхождения максимальные расходы воды могут быть разделены:

- сформированные в результате снеготаяния, таяния ледников, а также наледей;
- сформированные выпавшими осадками;
- смешанного формирования – от снеготаяния и дождей; когда доли каждого вида питания близки по величине или их трудно разделить.

4.1 Описание расчетной методики

При неоднородности исходных данных гидрометрических наблюдений, когда рассматриваемый ряд состоит из неоднородных гидрологических характеристик, эмпирические и аналитические кривые распределения устанавливаются отдельно для каждой однородной совокупности с использованием вышеуказанной формулы 3.1.

Составную кривую распределения вероятностей превышения рассчитывают на основе кривых, установленных по однородным элементам. При наличии в каждом году наблюдений за всеми однородными элементами водного режима реки ($n = n_1 = n_2 \dots$) ежегодную вероятность превышения $P \%$ рас-

смаатриваемой гидрологической характеристики при любом её значении определяют по формуле:

$$P = P_1 + P_2 - (P_1 P_2)/100, \quad (4.1)$$

где P_1, P_2 – ежегодная эмпирическая обеспеченность членов однородных совокупностей, определяемая в процентах.

4.2 Построение составных кривых обеспеченностей для рек северо-запада Челябинской области

На базе кривых обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков строилась составная кривая обеспеченностей для абсолютных годовых максимумов. Так как мы используем усеченные кривые обеспеченностей, то составная кривая строится до точки усечения.

Пересчет обеспеченностей производился по формуле (4.1)

Рассмотрим расчет на примере максимального стока р. Ай в створе с. Веселовка.

Таблица 4.1 – Расчет ординат составной кривой обеспеченностей реки Ай – с. Веселовка

Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Обеспеченность максимального расхода, %		
	Весеннее половодье, P_1	Дождевой паводок, P_2	Составная кривая, P
330	0.00	0.01	0.01
320	0.00	0.02	0.02
310	0.00	0.02	0.02
300	0.00	0.03	0.03
290	0.00	0.04	0.04
280	0.00	0.05	0.05
270	0.00	0.06	0.06
260	0.00	0.08	0.08
250	0.00	0.10	0.10
240	0.00	0.13	0.13
230	0.00	0.17	0.17
220	0.00	0.22	0.22
210	0.00	0.28	0.28
200	0.01	0.36	0.37
190	0.02	0.47	0.48

Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Обеспеченность максимального расхода, %		
	Весеннее половодье, P_1	Дождевой паводок, P_2	Составная кривая, P
180	0.03	0.61	0.63
170	0.05	0.78	0.84
160	0.10	1.01	1.11
158	0.11	1.06	1.18
156	0.13	1.12	1.25
154	0.15	1.18	1.32
152	0.16	1.24	1.40
150	0.19	1.31	1.49
148	0.21	1.38	1.58
146	0.24	1.45	1.68
144	0.27	1.52	1.79
142	0.30	1.60	1.90
140	0.34	1.69	2.03
138	0.39	1.78	2.16
136	0.44	1.87	2.30
134	0.50	1.97	2.45
132	0.56	2.07	2.62
130	0.64	2.18	2.80
128	0.72	2.29	2.99
126	0.81	2.41	3.21
124	0.92	2.54	3.43
122	1.04	2.67	3.68
120	1.17	2.81	3.95
118	1.33	2.96	4.24
116	1.50	3.11	4.56
114	1.69	3.27	4.91
112	1.91	3.44	5.29
110	2.16	3.62	5.70
108	2.44	3.81	6.16
106	2.76	4.01	6.65
104	3.11	4.21	7.19
102	3.51	4.43	7.79
100	3.96	4.66	8.44
98	4.47	4.90	9.15
96	5.04	5.15	9.93
94	5.68	5.42	10.8
92	6.40	5.70	11.7
90	7.21	5.99	12.8
88	8.12	6.29	13.9
86	9.13	6.62	15.1
84	10.3	6.95	16.5
82	11.5	7.31	18.0

Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Обеспеченность максимального расхода, %		
	Весеннее половодье, P_1	Дождевой паводок, P_2	Составная кривая, P
80	12.9	7.68	19.6
78	14.5	8.07	21.4
76	16.2	8.48	23.3
74	18.2	8.90	25.4

Таблица 4.2 – Расчет ординат эмпирической кривой обеспеченности максимального стока р. Ай – с. Веселовка

№ п/п	Год	Расход воды половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Паводочный расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Максимальный расход воды $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$P \%$
1	1966	57.6	15.1	57.6	129.0	2.3
2	1967	11.8	50	50.0	126.0	4.5
3	1968	60.9	28	60.9	103.0	6.8
4	1969	50.5	88.2	88.2	97.4	9.1
5	1970	73.7	33.9	73.7	90.8	11.4
6	1971	20.8	57.6	57.6	90.2	13.6
7	1972	89.9	4.12	89.9	89.9	15.9
8	1973	74.0	27.5	74.0	88.2	18.2
9	1974	52.9	24.5	52.9	82.8	20.5
10	1975	52.2	0.84	52.2	77.1	22.7
11	1976	34.4	15.3	34.4	74.8	25.0
12	1977	63.2	12.8	63.2	74.0	27.3
13	1978	40.4	32.1	40.4	73.8	29.5
14	1979	90.2	32.3	90.2	73.7	31.8
15	1980	73.8	9.92	73.8	65.3	34.1
16	1981	55.7	16.7	55.7	63.2	36.4
17	1982	62.2	6.11	62.2	63.0	38.6
18	1983	41.1	27.1	41.1	62.3	40.9
19	1984	31.1	29.2	31.1	62.2	43.2
20	1985	61.3	44.1	61.3	61.3	45.5
21	1986	62.3	12	62.3	60.9	47.7
22	1987	97.4	25.1	97.4	59.4	50.0
23	1988	35.4	6.15	35.4	58.7	52.3
24	1989	63.0	9.3	63.0	57.6	54.5
25	1990	129	9.78	129.0	57.6	56.8
26	1991	50.2	3.35	50.2	55.7	59.1
27	1992	59.4	4.39	59.4	52.9	61.4
28	1993	37.8	28.6	37.8	52.2	63.6
29	1994	48.8	18.1	48.8	52.2	65.9
30	1995	31.3	3.2	31.3	50.2	68.2
31	1996	46.5	4.77	46.5	50.0	70.5

№ п/п	Год	Расход воды половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Паводочный расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Максимальный расход воды $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$P \%$
32	1997	65.3	17.2	65.3	48.8	72.7
33	1998	41.3	5.11	41.3	46.5	75.0
34	1999	32.8	32.1	32.8	41.3	77.3
35	2000	63.5	126	126.0	41.1	79.5
36	2001	77.1	24.2	77.1	40.4	81.8
37	2002	86.9	103	103.0	37.8	84.1
38	2003	32.5	21.5	32.5	35.4	86.4
39	2004	56.6	74.8	74.8	34.4	88.6
40	2005	90.8	37.3	90.8	32.8	90.9
41	2006	55.3	58.7	58.7	32.5	93.2
42	2007	82.8	11.3	82.8	31.3	95.5
43	2008	52.2	3.69	52.2	31.1	97.7

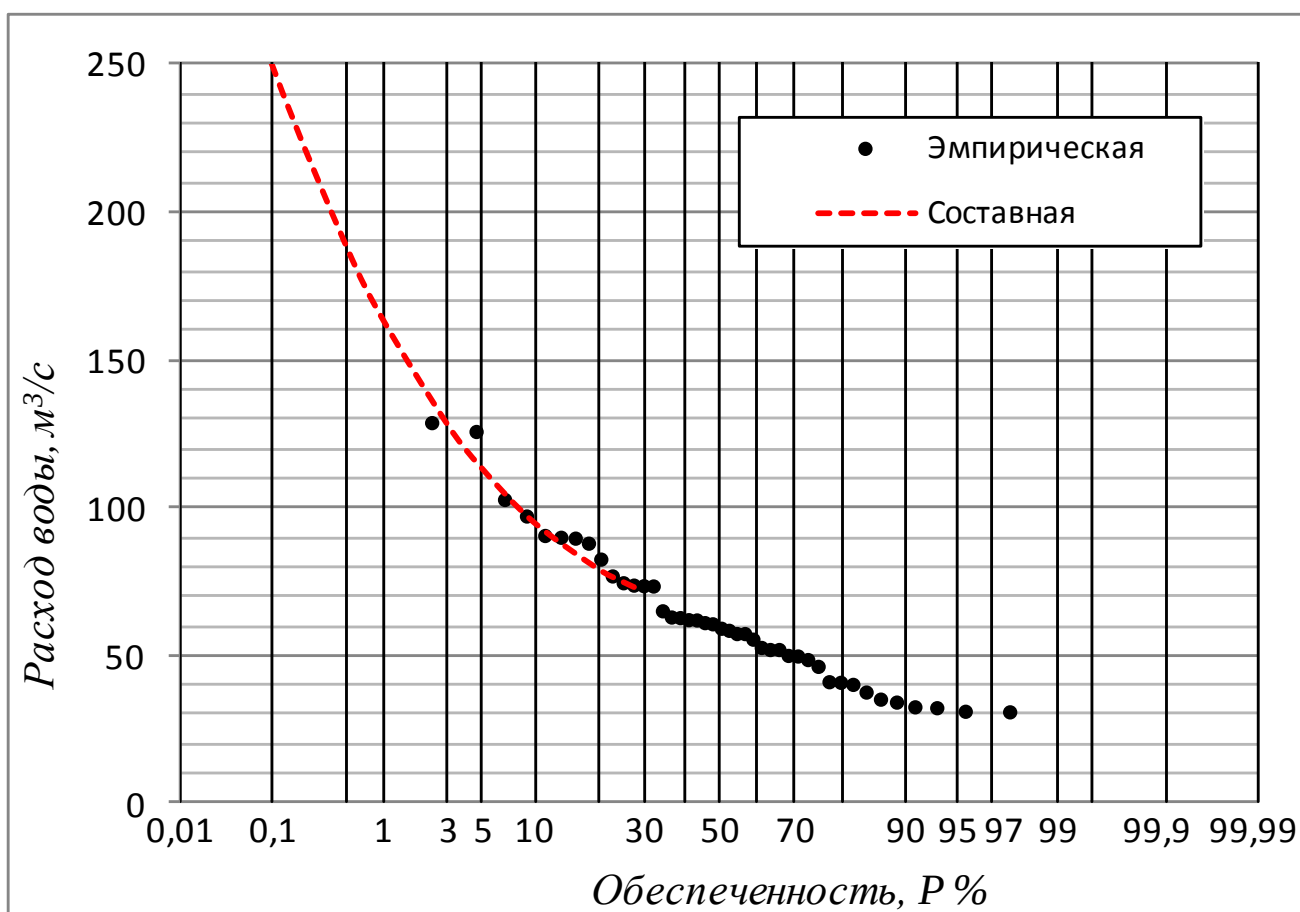


Рисунок 4.1 – Эмпирическая кривая обеспеченностей и составная кривая для максимальных расходов воды, р. Ай – с. Веселовка

Аналогичным образом были построены составные кривые для остальных рассматриваемых рядов.

Как видно на рисунке аналитическая кривая достаточно хорошо аппроксимирует эмпирические точки в области малых обеспеченностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы получены следующие результаты.

Проанализированы ряды максимальных расходов весеннего половодья и максимальных расходов дождевых паводков рек северо-запада Челябинской области. Короткие ряды были удлинены с использованием данных рек-аналогов.

Установлено, что наибольший в году расход может быть сформирован как в период половодья, так и в период паводков.

Для всех рядов была выполнена проверка однородности с использованием критериев Фишера и Стьюдента. В большинстве случаев гипотеза об однородности рядов не опровергается, однако как показал дальнейший анализ, значительная часть рядов является генетически неоднородными.

Учитывая это, расчет максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков производился с использованием усеченных кривых обеспеченностей. А для расчета абсолютных годовых максимумов применялись составные кривые. В качестве аналитической кривой использовалась кривая распределения Гумбеля.

Полученные аналитические кривые достаточно хорошо аппроксимируют эмпирические кривые обеспеченностей в их верхней части.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР, Том 11, Средний Урал и Приуралье, Приложения.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР, Том 11, Средний Урал и Приуралье.
3. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики, Том 11, Средний Урал и Приуралье, выпуск 1, КАМА.
4. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том I, выпуск 25, Бассейн Камы.
5. Гидрологические ежегодники. Том 4, вып. 1-3.
6. *Владимиров А. М.* Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
7. *Сикан А. В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник – СПб.: РГГМУ, 2007. – 279 с.
8. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 247 с.
9. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС. 2007. – 134 с.
10. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – СПб, 2007. – 67 с. (Ротапринт ГНЦ РФ ААНИИ).
11. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб, изд. «Нестор-История», 2010. – 162 с.
12. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М., 2004. – 72 с.

Интернет-ресурсы:

Гео портал Южноуралья // Челябинская область / Общая география

<http://www.uralgeo.net/>

Руководство по гидрологической практике (ВМО-№ 168)

http://www.whycos.org/hwrrp/guide/index_ru.php

ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения

http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_19179-73

Издания ГГИ

<http://www.hydrology.ru/izdaniya-ggi-0>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Построение усеченных кривых обеспеченностей максимальных расходов воды весеннего половодья для рек северо-запада Челябинской области; стр. 70-88.

Приложение Б – Построение усеченных кривых обеспеченностей максимальных расходов воды дождевых паводков для рек северо-запада Челябинской области; стр. 89-100.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Построение усеченных кривых обеспеченностей максимальных расходов воды весеннего половодья для рек северо-запада Челябинской области.

Таблица А.1.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p расходов р. Уфа – г. Нязепетровск

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1929	217	819	0.02	4.119015141
2	1930	210	813	0.03	3.417637092
3	1931	78	640	0.05	3.003826118
4	1932	424	613	0.06	2.707679652
5	1933	226	572	0.08	2.475949479
6	1934	419	562	0.10	2.284915186
7	1935	124	546	0.11	2.121921578
8	1936	306	529	0.13	1.979412778
9	1937	153	525	0.15	1.852513344
10	1938	367	521	0.16	1.73789269
11	1939	271	505	0.18	1.633173627
12	1940	84	502	0.19	1.53659934
13	1941	529	481	0.21	1.446834117
14	1961	399	480	0.23	1.362838126
15	1962	351	477	0.24	1.283785488
16	1963	481	477	0.26	1.209008835
17	1964	254	476	0.27	1.137960697
18	1965	546	458	0.29	1.07018592
19	1966	397	424	0.31	1.005301554
20	1967	75.7	419	0.32	0.942981875
21	1968	345	419	0.34	0.882947066
22	1969	813	414	0.35	0.824954504
23	1970	562	414	0.37	0.768791972
24	1971	477	399	0.39	0.714272302
25	1972	360	397	0.40	0.661229081
26	1973	572	387	0.42	0.609513182
27	1974	521	385	0.44	0.558989918
28	1975	371	382	0.45	0.509536687
29	1976	167	371	0.47	0.461040996
30	1977	505	370	0.48	0.413398773
31	1978	272	367	0.50	0.366512921
32	1979	819	364	0.52	0.32029204
33	1980	414	363	0.53	0.274649296

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расхо- ды воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
34	1981	414	360	0.55	0.229501376
35	1982	211	351	0.56	0.184767523
36	1983	258	345	0.58	0.140368602
37	1984	138	306	0.60	0.096226183
38	1985	502	273	0.61	0.0522616
39	1986	476	272	0.63	0.00839497
40	1987	640	271	0.65	-0.035455877
41	1988	191	269	0.66	-0.079376591
42	1989	385	268	0.68	-0.12345767
43	1990	268	258	0.69	-0.167796076
44	1991	419	254	0.71	-0.212497181
45	1992	387	246	0.73	-0.257677175
46	1993	148	226	0.74	-0.303466094
47	1994	370	219	0.76	-0.350011723
48	1995	363	217	0.77	-0.39748472
49	1996	246	214	0.79	-0.4460855
50	1997	458	211	0.81	-0.496053695
51	1998	477	210	0.82	-0.547681492
52	1999	382	191	0.84	-0.601332993
53	2000	613	171	0.85	-0.65747327
54	2001	525	167	0.87	-0.716713717
55	2002	273	153	0.89	-0.779886295
56	2003	214	148	0.90	-0.848172442
57	2004	219	138	0.92	-0.923344385
58	2005	480	124	0.94	-1.008264451
59	2006	269	84	0.95	-1.108074744
60	2007	364	78	0.97	-1.233722036
61	2008	171	75.7	0.98	-1.417583313

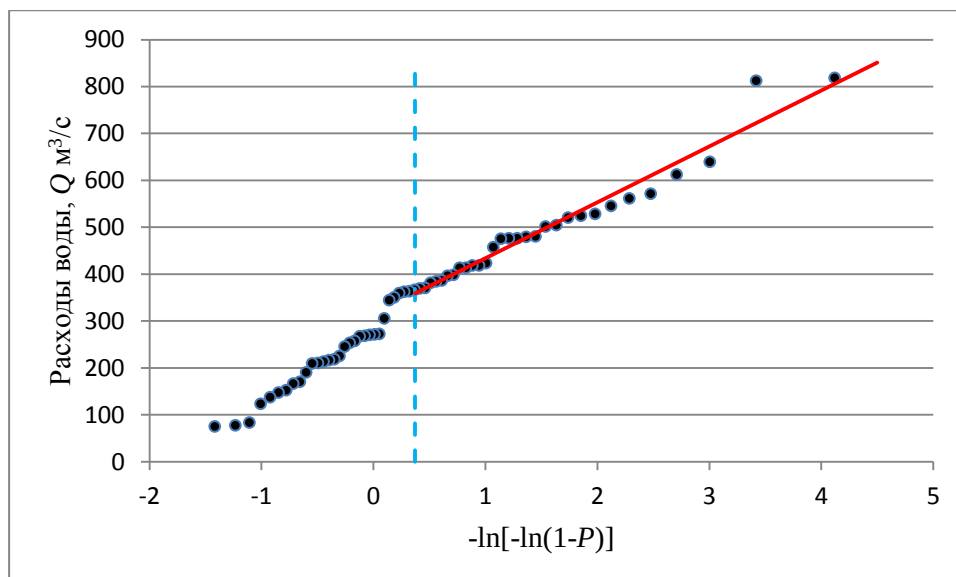


Рисунок А.1.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Уфа – г. Нязепетровск (определение точки усечения)

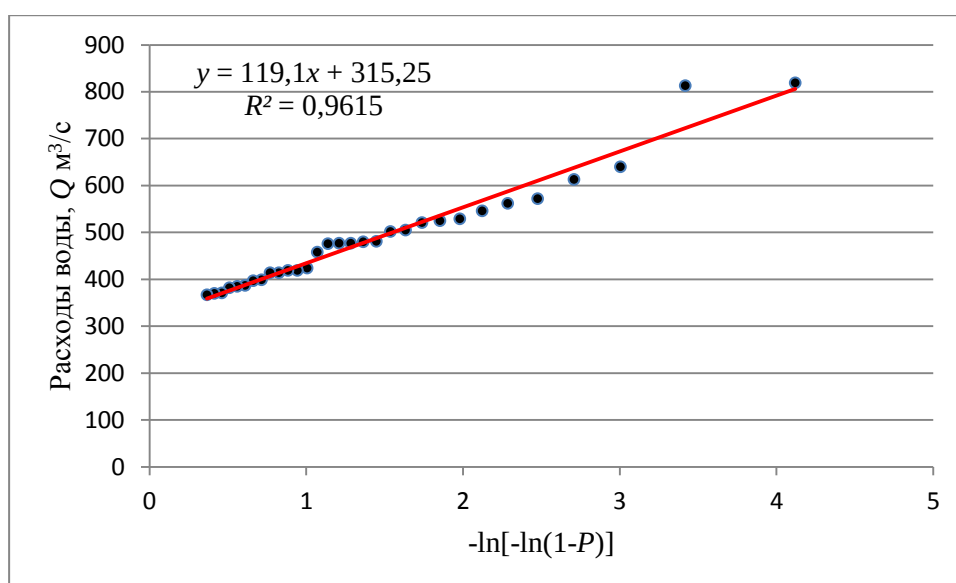


Рисунок А.1.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Уфа – г. Нязепетровск верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.1.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов весеннего половодья, р. Уфа – г. Нязепетровск;

$$\lambda = 119.1; \mu = 315.25$$

$P \%$	Y_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	1412.2
0.1	6.907255	1137.9
0.3	5.807641	1006.9
0.5	5.295812	946.0
1	4.600149	863.1
3	3.491367	731.1
5	2.970195	669.0
10	2.250367	583.3
20	1.49994	493.9
25	1.2	463.6
50	0.366513	358.9

Таблица А.2.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных расходов воды весеннего половодья р. Куса – пгт. Магнитка

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	Y_p
1	1934	32.2	70.9	0.013158	4.324118
2	1935	22.0	66.2	0.026316	3.624282
3	1936	30.7	64.4	0.039474	3.212052
4	1937	25.4	62.6	0.052632	2.917527
5	1938	62.6	61.0	0.065789	2.687462
6	1939	24.8	59.0	0.078947	2.498137
7	1940	22.4	56.8	0.092105	2.336899
8	1941	56.3	56.3	0.105263	2.196194
9	1942	42.7	56.3	0.118421	2.07115
10	1943	38.5	55.8	0.131579	1.958438
11	1944	30.7	55.8	0.144737	1.855683
12	1945	47.4	54.5	0.157895	1.761132
13	1946	48.9	51.9	0.171053	1.673451
14	1947	59.0	50.6	0.184211	1.591603
15	1948	49.5	49.5	0.197368	1.514767
16	1949	40.3	48.9	0.210526	1.442277
17	1950	27.7	48.9	0.223684	1.373592
18	1951	48.9	48.7	0.236842	1.308259
19	1952	28.7	47.4	0.25	1.245899
20	1953	32.2	47.1	0.263158	1.186193
21	1954	36.8	46.8	0.276316	1.128865

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
22	1955	22.0	46.8	0.289474	1.073678
23	1956	36.6	46.5	0.302632	1.020426
24	1957	46.8	46.3	0.315789	0.968928
25	1958	30.4	45.7	0.328947	0.919025
26	1959	44.1	45.3	0.342105	0.870576
27	1960	33.7	44.6	0.355263	0.823454
28	1961	32.4	44.1	0.368421	0.777546
29	1962	30.3	43.6	0.381579	0.73275
30	1963	42.9	42.9	0.394737	0.688972
31	1964	46.8	42.7	0.407895	0.646128
32	1965	44.6	42.0	0.421053	0.604141
33	1966	35.7	41.5	0.434211	0.562938
34	1967	28.8	40.3	0.447368	0.522453
35	1968	28.5	40.0	0.460526	0.482625
36	1969	40	39.7	0.473684	0.443395
37	1970	50.6	38.5	0.486842	0.404708
38	1971	33	38.2	0.5	0.366513
39	1972	45.3	38.2	0.513158	0.32876
40	1973	41.5	38.1	0.526316	0.291403
41	1974	48.7	37.6	0.539474	0.254395
42	1975	27.4	36.8	0.552632	0.217692
43	1976	19.8	36.8	0.565789	0.181251
44	1977	54.5	36.6	0.578947	0.145029
45	1978	25.7	36.5	0.592105	0.108982
46	1979	56.3	35.7	0.605263	0.07307
47	1980	55.8	34.3	0.618421	0.037248
48	1981	29.3	33.7	0.631579	0.001472
49	1982	36.8	33.0	0.644737	-0.0343
50	1983	38.2	32.4	0.657895	-0.07012
51	1984	46.3	32.2	0.671053	-0.10603
52	1985	51.9	32.2	0.684211	-0.14209
53	1986	46.5	30.7	0.697368	-0.17835
54	1987	70.9	30.7	0.710526	-0.21486
55	1988	19.5	30.4	0.723684	-0.2517
56	1989	45.7	30.3	0.736842	-0.28893
57	1990	61	29.3	0.75	-0.32663
58	1991	37.6	28.8	0.763158	-0.36489
59	1992	39.7	28.7	0.776316	-0.40381
60	1993	19.7	28.5	0.789474	-0.4435
61	1994	36.5	27.7	0.802632	-0.48408
62	1995	34.3	27.4	0.815789	-0.52572
63	1996	42	26.4	0.828947	-0.56859
64	1997	56.8	25.8	0.842105	-0.61293

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
65	1998	47.1	25.7	0.855263	-0.65899
66	1999	38.1	25.4	0.868421	-0.70712
67	2000	64.4	24.8	0.881579	-0.75777
68	2001	43.6	22.4	0.894737	-0.8115
69	2002	38.2	22.0	0.907895	-0.86912
70	2003	19.1	22.0	0.921053	-0.93176
71	2004	26.4	19.8	0.934211	-1.00111
72	2005	55.8	19.7	0.947368	-1.07992
73	2006	16.7	19.5	0.960526	-1.17314
74	2007	66.2	19.1	0.973684	-1.29132
75	2008	25.8	16.7	0.986842	-1.46574

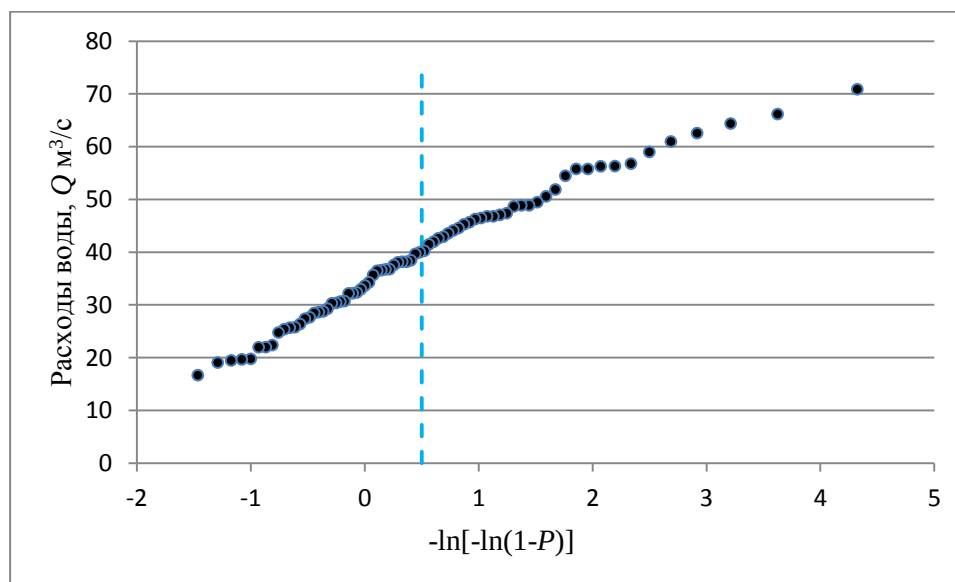


Рисунок А.2.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Куса – пгт. Магнитка (определение точки усечения)

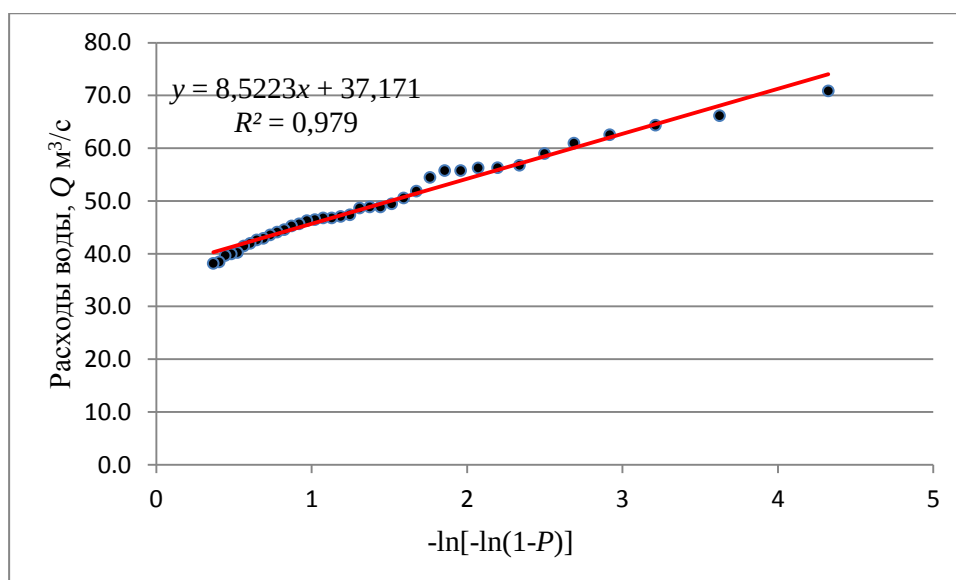


Рисунок А.2.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Куса – пгт. Магнитка, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.2.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды весеннего половодья р. Куса – пгт. Магнитка;
 $\lambda = 8.5223$; $\mu = 37.171$

$P \%$	u_P	Расчетный расход воды, $Q_P \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	116
0.1	6.907255	96
0.3	5.807641	87
0.5	5.295812	82
1	4.600149	76
3	3.491367	67
5	2.970195	62
10	2.250367	56
20	1.49994	50
25	1.245899	48
50	0.366513	40

Таблица А.3.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных расходов воды весеннего половодья р. Бол. Арша – д. Вознесенка

№ n/n	Год	Расход воды, Q м ³ /с	Ранжированные расходы воды, Q_p м ³ /с	P %	y_p
1	1959	53.9	94.5	0.02	3.921941
2	1960	33.8	81.9	0.04	3.218742
3	1961	52.6	72.8	0.06	2.803054
4	1962	28.6	71.8	0.08	2.50497
5	1963	63.4	67.9	0.10	2.271239
6	1964	39	63.4	0.12	2.078137
7	1965	57.7	63.4	0.14	1.913006
8	1966	52.2	61.4	0.16	1.768284
9	1967	7.62	61.3	0.18	1.639093
10	1968	51.5	61.2	0.20	1.522098
11	1969	71.8	60.6	0.22	1.414915
12	1970	55.5	58.7	0.24	1.315784
13	1971	52.5	58.5	0.25	1.223361
14	1972	43.9	57.7	0.27	1.136602
15	1973	67.9	56.8	0.29	1.054672
16	1974	55	56.7	0.31	0.976897
17	1975	52.2	56.5	0.33	0.90272
18	1976	32.4	56	0.35	0.831678
19	1977	48.6	55.5	0.37	0.763377
20	1978	20.7	55	0.39	0.69748
21	1979	94.5	54.9	0.41	0.633694
22	1980	46	53.9	0.43	0.571762
23	1981	39.6	52.6	0.45	0.511457
24	1982	36.7	52.5	0.47	0.452574
25	1983	49.3	52.2	0.49	0.394927
26	1984	17.3	52.2	0.51	0.338344
27	1985	61.3	51.5	0.53	0.282666
28	1986	61.2	49.3	0.55	0.22774
29	1987	81.9	48.6	0.57	0.173421
30	1988	31.7	48.5	0.59	0.119569
31	1989	38.1	47	0.61	0.06604
32	1990	41.6	46	0.63	0.012694
33	1991	56.7	45.1	0.65	-0.04062
34	1992	56	43.9	0.67	-0.09405
35	1993	26.1	41.6	0.69	-0.14776
36	1994	60.6	39.6	0.71	-0.20194
37	1995	56.8	39	0.73	-0.25679
38	1996	47	38.1	0.75	-0.31253
39	1997	56.5	36.7	0.76	-0.36944
40	1998	58.5	33.8	0.78	-0.42783

№ n/n	Год	Расход воды, Q м ³ /с	Ранжированные расходы воды, Q_p м ³ /с	P %	y_p
41	1999	48.5	32.4	0.80	-0.48811
42	2000	72.8	31.7	0.82	-0.55078
43	2001	61.4	28.6	0.84	-0.61647
44	2002	58.7	28.4	0.86	-0.68608
45	2003	28.4	26.2	0.88	-0.76084
46	2004	20.5	26.1	0.90	-0.8426
47	2005	63.4	20.7	0.92	-0.93434
48	2006	45.1	20.5	0.94	-1.04141
49	2007	54.9	17.3	0.96	-1.17517
50	2008	26.2	7.62	0.98	-1.3691

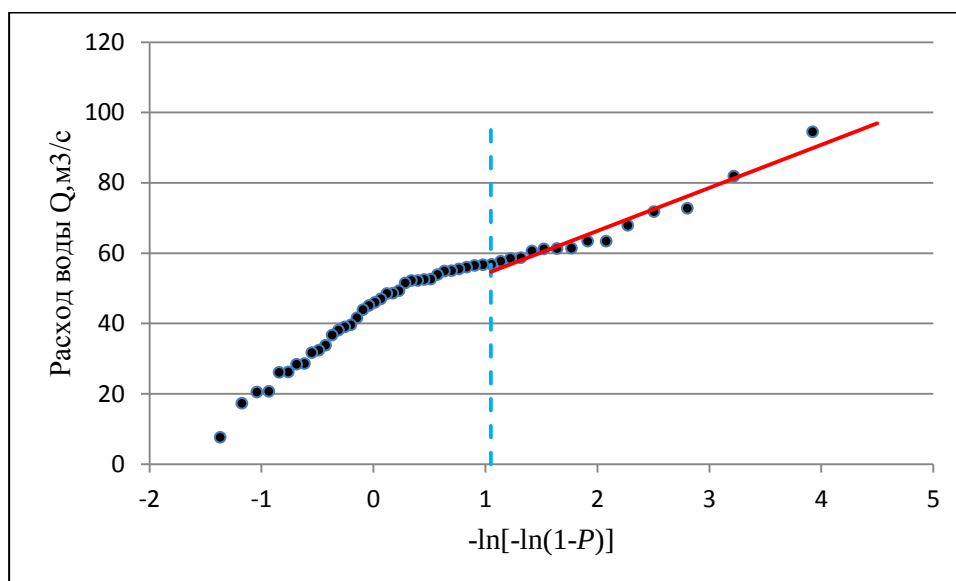


Рисунок А.3.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Бол. Арша – д. Вознесенка (определение точки усечения)

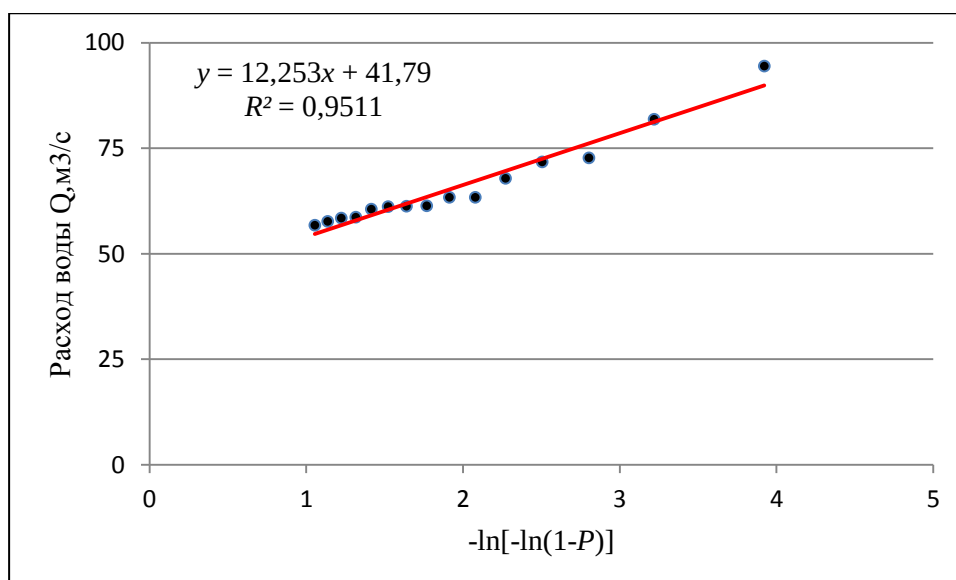


Рисунок А.3.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Бол. Арша – д. Вознесенка, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.3.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды весеннего половодья
р. Бол. Арша – д. Вознесенка;
 $\lambda = 12.253; \mu = 41.79$

$P \%$	u_p	Расчетный расход воды, $Q_p, \text{м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	154.6
0.1	6.907255	126.4
0.3	5.807641	113.0
0.5	5.295812	106.7
1	4.600149	98.2
3	3.491367	84.6
5	2.970195	78.2
10	2.250367	69.4
20	1.49994	60.2
25	1.2	57.1

Для построения усеченной кривой обеспеченности р. Тюлюк – с. Тюлюк использовался объединенный ряд максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков, так как разделить его по происхождению максимальных расходов не представлялось возможным.

Таблица А.4.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных расходов воды р. Тюлюк – с. Тюлюк

№ n/n	Год	Максимальный рас- ход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расхо- ды воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1965	22.6	67.6	0.02	3.795447
2	1966	24.3	65.2	0.04	3.09087
3	1967	39.3	42.2	0.07	2.673752
4	1968	37.2	40.5	0.09	2.374184
5	1969	35	39.3	0.11	2.138911
6	1970	33.8	38.4	0.13	1.944206
7	1971	38.4	37.5	0.16	1.777405
8	1972	22.1	37.2	0.18	1.630945
9	1973	15.9	36.9	0.20	1.49994
10	1974	12.9	36.5	0.22	1.38105
11	1975	18.5	35	0.24	1.271888
12	1976	16.5	33.8	0.27	1.170683
13	1977	15.3	30.3	0.29	1.076088
14	1978	36.9	30.3	0.31	0.987048
15	1979	29.1	29.3	0.33	0.90272
16	1980	27.9	29.2	0.36	0.822421
17	1981	30.3	29.1	0.38	0.745582
18	1982	19.1	27.9	0.40	0.671727
19	1983	19.1	24.3	0.42	0.600448
20	1984	14.9	24	0.44	0.531391
21	1985	23.4	23.4	0.47	0.464246
22	1986	20.6	22.6	0.49	0.398735
23	1987	40.5	22.1	0.51	0.334606
24	1988	8.34	21.7	0.53	0.271625
25	1989	42.2	20.9	0.56	0.209573
26	1990	65.2	20.6	0.58	0.148241
27	1991	24	20.4	0.60	0.087422
28	1992	37.5	20.1	0.62	0.02691
29	1993	30.3	19.1	0.64	-0.03351
30	1994	67.6	19.1	0.67	-0.09405
31	1995	9.34	18.8	0.69	-0.15495
32	1996	29.3	18.5	0.71	-0.21649
33	1997	36.5	18.2	0.73	-0.27896
34	1998	15.3	16.6	0.76	-0.34272
35	1999	16.6	16.5	0.78	-0.40818
36	2000	29.2	15.9	0.80	-0.47588
37	2001	18.8	15.3	0.82	-0.54651
38	2002	20.9	15.3	0.84	-0.62098

№ п/п	Год	Максимальный рас- ход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расхо- ды воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
39	2003	15.2	15.2	0.87	-0.70057
40	2004	20.1	14.9	0.89	-0.7872
41	2005	21.7	12.9	0.91	-0.88392
42	2006	18.2	9.34	0.93	-0.99623
43	2007	20.4	9.19	0.96	-1.13575
44	2008	9.19	8.34	0.98	-1.33675

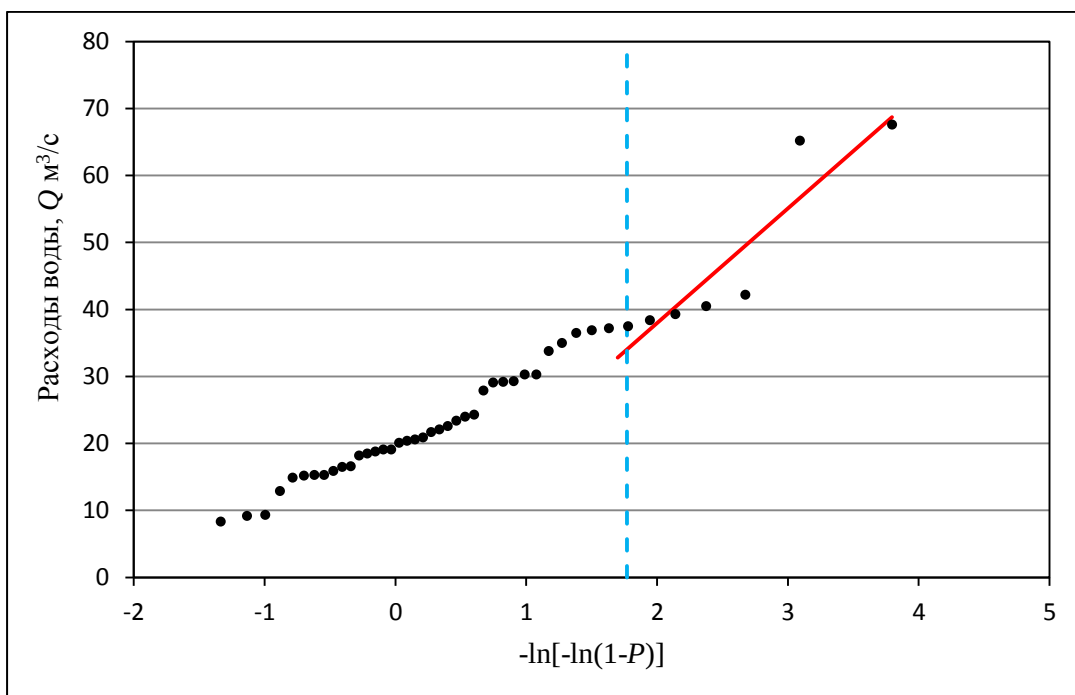


Рисунок А.4.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды, р. Тюлюк – с. Тюлюк (определение точки усечения)

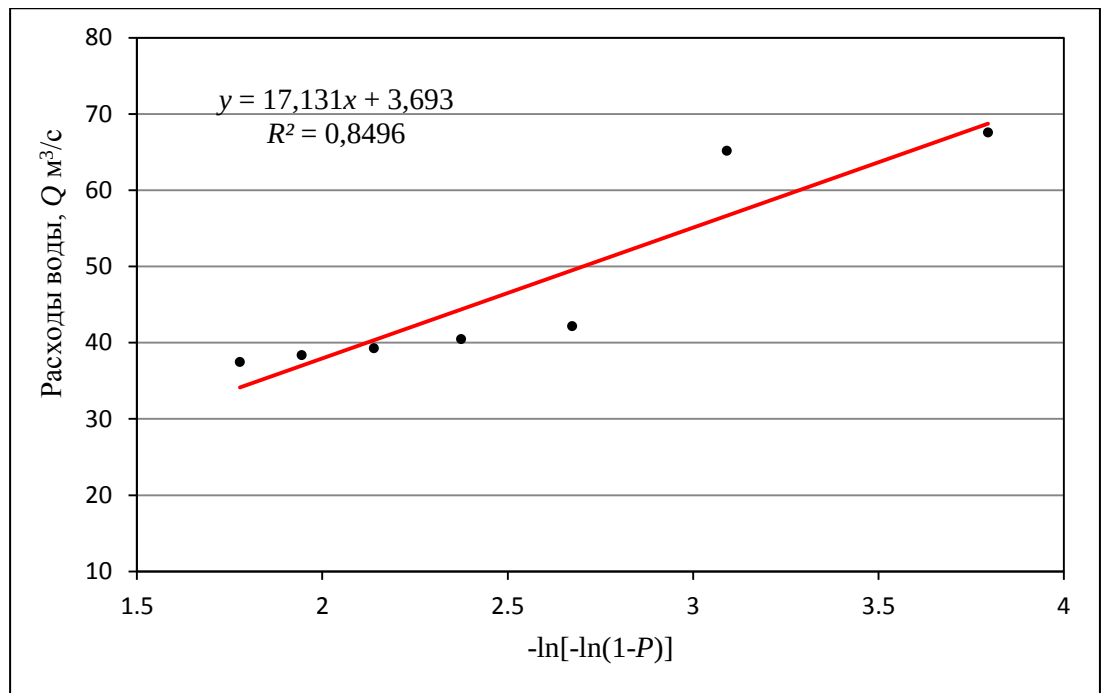


Рисунок А.4.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды, р. Тюлюк – с. Тюлюк верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.4.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды р. Тюлюк – с. Тюлюк;
 $\lambda = 17.13$; $\mu = 3.69$

$P \%$	y_p	Расчетный расход воды, Q_p м³/с
0.01	9.210	161.5
0.1	6.907	122.0
0.5	5.296	94.4
1	4.600	82.5
3	3.491	63.5
5	2.970	54.6
10	2.250	42.2

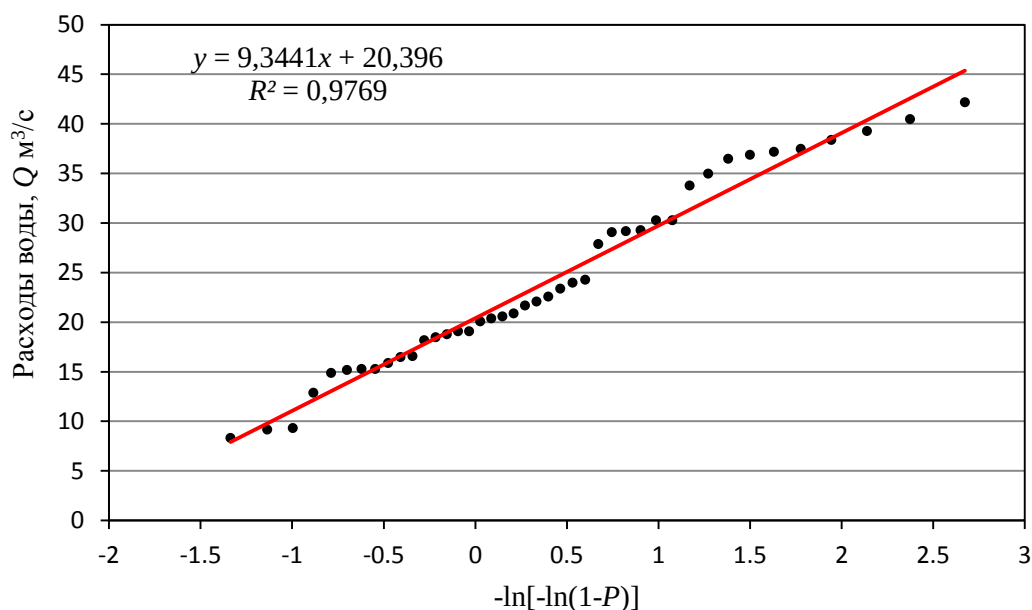


Рисунок А.4.3 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды, р. Тюлюк – с. Тюлюк нижняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.4.3 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды р. Тюлюк – с. Тюлюк;
 $\lambda = 9.34$; $\mu = 20.4$

$P \%$	u_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
20	1.500	34.4
25	1.245899	32.0
30	1.03093	30.0
40	0.671727	26.7
50	0.366513	23.8
60	0.087422	21.2
70	-0.18563	18.7
75	-0.32663	17.3
80	-0.47588	16.0
90	-0.83403	12.6
95	-1.09719	10.2
97	-1.25463	8.7
97.5	-1.30532	8.2
99	-1.52718	6.1
99.5	-1.66739	4.8
99.9	-1.93264	2.3

Аналогичным образом производился расчет для построения усеченной кривой р. Юрюзань – д. Вязовая.

Таблица А.5.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных расходов воды р. Юрюзань – д. Вязовая

№ п/п	Год	Максимальный рас- ход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расхо- ды воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1936	224	1070	0.02	3.881528
2	1937	192	828	0.04	3.177909
3	1938	272	664	0.06	2.761785
4	1939	221	586	0.08	2.463249
5	1940	168	578	0.10	2.22905
6	1966	296	530	0.12	2.035462
7	1967	530	470	0.14	1.869825
8	1968	171	437	0.16	1.724578
9	1969	423	423	0.18	1.594841
10	1970	353	417	0.20	1.477276
11	1971	470	410	0.22	1.3695
12	1972	417	398	0.24	1.269748
13	1973	314	390	0.27	1.176678
14	1974	281	384	0.29	1.08924
15	1975	230	377	0.31	1.006599
16	1976	152	376	0.33	0.928078
17	1977	276	371	0.35	0.853118
18	1978	231	369	0.37	0.781251
19	1979	398	353	0.39	0.712079
20	1980	280	346	0.41	0.645263
21	1981	241	342	0.43	0.580505
22	1982	828	328	0.45	0.517542
23	1983	235	324	0.47	0.456142
24	1984	178	314	0.49	0.396092
25	1985	664	300	0.51	0.337199
26	1986	377	296	0.53	0.279283
27	1987	369	296	0.55	0.222172
28	1988	160	288	0.57	0.165703
29	1989	371	283	0.59	0.109717
30	1990	578	281	0.61	0.054054
31	1991	296	280	0.63	-0.00145
32	1992	384	276	0.65	-0.05695
33	1993	283	272	0.67	-0.11264
34	1994	1070	265	0.69	-0.1687
35	1995	178	241	0.71	-0.22535

№ п/п	Год	Максимальный рас- ход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расхо- ды воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
36	1996	437	235	0.73	-0.28282
37	1997	346	231	0.76	-0.3414
38	1998	342	230	0.78	-0.40141
39	1999	376	224	0.80	-0.46325
40	2000	586	221	0.82	-0.52744
41	2001	300	192	0.84	-0.59464
42	2002	410	178	0.86	-0.66573
43	2003	265	178	0.88	-0.74197
44	2004	288	171	0.90	-0.82522
45	2005	328	168	0.92	-0.9185
46	2006	390	160	0.94	-1.02719
47	2007	324	152	0.96	-1.16274
48	2008	106	106	0.98	-1.35888

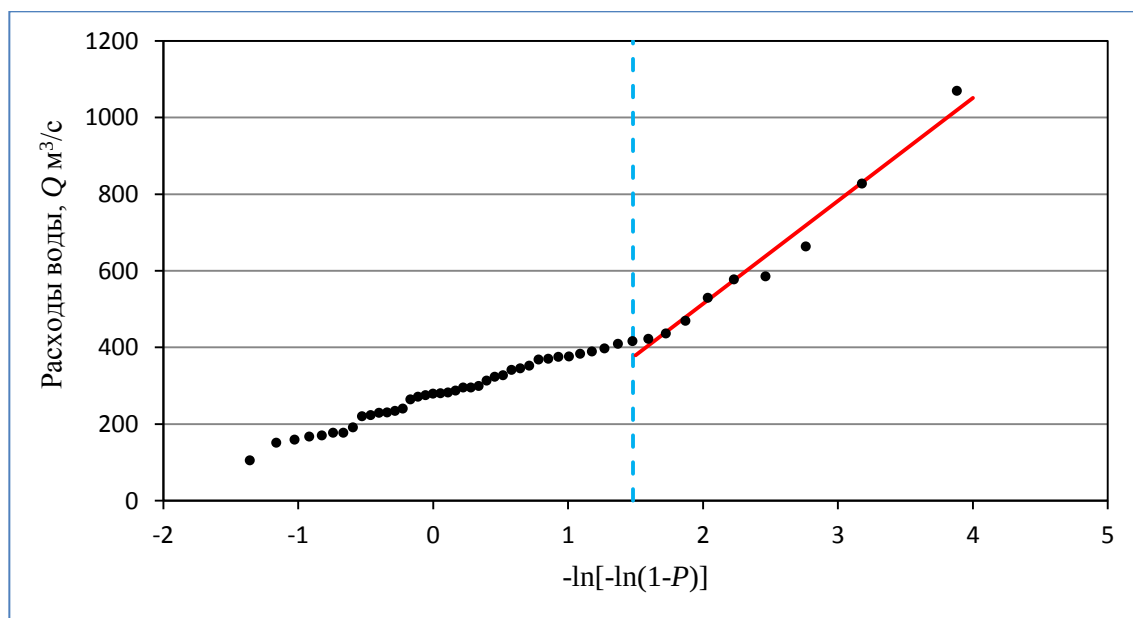


Рисунок А.5.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды, р. Юрюзань – д. Вязовая (определение точки усечения)

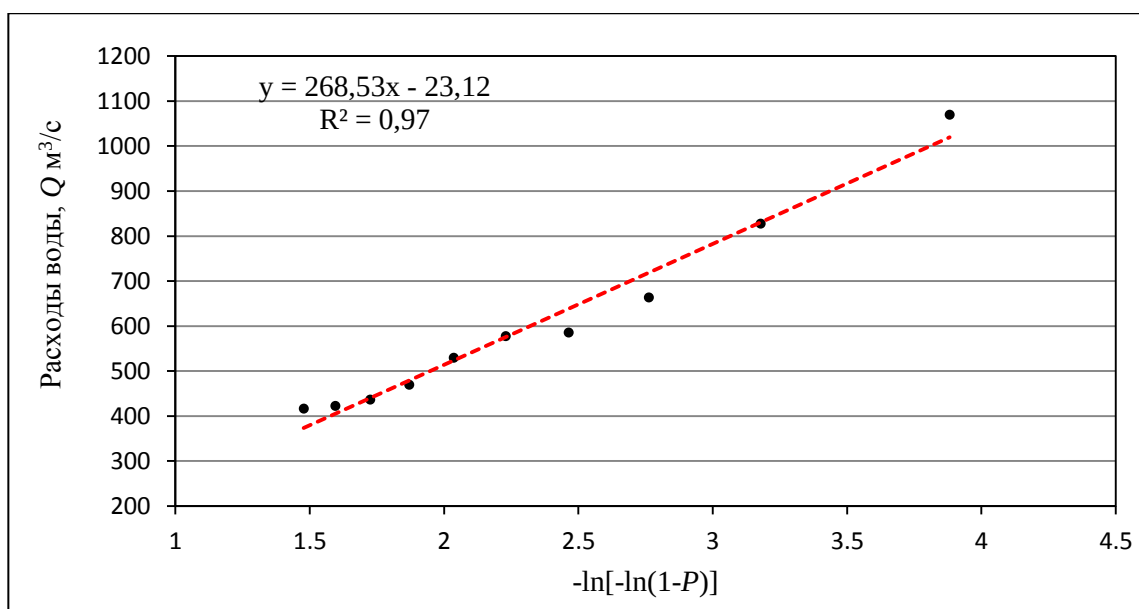


Рисунок А.5.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды, р. Юрюзань – д. Вязовая верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.5.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды р. Юрюзань – д. Вязовая;
 $\lambda = 268.53$; $\mu = -23.12$

$P \%$	y_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.210	2449.9
0.1	6.907	1831.5
0.5	5.296	1398.8
1	4.600	1212.0
3	3.491	914.3
5	2.970	774.4
10	2.250	581.1

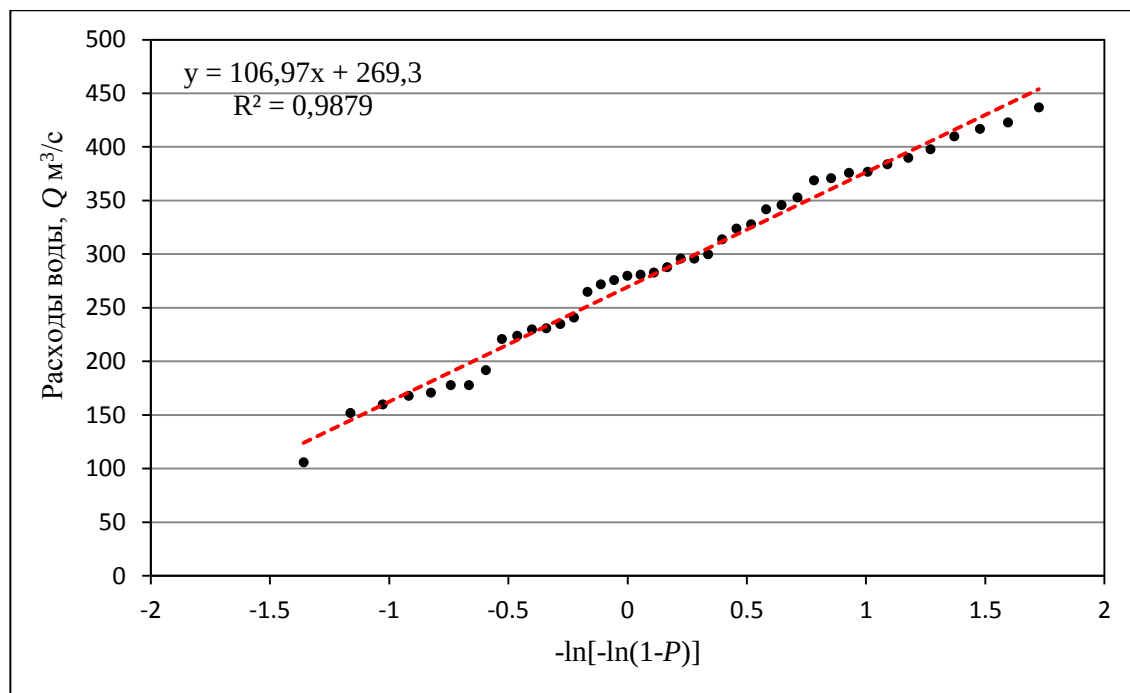


Рисунок А.5.3 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды, р. Юрюзань – д. Вязовая нижняя (линейная) часть зависимости

Таблица А.5.3 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды р. Юрюзань – д. Вязовая;
 $\lambda = 106.97$; $\mu = 269.3$

$P \%$	u_p	Расчетный расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$
20	1.500	429.7
25	1.245899	402.6
30	1.03093	379.6
40	0.671727	341.2
50	0.366513	308.5
60	0.087422	278.7
70	-0.18563	249.4
75	-0.32663	234.4
80	-0.47588	218.4
90	-0.83403	180.1
95	-1.09719	151.9

$P \%$	y_p	Расчетный расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$
97	-1.25463	135.1
97.5	-1.30532	129.7
99	-1.52718	105.9
99.5	-1.66739	90.9
99.9	-1.93264	62.6

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Построение усеченных кривых обеспеченностей максимальных паводочных расходов воды для рек северо-запада Челябинской области

Таблица Б.1.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных паводочных расходов р. Уфа – г. Нязепетровск

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1929	42.0	409	0.02	4.119015
2	1930	25.0	409	0.03	3.417637
3	1931	18.0	267.0	0.05	3.003826
4	1932	104.0	258	0.06	2.70768
5	1933	55.0	235	0.08	2.475949
6	1934	29.0	205	0.10	2.284915
7	1935	63.0	164	0.11	2.121922
8	1936	16.0	158	0.13	1.979413
9	1937	80.0	146	0.15	1.852513
10	1938	121.0	143	0.16	1.737893
11	1939	53.0	141	0.18	1.633174
12	1940	76.0	141.0	0.19	1.536599
13	1941	49.0	139	0.21	1.446834
14	1961	65.9	131	0.23	1.362838
15	1962	139	129	0.24	1.283785
16	1963	53.8	128	0.26	1.209009
17	1964	141	121.0	0.27	1.137961
18	1965	14.3	120	0.29	1.070186
19	1966	80	119	0.31	1.005302
20	1967	68.2	112	0.32	0.942982
21	1968	267.0	107	0.34	0.882947
22	1969	409	106	0.35	0.824955
23	1970	120	104.0	0.37	0.768792
24	1971	128	97.7	0.39	0.714272
25	1972	66.1	97.6	0.40	0.661229
26	1973	59.4	89.9	0.42	0.609513
27	1974	30.4	80.0	0.44	0.55899
28	1975	9.16	80	0.45	0.509537
29	1976	27.5	78.3	0.47	0.461041
30	1977	158	76.9	0.48	0.413399
31	1978	146	76.1	0.50	0.366513
32	1979	164	76.0	0.52	0.320292
33	1980	97.6	74.1	0.53	0.274649

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
34	1981	24.2	72.7	0.55	0.229501
35	1982	76.1	68.2	0.56	0.184768
36	1983	89.9	66.1	0.58	0.140369
37	1984	141.0	65.9	0.60	0.096226
38	1985	112	64.2	0.61	0.052262
39	1986	129	63.0	0.63	0.008395
40	1987	131	59.4	0.65	-0.03546
41	1988	42.2	55.0	0.66	-0.07938
42	1989	21.3	53.8	0.68	-0.12346
43	1990	143	53.0	0.69	-0.1678
44	1991	25.9	52.3	0.71	-0.2125
45	1992	35.9	49.0	0.73	-0.25768
46	1993	258	42.2	0.74	-0.30347
47	1994	235	42.0	0.76	-0.35001
48	1995	26.4	35.9	0.77	-0.39748
49	1996	17.4	30.4	0.79	-0.44609
50	1997	52.3	29.0	0.81	-0.49605
51	1998	107	27.5	0.82	-0.54768
52	1999	72.7	26.4	0.84	-0.60133
53	2000	64.2	25.9	0.85	-0.65747
54	2001	205	25.0	0.87	-0.71671
55	2002	409	24.2	0.89	-0.77989
56	2003	119	21.3	0.90	-0.84817
57	2004	106	18.0	0.92	-0.92334
58	2005	76.9	17.4	0.94	-1.00826
59	2006	74.1	16.0	0.95	-1.10807
60	2007	78.3	14.3	0.97	-1.23372
61	2008	97.7	9.16	0.98	-1.41758

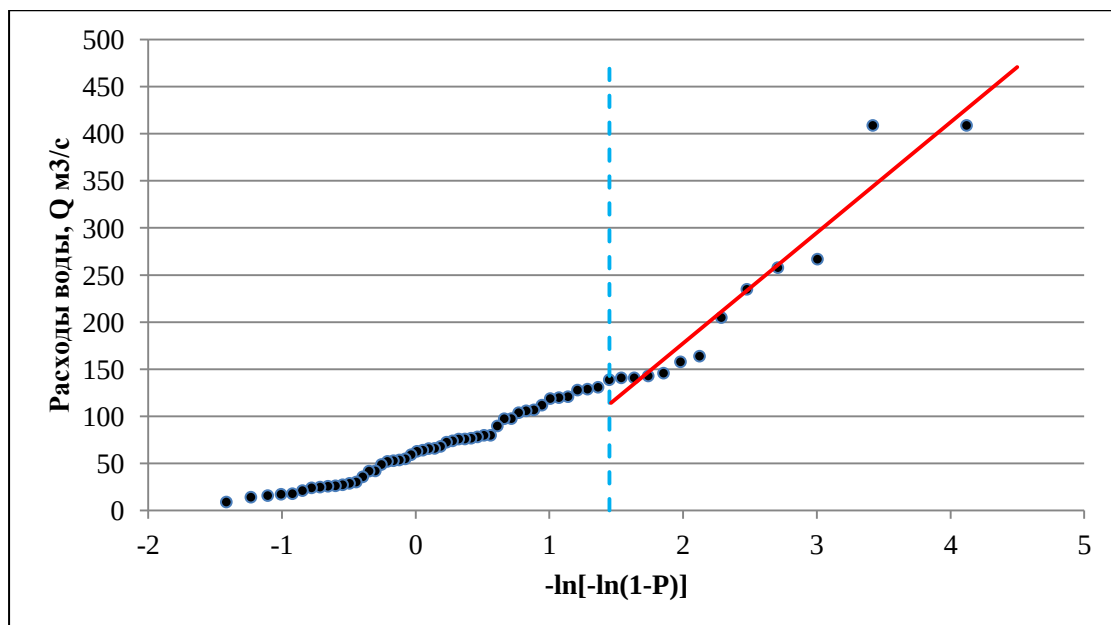


Рисунок Б.1.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Уфа – г. Нязепетровск (определение точки усечения)

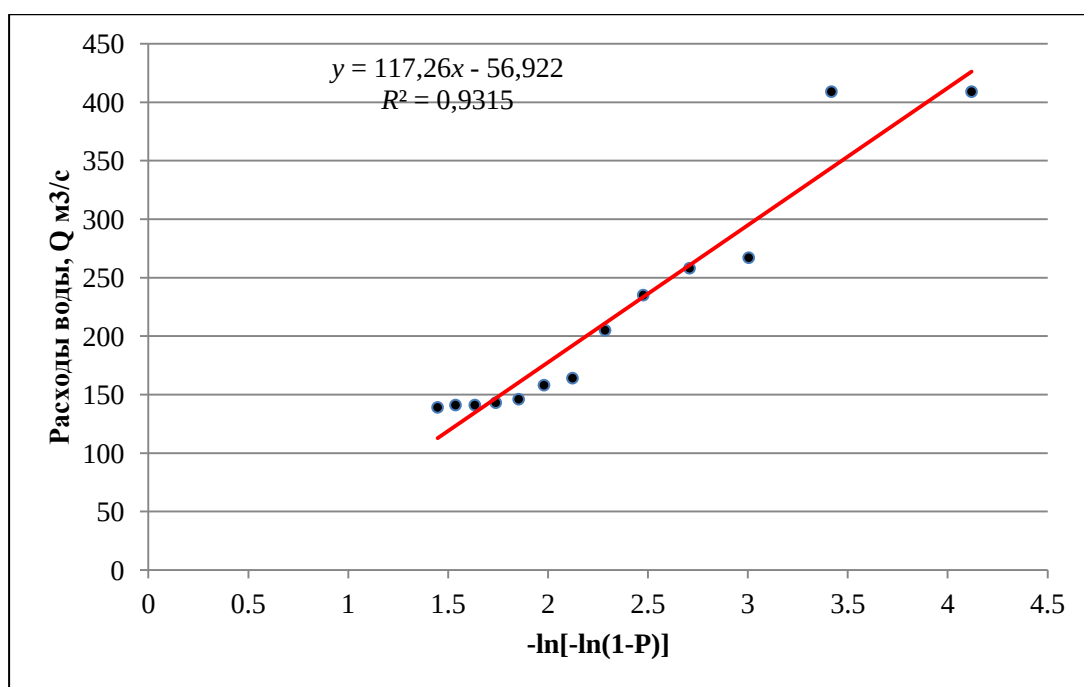


Рисунок Б.1.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Уфа – г. Нязепетровск, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица Б.1.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных паводочных расходов воды р. Уфа – г. Нязепетровск;
 $\lambda = 117.3; \mu = -56.9$

$P \%$	y_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	1023.1
0.1	6.907255	753.0
0.3	5.807641	624.1
0.5	5.295812	564.1
1	4.600149	482.5
3	3.491367	352.5
5	2.970195	291.4
10	2.250367	207.0
20	1.49994	119.0
25	1.2	89.2

Таблица Б.2.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных паводочных расходов р. Куся – пгт. Магнитка

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1965	53.2	64.4	0.02	3.795447
2	1966	23.8	53.2	0.04	3.09087
3	1967	27.4	46.8	0.07	2.673752
4	1968	39.3	44.4	0.09	2.374184
5	1969	22.4	39.7	0.11	2.138911
6	1970	29.2	39.3	0.13	1.944206
7	1971	38.5	38.5	0.16	1.777405
8	1972	25	33.3	0.18	1.630945
9	1973	17.4	31	0.2	1.49994
10	1974	11	29.2	0.22	1.38105
11	1975	1.49	27.8	0.24	1.271888
12	1976	2.78	27.4	0.27	1.170683
13	1977	5.45	27.4	0.29	1.076088
14	1978	31	25	0.31	0.987048
15	1979	24.9	24.9	0.33	0.90272
16	1980	8.15	24.9	0.36	0.822421
17	1981	3.22	23.8	0.38	0.745582
18	1982	7.15	23.1	0.4	0.671727
19	1983	16.5	22.4	0.42	0.600448
20	1984	18	20.5	0.44	0.531391
21	1985	39.7	19.5	0.47	0.464246
22	1986	11.4	18	0.49	0.398735
23	1987	46.8	17.4	0.51	0.334606

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
24	1988	10.9	17.2	0.53	0.271625
25	1989	12.8	16.5	0.56	0.209573
26	1990	11	14.4	0.58	0.148241
27	1991	4.42	14	0.6	0.087422
28	1992	27.4	12.8	0.62	0.02691
29	1993	33.3	11.4	0.64	-0.03351
30	1994	44.4	11	0.67	-0.09405
31	1995	2.37	11	0.69	-0.15495
32	1996	4.42	10.9	0.71	-0.21649
33	1997	3.06	10.7	0.73	-0.27896
34	1998	14	8.24	0.76	-0.34272
35	1999	23.1	8.15	0.78	-0.40818
36	2000	27.8	7.15	0.8	-0.47588
37	2001	24.9	5.45	0.82	-0.54651
38	2002	64.4	4.42	0.84	-0.62098
39	2003	14.4	4.42	0.87	-0.70057
40	2004	8.24	3.22	0.89	-0.7872
41	2005	17.2	3.06	0.91	-0.88392
42	2006	19.5	2.78	0.93	-0.99623
43	2007	20.5	2.37	0.96	-1.13575
44	2008	10.7	1.49	0.98	-1.33675

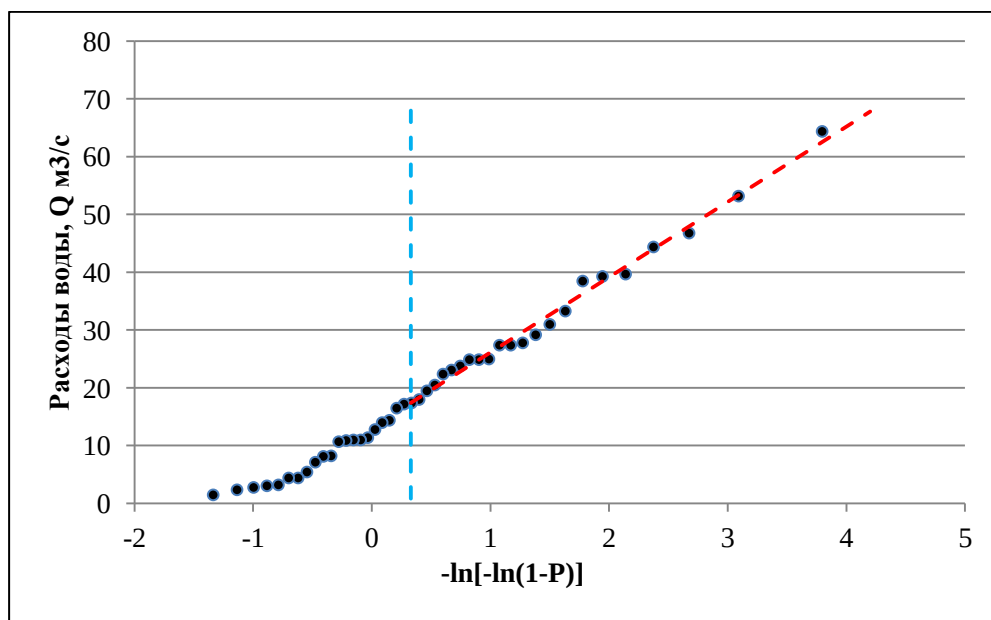


Рисунок Б.2.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Куса – пгт. Магнитка (определение точки усечения)

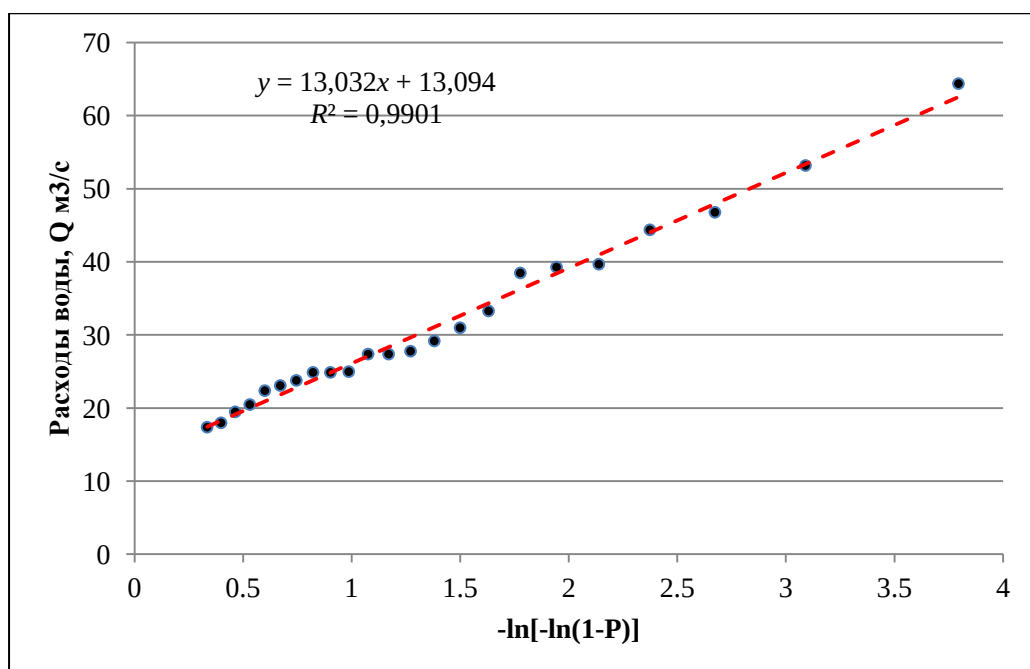


Рисунок Б.2.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Куся – пгт. Магнитка, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица Б.2.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных расходов воды дождевых паводков р. Куся – пгт. Магнитка;
 $\lambda = 13.032$; $\mu = 13.094$

$P \%$	Y_p	Расчетный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	133
0.1	6.907255	103
0.3	5.807641	89
0.5	5.295812	82
1	4.600149	73
3	3.491367	59
5	2.970195	52
10	2.250367	42
20	1.49994	33
25	1.245899	29
50	0.366513	18

Таблица Б.3.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных паводочных расходов р. Бол. Арша – д. Вознесенка

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1959	20	64,1	0,02	3,839414
2	1960	23,7	47,9	0,04	3,135337
3	1961	21,8	44,6	0,06	2,718738
4	1962	22,5	35,7	0,09	2,419709
5	1963	5,51	34,3	0,11	2,184998
6	1964	25,7	34,1	0,13	1,990877
7	1965	6,34	31,2	0,15	1,824687
8	1966	5,42	30,6	0,17	1,678863
9	1967	21,6	30,2	0,19	1,548524
10	1968	18,3	29,7	0,21	1,430331
11	1969	29,7	25,7	0,23	1,321898
12	1970	25,1	25,1	0,26	1,22146
13	1971	30,6	23,7	0,28	1,127669
14	1972	6,93	22,5	0,30	1,039476
15	1973	6,43	22,3	0,32	0,956041
16	1974	3,53	21,8	0,34	0,876685
17	1975	0,44	21,8	0,36	0,800843
18	1976	1,5	21,6	0,38	0,728046
19	1977	1,19	20	0,40	0,65789
20	1978	10,3	19,3	0,43	0,59003
21	1979	47,9	18,3	0,45	0,524162
22	1980	4,33	18	0,47	0,460019
23	1981	35,7	16,6	0,49	0,397357
24	1982	8,72	14,9	0,51	0,335958
25	1983	8,71	10,4	0,53	0,275615
26	1984	14,9	10,3	0,55	0,216137
27	1985	34,3	9,8	0,57	0,157338
28	1986	22,3	9,53	0,60	0,099038
29	1987	18	8,72	0,62	0,041056
30	1988	1,5	8,71	0,64	-0,01679
31	1989	9,53	6,94	0,66	-0,0747
32	1990	6,91	6,93	0,68	-0,13287
33	1991	2,05	6,91	0,70	-0,19152
34	1992	9,8	6,43	0,72	-0,25091
35	1993	30,2	6,34	0,74	-0,31133
36	1994	34,1	5,51	0,77	-0,37312
37	1995	1,03	5,42	0,79	-0,43668
38	1996	4,13	4,33	0,81	-0,50255
39	2001	31,2	4,13	0,83	-0,57138
40	2002	64,1	3,53	0,85	-0,64408

№ n/n	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированный расход воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
41	2003	16,6	2,05	0,87	-0,72192
42	2004	10,4	1,5	0,89	-0,80679
43	2005	19,3	1,5	0,91	-0,90173
44	2006	6,94	1,19	0,94	-1,01216
45	2007	21,8	1,03	0,96	-1,14962
46	2008	44,6	0,44	0,98	-1,34811

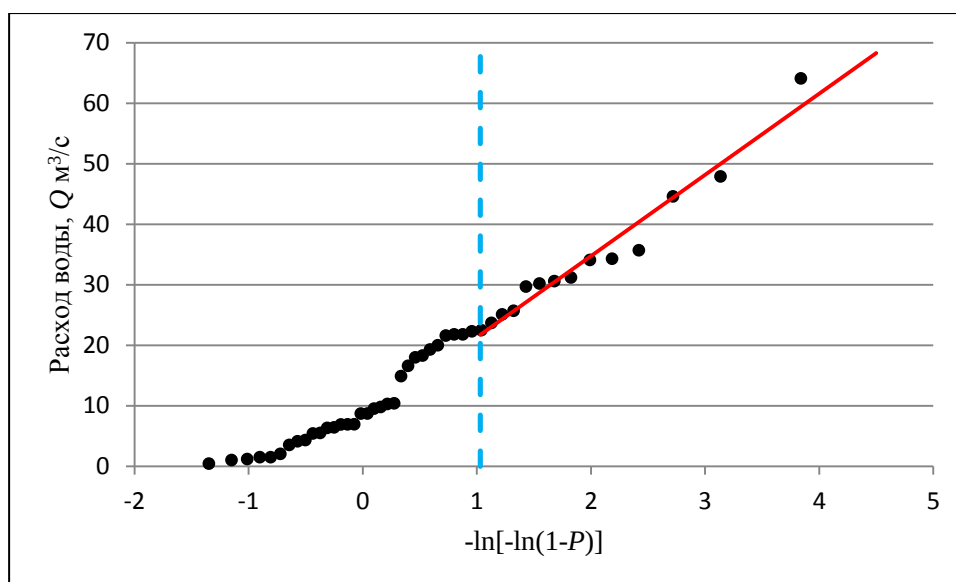


Рисунок Б.3.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Бол. Арша – д. Вознесенка (определение точки усечения)

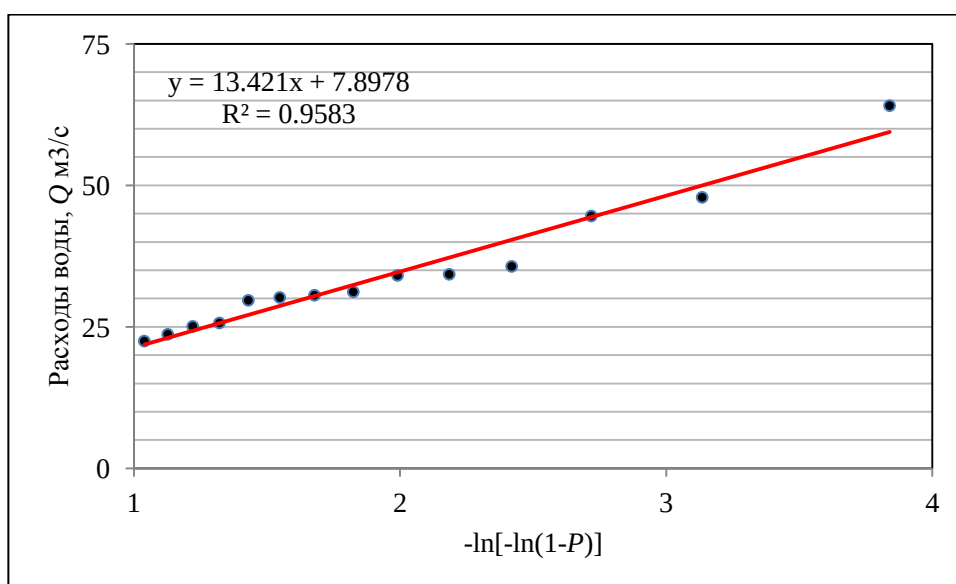


Рисунок Б.3.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Бол. Арша – д. Вознесенка, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица Б.3.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных паводочных расходов воды р. Бол. Арша – д. Вознесенка;
 $\lambda = 13.4; \mu = 7.89$

$P \%$	y_p	Расчетный расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$
0.01	9.21029	131.5
0.1	6.907255	100.6
0.3	5.807641	85.8
0.5	5.295812	79.0
1	4.600149	69.6
3	3.491367	54.8
5	2.970195	47.8
10	2.250367	38.1
20	1.49994	28.0
25	1.2	24.6

Таблица Б.4.1 – Расчет эмпирических значений переменной y_p максимальных паводочных расходов р. Ай – г. Златоуст

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
1	1934	27	273	0.01	4.324118
2	1935	32.3	230	0.03	3.624282
3	1936	2.42	187	0.04	3.212052
4	1937	35.9	174	0.05	2.917527
5	1938	174	133	0.06	2.687462
6	1939	70	127	0.08	2.498137
7	1940	25.2	127	0.09	2.336899
8	1941	127	112	0.10	2.196194
9	1942	32.4	105	0.12	2.07115
10	1943	230	104	0.13	1.958438
11	1944	27.2	99.2	0.14	1.855683
12	1945	99.2	99	0.16	1.761132
13	1946	85.6	92.6	0.17	1.673451
14	1947	82.3	87.4	0.18	1.591603
15	1948	18.5	85.6	0.20	1.514767
16	1949	15.4	82.3	0.21	1.442277
17	1950	35.5	80.6	0.22	1.373592
18	1951	38.6	79.6	0.24	1.308259
19	1952	6.03	79	0.25	1.245899
20	1953	18.1	77.1	0.26	1.186193
21	1954	22.3	70.1	0.28	1.128865
22	1955	40.2	70	0.29	1.073678

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
23	1956	42.4	66.3	0.30	1.020426
24	1957	42.3	62.6	0.32	0.968928
25	1958	18.7	61.6	0.33	0.919025
26	1959	60.2	60.9	0.34	0.870576
27	1960	61.6	60.2	0.35	0.823454
28	1961	87.4	57.6	0.37	0.777546
29	1962	79.6	57.5	0.38	0.73275
30	1963	46.8	57.4	0.39	0.688972
31	1964	187	50.5	0.41	0.646128
32	1965	18.5	50.2	0.42	0.604141
33	1966	39.2	49.4	0.43	0.562938
34	1967	80.6	49.3	0.45	0.522453
35	1968	60.9	48.5	0.46	0.482625
36	1969	133	46.8	0.47	0.443395
37	1970	57.4	46.4	0.48	0.404708
38	1971	112	42.4	0.50	0.366513
39	1972	13.1	42.3	0.51	0.32876
40	1973	27.1	41.5	0.52	0.291403
41	1974	38.8	40.2	0.53	0.254395
42	1975	9.98	39.2	0.55	0.217692
43	1976	15.9	38.8	0.56	0.181251
44	1977	50.2	38.6	0.57	0.145029
45	1978	62.6	35.9	0.59	0.108982
46	1979	92.6	35.5	0.60	0.07307
47	1980	28.1	32.4	0.61	0.037248
48	1981	3.69	32.3	0.63	0.001472
49	1982	9.48	28.6	0.64	-0.0343
50	1983	57.6	28.1	0.66	-0.07012
51	1984	70.1	27.2	0.67	-0.10603
52	1985	66.3	27.1	0.68	-0.14209
53	1986	22.3	27	0.69	-0.17835
54	1987	49.4	25.2	0.71	-0.21486
55	1988	11.5	22.3	0.72	-0.2517
56	1989	6.27	22.3	0.74	-0.28893
57	1990	46.4	22	0.75	-0.32663
58	1991	28.6	21.1	0.76	-0.36489
59	1992	9.02	18.7	0.77	-0.40381
60	1993	104	18.5	0.79	-0.4435
61	1994	273	18.5	0.80	-0.48408
62	1995	4.71	18.1	0.81	-0.52572
63	1996	4.08	15.9	0.83	-0.56859
64	1997	48.5	15.4	0.84	-0.61293
65	1998	21.1	13.1	0.85	-0.65899

№ п/п	Год	Расход воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Ранжированные расходы воды, $Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	P	y_p
66	1999	57.5	11.5	0.87	-0.70712
67	2000	105	9.98	0.88	-0.75777
68	2001	49.3	9.48	0.89	-0.8115
69	2002	127	9.02	0.91	-0.86912
70	2003	41.5	6.27	0.92	-0.93176
71	2004	22	6.03	0.93	-1.00111
72	2005	77.1	4.71	0.95	-1.07992
73	2006	99	4.08	0.96	-1.17314
74	2007	50.5	3.69	0.97	-1.29132
75	2008	79	2.42	0.99	-1.46574

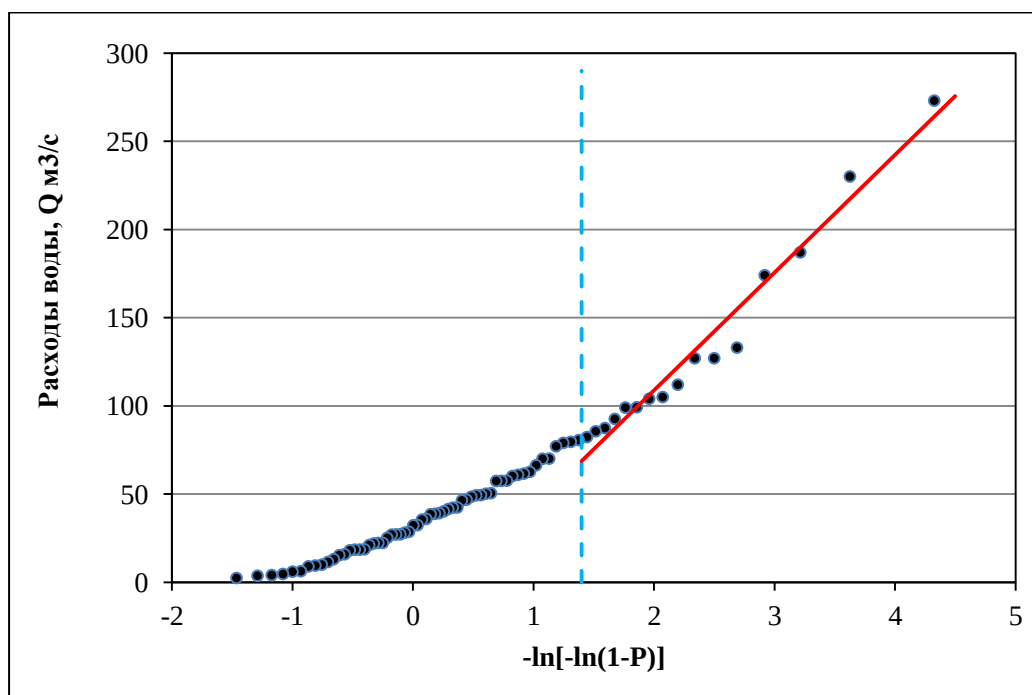


Рисунок Б.4.1 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Ай – г. Златоуст (определение точки усечения)

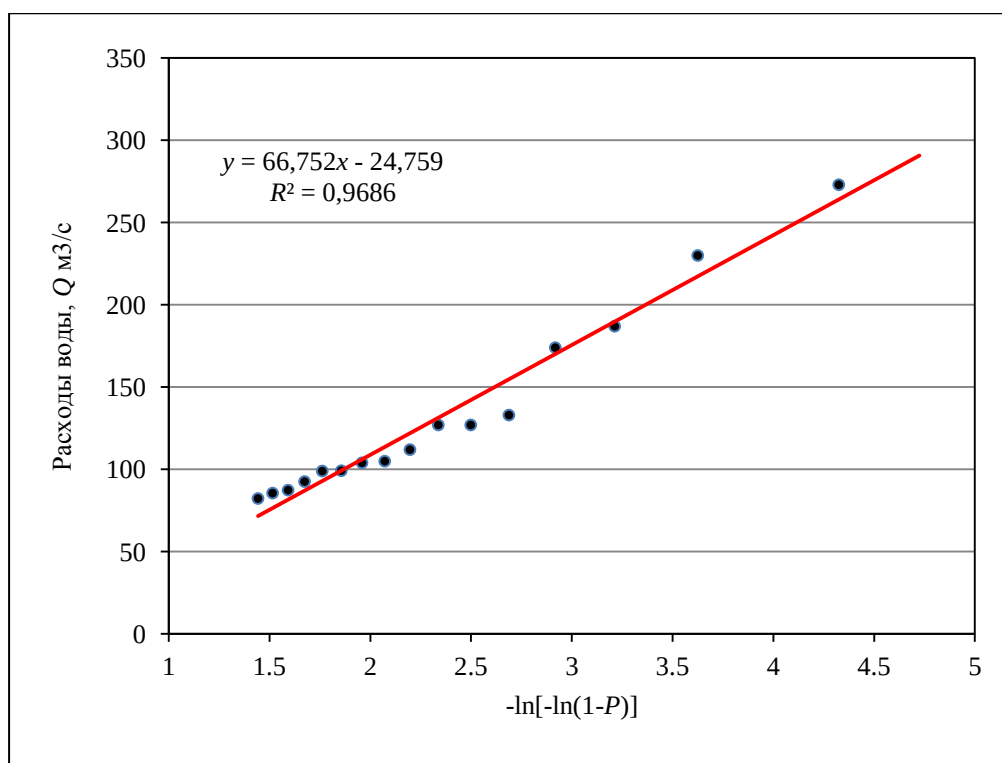


Рисунок Б.4.2 – Зависимость $Q = f \{-\ln[-\ln(1-P)]\}$ для максимальных расходов воды дождевых паводков, р. Ай – г. Златоуст, верхняя (линейная) часть зависимости

Таблица Б.4.2 – Расчет ординат усеченной кривой обеспеченности максимальных паводочных расходов воды р. Ай – г. Златоуст;
 $\lambda = 66.75$; $\mu = -24.76$

$P \%$	u_p	Расчетный расход воды, Q_p м³/с
0.01	9.21029	590
0.1	6.907255	436
0.3	5.807641	363
0.5	5.295812	329
1	4.600149	282
3	3.491367	208
5	2.970195	174
10	2.250367	125
20	1.49994	75