



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

**Оценка изменений
максимального стока в бассейне
реки Дон**

Мацкевич Ирина Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Викторова Наталья Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«подпись»
инженерной кафедрой

к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

2024г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

	Стр.
Список используемых сокращений.....	4
Введение	5
1. Физико–географическая характеристика района исследования	7
1.1 Рельеф.....	7
1.1.1 Общая характеристика рельефа	7
1.1.2 Геоморфологические особенности	9
1.2 Геологические условия (тектоника и стратиграфия)	11
1.3 Гидрогеологические условия	18
1.4 Гидрография.....	23
1.5 Гидрологический режим.....	26
1.6 Климатическая характеристика района исследований	27
2. Методика оценки статистических характеристик.....	33
2.1 Оценка стационарности.....	35
2.2 Оценка параметров распределения.....	37
2.3 Восстановление данных наблюдений	41
3. Оценка изменений максимального стока	46
3.1 Исходные данные.....	46
3.1.1 Описание пунктов гидрологических наблюдений	52
3.2 Оценка стационарности гидрологических наблюдений	63
4. Оценка изменений климатических параметров	82
4.1 Исходные данные.....	82
4.2 Оценка стационарности метеорологических наблюдений	82

5. Оценка антропогенных факторов.....	93
Заключение	97
Список использованных источников	99
Приложение А. Хронологические и интегральные графики максимальных расходов воды.....	102
Приложение Б. Кривые распределения максимальных расходов воды.....	123
Приложение В. Результаты корреляционного анализа	144
Приложение Г. Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха	151
Приложение Д. Хронологические и интегральные графики среднемесячного количества осадков	157
Приложение Е. Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты снежного покрова	163

Список используемых сокращений

- ВКМ – Воронежский кристаллический массив
МНК – Метод наименьших квадратов
ЦЧР – Центрально-Черноземный регион

Введение

В последние годы много внимания уделяется проблеме изменения речного стока под влиянием климатических и антропогенных факторов. Особенно актуальны такие исследования в области максимального стока весеннего половодья, так как именно его характеристики являются определяющими при строительном проектировании.

Влияние факторов различного характера и генезиса на речной сток проявляется прежде всего в нарушении однородности и стационарности рядов стока, что влияет на применяемые к таким рядам методы расчетов и итоговые обеспеченные характеристики.

Объектом изучения были характеристики максимального стока по гидрометрическим постам сети Росгидромета, расположенных в бассейне Верхнего и северо-западной части Среднего Дона. В диссертации использовались пункты наблюдений, у которых площади водосборов находятся в диапазоне от 426 км² до 102 000 км². Анализу подвергались ряды наблюдений за максимальными расходами весеннего половодья по 21 посту, достаточно равномерно расположенным по исследуемой территории.

Основной целью исследования являлся анализ изменений максимальных расходов весеннего половодья и разработка методических подходов, позволяющие повысить достоверность определения максимальных уровней воды при установлении зон затопления.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- 1) собрать исходную гидрологическую информацию – сведения о максимальных расходах весеннего половодья;
- 2) в случае непродолжительных рядов наблюдений за стоком выполнить приведение их к многолетнему периоду;
- 3) провести анализ однородности и стационарности гидрологических рядов;

- 4) выполнить анализ наличия трендов в рядах максимального стока;
- 5) собрать исходную метеорологическую информацию – сведения об атмосферных осадках, температуре воздуха, толщине снежного покрова;
- 6) провести анализ влияния климатических факторов на максимальный сток;
- 7) провести анализ влияния антропогенной деятельности;
- 8) выполнить расчет основных статистических характеристик максимального стока.

Методической основой являлись статистические методы, а также методы гидрологической аналогии и пространственной интерполяции.

Новизна работы заключается в том, что в работе проведено исследование влияния водохозяйственных прудов на характеристики максимального стока рек Донского района. Результаты исследования были представлены на XV Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации».

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты могут быть использованы при обосновании проектных решений для различного рода сооружений на исследуемой территории.

1. Физико–географическая характеристика района исследования

1.1 Рельеф

1.1.1 Общая характеристика рельефа

Территория изучения находится на Русской равнине. Регион включает возвышенные и низменные территории, разрезанные балками и оврагами. Наиболее приподнята северо-западная часть района – максимальные абсолютные высоты здесь достигают 250 м. Северо-восточная часть изучаемой территории характеризуется пониженным рельефом (160 – 180 м). Высота междуречья Вороны и Хопра на большей части менее 140 м.

В рельефе обособлены три довольно крупных орографических района: Среднерусская, Калачская возвышенности и Окско-Донская низменность (рисунок 1.1).

Среднерусская возвышенность характеризуется большим разнообразием, распространены эрозионные формы рельефа: междуречные плато, речные долины, балки и овраги.

Восточная часть Среднерусской возвышенности крутым уступом высотой в 50 – 100 м обрывается к Дону. Крутые правобережья рек и водораздельные гряды с выходами белого писчего мела образуют своеобразные «белогорья». Совместно эти массивы формируют рельеф Донского Белогорья, простирающегося вдоль правого берега Дона от села Гремячье до южных границ Воронежской области.

В юго-восточной части изучаемой территории выделяется Калачская возвышенность. В целом это сильно расчлененное оврагами и балками междуречье Дона и Хопра с максимальной абсолютной отметкой – 234 м. Неотектоническую структуру ее образует Калачское поднятие. Под воздействием эрозионных процессов на территории возвышенности

образовались не только многочисленные овраги и балки, но и крупные останцы. Они известны в районе г. Калача, сел Подгорное, Березовки и Шестаково (Воронежская область).



Рисунок 1.1 – Схема расположения основных орографических элементов на территории ЦЧР

Окско-Донская низменность – это слегка волнистая, местами плоская, слабо расчлененная оврагами и балками низменная равнина, абсолютная высота которой редко превышает 180 м. Она занимает значительную северо-восточную часть территории изучения. Долины, как правило врезаны незначительно. В рельефе нередко ведущую роль играют широкие песчаные террасы. Широкое распространение на междуречных пространствах имеют очень неглубокие плоские понижения – степные блюдца, многие из них заболочены и поросли осиновыми кустами, поэтому иногда их называю осиновые колки [1].

1.1.2 Геоморфологические особенности

Территория исследований относится к Среднерусской геоморфологической провинции, которая образована чередованием возвышенностей и низменностей, вытянутых в общем субмеридиональном направлении. Среднерусская геоморфологическая провинция объединяет эрозионно-пластовые, моноклиально-пластовые возвышенности и аккумулятивные низменности. В ее составе выделяются две геоморфологические области: Среднерусская эрозионно-денудационная возвышенность, Окско-Донская эрозионно-аккумулятивная низменность.

Исходя из доминирующей роли того или иного фактора, на территории изучения выделяются следующие генетические типы рельефа (поверхностей): аккумулятивный, денудационный, структурно-денудационный

Аккумулятивные поверхности включают три категории: аллювиальные, ледниковые и водно-ледниковые.

Аккумулятивные поверхности, созданные аллювиальной речной и балочной аккумуляцией, включают в себя поверхности пойм, первой, второй террас и поверхности третьей и четвертой террас (иногда выделяемые как эрозионно-аккумулятивные). Характеризуются плоской слабо эродированной поверхностью.

Аккумулятивные поверхности, созданные ледниковой аккумуляцией – это моренные (ледниковые) равнины, представляющие собой слаборасчлененные полого-волнистые и полого-холмистые поверхности.

Аккумулятивные поверхности, созданные водно-ледниковой аккумуляцией (водно-ледниковые равнины) – это, в основном, грядово-холмистые и полого-увалистым поверхности.

Денудационные поверхности – это склоны. Нижнечетвертичные склоны, сопряженные с аккумулятивными поверхностями донского ледника, полностью перекрыты неоплейстоценовыми субэральными образованиями, в рельефе почти не выражены. Среднечетвертичные склоны опираются на поверхности

третьей и четвертой надпойменных террас. Они перекрыты плащом среднеплейстоценовых и позднеплейстоценовых субаэральных образований, и почти не выражены в рельефе. Позднечетвертичные склоны оконтуривают тыловые швы первой и второй надпойменных террас.

Голоценовые и позднеплейстоценовые склоны опираются на днища речных и балочных долин. В их пределах отсутствуют лессоидные образования, коренные породы перекрываются современными почвами и делювием или непосредственно выходят на дневную поверхность. Голоценовые склоны более крутые. Многие из них оползневые.

Структурно-денудационные (литоморфные) поверхности достаточно разнообразны по возрасту отложений, с которыми они связаны, но не отличаются морфологическим разнообразием, поскольку бронирующие горизонты характеризуются практически горизонтальным залеганием и образуют различные по величине столовые возвышенности, денудационные останцы, структурные террасы и уступы.

Наиболее разнообразный структурно-денудационный рельеф развит на Среднерусской возвышенности. В ее крайней северной части, расположенной в ледниковой области, структурные террасы, уступы и останцы столовых возвышенностей формируются в четвертичных ледниковых образованиях, юрских, аптских и девонских отложениях. Литоморфный рельеф в пределах Среднерусской возвышенности имеет ярусное строение. В пределах верхнего яруса (в интервале высот 170 – 240 м) развиты пологосклонные денудационные останцы, местами прорезанные оврагами, и плоские плакоры, прорезанные овражно-балочными долинами. Для долин отмечается преобладание прямых склонов, осложненных литоморфными ступенями на уровне кровли киевских глин и бучакских песков, а также развитие узких оползневых педиментов в нижних частях склонов. Второй ярус рельефа связан с карбонатными породами верхнего мела. Характерными формами мезорельефа здесь являются широкие разложистые долины с вогнуто-выпуклыми склонами.

Рельеф Окско-Донской низменности, в целом, достаточно однообразен. Он характеризуется распространением: среднерасчлененных плоских моренных равнин, осложненных неглубоко врезанными овражно-балочными долинами с пологими склонами и часто заболоченным дном, широких флювиогляциальных и аллювиальных аккумулятивных равнин различного высотного положения, плавно соединяющихся между собой. Речные долины имеют аккумулятивный аллювиальный рельеф. Речные террасы визуально слабо отчленяются друг от друга, плавно переходя к водоразделам [2].

1.2 Геологические условия (тектоника и стратиграфия)

В этом разделе описано геологическое строение образований кристаллического фундамента и осадочного чехла, вскрывающихся на изучаемой территории современным эрозионным врезом. Основное внимание уделено их литологическому составу, в связи с чем, некоторые стратиграфические подразделения осадочного чехла генерализованы.

Территории исследования целиком находится в пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Тектоническое строение ВКМ характеризуется наличием нижнего структурного этажа платформы – докембрийского кристаллического фундамента, и верхнего структурного этажа платформы – осадочного чехла, которые разделены резким угловым несогласием и длительным стратиграфическим перерывом.

Докембрийский фундамент

Наиболее древними из вскрываемых эрозионным врезом образованиями являются нижнепротерозойские гранитоидные породы (граниты, граносиениты и т.п.), обнажающиеся на урзе реки Дон (абсолютная отметка около 68 м) и несколько выше западнее г. Павловска, в районе сёл Басовки и Украинской Буйловки. Они слагают верхнюю часть Павловского вала и вскрываются эрозионной сетью только в указанном районе.

Осадочный чехол

В осадочном чехле выделяются несколько структурных этажей. Структурный этаж – это группа геологических форм отделенная от выше- и нижележащих образований поверхностями региональных несогласий. Структурные этажи, в свою очередь, подразделяются на ярусы (подэтажи), которые представляют собой ряд геологических форм, сформировавшихся в более узкий промежуток времени в течении одной стадии (этапа) тектономагматического цикла, иногда в период между орогеническими фазами.

Палеозойский структурный этаж

На площади изучения разрезы осадочного чехла начинаются с отложений верхнего палеозоя, которые отделяются от нижележащих докембрийских образований продолжительным перерывом. Палеозойский структурный этаж образован девонским и каменноугольным структурными ярусами (подэтажами), это герцинский тектонический этап развития Русской платформы.

Отложения палеозоя залегают с резким несогласием на докембрийском кристаллическом фундаменте, а перекрываются породами различных подразделений юрской и меловой систем, а по наиболее глубоким врезам палеодолин – неогеновыми и четвертичными отложениями.

Девонский структурный ярус

Девонская система (D)

Отложения девонской системы развиты к северо-востоку от линии г. Новый Оскол – Кантемировка, слагая присводовую часть юго-западного крыла, свод и полностью северо-восточное крыло и восточный склон Воронежской антеклизы.

Представлены они, в основном, глинистыми и карбонатными породами со значимой долей алевроитовых и мелко-тонкозернистых песчаных пород.

Севернее г. Воронежа отложения верхнего девона представлены известняками и доломитизированными известняками, с прослоями глин и

песчаников задонского, елецкого, лебедянского, оптуховского, и плавского горизонтов нижнего и среднего подъярусов фаменского яруса.

Южнее г. Павловска, в районе Верхнего Мамона, образования верхнего франа – среднего фамена фациально замещаются «мамонской» толщей, представленной континентальными образованиями гравийно-песчаных пород с прослоями каолинитовых глин общей мощностью от первых до 250 м.

Завершается разрез девонских отложений терригенно-карбонатными образованиями озерского и хованского горизонтов, мощность которых обычно не превышает первых десятков метров.

Каменноугольный структурный ярус

Каменноугольная система (С)

Отложения каменноугольной системы вскрываются под четвертичными отложениями лишь на севере Липецкой области. Представлены они известняками с прослоями и линзами песков, глин и углей относящиеся к малевскому, упинскому, бобриковскому и тульскому горизонтам турнейского и визейского ярусов нижнего карбона (C_1).

Мезозойский структурный этаж (мезозойская эратема)

Мезозойский этаж образован юрским, нижнемеловым и верхнемеловым структурными ярусами.

Юрские отложения распространены на северо-западе района изучения. Образования юрской системы (J) с размывом залегают на неровной поверхности докембрийских, девонских и каменноугольных отложений. Отложения юрской системы представлены темными, до черных, с обильными органическими остатками глинами, с маломощными прослоями песков.

Нижнемеловой структурный ярус представлен терригенными отложениями: глины, алевролиты, пески.

Верхнемеловой структурный ярус представлен всеми ярусами верхнего отдела. Формация преимущественно карбонатная, представленная мел-мергельными породами.

Кайнозойский структурный этаж

В составе кайнозойского этажа выделяются два яруса: палеогеновый и неоген-четвертичный (неотектонический).

Палеогеновый структурный ярус распространен на юге и юго-востоке территории изучения.

Палеогеновый структурный ярус

Отложения палеогена представлены тремя крупными литологическими пачками: нижняя – палеоцен, нижний и средний эоцен – глины и алевроиты кремнистые (опоковидные) и песчаные породы; средняя пачка – верхний эоцен – опоконидные и бентонитоподобные глины и глинистые мергели; верхняя пачка включает отложения олигоцена и нижнего миоцена – преимущественно песчаные породы.

Неоген-четвертичный структурный ярус

Неоген-четвертичный (неотектонический) ярус представляет единую систему тесно связанных друг с другом элементов – рельефа и новейших отложений.

Неогеновая система

Раннемиоценовый (N_1) этап представлен аллювиальной равниной, переходящей к северу в слабоврезанный аллювий наиболее высоких 10-й и 11-й неогеновых террас рек Среднерусской возвышенности. Находится этот аллювий на водоразделах и выражен в виде маломощной песчано-глинистой толщи, с локальными озерными накоплениями. На изучаемой территории представлен отложениями байчуровской свиты.

Средне-позднемиоценовый (N_1) этап представлен уже развитой основной речной долиной. Мощная (до 120 м) глинисто-песчаная толща, выполняющая глубокий врез основной долины, которая выполнена, в основном, песчанистыми отложениями.

Плиоценовый (N_2) этап развития основной долины палео-Дона представляет собой широкие аллювиальные равнины, выработанные на

последовательно более низких гипсометрических уровнях, с общей тенденцией смещения долин вправо, к западу Окско-Донской низменности. Отложения представлены русловыми песками, пойменными глинами и старичными глинами.

Неоплейстоценовые и голоценовые отложения сформированы генетическими типами континентальных образований, определяющую роль в котором играли ледниковые отложения. В ледниковой области они формируют поверхности выравнивания, среди которых эрозионно-аккумулятивные циклы проявляются серией террасовых уровней. Наиболее отчетливо выражены среднеоплейстоценовый уровень, связанный с поверхностями 3-ей и 4-ой надпойменных террас, и позднеоплейстоценовый уровень, сопоставляющийся с 1-ой и 2-ой надпойменными террасами. Голоценовые эрозионно-аккумулятивные поверхности образуют самый низкий гипсометрический уровень, совпадающий с базисной поверхностью современного рельефа.

Четвертичная система

Четвертичные отложения имеют повсеместное распространение, характеризуются разнообразием генетических типов и большим диапазоном мощностей.

Наиболее древние четвертичные отложения – образования эоплейстоцена.

Эоплейстоценовый (а Е) аллювий имеет отчетливо констративное трехчленное строение с общей мощностью до 28 – 30 м и сравнительно высокое гипсометрическое положение. Эоплейстоценовый аллювий имеет ширину всего до 20 – 35 км и неровную желобообразную подошву с отметками от + 100 м на севере Воронежской области до + 72 м на юге, в долине Хопра. Своей средней и верхней частью он облекает склоны водоразделов. Сложен эоплейстоценовый аллювий тремя последовательно наслаивающимися аллювиальными пачками. Каждая из пачек представлена русловыми песками и пойменными глинами.

Нижний неоплейстоцен

В нижнем неоплейстоцене выделяется три аллювиальных горизонта ($a I$): петропавловский, покровский, ильинский. Наиболее распространенный из них ильинский аллювий ($a I il$). Характерной чертой нижнечетвертичного аллювия является существенная его глинистость, отложения представлены супесями, глинами, глинистыми песками.

Отложения донского горизонта ($I ds$) нижнего неоплейстоцена представлены комплексом ледниковых осадков, среди которых выделяются отложения времени наступания, максимального развития и отступления ледника.

Отложения времени наступания ледника ($f, l I ds$) образованы серыми и зеленовато-серыми песками и алевролитами, кверху переходящими в ленточные глины. Залегают они в пределах доледниковых долин под ледниковыми отложениями (мореной).

Со временем максимального развития оледенения связано формирование трех слоев морен ($g I ds$), отложений подпрудных озер, некоторых флювиогляциальных образований и различных гляциодинамических структур (конечных и срединных образований).

Флювиогляциальные образования времени максимального развития ледника ($f I ds^2$) представлены разнозернистыми песками с прослоями глин. Глинисто-суглинистые отложения подпрудных и полуподпрудных бассейнов приурочены к участкам доледниковых долин, подпруженных краем наступающего ледника или ледниковыми нагромождениями, оставшимися после его таяния.

В комплекс отложений времени отступления ледника ($f, l I ds^3$) включаются флювиогляциальные гряды, образования наледниковых потоков и озер, долинные зандры, озерные выполения водобойных ниш, дельтово-зандровые образования, камовые холмы и локальные выполения ледниковых трещин, образующий сложный комплекс отложений – от грубозернистых песчаных до ленточных глин.

Средний неоплейстоцен

Аллювиальные отложения московского горизонта (*a II*) включают в себя породы 3-й и 4 –й террас.

Аллювий 4-ой террасы сложен горизонтальным переслаиванием песков, супесей и суглинков, имеет неровную, слегка облекающую подошву и практически не выраженный базальный горизонт. Наблюдаемая мощность аллювия изменяется от 5 до 25 м. Отложения 3-ей террасы представлены сравнительно маломощной толщей (в среднем не более 10 м) песков преимущественно мелкозернистых, глинистых, часто с прослоями глин, иногда перекрытых суглинками. Отложения 3-ей и 4-ой террас перекрыты плащом верхнеоуплейстоценовых лессоидов мощностью от 2 – 5 до 12 м.

Комплекс низких верхнеоуплейстоценовых аллювиальных террас – 2-ая и 1-ая (*a III*). Каждая из них состоит из двух уровней, нижний – русловой, верхний – глинистый (пойменный). Аллювий образован песками, преимущественно мелко- и среднезернистыми, редко глинистыми, с прослоями глин и суглинков, в основании с галькой местных пород. Мощность от первых метров до 20 м. Отложения террас не перекрыты субаэральными образованиями.

Субаэральные образования (лессоиды) залегают плащом на водоразделах и склонах долин. Наибольшие мощности этих отложений отмечаются на бровках долин и балок (до 15 – 20 м), меньшие – на водоразделах (5 – 15 м). Представлены они суглинками различной плотности и объединены в три комплекса: нерасчлененный комплекс субаэральных образований верхнего оуплейстоцена (*pr III*), делювиальные и делювиально-солифлюкционные отложения средне-верхнеоуплейстоценового возраста (*d II–III*) и нерасчлененный комплекс субаэральных образований нижнего-верхнего оуплейстоцена (*pr I–III*). В настоящее время эти отложения картируются в комплексе как лессоидные образования (*L, e_p, d I–III*).

Голоценовые отложения представлены целой гаммой генетических типов. Прежде всего, это: аллювиальные (*a IV*) и озерно-болотные образования (*b, l IV*).

Аллювиальные отложения представлены песчано-глинистыми образованиями высокой и низкой пойм рек и балок. Современный аллювий представлен, как правило, песками серыми средне-мелкозернистыми в средней и нижней частях разрезов и глинистыми песками и глинами в верхней части. Максимальная мощность современного аллювия в долинах рек Дон и Воронеж достигает 20 – 25 м, средняя составляет 10 – 15 м. В долинах крупных притоков мощность аллювия не превышает 10 – 15 м.

С аллювиальными отложениями тесно связаны озерно-болотные отложения, представляющие собой образования стариц и заболоченных речных пойм. Представлены они торфянистыми или глинисто-торфянистыми отложениями, выполняющими удлиненные (параллельные руслу реки) депрессии (глубиной до 5 – 10 м) на низкой или высокой пойменных террасах. Отдельно следует отметить верховые болота, образовавшиеся на водоразделах в пределах Окско-Донской низменности. Здесь они приурочены к водоразделам, перекрытым плащом морены, препятствующим фильтрации поверхностных вод [3, 4, 5].

1.3 Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом плане, исследуемая территория располагается на стыке Московского, Донецко-Донского и Приволжско-Хоперского артезианских бассейнов в пределах сводовой части Воронежского кристаллического массива. Особенности геологического строения, рельеф, гидрография и климат создают сложные и разнообразные гидрогеологические условия.

Водоносный современный аллювиальный горизонт – (*a IV*) распространен повсеместно в долинах рек и балок. Водовмещающими являются отложения пойм и балочного аллювия, представленные обычно песками и суглинками. Мощность горизонта изменяется от долей метра в долинах оврагов и балок до 20 м в поймах крупных рек. Глубина залегания подземных вод горизонта не

превышает 1 – 3 м. Горизонт имеет тесную гидравлическую связь с поверхностными водотоками и подстилающими водоносными подразделениями дочетвертичных отложений, часто составляя с последними единый комплекс. По всей площади распространения современный аллювиальный горизонт, вследствие низкой защищенности, является наиболее уязвимым для поверхностного загрязнения.

Водоносный верхне-среднечетвертичный аллювиальный комплекс – (*a II – III*) распространен в долинах рек и включает подземные воды, приуроченные к отложениям надпойменных террас. Водовмещающие отложения представлены песками различного гранулометрического состава с прослоями суглинков и глин, в основании отмечается базальный гравийно-галечниковый горизонт мощностью от первых сантиметров до 3.5 м.

Проницаемый локально слабоводоносный ниже-верхнечетвертичный комплекс субаэральных и делювиально-солифлюкционных образований (*L, e_p, ds I – II*) развит на водораздельных пространствах, склонах долин и высоких террасах и на большей части распространения носит характер «верховодки». Подземные воды приурочены к легким суглинкам, линзам глинистых песков и супесям. Водупорным основанием для водоносных линз в пределах ледниковой зоны являются моренные образования, на остальной территории – более плотные разности глинистых образований комплекса или дочетвертичные отложения. Мощность обводненных линз, как правило, не превышает 0.5 – 3.0 м, в отдельных случаях достигая 10 – 15 м. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от долей метра до 16 м. Водообильность комплекса незначительная и испытывает сезонные колебания.

Слабоводоносный локально водоносный ниже-среднечетвертичный водно-ледниковый и озерный надморенный комплекс (*f, l I–II*) развит в пределах ледниковой зоны донского и московского оледенения. Водовмещающими отложениями являются водно-ледниковые надморенные отложения, представленные песками различного гранулометрического состава (от

тонкозернистых до гравелистых), в разной степени глинистыми. Мощность водоносного горизонта обычно составляет 2 – 6 м, редко достигая 20 – 25 м. Воды горизонта используются для рассредоточенного водоснабжения с помощью колодцев и родников.

Водоупорный локально слабоводоносный ледниковый горизонт (*g I–II*) приурочен к толще моренных образований донского (восточная часть территории) и московского (на западе и северо-западе исследуемой территории) оледенения. Водовмещающими отложениями являются опесчаненные моренные суглинки с линзами песков и гравия в толще плотных тяжелых глинистых отложений. Суммарная мощность разобщенных обводненных линз и прослоев составляет 0.5 – 5.0 м, достигая 25 м, при общей мощности морены до 50 м. Горизонт имеет тесную гидравлическую связь с водоносными подразделениями дочетвертичных отложений.

Водоносный нижнечетвертичный аллювиально-флювиогляциальный комплекс (*a, f I*) развит спорадически по всей исследуемой территории. Подземные воды комплекса приурочены к аллювиальным нижнечетвертичным отложениям, флювиогляциальным отложениям стадии наступания ледника, а во внеледниковой зоне – к флювиогляциальным отложениям максимального распространения оледенения, выполняющих доледниковые эрозионные врезы. Водовмещающими отложениями являются преимущественно пески разнозернистые, часто гравелистые. Мощность водоносного комплекса достигает 15 – 20 м.

Водоносный локально водоупорный неогеновый терригенный комплекс ($N_1^2-N_2^3$) состоит из серии гидравлически взаимосвязанных водоносных горизонтов на отдельных участках, разделяемых относительными водоупорами. Комплекс широко распространен на востоке территории и спорадически в центральной ее части. Обводненные отложения представлены песками крупнозернистыми до гравелистых в нижней части разреза и мелко-тонкозернистыми в верхней. Суммарная мощность комплекса достигает 120 м

при мощности водоупорных прослоев до 50 метров. На большей части распространения водоносных неогеновых отложений нижний водоупор отсутствует и отмечается тесная гидравлическая взаимосвязь комплекса с нижележащими водоносными подразделениями.

Водоносный кантемировско-берекский терригенный комплекс ($\{3^{1-2}knt-br\}$) широко распространен в южной и юго-западной частях территории исследования на межбалочных водоразделах. Мощность водовмещающих отложений – до 12 м, в среднем составляет 5 – 8 м. Глубина залегания кровли изменяется от долей метра (на склонах водоразделов) до 35 – 40 м (на высоких водораздельных вершинах). Разгрузка происходит в эрозионных врезках, в виде многочисленных родников и мочажин, к которым приурочены зоны активизации ЭГП.

Водоупорный киевско-обуховский терригенный-карбонатный горизонт ($\{2kv-ob\}$) приурочен к отложениям киевской и обуховской свит эоцена. Глубина залегания кровли изменяется от долей метра до 35 м, мощность до 30 м. Горизонт способствует накоплению вод в вышележащих отложениях и предохраняет нижележащие водоносные подразделения от поверхностного загрязнения. Мощность водоупорных отложений достигает 30 метров.

Слабоводоносный канево-бучакский терригенный горизонт ($\{2 kn-bč\}$) широко развит в пределах юго-западной части исследуемой территории и несколько ограниченнее в юго-восточной части исследуемой территории. Водовмещающие отложения комплекса представлены песками и песчаниками каневской и бучакской свит эоцена, мощностью до 20 метров. Глубина залегания кровли водовмещающих отложений изменяется от 0 – 5 м на склонах долин до 50 м на водоразделах. Горизонт преимущественно безнапорный, на отдельных участках напор до 10 – 13 м обусловлен наличием глинистых прослоев в верхней части разреза.

Слабоводоносный сумской терригенный горизонт ($\{1 sm\}$) в пределах изучаемой территории развит незначительно и связан с отложениями сумской

свиты палеоцена на крайнем юго-западе и юго-востоке исследуемой территории. Водовмещающие отложения представлены песками, песчаниками и опоковидными глинами суммарной мощностью до 20 метров. Для целей водоснабжения горизонт не эксплуатируется, в виду ограниченности распространения.

Водоносный верхнемеловой комплекс (K_2) – развит ограниченно на крайнем северо-востоке и широко в южной половине изучаемой территории. Водовмещающими отложениями являются песчано-глинистые породы туронского и сантонского ярусов на северо-востоке и карбонатные мел-мергельные породы туронского, коньякского, сантонского кампанского и маастрихтского ярусов на южной половине исследуемой территории. Мощность водоносного комплекса, представленного терригенными отложениями, изменяется в пределах от 3 до 25 метров. Коэффициенты фильтрации для терригенных отложений составляют 0.2 – 6.0 м/сут. В анионном составе преобладает гидрокарбонат-ион, среди катионов – кальций со средним содержанием до 55 мг-экв/%.

К карбонатным верхнемеловым отложениям в южной половине исследуемой территории приурочен один из основных эксплуатационных водоносных комплексов. Водовмещающими породами служат мела и мелоподобные мергели, степень трещиноватости которых весьма неравномерна. Комплекс безнапорный, и только на поймах рек в южной части района местами отмечается напор до 18 м. Мощность обводненной толщи в среднем составляет 50 – 70 м, увеличиваясь к югу.

Водоносный волжско-сеноманский терригенный комплекс ($J_3 v - K_2 s$) – на исследуемой территории распространен очень широко и приурочен на различных участках к отложениям волжского яруса верхней юры, и берриасского, валанжинского, готеривского, барремского, аптского, альбского ярусов нижнего мела и сеноманского яруса верхнего мела. Комплекс представлен серией водоносных толщ разделяемых невыдержанными

водоупорными прослоями. Мощность водоносного комплекса достигает 70 метров. Воды комплекса на всей площади его распространения используются для централизованного водоснабжения.

Водоупорный локально слабоводоносный средне-верхнеюрский терригенный комплекс (J_{2-3}) – представлен глинистыми отложениями байосского, батского и келовейского ярусов средней юры и оксфордского, келловейского, кимериджского ярусов верхней юры. Водоупорными являются плотные глины, иногда алевритистые с подчиненными прослоями алевритов и песков глинистых. Мощность водоупорной толщи составляет 3 – 26 м. Водоносными являются подчиненные прослои и линзы песчаных отложений. Горизонт выполняет важную роль в гидрогеологическом строении территории, являясь разделяющим водоупором между водоносными подразделениями мезокайнозойского и палеозойского возраста.

Водоносный верхнефранско-фаменский терригенно карбонатный комплекс (D^3f^3-fm) – на исследуемой территории распространен широко и включает несколько водоносных горизонтов. Пресные воды содержатся в карбонатных и терригенных отложениях фаменского яруса и верхнего подъяруса франского яруса верхнего девона.

Водоносный саргаевско-семилуцкий карбонатный комплекс ($D_3 sm-sr$) – развит широко на северной половине исследуемой территории. Подземные воды приурочены к отложениям саргаевской свиты и нижнесемилуцкой подсвиты верхнего девона. Представлен известняками в различной степени трещиноватыми, с прослоями мергелей и аргиллитоподобных глин [6].

1.4 Гидрография

Объектом исследования являлась река Дон и реки ее бассейна. Река Дон, является одной из крупнейших рек, протекающих по Русской равнине.

Протяженность бассейна реки довольно значительная: с севера на юг – 800 км, с запада на восток – 600 км.

Исток реки Дон расположен в Тульской области, вблизи г. Епифани. Река берет свое начало с возвышенности с отметкой около 180 м БС. Дон впадает в Азовское море (Таганрогский залив). Общая протяженность реки составляет 1870 км, а площадь водосбора 422 000 км².

Общее направление течения реки – с севера на юг, но местами река меняет свое течение. Например, ниже по течению от впадения притока Тихая Сосна, река течет на восток, а на участке от впадения р. Черная Калитвы до впадения р. Иловни – течет на юго-восток.

По длине реки Дон выделяют три участка, обладающих характерными особенностями.

Первый участок – Верхний Дон – расположен от истока до г. Лиски. Общая протяженность участка составляет около 470 км, а по площади водосбора этот участок составляет чуть более 16%. Средний уклон реки на этом участке составляет 0.0002.

Участок Среднего Дона имеет протяженность около 900 км. Доля от общей водосборной площади составляет 36%. Наиболее крупными притоками на этом участке являются Хопер, Битюг, Иловля, Медведица.

Участок Нижнего Дона охватывает реку от г. Калач-на-Дону до устья. Длина участка составляет 500 км, а водосборная площадь – 200 000 км². Участок характеризуется наименьшим уклоном – около 0.000056.

Сток реки на нижнем участке зарегулирован Цимлянским водохранилищем, которое введено в эксплуатацию в 1952 году. Площадь зеркала водохранилища при НПУ составляет 27022 км².

Нижний участок, в отличие от расположенных выше по течению, характеризуется широкой поймой, которая изрезана множеством протоков и ериков. Как русло, так и пойма на этом участке подвергаются значительным

деформациям. Наиболее крупными притоками на данном участке являются Северский Донец, а также Чир, Цимла, Сал, Западный Маныч и другие [7].

В данной работе рассматривается бассейн Верхнего и северо-западная часть Среднего Дона.

В реку Дон впадает большое количество крупных притоков. Основные сведения о крупных притоках с площадью водосбора более 500 км² р. Дон от истока до ст-цы Казанская (955 км от устья) приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные сведения о крупных притоках р. Дон от истока до ст-цы Казанская

Название водотока	Куда впадает и с какого берега	Расстояние от устья, км	Длина водотока, км	Площадь водосбора, км ²	Озера на водосборе	
					Количество	Общая площадь, км ²
Дон	Азовское м.	–	1870	422000	9698	5309
Непрядва	Дон (прав.)	1809	67	799	9	0.164
Мокрая Тобола	Дон (лев.)	1797	64	795	11	0.091
Вязовка	Дон (прав.)	1708	56	563	13	0.088
Красивая Меча	Дон (прав.)	1645	244	6000	122	1.079
Сосна	Дон (прав.)	1608	296	17400	53	0.581
Снова	Дон (прав.)	1523	74	1770	–	–
Ведуга	Дон (прав.)	1439	94	1570	–	–
Девница у г. Семилуки	Дон (прав.)	1425	89	1520	–	–

Воронеж	Дон (лев.)	1403	342	21600	745	13.61
Хворостань	Дон (лев.)	1340	79	1080	–	–
Потудань	Дон (прав.)	1317	100	2180	–	–
Тихая Сосна	Дон (прав.)	1299	161	4350	–	–
Икорец	Дон (лев.)	1262	97	2000	1	0.12
Битюг	Дон (лев.)	1197	379	8840	15	2.54
Осередь	Дон (лев.)	1161	89	2420	1	2.88
Черная Калитва	Дон (прав.)	1105	162	5750	–	–
Богучарка	Дон (прав.)	1022	101	3240	–	–
Подгорная	Дон (лев.)	983	138	5050	–	–

1.5 Гидрологический режим

Реки района исследования по типу гидрологического режима относятся к восточно-европейскому. В гидрографе отчетливо выражено весеннее половодье, в период которого проходит 40% – 90% годового стока. Питание водотоков – преимущественно снеговое. При сильном промерзании почвы, практически все талые воды идут на формирование высокого и продолжительного половодья [7, 8].

Продолжительность половодья зависит от размера водотока, на крупных реках оно может продолжаться до 1,5 месяцев, а на малых – 2 – 3 недели.

Половодье характеризуется довольно значительным подъемом уровней воды, на р. Дон и других крупных реках оно может достигать 9 м.

Минимальные расходы и уровни воды наблюдаются в период летне-осенней межени, прерываемой дождевыми паводками. Но по своей величине расходы и уровни в период паводков меньше, чем в период весеннего половодья. Подъем уровней во время дождевых паводков как на крупных, так и на мелких водотоках, не превышает 2 метров.

Продолжительность зимней межени на реках района составляет 110 – 120 дней.

1.6 Климатическая характеристика района исследований

Климат района исследований определяется его положением в умеренном климатическом поясе между 50 и 53 градусами северной широты. Климат умеренно-континентальный с относительно жарким летом, и умеренно-холодной зимой.

Устойчивые морозы начинаются в декабре. Наиболее низких значений температура воздуха достигает в январе и феврале. Повышение температуры от марта к апрелю значительно, около 10 °С. Зима длится примерно 5 месяцев (с ноября по март). На изучаемой территории среднемесячная температура января составляет от минус 7.6°С до минус 9.6°С, абсолютный минимум составляет минус 39.2°С (таблицы 1.2, 1.3).

Появление снежного покрова приходится обычно на первую и начало второй декады ноября. В году наблюдается в среднем 108 дней со снежным покровом (таблица 1.8). Для зимы характерно усиление скорости ветра. Максимальные скорости ветра наблюдаются в декабре и феврале и составляют 3.4 м/с. Температура почвы с глубиной повышается. В зимний период минимальные температуры почвы наблюдаются в январе (минус 8.3°С).

Весна на рассматриваемой территории наступает в апреле. Разрушение снежного покрова наступает, когда средняя суточная температура устойчиво переходит через 0 °С. В среднем это наблюдается 20 марта.

Продолжительность летнего периода составляет около 3.5 месяцев. Максимальные температуры наблюдаются в июле и составляют 20.1 – 21.2 °С. Абсолютный максимум температуры воздуха может достигать 41.7 °С (таблица 1.4). Жидкие осадки в теплый период превышают твердые, выпадающие в холодный период года (таблица 1.6).

Продолжительность осени незначительная. В суточном ходе температур наблюдается значительная амплитуда. Осень наступает в сентябре и заканчивается в начале ноября. Температура почвы начинает резко снижаться в октябре, и в ноябре уже достигает отрицательных температур (минус 5 °С).

Таблица 1.2 – Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха, °С [9]

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Воронеж (период наблюдений 1918 – 2021 гг.)												
-8.2	-8.1	-2.4	7.4	14.9	18.4	20.3	19.1	13.3	6.3	-0.3	-5.5	6.3
Калач (период наблюдений 1959 – 2021гг.)												
-7.6	-7.2	-1.6	8.4	15.3	19.2	21.2	19.9	13.6	6.8	0.4	-4.7	7.0

Продолжение таблицы 1.2 – Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха, °С [9]

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Каменная Степь (период наблюдений 1893 – 2021 гг.)												
-8.9	-8.8	-3.4	7.0	14.8	18.6	20.5	19.3	13.3	6.1	-0.8	-6.3	6.0
Конь-Колодезь (период наблюдений 1940 – 2021 гг.)												
-8.6	-8.4	-3.0	7.2	14.6	18.5	20.1	18.8	12.8	5.9	-0.8	-5.6	6.0
Тамбов (период наблюдений 1936 – 2021 гг.)												
-9.5	-9.0	-3.7	6.8	14.4	18.4	20.2	18.7	12.6	5.4	-1.4	-6.4	5.5
Балашов (период наблюдений 1900 – 2021 гг.)												
-9.6	-9.5	-3.8	6.8	14.8	18.9	20.8	19.5	13.2	5.7	-1.3	-7.0	5.5

Таблица 1.3 – Абсолютный минимум температуры воздуха, °С [9]

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Воронеж (период наблюдений 1918 – 2021 гг.)												
-36.5	-36.0	-32.0	-16.8	-3.3	-1.6	5.0	0.4	-5.2	-15.2	-25.1	-33.4	-36.5
Калач (период наблюдений 1930 – 2021 гг.)												
-37.5	-38.0	-36.5	-21.2	-5.7	0.0	4.0	1.1	-6.5	-13.0	-28.7	-34.5	-38.0
Каменная Степь (период наблюдений 1897 – 2021 гг.)												
-37.3	-35.0	-30.7	-13.7	-5.6	0.0	4.6	1.1	-5.3	-12.3	-27.5	-34.7	-37.3
Конь-Колодезь (период наблюдений 1893 – 2021 гг.)												
-39.2	-37.5	-32.7	-19.6	-7.7	-0.7	4.5	0.4	-6.1	-19.3	-26.2	-34.3	-39.2
Тамбов (период наблюдений 1891 – 2021 гг.)												
-38.7	-37.1	-30.4	-17.6	-8.3	-0.8	4.0	0.7	-4.6	-15.0	-29.3	-37.2	-38.7
Балашов (период наблюдений 1958 – 2021 гг.)												
-28.5	-29.5	-24.2	-11.7	0.7	5.8	10.1	7.0	0.5	-8.5	-22.5	-30.2	-30.2

Таблица 1.4 – Абсолютный максимум температуры воздуха, °С [9]

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Воронеж (период наблюдений 1918 – 2021гг.)												
8.0	11.0	19.4	29.2	35.7	38.9	40.1	40.5	34.4	26.5	18.1	12.4	40.5
Калач (период наблюдений 1932 – 2021гг.)												
10.2	11.5	20.3	30.4	36.5	39.2	41.5	41.7	34.5	30.5	19.6	13.4	41.7
Каменная Степь (период наблюдений 1897 – 2021гг.)												
9.4	9.6	19.3	29.9	34.4	37.6	40.0	40.2	33.3	27.8	17.8	12.4	40.2

Продолжение таблицы 1.4

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Конь-Колодезь (период наблюдений 1916 – 2021гг.)												
7.3	10.0	19.5	29.0	36.2	38.5	39.8	41.3	33.4	26.2	17.8	11.4	41.3
Тамбов (период наблюдений 1913 – 2021гг.)												
6.6	8.5	17.6	29.7	36.1	38.8	41.1	41.0	35.2	26.5	15.7	9.3	41.1
Балашов (период наблюдений 1958 – 2021гг.)												
5.0	6.0	11.2	21.2	28.7	31.6	33.3	32.5	25.4	18.8	13.4	9.4	33.3

Таблица 1.5 – Даты первого и последнего заморозка и продолжительность безморозного периода в воздухе [9]

Дата первого заморозка			Дата последнего заморозка			Продолжительность безморозного периода, дни		
средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	наименьшая	наибольшая
Воронеж (период наблюдений 1918 – 2021 гг.)								
9 X	11 IX	2 XI	24 IV	24 III	4 VI	166	106	213
	(1968)	(2018)		(1966)	(1967)		(1967)	(2008)
Калач								
27 IX	1 IX	23 X	2 V	2 IV	5 VI	148	109	193
	(1966)	(2008)		(1973)	(1992)		(1966)	(1963)
Каменная Степь								
5 X	8 IX	31 X	29 IV	24 III	4 VI	159	106	206
	(1922)	(1955)		(1966)	(1967)		(1967)	(2012)
Конь-Колодезь								
23 IX	30 VIII	20 X	19 V	4 IV	11 VII	128	66	193
	(1967)	(1989)		(2001)	(1979)		(1967)	(1989)
Тамбов								
3 X	8 IX	28 X	30 IV	28 III	31 V	157	117	197
	(1939)	(1952)		(1975)	(2003)		(1939)	(1994)
Балашов (период наблюдений 1958 – 2021 гг.)								
6 X	18 IX	27 X	25 IV	28 III	11 VI	163	131	206
	(2014)	(2012)		(1975)	(1963)		(2000)	(2012)

Таблица 1.6 – Среднее месячное и годовое количество осадков с поправками на смачивание, мм [9]

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Воронеж (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
43	36	34	41	45	67	64	53	53	46	47	49	579
Калач (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
42	31	28	28	38	55	57	38	47	38	43	46	491
Каменная Степь (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
37	28	27	30	44	60	56	45	51	46	44	42	511
Конь-Колодезь (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
34	28	28	34	45	68	65	53	50	45	40	38	530

Тамбов (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
37	31	29	27	40	64	65	45	50	48	47	45	526
Балашов (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
46	33	32	33	38	62	58	42	47	42	46	47	526

Таблица 1.7 – Средняя декадная высота снежного покрова по постоянной рейке (см) [9]

XI			XII			I			II			III			IV	Наибольшая за зиму		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	сред.	макс.	мин.
Воронеж (период наблюдений 1976 – 2021 гг.)																		
2	3	3	6	8	11	13	15	19	21	22	22	21	18	11	3	30	65	10
м. ст. Калач (период наблюдений 1976 – 2021 гг.)																		
1	1	2	3	6	7	7	10	13	14	14	14	13	11	6	2	23	69	6
м. ст. Каменная Степь (период наблюдений 1976 – 2021 гг.)																		
1	2	3	4	6	7	9	11	14	16	16	17	15	13	8	2	24	52	8
м. ст. Конь-Колодезь (период наблюдений 1976 – 2021 гг.)																		
1	2	2	4	6	9	12	13	18	20	21	21	20	17	11	3	27	57	6
м. ст. Тамбов (период наблюдений 1976 – 2021 гг.)																		
2	4	5	7	11	14	18	20	25	28	29	31	29	26	19	6	39	71	14
Балашов (период наблюдений 1976 – 2021 гг.)																		
	1	3	4	7	9	11	13	15	18	19	18	19	17	10	3	24	47	6

Таблица 1.8 – Число дней со снежным покровом, даты появления и схода снежного покрова, образования и разрушения устойчивого снежного покрова [9]

Число дней со снежным покровом	дата появления снежного покрова			дата образования устойчивого снежного покрова			дата разрушения устойчивого снежного покрова			дата схода снежного покрова		
	самая ранняя	средняя	самая поздняя	самая ранняя	средняя	самая поздняя	самая ранняя	средняя	самая поздняя	самая ранняя	средняя	самая поздняя
Воронеж (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
115	07.10	08.11	23.12	09.11	11.12	27.01	10.02	20.03	12.04	06.03	05.04	24.04
Калач (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
91	7.10	12.11	23.12	8.11	15.12	10.02	9.02	17.03	14.04	27.02	30.03	23.04

Каменная Степь (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
94	7.10	9.11	17.12	8.11	14.12	8.02	13.02	20.03	9.04	27.02	31.03	6.05
Конь-Колодезь (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
102	7.10	4.11	12.12	9.11	9.12	6.02	18.12	22.03	10.04	9.03	2.04	26.04
Тамбов (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
122	7.10	3.11	23.12	25.10	27.11	28.12	6.03	30.03	12.04	16.03	7.04	6.05
Балашов (период наблюдений 1966 – 2021 гг.)												
125	24.09	4.11	26.12	1.11	3.12	7.01	15.02	28.03	18.04	19.03	04.04	1.05

2. Методика оценки статистических характеристик

«Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности осуществляется путем применения аналитических и эмпирических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченностей. При этом должны выполняться следующие условия:

1) Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 10% для годового и сезонного стока и 20% для максимального и минимального стока. Средние квадратические погрешности расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики устанавливаются по специальным таблицам, полученным методом статистических испытаний или по формулам. Рассчитанные значения погрешностей, как правило, будут больше приведенных выше значений. Поэтому прямой расчет кривой обеспеченности, целесообразно осуществлять только по наиболее продолжительным рядам наблюдений в рассматриваемом однородном в гидрологическом отношении районе исследования, т.е. по рядам, которые привести к более длительному периоду невозможно из-за отсутствия более продолжительных наблюдений на реках-аналогах.

2) Оценка репрезентативности ряда наблюдений за n лет производится по рекам-аналогам с числом лет наблюдений $N > n$, при $N > 50$ лет. Репрезентативность ряда наблюдений за гидрологической характеристикой может также определяться по разностным интегральным кривым речного стока или сопоставлением кривых распределения речного стока по реке-аналогу за периоды n и N лет.

3) Если относительные средние квадратические погрешности превышают указанные в пункте 1 пределы и период наблюдений нерепрезентативен, необходимо осуществить приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду согласно рекомендациям по приведению гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду. С практической точки зрения, когда имеется возможность приведения данных наблюдений к более длительному периоду, эту операцию всегда надо осуществлять, т.к. при этом повышается точность инженерно- гидрологических расчетов.

4) Прежде чем приступить к расчету аналитической кривой распределения рассматриваемой гидрологической характеристики необходимо произвести оценку однородности и стационарности исходных данных наблюдений в соответствии с рекомендациями по статистическим методам анализа однородности многолетних колебаний данного гидрологического явления.

5) В сомнительных случаях необходимо произвести оценку качества исходной информации в соответствии официальными документами Росгидромета.

6) Исходная гидрометрическая информация, подлежащая дальнейшей обработке и обобщению, должна быть занесена в базу данных в соответствии с Рекомендациями по подготовке базы данных. В эту базу данных должны быть занесены приведенные к многолетнему периоду данные (в соответствии с Рекомендациями по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных наблюдений) и другая информация, необходимая при дальнейших расчетах и обобщениях. По мере накопления исходной гидрологической информации она должна заноситься в базу данных. На основании пополненной гидрологической информации следует производить ее обобщение один раз в пять лет в соответствии с настоящими Рекомендациями. Если в течение ближайшего пятилетнего периода произойдет катастрофическое экстремальное явление, то следует сразу осуществить обобщение

гидрологической информации за многолетний период, включая экстремальное катастрофическое гидрологическое явление» [10].

2.1 Оценка стационарности

Критерий Стьюдента

«Выборочные средние значения распределены по нормальному закону, если исходные данные также распределены по нормальному закону или исходные данные имеют продолжительные наблюдения. Следовательно, можно утверждать, что распределение выборочных средних значений приблизительно подчиняется нормальному закону. После процедуры восстановления данных наблюдений за более ранние годы, в годы пропуска наблюдений и за более поздние годы для закрытых постов, то есть после осуществления процедуры приведения непродолжительных рядов наблюдений к многолетнему периоду, обычно гидрологические характеристики имеют достаточную продолжительность, чтобы выборочные средние были распределены приблизительно по нормальному закону. Это обстоятельство привело к тому, что в курсах математической статистики обычно приводится много критериев однородности выборочных средних значений. В инженерных гидрологических расчетах, как правило, применяется статистический критерий Стьюдента» [11].

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента определяется по формуле

$$t = \frac{y_{cpI} - y_{cpII}}{\sqrt{n_1\sigma_I^2 + n_2\sigma_{II}^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}} \quad (2.1)$$

где y_{cpI} , y_{cpII} – средние значения двух последовательных выборок;

σ_I^2 , σ_{II}^2 – дисперсии двух последовательных выборок;

n_1 , n_2 – объемы выборок.

Критические значения обобщенных статистик Стьюдента определяются при равных объемах выборок из таблицы Б.15 Приложения Б Методических рекомендаций [11] или рассчитываются по уравнению

$$t'_{\alpha} = C_t t_{\alpha} \quad (2.2)$$

где t'_{α} – критическое значение статистики Стьюдента при наличии автокорреляции;

t_{α} – критическое значение статистики Стьюдента для случайной совокупности при том же числе степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$;

C_t – переходный коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента автокорреляции, определяемый по таблице Б.16 Приложения Б [11].

Критерий Фишера

«В практике гидрологических расчетов для анализа многолетних колебаний гидрологических характеристик наибольшее применение нашел критерий однородности выборочных дисперсий Фишера.

При оценке стационарности дисперсий для последовательных частей ряда применяется критерий Фишера, также обобщенный для особенностей гидрологической информации. Анализ по критериям Стьюдента и Фишера осуществляется после того, как проведена оценка на отсутствие резко отклоняющихся экстремумов существенно влияющих на значения средних значений и особенно дисперсий. Для оценки стационарности дисперсий (критерий Фишера) и средних значений (критерий Стьюдента) временной ряд разбивается на две или несколько выборок. Причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности. Если такие даты установить не представилось возможным, то деления ряда производится по равному количеству всех частей. Расчетные значения статистики Фишера определяются по формуле:

$$F = \sigma_j^2 / \sigma_{j+1}^2, \quad (2.3)$$

при $\sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2$, где σ_j^2 , σ_{j+1}^2 — соответственно дисперсии двух следующих друг за другом частей выборки (j и $j+1$) объемом n_1 и n_2 .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости α (%) если расчетное значение статистики критерия меньше критического ($F < F^*$) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок (n_1 и n_2).

Критические значения статистики Фишера (F^*) в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной ($r(1)$) и межрядной корреляции (R) и коэффициентах асимметрии при равных объемах двух выборок ($n_x = n_y$) приведены в таблице Б.13 Приложения Б» [11].

2.2 Оценка параметров распределения

Оценка для однородных рядов

Для однородных рядов эмпирическую ежегодную вероятность превышения $P_{m,\%}$ гидрологических характеристик определяют по формуле:

$$P_{m,\%} = m / (n + 1) * 100\% \quad (2.4)$$

где m — порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке;

n — общее число членов ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строят на клетчатках вероятностей. Тип клетчатки вероятностей выбирают в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_v [12].

Наиболее часто применяется клетчатка вероятностей нормального закона распределения, на которой кривые обеспеченности нормального закона представляются в виде прямых линий. Эта клетчатка в технической литературе по гидрологии, как правило, называется клетчатка вероятностей для кривых распределения с умеренной асимметричностью. При положительной асимметрии на этой клетчатке эмпирические и аналитические кривые обеспеченности имеют вогнутую форму, при отрицательной асимметрии – выпуклую форму, а при отсутствии асимметрии – в виде прямой линии.

«Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения (кривых обеспеченностей), как правило, применяются трехпараметрические распределения: Крицкого-Менкеля при любом отношении C_s/C_v (Приложение Б, таблица 1), распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_s/C_v \geq 2$ (Приложение Б, таблица 2), лог-нормальное распределение при $C_s \geq 3C_v + C_v^3$ и другие распределения, имеющие предел простираения случайной переменной от нуля, или положительного значения, до бесконечности. При надлежащем обосновании допускается применять двухпараметрические распределения, если эмпирическое отношение C_s/C_v и аналитическое отношение C_s/C_v , свойственное данной функции распределения, приблизительно равны. При этом необходимо произвести анализ принимаемой функции распределения вероятностей с точки зрения ее пределам простираения. Необходимо также установить при каком соотношении параметров распределения кривая распределения уходит в отрицательную область с тем, чтобы исключить из дальнейшего применения эту область в практике гидрологических расчетов существенно положительных случайных величин (например, различные характеристики речного стока).

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение Q_{cp} , коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v , устанавливаются по рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой

методом приближенно наибольшего правдоподобия, методом моментов, а также графоаналитическим методом на начальных стадиях проектирования (метод квантилей) и по совокупности методов с учетом региональных зависимостей характеристик и параметров стока от основных стокоформирующих факторов» [10].

В данной работе для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения применено трехпараметрическое гамма-распределение Крицкого–Менкеля (п.5.3 [12]).

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s определялись методом моментов (п. 5.6 [12]) по формулам:

$$C_v = (a_1 + a_2 / n) + (a_3 + a_4 / n)\bar{C}_v + (a_5 + a_6 / n)\bar{C}_v^2 \quad (2.5)$$

$$C_s = (b_1 + b_2 / n) + (b_3 + b_4 / n)\bar{C}_s + (b_5 + b_6 / n)\bar{C}_s^2 \quad (2.6)$$

где a_1, \dots, a_6 ; – коэффициенты, определяемые по Приложению Б, таблица Б.1 [12], для распределения Пирсона III типа и с помощью таблицы из [13] – для распределения Крицкого-Менкеля;
 \bar{C}_v и \bar{C}_s – соответственно смещенные оценки коэффициентов вариации и асимметрии.

\bar{C}_v и \bar{C}_s определяются по формулам:

$$\bar{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}; \quad (2.7)$$

$$\bar{C}_s = \frac{\left[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right]}{\left[\bar{C}_v^3 (n - 1)(n - 2) \right]}. \quad (2.8)$$

Несмещенную оценку коэффициента автокорреляции между смежными членами ряда $r(1)$ определяют по формуле:

$$r(1) = -0,01 + 0,98\tilde{r}(1) - 0,06\tilde{r}(1)^2 + (1,66 + 6,46\tilde{r}(1) + 5,69\tilde{r}(1)^2) \frac{1}{n}, \quad (2.9)$$

где смещенную оценку определяют по формуле:

$$\tilde{r}(1) = \frac{\sum_{i=2}^n (Q_i - \bar{Q}_1)(Q_{i-1} - \bar{Q}_2)}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (Q_i - \bar{Q}_1)^2 \sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_2)^2}}, \quad (2.10)$$

здесь

$$\bar{Q}_1 = \frac{\sum_{i=2}^n Q_i}{n-1}; \quad \bar{Q}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} Q_i}{n-1}. \quad (2.11)$$

По значениям C_v и отношению C_s/C_v по таблицам [14] определены ординаты аналитических кривых и для каждой выделенной совокупности ряда построены аналитические кривые распределения.

Оценка для неоднородных рядов

В случае неоднородности исходных данных гидрометрических наблюдений, когда рассматриваемый ряд состоит из неоднородных элементов гидрологического режима, эмпирические и аналитические кривые распределения устанавливаются отдельно для каждой однородной совокупности.

Общая кривая распределения вероятностей превышения рассчитывается на основе кривых, установленных по однородным элементам. В данной работе учитывалось то, что в каждом году имеется лишь одно значение элемента рассматриваемой гидрологической характеристики, ежегодные вероятности превышения при любом ее значении определялись по формуле для двух генетически однородных элементов:

$$P = (n_1P_1+n_2P_2)/(n_1+n_2) \%, \quad (2.12)$$

где n_1, n_2 – числа членов однородных элементов

Вероятности ежегодного превышения (обеспеченности) в формуле (2.12) выражается в процентах.

2.3 Восстановление данных наблюдений

В данной работе часть данных по гидрологическим постам имеет не полный ряд наблюдений за максимальным стоком в силу частичного закрытия постов в 90-е гг. XX века. Соответственно, перед восстановлением данных наблюдений был проведен анализ данных по подбору рек-аналогов для приведения гидрологических рядов и их параметров к многолетнему периоду.

При выборе рек-аналогов прежде всего рассматривались те водные объекты, которые расположены достаточно близко к постам, имеющим короткие ряды наблюдений, а также сходные физико-географические условия (степень заболоченности, заозеренности и залесенности водосборов, состав почв и т.д.).

При выборе постов проводился также анализ синхронности колебаний стока, однотипность стока. Из рассмотрения исключались водотоки, сток которых зарегулирован.

Для окончательного выбора аналогов проводилась проверка выполнения следующих равенств:

$$L / A^{0,56} \approx L_a / A_a^{0,56} ; \quad (2.13)$$

$$JA^{0,50} \approx J_a A_a^{0,50}, \quad (2.14)$$

где L и L_a – протяженность исходной реки и реки-аналога, км;

J и J_a – уклон воды исходной реки и реки-аналога, ‰;

A и A_a – водосборные площади исходной реки и реки-аналога, км².

Необходимые гидрографические характеристики водотоков определялись в программе SAS.Планета (<http://saagis.org>).

Существует несколько способов приведения рядов к многолетнему периоду [15]. В работе использовался аналитический метод, в основе которого лежит регрессионный анализ с привлечением одного или нескольких пунктов – аналогов на различных временных этапах при соблюдении условий:

$$n \geq (6 - 10), R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}; k/\sigma_k \geq B_{кр}; y/\sigma_y \geq C_{кр} \quad (2.15)$$

где n – продолжительность ряда совместных наблюдений;

R – коэффициент парной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-аналогах;

k – коэффициент уравнения регрессии;

y – восстановленное значение рассматриваемой гидрологической характеристики;

σ_R – средняя квадратическая погрешность коэффициента корреляции, которая определяется по формуле (2.16):

$$\sigma_R = (1 - R^2) / \sqrt{(n - 2)}; \quad (2.16)$$

σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии, которая определяется по формуле (2.17):

$$\sigma_k = (\sigma / \sigma_a) \sqrt{((1 - R)/(n - 1))}; \quad (2.17)$$

σ_y – средняя квадратическая погрешность восстановленного значения гидрологической характеристики.

$R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной корреляции –
 $\geq 0,7$;

$A_{кр}, B_{кр}, C_{кр}$ – критические значения $R/\sigma_R, k/\sigma_k, y/\sigma_y$ соответственно – ≥ 2 .

При проведении процедуры приведения на первом этапе составляют уравнения регрессии и рассчитывают коэффициенты корреляции. Далее уравнения, удовлетворяющие условиям (2.15), располагают в убывающем порядке коэффициентов корреляции. Выбирают уравнение, имеющее наибольший коэффициент корреляции и по нему проводят процедуру восстановления значений стока.

Уравнение множественной линейной регрессии, по которому восстанавливается сток, имеет вид:

$$y = k_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_j x_j + \dots + k_l x_l, \quad (2.18)$$

где y – значения стока в приводимом пункте;

x_j – значения стока в пунктах-аналогах;

k_0 – свободный член;

k_j – коэффициенты уравнения линейной регрессии при $j = 1, 2, \dots, l$, l – число пунктов-аналогов

Для расчета коэффициентов уравнения (2.18) используется метод наименьших квадратов (МНК).

Данные, восстановленные по уравнению (2.18), имеют систематически заниженную дисперсию. Исключение систематического уменьшения дисперсии восстановленных данных необходимо осуществлять одним из двух вариантов.

1) Введением поправки в годовые значения стока, полученные по уравнению регрессии:

$$y'_i = [(y_i - y_n)/r] + y_n, \quad (2.19)$$

где y'_i – значения гидрологических характеристик, рассчитанные по уравнению регрессии;

y_i – значения исходной гидрологической характеристики;

y_n – среднее значение приводимого ряда за совместный с пунктом-аналогом период;

r – коэффициент корреляции.

2) С учетом случайной составляющей отклонений наблюдаемых данных от рассчитанных по уравнению регрессии [16]:

$$y'_i = y_i + \varphi \sigma \sqrt{1 - r^2}, \quad (2.20)$$

где φ – случайная величина, имеющая нормальный закон распределения с математическим ожиданием, равным нулю и дисперсией, равной единице, определяется по вероятности P , которая в свою очередь находится с помощью таблицы равномерно распределенных случайных чисел;

σ – среднее квадратичное отклонение исходного ряда наблюдений. Использование этого варианта рекомендуется осуществлять, если число восстановленных значений не менее 30;

y'_i – годовые значения гидрологических характеристик, рассчитанные по уравнению регрессии;

y_i – годовые значения исходной гидрологической характеристики;

r – коэффициент корреляции.

В последнем случае расчет параметров распределения осуществляется по ряду восстановленных значений без поправки (2.19) и не требует знания параметров ряда-аналога за весь N – летний период наблюдений.

По восстановленному ряду совместно с наблюдаемыми данными рассчитываются параметры распределения: среднее многолетнее значение, коэффициенты вариации, асимметрии и коэффициент корреляции между стоком смежных лет, а также квантили распределения. Расчетные значения коэффициентов асимметрии C_s и автокорреляции $r(1)$ принимаются на основании группового анализа отношения C_s/C_v и $r(1)$ по рекам-аналогам согласно СП 33-101-2003 [12] и Методическим рекомендациям по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений [15].

«На завершающем этапе особое внимание должно быть уделено оценке точности полученных решений, оценке значимости коэффициентов регрессии и коэффициентов множественной корреляции. Оценка эффективности восстановленных данных осуществляется на основании полученных коэффициентов парной, или множественной корреляции, которые должны быть выше заданных значений. Кроме того, эффективность процедуры восстановления отсутствующей гидрометеорологической информации определяется фактически полученными значениями отношений R/σ_R , k/σ_k , y/σ_y , которые должны быть больше заданных при расчетах» [15].

3. Оценка изменений максимального стока

3.1 Исходные данные

Исходными данными являлись ряды наблюдений за максимальным стоком половодья. В работе использовались данные по 21 гидрологическому посту. Сведения по пунктам наблюдений приведены в таблице 3.2. Схема расположения гидропостов приведена на рисунке 3.1.

Для исследования отобрано 9 гидрологических постов на реках с замыкающей площадью водосбора до 2 000 км², 10 постов с площадью водосбора от 2 000 до 50 000 км² и 2 поста с площадью водосбора более 50 000 км².

Продолжительность наблюдений за максимальным стоком по выбранным постам составляет от 41 года до 140 лет, в среднем – 78 лет. Самый продолжительный период наблюдений ведется на гидрологическом посту р. Дон – ст-ца Казанская, самый короткий период наблюдений – р. Усмань – д. Боровое, открывшийся в 1977 году и который был закрыт в 1999 году.

Весеннее половодье, как указывалось в главе 1, является основной фазой гидрологического режима, когда проходит максимальное количество стока. Основными элементами, характеризующими половодье, являются сроки наступления, продолжительность, а также максимальные расходы, объем и слой стока. Характер половодья изменяется год от года и зависит от многих факторов: от географического расположения водосбора, от погодных условий весны, от величины снегозапасов и интенсивности их стаивания.

При рассмотрении территориальных особенностей весеннего половодья можно отметить, что в южной части рассматриваемой территории половодье начинается на месяц ранее, чем в центральной части, и на полтора месяца ранее, чем в северной части. В таблице 3.1 приведены средние за весь период наблюдений значения даты начала и конца половодья, продолжительности, даты

наступления максимального расхода. Основные гидрографические характеристики водосборов в пунктах гидрологических наблюдений приведены в таблице 3.2. Продолжительность половодья во многом зависит и от размера бассейна. В среднем продолжительность половодья составляет 35 – 50 дней.

Обычно гидрограф половодья одновершинный, асимметричный – фаза подъема короче продолжительности фазы спада.

Анализируя временную изменчивость сроков прохождения максимальных расходов воды можно отметить, что в последние десятилетия, сроки сдвинулись на более ранние, а его продолжительность увеличилась. При этом максимальные значения уменьшились.

Таблица 3.1 – Средние значения характеристики весеннего половодья рек бассейна Дона

№ поста	Код поста	Гидрологический пост	Дата			Продолжительность половодья, сутки
			Начала половодья	Наибольшего срочного расхода	Окончания половодья	
1	78004	р. Дон – г. Задонск	18.03	31.03	27.04	41
2	78011	р. Дон – г. Лиски	16.03	3.04	12.05	58
3	78013	р. Дон – ст-ца Казанская	14.03	13.04	16.05	69
4	78050	р. Красивая Меча – г. Ефремов	21.03	31.03	21.04	28
5	78054	р. Сосна – г. Елец	16.03	28.03	22.04	38
6	78078	р. Девица – с. Девица	11.03	21.03	12.04	32
7	78082	р. Воронеж – г. Липецк 2	20.03	5.04	9.05	51
8	78089	р. Усмань – д. Боровое	23.03	01.04	16.06	24
9	78104	р. Хава – с. Ильиновка	22.03	30.03	14.04	24
10	78106	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	11.03	28.03	11.04	33
11	78109	р. Битюг – пгт. Мордово	18.03	4.04	22.04	36
12	78111	р. Битюг – г. Бобров	18.03	4.04	10.05	53

Продолжение таблицы 3.1

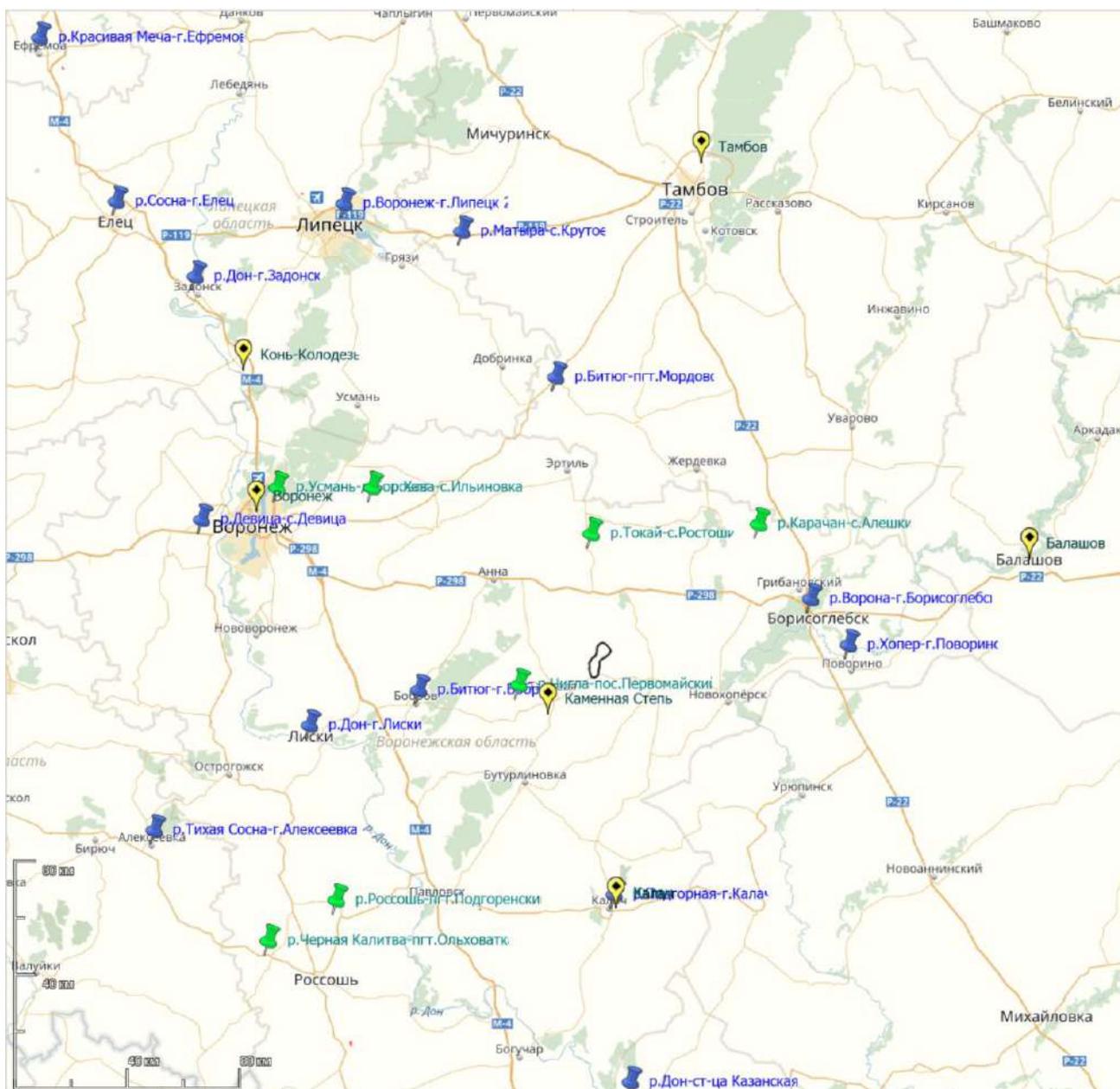
№ поста	Код поста	Гидрологический пост	Дата			Продолжительность половодья, сутки
			Начала половодья	Наибольшего срочного расхода	Окончания половодья	
13	78112	р. Чигла – пос. Первомайский	19.03	25.03	12.04	24
14	78124	р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка	15.03	22.03	11.04	25
15	78125	р. Россошь – пгт. Подгоренский	16.03	21.03	4.04	19
16	78130	р. Подгорная – г. Калач	14.03	25.03	16.04	35
17	78141	р. Хопер – г. Поворино	24.03	20.04	27.05	63
18	78165	р. Ворона – г. Борисоглебск	22.03	18.04	24.05	64
19	78171	р. Карачан – с. Алешки	25.03	2.04	16.04	23
20	78179	р. Токай – с. Ростоши	24.03	2.04	18.04	26
21	78611	р. Матыра – с. Крутое	19.03	04.04	30.04	42

Таблица 3.2 – Основные гидрографические характеристики водосборов в пунктах гидрологических наблюдений

№ поста	Код поста	Гидрологический пост	Широта	Долгота	Расстояние от истока, км	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Распаханность, %	Период наблюдений
1	78004	р. Дон – г. Задонск	42.40	38.92	302	1568	31100			<5	75	1890 – действ.
2	78011	р. Дон – г. Лиски	51.00	39.50	588	1282	69500					1878 – действ.
3	78013	р. Дон – ст-ца Казанская	49.80	41.13	915	955	102000					1877 – действ.
4	78050	р. Красивая Меча – г. Ефремов	53.13	38.13	111	133	3240			<5	80	1944 – действ.
5	78054	р. Сосна – г. Елец	52.63	38.52	259	37	16300			<5	80	1927 – действ.
6	78078	р. Девица – с. Девица	51.63	38.95	77	12	1490				5	1955 – действ.
7	78082	р. Воронеж – г. Липецк 2	52.57	39.57	145	186	15300					1975 – действ.
8	78089	р. Усмань – д. Боровое	51.44	39.20	129	22	2680					1976 – 1999
9	78104	р. Хава – с. Ильиновка	51.44	39.49	50	47	426					1949 – 1983
10	78106	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	50.63	38.70	74	87	2060			10	60	1941 – действ.
11	78109	р. Битюг – пгт. Мордово	52.08	40.75	71	308	903			<5	80	1932 – действ.
12	78111	р. Битюг – г. Бобров	51.08	40.08	290	89	7340			5	75	1928 – действ.
13	78112	р. Чигла – пос. Первомайский	51.06	40.33	40	35	508			5		1958 – 2015

Продолжение таблицы 3.2

№ поста	Код поста	Гидрологический пост	Широта	Долгота	Расстояние от истока, км	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Распаханность, %	Период наблюдений
14	78124	р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка	50.16	39.18	78	84	1440			5		1952 – 1994
15	78125	р. Россошь – пгт. Подгоренский	50.24	39.38	34	36	452			5		1952 – 2015
16	78130	р. Подгорная – г. Калач	50.42	41.05	65	73	1790			<5	65	1932 – действ.
17	78141	р. Хопер – г. Поворино	51.23	42.25	542	437	19100			5	70	1978 – действ.
18	78165	р. Ворона – г. Борисоглебск	51.37	42.08	450	4	13200			5	75	1932 – действ.
19	78171	р. Карачан – с. Алешки	51.37	41.47	37	58	549			5		1932 – 1987
20	78179	р. Токай – с. Ростоши	51.35	40.56	81	50	620			5		1953 – 1991
21	78611	р. Матьра – с. Крутое	52.53	40.28	111	69	2670			<5		1977 – действ.



-  – действующие посты Росгидромета
-  – закрытые посты Росгидромета
-  – метеостанции сети Росгидромет

Рисунок 3.1 – Схема гидрометеорологической изученности

3.1.1 Описание пунктов гидрологических наблюдений

Гидрологический пост *р. Дон – г. Задонск* расположен на западной окраине города, в 200 м выше впадения ручья Тешевка. Прилегающая местность – открытая равнина, местами покрыта небольшими участками леса, сильно пересечена оврагами, балками.

Ширина пойменной долины реки составляет около 3 км. Правый склон пологий, сложен каменисто-известковыми породами, занят постройками д. Панарино; левый – умеренно крутой, высотой 27 – 28 м, сложен супесями, перекрытыми черноземом, занят постройками г. Задонск.

Пойма преимущественно левобережная, шириной до 1 км, сухая, распаивается под огороды, начинает затопляться при уровне 550 – 600 см над нулем поста. В 200 м выше поста долина пересечена автодорогой Москва-Воронеж, которая в пойме проходит по насыпи, а через русло – по мосту.

Русло прямолинейное, деформирующееся, слабо зарастает водной растительностью по берегам. Берега, высотой 4 – 6 м, крутые, сливаются со склонами долины, преимущественно открытые, кое-где поросшие кустарником, сложены супесчаными грунтами.

В период летних дождевых паводков руч. Тешевка создает значительный конус выноса. Весной и осенью в период ледохода выше и ниже поста наблюдаются зажоры и заторы льда.

Свайный пост расположен на правом берегу. Отметка нуля поста 98.09 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Дон – г. Лиски (г. Георгиу-Деж)* расположен на южной окраине г. Георгиу-Деж, в 1.5 км от ст. Георгиу-Деж ЮВЖД. Прилегающая местность – среднехолмистая равнина, пересечена оврагами и балками, покрыта степной растительностью.

Долина реки пойменная, шириной 1.4 км. Правый склон, высотой 50 – 100 м, очень крутой, сложен меловыми породами; левый – пологий, слабо выражен, незаметно сливается с прилегающей местностью, занят огородами, местами

порос кустарником. Пойма выше поста левобережная, ниже – двусторонняя, пересечена старицами и озерами. Выход воды на пойму наблюдается при уровне 200 – 250 см над нулем поста. Долина пересечена железной дорогой, которая в пойме проходит по насыпи, а через русло – по мосту.

Русло прямолинейное, шириной 100 м, деформирующееся, незарастающее. Берега задернованы, пологие, сливаются со склонами долины. В зимнее время выше поста наблюдаются зажоры. Весной в период ледохода у ж-д мостов образуются заторы льда.

Пост речный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 77.36 м БС.

Гидрологический пост *р. Дон – станция Казанская* построен против центральной части станицы. На участке поста долина имеет V-образную форму. Склоны высотой 40 – 50 м покрыты степной растительностью, сложены суглинками. Правый склон крутой, изрезан оврагами, левый – пологий. Пойма преимущественно правобережная, шириной 200 – 230 м, ровная, покрытая луговой растительностью, местами поросшая лиственным лесом и кустарником. Выход воды на пойму происходит при уровне 430 – 460 см над нулем поста.

Русло реки прямолинейное, неразветвленное, не зарастает, шириной 100 – 150 м. Берега пологие, правый высокий, левый низкий, занят постройками ст. Казанской. В 2.5 км выше поста в расположении Суворовский пережат, в 2.5 км ниже поста – Гормиловский пережат. В 300 м выше поста находится паромная переправа.

Пост свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 57.98 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Красивая Меча – г. Ефремов* расположен в южной окраине города, в 0.3 км выше впадения р. Любашевки. Прилегающая местность имеет слабохолмистый рельеф, покрыта луговой растительностью и пахотными угодьями. Грунты суглинистые.

Долина реки шириной около 0.6 км. Левый склон долины крутой, высотой 10 – 15 м, правый – пологий. Пойма правобережная, шириной 400 м, ровная, занята огородами, начинает затопляться при уровне воды 500 см.

Русло извилистое, шириной 70 – 75 м, песчано-галечное, у левого берега каменистое, заиленное, слабдеформирующееся, зарастающее. В период весеннего половодья и осеннего ледохода ниже поста у ж/д моста образуются заторы льда. На уровенный режим оказывает влияние плотина, расположенная в 1.4 км ниже поста. Отметка нуля поста 143.33 м БС.

Гидрологический пост *р. Сосна – г. Елец* расположен в южной части города. Прилегающая местность – волнистая равнина, пересечена балками и оврагами, покрыта степной растительностью.

Долина реки пойменная. Склоны долины пологие, высотой до 12 м, пересечены оврагами и балками, сложены суглинками. Пойма правобережная, ровная, шириной 300 м, начинает затопляться при уровне 1190 см, занята городскими постройками.

Русло прямолинейное, шириной 60 – 80 м, деформирующееся, водной растительностью не зарастает. Берега пологие, задернованы, высота левого берега 9 м, правого – 7 м.

Ледостав на реке неустойчивый. В период ледохода наблюдаются заторы льда, в зимний период – зажоры. Температурный режим искажен сбросами сточных и промышленных вод.

Пост свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 106.93 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Девница – с. Девница* расположен в центре села, в 1.27 км ниже автодорожного моста. Прилегающая местность плоская, открытая, сильно пересечена оврагами и балками, покрыта растительностью.

Долина реки пойменная. Правый склон высотой 15 – 20 м, пологий; левый высотой 35 – 45 метров, умеренно крутой. Склоны открытые, рассечены лощинами, сложены суглинками, покрыты чернозёмом, заняты постройками с.

Девица. Пойма выше поста двусторонняя, ниже поста – правобережная, шириной 200 – 250 м, занята под огороды, местами поросла кустарником и отдельными группами деревьев, начинает затопляться при уровне 428 см.

Русло реки извилистое, шириной 15 – 20 метров, песчаное, местами илистое, деформирующееся, зарастает водной растительностью. Берега задернованы, поросли кустарником; правый берег крутой, высотой 2.0 – 2.5 м, левый – пологий, высотой 1.0 – 1.5 м.

Весной в период ледохода выше и ниже поста образуются заторы льда, в зимний период – зажоры. В весенний период пост находится в зоне распространения подпора от половодья р. Дон. Режим уровня искажается влиянием забора и сброса воды карьером, расположенным в 4.0 км выше поста в р.п. Стрелица.

Пост свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 92.38 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Воронеж – г. Липецк – 2* расположен на юго-восточной окраине города. В районе поста местность равнинная, перерезанная балками и оврагами. Частично поросла лиственным и сосновым лесом.

Пойменная долина реки имеет ширину до 5 – 6 км. Склоны долины различаются. Правый склон более крутой, овражистый. Левый более пологий. Склоны долины застроены.

Пойма реки левосторонняя, пересечена старицами, заболочена и замусорена.

Русло прямолинейное, ширина не превышает 150 м, сложено песками и покрыто иловыми отложениями, в летний период зарастает. Берега высокие, крутые, задернованные.

Свайный пост расположен на правом берегу. Отметка нуля поста 99.67 м БС.

Гидрологический пост р. *Усмань* – д. *Боровое* расположен на восточной окраине д. Боровое. Прилегающая местность имеет плоский рельеф, слабо пересечена небольшими холмами, поросла смешанным лесом.

Долина реки пойменная, шириной до 3 км. Склоны ее пологие, заняты постройками, незаметно сливаются с прилегающей местностью. Пойма двусторонняя, шириной 1.0 – 1.5 км, луговая, местами заболочена, начинает затопляться при уровне 530 см над нулем поста. В створе поста пойма пересечена шоссейной дорогой, которая в пойме проходит по насыпи высотой 3 м, а через русло – по мосту; в 1.9 км выше поста пересечена железной дорогой. Русло сильно извилистое, шириной до 40 м, устойчивое, зарастает водной растительностью. Берега реки задернованы, крутые, высотой 0.5 – 1, м. В зимний период на реке образуются полыньи.

Пост находится на левом берегу и состоит из рейки и свай. Отметка нуля поста 93.19 м БС [17].

Гидрологический пост р. *Хава* – д. *Ильиновка* расположен на северной окраине деревни. Прилегающая местность открытая, мелкохолмистая, распахивается под посевы.

Долина реки пойменная, ее склоны высотой до 12 м, крутые, открытые, распахиваются под огороды. Пойма преимущественно правобережная, шириной 0.5 – 0.7 км, ровная, луговая. Начинает затопляться при уровне 400 – 450 см. Русло умеренно извилистое, шириной на плесовых участках 15 – 25 м, на перекатах 0.8 – 2.0 м, неразветвленное, илисто-песчаное, устойчивое, слабо зарастающее. Весной в период ледохода образуются заторы льда. На режим уровня оказывают влияние плотины, расположенные в 1.9 и 3.5 км ниже водпоста, производится забор воды на полив. Отметка нуля графика 119.01 м БС. Водпост свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля графика 80.64 м абс.

Гидрологический пост р. *Тихая Сосна* – г. *Алексеевка* расположен на южной окраине города в 380 м ниже высоководного моста. Рельеф прилегающей местности мелко-холмистый, расчленен овражно-балочной сетью. Долина реки

трапецеидальной формы, пойменная, склоны ее пологие, высотой 4 – 10 м, сложены суглинками. Пойма двусторонняя, шириной 300 – 400 м, разрабатывается под огороды, начинает затопляться при уровне 250 см. Русло слабоизвилистое, шириной 15 – 25 м, песчано-илистое, деформирующееся, зарастающее. Правый берег высокий, крутой, левый – пологий. Оба берега сложены супесями, задернованы. В зимний период ниже плотины и у моста образуются полыньи, в теплые зимы – только забереги. Режим уровня искажается плотиной, расположенной в 200 м выше поста. Пост свайный, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 89.93 м БС.

Гидрологический пост *р. Битюг – пгт. Мордово* расположен в 1.5 км к северо-востоку от ст. Оборона ЮВЖД. Берега открытые, крутые высотой 3 – 5 м, сложены суглинками. Русло реки слабоизвилистое шириной 20 м, илистое, песчаное, устойчивое, зарастающее.

В зимний период образуются полыньи, весной, в период ледохода, наблюдаются заторы льда. Температура воды измеряется в створе поста у левого берега, толщина льда – в створе поста на середине реки. Уклон реки 0.63‰, высокий уровень воды в половодье достигает 4 – 5 м. Самые низкие уровни относятся к летнему периоду и составляют в среднем 14 см. зимой они выше – до 25 см. Отметка нуля поста 123.53 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Битюг – г. Бобров* расположен на восточной окраине города. Прилегающая местность – равнина, слабо пересечена оврагами и балками; справа – открытая, слева – поросшая смешанным лесом.

Долина реки пойменная, шириной до 10 км. Правый склон, высотой 10 – 12 м, очень круто, сложен супесчаными грунтами, занят постройками города, левый – пологий, незаметно сливается с прилегающей местностью, покрыт лесом. Пойма левобережная, шириной 3 – 4 км, луговая, сильно пересечена озерами, старицами, частично заболочена, местами покрыта лесом; в 0.52 км ниже поста пересечена дамбой, начинает затопляться при уровне 380 – 390 см. В период половодья уровни воды находятся в подпоре от нижележащей дамбы.

Русло умеренно извилистое, шириной 18 м; выше поста и до 60 м ниже поста песчано-илистое, зарастающее.

В зимний период на реке наблюдаются полыньи. На участке поста наблюдается косоструйность течения.

Пост свайный, находится на правом берегу, оборудован самописцем уровня воды «Валдай». Отметка нуля поста 82.75 м БС.

Гидрологический пост *р. Чигла – пос. Первомайский* расположен в 0.5 км к СВ от поселка, в 10 км ниже ж/д моста. Прилегающая местность – равнина, слаборасчлененная оврагами и балками. Долина реки пойменная, склоны ее пологие, незаметно сливаются с прилегающей местностью. Пойма двусторонняя, шириной 100 – 150 м, занята садами и огородами, начинает затопляться при уровне 305 см. Выше поста долина пересечена железной дорогой, которая на пойме проходит по насыпи, а через русло – по мосту.

Русло извилистое, шириной 50 – 70 м, илистое, устойчивое, зарастающее, летом пересыхает. Берега задернованы, пологие, высотой 0.5 – 0.8 м. Весной в период ледохода в створе поста образуются заторы льда.

Пост свайный, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 101.50 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка* расположен на южной окраине поселка. Прилегающая местность – равнина, занятая сельскохозяйственными угодьями.

Долина реки пойменная, шириной 6 – 7 м. Склоны, высотой 20 – 30 м, умеренно крутые, местами расчленены лощинами, балками и оврагами, сложены суглинками, заняты огородами. Пойма преимущественно правобережная, шириной до 0.5 км, занята огородами и садами, местами заболочена, начинает затопляться при уровне 220 см. В 0.5 км выше поста долина пересечена железной дорогой, которая в пойме проходит по насыпи высотой 5 м, а через русло – по трехпролетному мосту.

Русло умеренно извилистое, шириной 45 – 50 м, устойчивое, зарастающее. Берега задернованы, метами поросли кустарником; правый берег крутой, высотой 2 – 3 м, левый – пологий, высотой 1.0 – 1.5 м.

На режим уровня оказывает влияние плотина, расположенная в 400 м ниже поста, а в паводочный период – подпор от р. Ольховатки. В летне-осенний период оказывают влияние сточные воды промышленных предприятий. В зимний период образуются полыньи.

Пост смешанного типа, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 77.50 м БС.

Гидрологический пост *р. Россошь – пгт. Подгоренский* расположен на южной окраине поселка. Прилегающая местность – равнина, слабо расчленена оврагами, занята сельскохозяйственными угодьями.

Долин реки пойменная, шириной до 6 км. Склоны ее имеют высоту 60 – 70 м, слабо расчленены балками и оврагами, распаиваются под посевами. Правый склон долины очень крутой, левый – пологий, занят постройками пгт. Подгоренский. В районе поста на правом склоне долины выклинивается на поверхность мергель, используемый для производства цемента. Пойма двусторонняя, шириной 0,6-0,8 км, ровная, луговая, заболоченная, заросшая кустарником ольхи, лозняка, начинает затопляться при уровне воды 70 см. Долина реки пересечена грунтовой дорогой, которая в пойме проходит по насыпи высотой 2 – 3 м, а через русло – по высоководному мосту.

Русло канализировано, извилистое, шириной 5 – 16 м, деформирующееся, зарастающее, зимой промерзает. Берега реки крутые, высотой 0.5 – 10 м, задернованы, поросли кустарником.

Пост смешанного типа, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 87.67 мБС [17].

Гидрологический пост *р. Подгорная – г. Калач* расположен на северо-восточной окраине города. Прилегающая местность холмистая, сильно пересечена оврагами и балками.

Долина реки пойменная. Левый склон ее пологий, незаметно сливается с прилегающей местностью. Правый склон высокий, местами обрывистый, сложен суглинками. На протяжении 2 км имеется терраса шириной 100 – 150 м и высотой 12 – 15 м. Пойма двусторонняя, шириной до 1 км, луговая, изредка покрыта зарослями кустарника, местами распахана, начинает затопляться при уровне 364 см.

Русло реки слабоизвилистое, шириной 10 – 15 м, деформирующееся, зарастающее. Правый берег крутой, высотой до 4 м, левый – пологий, высотой 1.0 – 1.5 м. В зимний период на реке наблюдаются полыньи, весной в период ледохода – заторы льда.

Режим уровня искажается плотиной, расположенной в 3,0 км выше поста.

Пост речный, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 80.49 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Хонер – г. Поворино* расположен в 4.0 км к северу от города, в 45 м выше железнодорожного моста и в 60 м ниже устья р. Свинцовки. Прилегающая местность слабовсхолмленная. Долина реки пойменная, шириной 2 – 3 км. Склоны ее пологие, незаметно сливаются с прилегающей местностью. Ниже поста на 150 – 200 м левый склон долины является коренным берегом русла. Долина пересечена ж.-д., которая в пойме проходит по насыпи высотой 10 м, через русло – по четырехпролетному мосту длиной 225 м. Пойма правобережная, шириной 0.8 – 1.0 км, выше поста – двусторонняя, пересечена озерами и болотами, покрыта кустарником, местами заболочена, начинает затопляться при уровне 110 см.

Русло реки слабо извилистое, деформирующееся, незначительно зарастающее у берегов. Берега крутые, задернованы, сложены суглинками.

На участке поста у левого берега образовалась песчаная коса шириной около 50 м.

В отдельные годы весной на реке наблюдается вторичный ледоход из пойменных озер, которые в зимний период промерзают. Зимой на реке образуются полыньи.

Пост свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 89.29 м БС.

Гидрологический пост *р. Ворона – г. Борисоглебск* расположен в 1.5 км к западу от города, в 60 м выше автодорожного моста.

Долина реки трапецеидальной формы. Правый склон крутой, высотой 20 – 25 м, сложен суглинками, поросший лиственным лесом; левый склон пологий, занят постройками г. Борисоглебска, незаметно сливается с прилегающей местностью. Пойма реки резко асимметрична, двусторонняя. Левобережная пойма шириной 1.5 км занята заливным лугом, изрезана старицами и мелкими озерами. Правобережная пойма занята кустарником, ширина ее 50 – 100 м. Вода выходит на пойму при уровне 260 – 270 см.

Русло реки на участке поста прямолинейное, но в общем плане русло извилистое. Правый берег пологий (1.0 – 1.5 м), левый – крутой (4 – 5 м), местами довольно обрывистый; берега сложены суглинками.

В весенний период выше поста образуются заторы льда. Весной наблюдается подпор от половодья р. Хопра. Пост смешанного типа, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 84.54 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Карачан – с. Алешки* расположен у села Алешки, в 35 км к северо-западу от Борисоглебска. Долина реки пойменная, шириной 3.0 – 3.5 км. Склоны ее пологие, незаметно сливаются с прилегающей местностью, распаиваются под сельскохозяйственные культуры, местами пересечены оврагами. Долина пересечена железной дорогой, которая на пойме проходит по насыпи, а через русло – по мосту. Пойма преимущественно левобережная, шириной до 0.8 км, распаивается, начинает затопляться при уровне 500 см; местами на пойме и на склонах долины встречаются фруктовые сады.

Русло извилистое, глинисто-песчаное, слабо деформирующееся, зарастающее. Берега крутые, высотой 4 – 5 м.

Гидрологический пост *р. Токай – с. Ростоши* пост расположен в центре населенного пункта на всхолмленной равнине. Ширина пойменной долины не превышает 2 км. Долина слаборасчлененная, имеются балки и овраги. Склоны крутые, высотой 20 – 30 м, сложены суглинками, покрыты черноземом, заняты постройками села Ростоши. Пойма преимущественно правобережная, шириной до 1 км, луговая, местами заросшая кустарником, распахивается под огороды, начинает затопляться при уровне 480 см.

Русло извилистое, шириной 0.3 – 20 м, незначительно деформирующееся, зарастающее. Берега крутые, задернованы, высотой 5 – 10 м.

В зимнее время русло реки промерзает выше и ниже поста, а летом пересыхает. Весной в период ледохода образуются заторы льда.

Режим уровня искажается временными запрудами, расположенными выше и ниже поста. Пост свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 114.54 м БС [17].

Гидрологический пост *р. Матыра – с. Крутое* расположен на юго-восточной окраине села. Прилегающая местность имеет мелкохолмистый рельеф, слабо пересечена оврагами и балками, сложена супесями и песками, покрыта степной растительностью, местами занята сельскохозяйственными угодьями.

Долина реки трапецеидальной формы, меандрирующая, шириной до 1.3 км. Левый склон долины пологий, открытый, незаметно сливается с прилегающей местностью. Правый склон крутой, высотой 6 – 8 м, местами обрывистый, пересечен оврагами. Пойма на участке поста левобережная, шириной 400 – 500 м, луговая, местами заболочена, начинает затапливаться при уровне воды 470 см.

Русло реки извилистое, шириной 20 – 30 м, деформирующееся, зарастает водной растительностью. Берега реки задернованы: левый – крутой, высотой 2 – 4 м, правый – пологий. В зимний период наблюдаются полыньи, весной в период ледохода – заторы льда.

Пост свайный, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 108.47 м БС [17].

3.2 Оценка стационарности гидрологических наблюдений

Перед оценкой стационарности гидрологических наблюдений ряды наблюдений на постах, не работающих в настоящее время, были приведены к длительному периоду и восстановлены до 2021 года. Данные расчеты были проведены для 7 гидрологических постов. Для репрезентативного подбора реки-аналога была составлена таблица основных гидрографических характеристик рек-аналогов и исследуемой реки в расчетном створе (таблица 3.3), в соответствии с требованиями п. 4.10 [12].

Таблица 3.3 – Основные характеристики водосборов расчетного водотока и рек-аналогов

№ по ста	Гидрологический пост	Дли на реки	Площа дь водосб ора	Сре дне взв. укл он	$L/A^{0,56}$	$J^*A^{0,50}$	Период наблюдений	Река-аналог
		$L, км$	$км^2$	$J, ‰$				
1	р. Дон – г. Задонск	302	31100	0,27	0,92	47,8	1890 – действ.	–
2	р. Дон – г. Лиски	588	69500	0,17	1,14	46,0	1878 – действ.	–
3	р. Дон – ст-ца Казанская	915	102000	0,13	1,43	42,6	1877 – действ.	–
4	р. Красивая Меча – г. Ефремов	111	3240	0.76	1.20	43.4	1944 – действ.	–
5	р. Сосна – г. Елец	259	16300	0.46	1.13	58.7	1927 – действ.	–
6	р. Девица – с. Девица	77	1490	1.29	1.29	49.9	1955 – действ.	–
7	р. Воронеж – г. Липецк 2	145	15300	0.29	1.10	41.4	1975 – действ.	–
8	р. Усмань – д. Боровое	126	2680	0.32	1.52	16.6	1976 – 1999	р. Битюг – пгт. Мордово

9	р. Хава – с. Ильиновка	49.4	426	0.82	1.66	16.9	1949 – 1983	р. Битюг – пгт. Мордово
---	------------------------	------	-----	------	------	------	-------------	-------------------------

Продолжение таблицы 3.3

№ по ста	Гидрологический пост	Дли на реки	Площа дь водосб ора	Сре дне взв. укл он	$L/A^{0.5}_6$	$J*A^{0.50}$	Период наблюдений	Река-аналог
		$L, км$	$км^2$	$J, ‰$				
10	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	74	2060	0.75	1.03	34	1941 – действ.	–
11	р. Битюг – пгт. Мордово	71	903	0.89	1.57	26.8	1932 – действ.	–
12	р. Битюг – г. Бобров	290	7340	0.28	1.98	24	1928 – действ.	–
13	р. Чигла – пос. Первомайский	40	508	1.98	1.22	44.5	1958 – 2015	р. Подгорная – г. Калач
14	р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка	78	1440	0.80	1.33	30.4	1952 – 1994	р. Подгорная – г. Калач
15	р. Россошь – пгт. Подгоренский	34	452	2.69	1.11	57.1	1952 – 2015	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка
16	р. Подгорная – г. Калач	65	1790	0.78	0.98	32.9	1932 – действ.	–
17	р. Хопер – г. Поворино	542	19100	0.16	2.17	22.1	1978 – действ.	–
18	р. Ворона – г. Борисоглебск	448	13200	0.16	2.21	18.4	1932 – действ.	–
19	р. Карачан – с. Алешки	37	549	0.85	1.08	19.9	1932 – 1987	р. Битюг – пгт. Мордово
20	р. Токай – с. Ростоши	81	620	0.69	2.21	17.2	1953 – 1991	р. Битюг – пгт. Мордово
21	р. Матыра – с. Крутое	111	2670	0.78	1.34	40.3	1977 – действ.	–

По совместным рядам наблюдений по обоим створам проводится анализ синхронности в колебаниях максимальных расходов. Анализ проводится

аналитическим методом, основанным на определении коэффициента парной корреляции. При проведении корреляционного анализа учитывались условия (2.15), описанные в разделе 2.3 настоящей работы.

Как видно из таблицы 3.3, для восстановления данных были использованы ряды наблюдений за максимальными расходами воды весеннего половодья по гидрологическим постам р. Битюг – р.п. Мордово, р. Подгорная – г. Калач и р. Тихая Сосна – г. Алексеевка.

Результаты корреляционного анализа совместных рядов наблюдений представлены в приложении В.

В таблице 3.4 приведены коэффициенты, полученные в результате корреляционного анализа.

Используемые в данной работе ряды наблюдений (полные и восстановленные) были проверены на однородность. Для этого были проанализированы хронологические и интегральные графики максимальных расходов.

На графиках видно, что для различных постов в начале 70-х гг. XX века (7 постов из 21 проанализированных) и в начале 80-х гг. (9 из 21) изменился режим максимальных расходов, который, скорее всего, связан с изменениями климата. По остальным постам так же произошло резкое уменьшение стока половодья, но уже в конце 80х – начале 90-х гг. Два поста (р. Усмань – д. Боровое, р. Матыра – с. Крутое) открыты в конце 70-х гг., однако так же имеют год «перелома», но уже позже большинства постов, расположенных на изучаемой территории. Соответственно, ряд наблюдений был разделен на две части и проведен анализ однородности по критериям Фишера и Стьюдента [11, 12, 13, 14]. Параметры критериев Фишера и Стьюдента приведены в таблице 3.5 для минимального рекомендуемого уровня значимости $\alpha=1\%$, 5% , 10% .

Оценка однородности максимальных расходов воды весеннего половодья была выполнена по критериям Фишера и Стьюдента с использованием многолетних данных по 21 гидрологическому посту.

Таблица 3.4 – Результаты корреляционного анализа

№п /п	Гидрологический пост	Пост-аналог	Совместн ый период наблюден ий	R	σ_R	R/σ_R	k	σ_k	k/σ_k
1	р. Усмань – д. Боровое	р. Битюг – пгт. Мордово	22	0.78	0.09	8.86	1.13	0.15	7.59
2	р. Хава – с. Ильиновка	р. Битюг – пгт. Мордово	29	0.74	0.09	8.36	0.32	0.04	7.51
3	р. Чигла – пос. Первомайский	р. Подгорная – г. Калач	54	0.72	0.07	10.69	0.28	0.03	9.84
4	р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка	р. Подгорная – г. Калач	37	0.74	0.08	9.70	0.60	0.07	8.72
5	р. Россошь – пгт. Подгоренский	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	59	0.86	0.03	25.67	0.21	0.01	17.82
6	р. Карачан – с. Алешки	р. Битюг – пгт. Мордово	34	0.86	0.05	18.16	0.61	0.05	12.98
7	р. Токай – с. Ростоши	р. Битюг – пгт. Мордово	34	0.73	0.08	8.80	0.44	0.05	8.04

Таблица 3.5 – Коэффициенты критериев Фишера и Стьюдента

№п /п	Гидрологический пост	Период наблюдений	n	<i>F</i>	<i>F</i> _{α1%}	<i>F</i> _{α5%}	<i>F</i> _{α10%}	<i>t</i>	<i>t</i> _{α1%}	<i>t</i> _{α5%}	<i>t</i> _{α10%}
1	р. Дон – г. Задонск	1928 – 1972 1973 – 2021	44 48	1.96	2.12	1.83	1.65	5.82	2.63	1.99	1.66
2	р. Дон – г. Лиски	1881 – 1972 1973 – 2021	89 49	2.48	1.82	1.57	1.46	6.09	2.61	1.98	1.66
3	р. Дон – ст-ца Казанская	1882 – 1972 1973 – 2021	91 49	3.68	1.81	1.56	1.45	7.38	2.61	1.98	1.65
4	р. Красивая Меча – г. Ефремов	1949 – 1983 1984 – 2021	32 36	2.47	2.61	2.06	1.82	4.67	2.66	2.00	1.67
5	р. Сосна – г. Елец	1944 – 1983 1984 – 2021	40 38	4.98	2.48	1.98	1.76	5.90	2.65	2.00	1.67
6	р. Девица – с. Девица	1956 – 1972 1973 – 2021	17 49	9.45	2.18	1.81	1.65	5.24	2.63	2.36	1.98
7	р. Воронеж – г. Липецк 2	1932 – 1971 1972 – 2021	39 50	5.78	2.15	1.79	1.62	7.94	2.63	1.98	1.66
8	р. Усмань – д. Боровое	1977 – 1995 1996 – 2021	19 22	6.38	3.68	2.62	2.22	2.32	2.72	2.03	1.69
9	р. Хава – с. Ильиновка	1951 – 1982 1983 – 2021	31 34	19.40	2.67	2.10	1.85	5.54	2.66	2.00	1.67
10	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	1947 – 1972 1973 – 2021	26 49	11.23	2.18	1.81	1.63	4.01	2.77	1.98	1.66
11	р. Битюг – пгт. Мордово	1949 – 1982 1983 – 2021	33 34	18.69	2.68	2.19	1.93	5.73	2.66	2.65	2.21

Продолжение таблицы 3.5

№п /п	Гидрологический пост	Период наблюдений	n	F	$F_{a1\%}$	$F_{a5\%}$	$F_{a10\%}$	t	$t_{a1\%}$	$t_{a5\%}$	$t_{a10\%}$
12	р. Битюг – г. Бобров	1933 – 1982 1983 – 2021	48 39	10.63	2.22	1.87	1.68	5.49	2.63	2.59	2.18
13	р. Чигла – пос. Первомайский	1959 – 1995 1996 – 2021	36 26	13.08	2.61	2.06	1.82	3.57	2.66	2.00	1.67
14	р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка	1953 – 1972 1973 – 2021	18 49	8.89	2.18	1.81	1.63	4.24	2.63	1.99	1.66
15	р. Россошь – пгт. Подгоренский	1956 – 1988 1989 – 2021	32 33	26.44	2.71	2.12	1.86	5.49	2.66	2.00	1.67
16	р. Подгорная – г. Калач	1936 – 1987 1988 – 2021	51 34	4.72	2.14	1.78	1.62	3.88	2.63	1.98	1.66
17	р. Хопер – г. Поворино	1929 – 1982 1983 – 2021	53 39	4.10	2.40	1.92	1.70	4.37	3.98	2.92	2.46
18	р. Ворона – г. Борисоглебск	1933 – 1982 1983 – 2021	46 39	9.19	2.28	1.88	1.69	5.36	2.64	2.37	1.99
19	р. Карачан – с. Алешки	1952 – 1984 1985 – 2021	32 32	17.33	2.74	2.13	1.88	5.26	2.68	2.00	1.67
20	р. Токай – с. Ростоши	1954 – 1982 1983 – 2021	26 34	8.57	2.67	2.10	1.85	4.41	2.66	2.00	1.67
21	р. Матыра – с. Крутое	1978 – 1994 1995 – 2021	17 27	2.03	2.91	2.23	1.95	2.73	2.68	2.01	1.68

Большинство рядов максимальных расходов весеннего половодья оказались неоднородными по всем критериям.

Для минимального рекомендуемого уровня значимости $\alpha=1\%$ неоднородность по критерию Стьюдента выявилась у 95% рядов, а по критерию Фишера у 85%.

Для минимального рекомендуемого уровня значимости $\alpha=5\%$ неоднородность по критерию Стьюдента выявилась у 100% рядов, а по критерию Фишера у 90%.

Для минимального рекомендуемого уровня значимости $\alpha=10\%$ неоднородность по критерию Стьюдента и Фишера выявилась у всех рядов, используемых в данной работе.

Неоднородность рядов на большинстве рек бассейна Дона обусловлена тем, что максимальные расходы воды и слои стока весеннего половодья в последние десятилетия снизились. Также произошло уменьшение дисперсии их колебаний.

В приложении А приведены хронологические и интегральные графики максимальных расходов по каждому гидрологическому посту территории исследования.

На рисунках 3.2 – 3.5 в качестве примера представлены хронологический и интегральный график максимальных расходов по постам р. Битюг – г. Бобров и р. Тихая Сосна – г. Алексеевка.

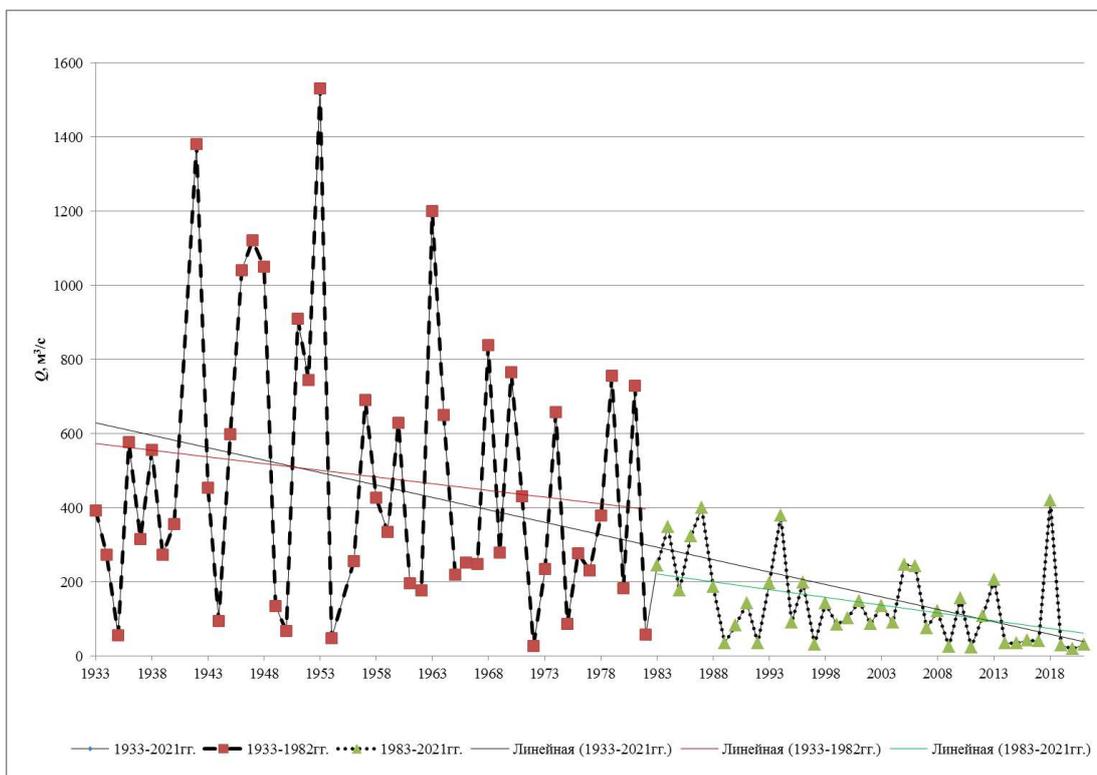


Рисунок 3.2 – Хронологический график максимальных расходов
(гидрологический пост р. Битюг – г. Бобров)

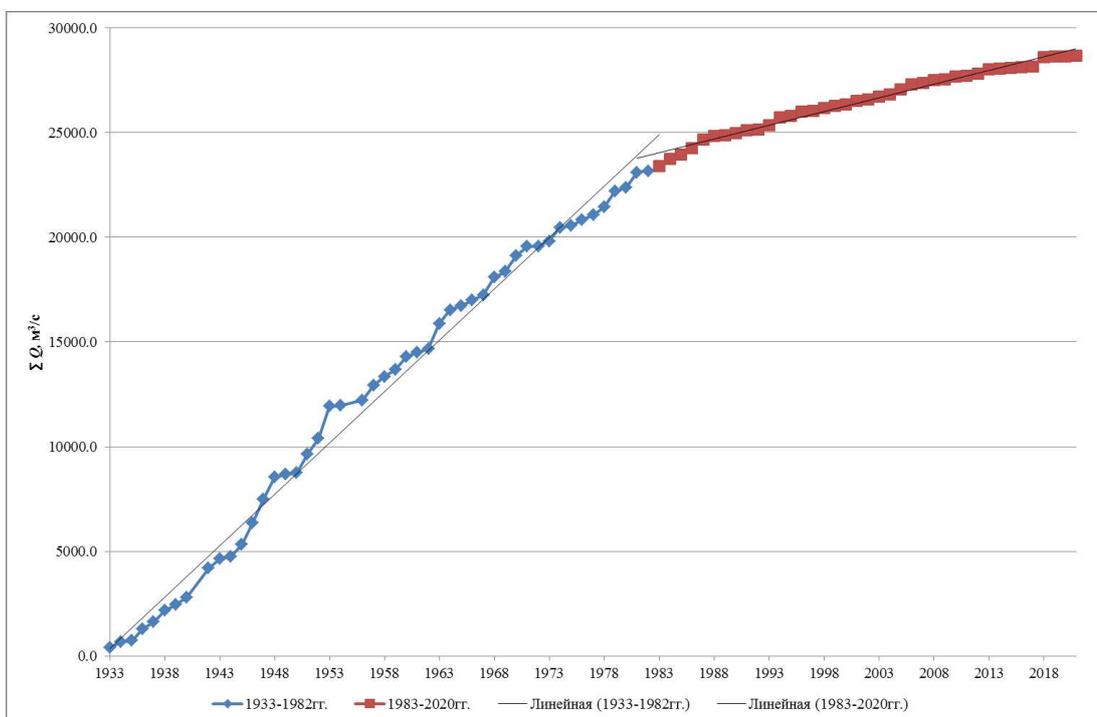


Рисунок 3.3 – Интегральный график максимальных расходов (гидрологический
пост р. Битюг – г. Бобров)

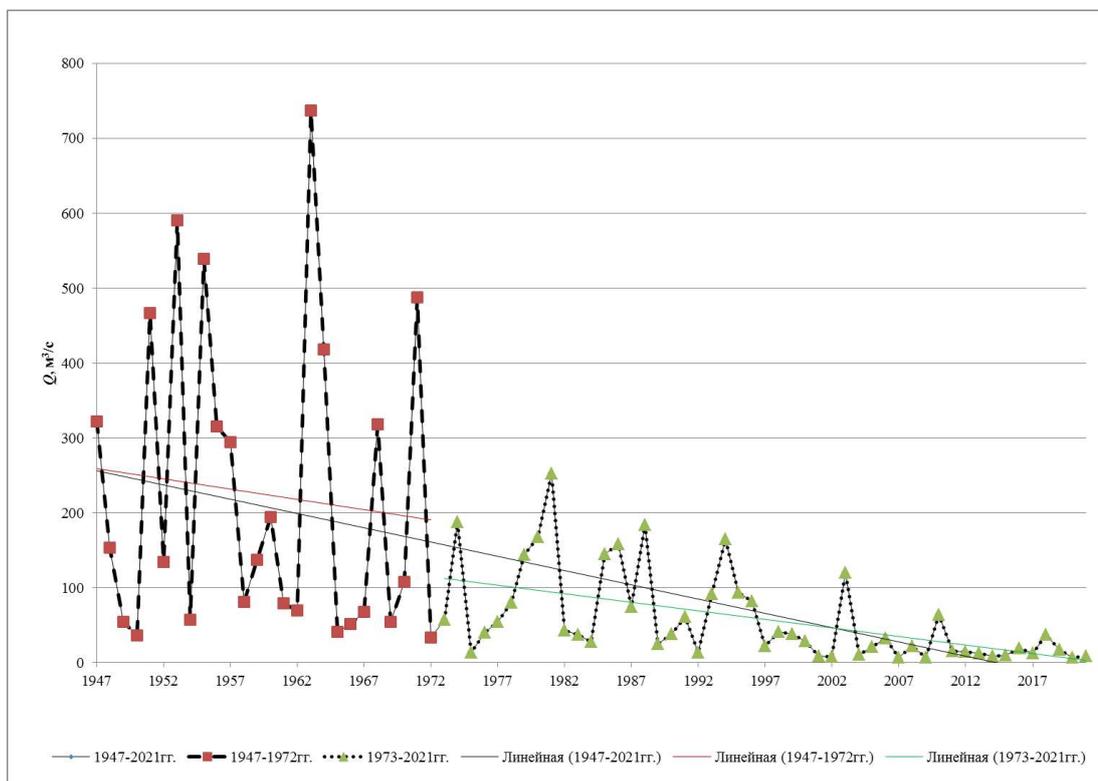


Рисунок 3.4 – Хронологический график максимальных расходов (гидрологический пост р. Тихая Сосна – г. Алексеевка)

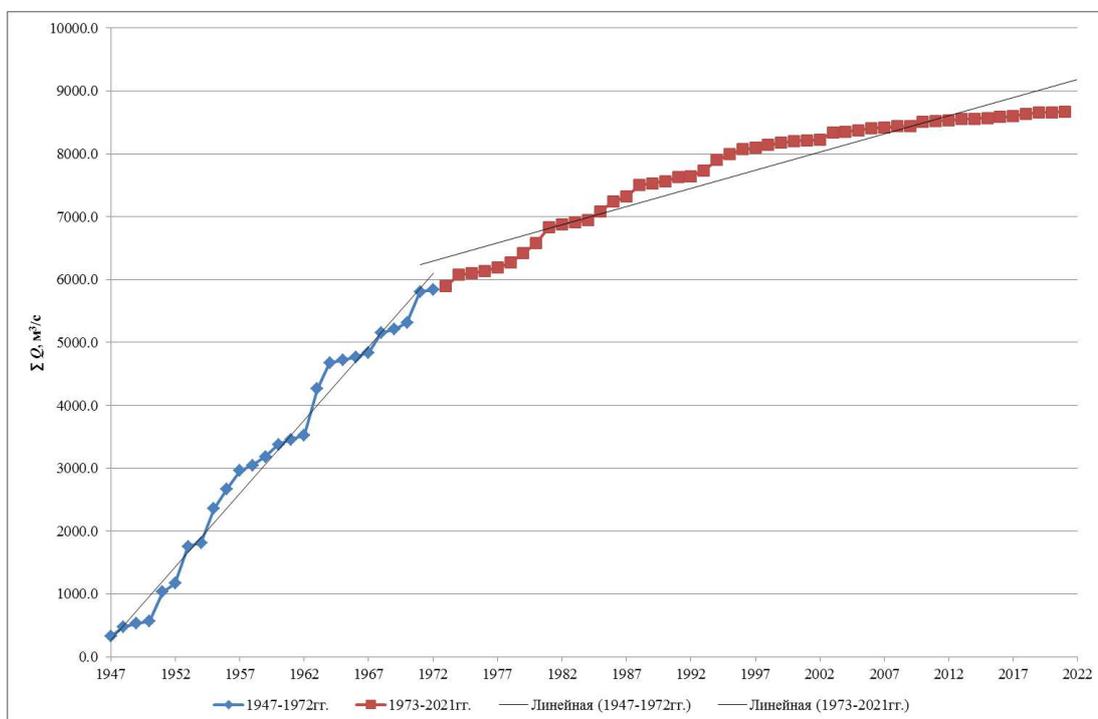


Рисунок 3.5 – Интегральный график максимальных расходов (гидрологический пост р. Тихая Сосна – г. Алексеевка)

В связи с тем, что ряды наблюдений являются неоднородными, то согласно нормативной документации [11, 12] эмпирические и аналитические кривые распределения устанавливаются отдельно для каждой однородной совокупности данных. По каждой выделенной совокупности данных были рассчитаны параметры аналитических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения. Результаты расчетов приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Параметры для построения аналитических кривых распределения

Годы наблюдений	$Q_{ср.}, м^3/с$	C_v	C_s	C_s/C_v	$r(1)$
р. Дон – г. Задонск					
1928 – 1972 гг.	2868	0.509	0.448	0.88	0.16
1973 – 2021 гг.	1341	0.774	1.204	1.55	0.06
1928 – 2021 гг.	2071	0.708	0.807	1.14	0.38
р. Дон – г. Лиски					
1881 – 1972	3601	0.599	1.417	2.37	0.07
1973 – 2021	1599	0.890	1.830	2.06	0.21
1881 – 2021	2947	0.744	1.301	1.75	0.29
р. Дон – ст-ца Казанская					
1882 – 1973 гг.	3163	0.515	0.884	1.71	0.03
1974 – 2021 гг.	1354	0.645	1.278	1.98	0.26
1882 – 2021 гг.	2551	0.651	1.054	1.62	0.31
р. Красивая Меча – г. Ефремов					
1949 – 1983 гг.	382	0.720	1.442	2.00	0.11
1984 – 2021 гг.	166	1.081	2.243	2.07	0.09
1949 – 2021 гг.	267	0.943	1.693	1.80	0.28

Продолжение таблицы 3.6

Годы наблюдений	$Q_{ср.}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	C_s	C_s/C_v	$r(1)$
р. Сосна – г. Елец					
1944 – 1983 гг.	2051	0.576	0.471	0.82	0.30
1984 – 2021 гг.	809	0.632	0.434	0.69	0.15
1944 – 2021 гг.	1367	0.759	1.494	1.97	0.48
р. Девица – с. Девица					
1956 – 1972 гг.	229	0.842	1.024	1.22	-0.17
1973 – 2021 гг.	69	0.909	1.318	1.45	0.20
1956 – 2021 гг.	111	1.187	2.718	2.29	0.28
р. Воронеж – г. Липецк 2					
1932 – 1971 гг.	1159	0.603	1.036	1.72	0.11
1972 – 2021 гг.	367	0.795	1.333	1.68	0.11
1932 – 2021 гг.	714	0.916	1.699	1.86	0.43
р. Усмань – д. Боровое					
1977–1995 гг.	133	0.835	1.069	1.28	0.28
1996–2021 гг.	72	0.557	1.844	3.31	-0.08
1977–2021 гг.	101	0.845	2.028	2.40	0.31
р. Хава – с. Ильиновка					
1951 – 1982 гг.	73	0.693	1.129	1.63	0.08
1983 – 2021 гг.	22	0.508	1.683	3.31	0.14
1951 – 2021 гг.	48	0.942	2.110	2.24	0.40
р. Тихая Сосна – г. Алексеевка					
1947 – 1972 гг.	237	0.871	1.054	1.21	-0.04
1973 – 2021 гг.	59	1.469	1.781	1.21	0.42
1947 – 2021 гг.	121	1.297	2.493	1.92	0.30

Продолжение таблицы 3.6

Годы наблюдений	$Q_{ср.}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	C_s	C_s/C_v	$r(1)$
р. Битюг – пгт. Мордово					
1949 – 1982 гг.	151	0.773	0.759	0.98	0.08
1983 – 2021 гг.	33	0.804	1.753	2.18	0.00
1949 – 2021 гг.	92	1.134	1.794	1.58	0.38
р. Битюг – г. Бобров					
1933 – 1982 гг.	483	0.774	1.090	1.41	0.02
1983 – 2021 гг.	151	0.809	1.110	1.37	0.29
1933 – 2021 гг.	341	0.990	1.787	1.80	0.32
р. Чигла – пос. Первомайский					
1959 – 1995 гг.	47	0.988	1.466	1.48	-0.02
1996 – 2021 гг.	14	0.931	1.447	1.55	-0.26
1959 – 2021 гг.	34	1.201	2.266	1.89	0.15
р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка					
1953 – 1972 гг.	142	0.939	1.399	1.49	0.16
1973 – 2021 гг.	55	0.776	1.308	1.69	-0.04
1953 – 2021 гг.	78	1.083	2.879	2.66	0.27
р. Россошь – пгт. Подгоренский					
1956 – 1988 гг.	35	0.808	2.289	2.83	0.11
1989 – 2021 гг.	8	0.736	0.444	0.60	-0.17
1959 – 2021 гг.	22	1.168	2.987	2.56	0.39
р. Подгорная – г. Калач					
1936 – 1987 гг.	161	0.858	1.078	1.26	-0.12
1988 – 2021 гг.	65	1.005	1.545	1.54	-0.28
1936 – 2021 гг.	123	1.012	1.568	1.55	0.03

Продолжение таблицы 3.6

Годы наблюдений	$Q_{ср.}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	C_s	C_s/C_v	$r(1)$
р. Хопер – г. Поворино					
1929 – 1982 гг.	774	0.672	0.754	1.12	-0.05
1983 – 2021 гг.	426	0.630	3.648	5.79	-0.02
1933 – 2021 гг.	633	0.732	1.322	1.80	0.10
р. Ворона – г. Борисоглебск					
1933 – 1982 гг.	502	0.712	1.450	2.04	0.05
1983 – 2021 гг.	228	0.515	0.892	1.73	0.08
1933 – 2021 гг.	382	0.815	2.149	2.64	0.19
р. Карачан – с. Алешки					
1952 – 1984 гг.	96	0.837	0.797	0.95	0.08
1985 – 2021 гг.	21	0.98	1.916	1.96	0.17
1952 – 2021 гг.	60	1.174	1.799	1.53	0.32
р. Токай – с. Ростоши					
1954 – 1982 гг.	83	0.736	1.225	1.67	-0.22
1983 – 2021 гг.	37	0.596	1.116	1.87	0.45
1954 – 2021 гг.	58	0.855	2.244	2.62	0.18
р. Матыра – с. Крутое					
1978 – 1994 гг.	136	0.654	0.281	0.43	-0.01
1995 – 2021 гг.	73	0.850	1.496	1.76	-0.06
1978 – 2021 гг.	97	0.805	0.892	1.11	0.07

На рисунках 3.6 – 3.7 в качестве примера представлены эмпирические и аналитические кривые распределения по гидрологическим постам р. Битюг – г. Бобров и р. Тихая Сосна – г. Алексеевка. В приложении Б приведены эмпирические и аналитические кривые распределения территории исследования.

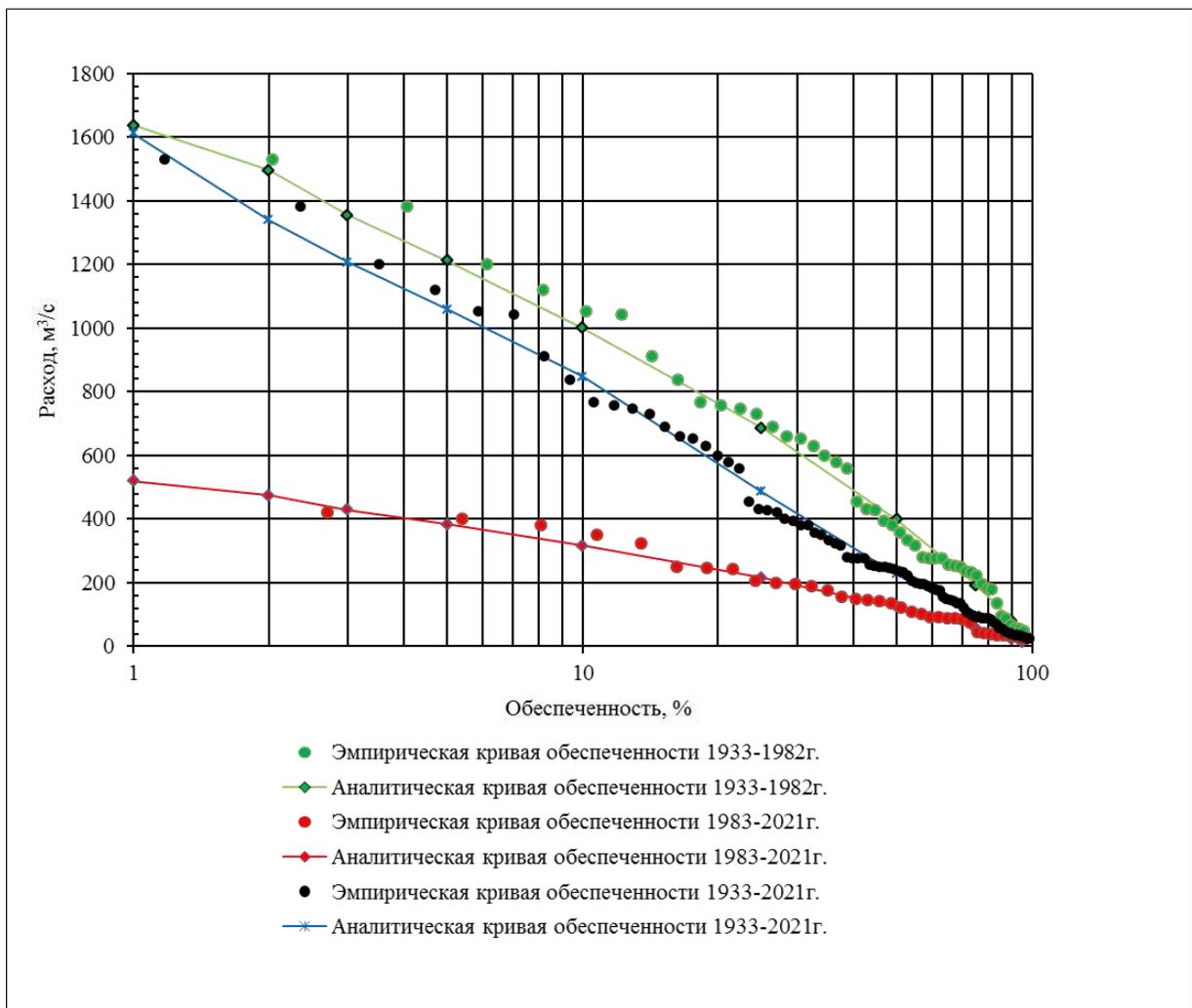


Рисунок 3.6 – Эмпирические и аналитические кривые распределения (гидрологический пост р. Битюг – г. Бобров)

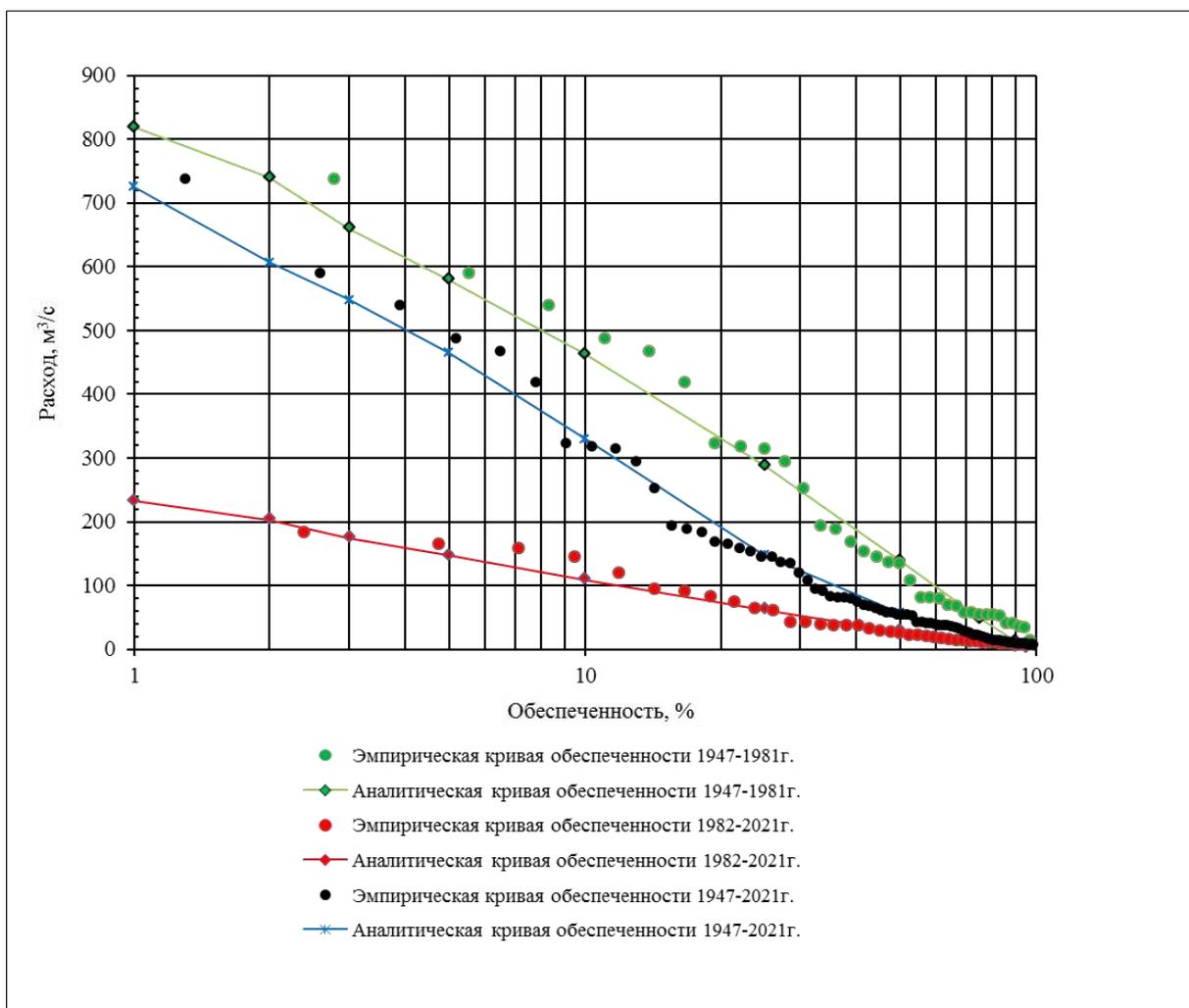


Рисунок 3.7 – Эмпирические и аналитические кривые распределения (гидрологический пост р. Тихая Сосна – г. Алексеевка)

По результатам гидрологических расчетов, согласно [10, 11, 12, 14], по выбранным гидрологическим постам были рассчитаны максимальные расходы весеннего половодья различной обеспеченности. В таблице 3.7 приведены результаты расчетов максимальных расходов воды 1%-ой обеспеченности, а также относительные изменения данных расходов.

Согласно данным таблицы 3.7 средний максимальный сток по выбранным постам уменьшился в среднем на 62%, максимальное снижение стока на изучаемой территории наблюдается на постах р. Битюг – пгт. Мордово и р. Карачан – с. Алешки (сток уменьшился на 78 %), а минимальное – на посту р. Хопер – г. Поворино (уменьшение стока составило 45%).

Таблица 3.7 – Максимальные расходы воды весеннего половодья $Q_{P\%}$, м³/с

№ п/п	Гидрологический пост	Период наблюдений	$Q_{ср}$, м ³ /с	$\Delta Q_{ср}$, %	$Q_{1\%}$ м ³ /с	$\Delta Q_{1\%}$, %	Период наблюдений	$Q_{ср}$, м ³ /с	$Q_{1\%}$, м ³ /с
1	р. Дон – г. Задонск	1928 – 1972	2868	53	6683	32	1928 – 2021	2071	6276
		1973 – 2021	1341		4545				
2	р. Дон – г. Лиски	1881 – 1972	3601	56	10802	39	1881 – 2021	2947	10288
		1973 – 2021	1599		6634				
3	р. Дон – ст-ца Казанская	1882 – 1972	3163	57	7816	48	1882 – 2021	2551	7632
		1973 – 2021	1354		4075				
4	р. Красивая Меча – г. Ефремов	1949 – 1983	382	57	1286	36	1949 – 2021	267	1197
		1984 – 2021	166		823				
5	р. Сосна – г. Елец	1944 – 1983	2051	61	5168	62	1944 – 2021	1367	4845
		1984 – 2021	809		1949				
6	р. Девица – с. Девица	1956 – 1972	229	70	753	65	1956 – 2021	111	635
		1973 – 2021	69		266				
7	р. Воронеж – г. Липецк 2	1932 – 1971	1159	68	3349	62	1932 – 2021	714	2983
		1972 – 2021	367		1275				

Продолжение таблицы 3.7

№ п/п	Гидрологический пост	Период наблюдений	Q_{cp} , м ³ /с	ΔQ_{cp} , %	$Q_{1\%}$ м ³ /с	$\Delta Q_{1\%}$, %	Период наблюдений	Q_{cp} , м ³ /с	$Q_{1\%}$, м ³ /с
8	р. Усмань – д. Боровое	1977 – 1995 1996 – 2021	133 72	46	483 175	64	1977 – 2021	101	435
9	р. Хава – с. Ильиновка	1951 – 1982 1983 – 2021	73 22	70	226 56,8	75	1951 – 2021	48	218
10	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	1947 – 1972 1973 – 2021	237 59	75	818 232	72	1947 – 2021	121	705
11	р. Битюг – пгт. Мордово	1949 – 1982 1983 – 2021	151 33	78	465 122	74	1949 – 2021	92	435
12	р. Битюг – г. Бобров	1933 – 1982 1983 – 2021	483 151	69	1637 520	68	1933 – 2021	341	1612
13	р. Чигла – пос. Первомайский	1959 – 1995 1996 – 2021	47 14	70	200 57	72	1959 – 2021	34	189
14	р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка	1953 – 1972 1973 – 2021	142 55	61	574 186	68	1953 – 2021	78	459

Продолжение таблицы 3.7

№ п/п	Гидрологический пост	Период наблюдений	Q_{cp} , м ³ /с	ΔQ_{cp} , %	$Q_{1\%}$ м ³ /с	$\Delta Q_{1\%}$, %	Период наблюдений	Q_{cp} , м ³ /с	$Q_{1\%}$, м ³ /с
15	р. Россошь – пгт. Подгоренский	1956 – 1988	35	77	141	87	1956 – 2021	22	124
		1989 – 2021	8		19				
16	р. Подгорная – г. Калач	1936 – 1987	161	60	601	54	1936 – 2021	123	565
		1988 – 2021	65		279				
17	р. Хопер – г. Поворино	1929 – 1982	774	45	2167	34	1939 – 2021	633	2113
		1983 – 2021	426		1436				
18	р. Ворона – г. Борисоглебск	1933 – 1982	502	55	1678	66	1933 – 2021	382	1554
		1983 – 2021	228		578				
19	р. Карачан – с. Алешки	1952 – 1984	96	78	313	72	1952 – 2021	60	297
		1985 – 2021	21		87				
20	р. Токай – с. Ростоши	1954 – 1982	83	55	271	61	1954 – 2021	58	249
		1983 – 2021	37		107				
21	р. Матыра – с. Крутое	1978 – 1994	136	46	331	13	1978 – 2021	97	326
		1995 – 2021	73		288				

4. Оценка изменений климатических параметров

4.1 Исходные данные

Оценка основных элементов климата выполнена на основании климатических характеристик по метеостанциям Воронежской области (Воронеж, Каменная Степь, Калач), Тамбовской области (Тамбов), Липецкой области (Конь-Колодезь) и Саратовской области (Балашов). Схема расположения метеостанций представлена на рисунке 3.1. В таблице 4.1 приведены основные сведения о метеостанциях.

Таблица 4.1 – Таблица метеорологической изученности

№ п/п	Код пункта наблюдений	Метеостанция	Высота над уровнем моря, м БС	Период наблюдений
1	34152	Балашов	157	1900 – действ.
2	34122	Воронеж	147	1918 – действ.
3	34247	Калач	90	1914 – действ.
4	34139	Каменная Степь	193	1921 – действ.
5	34026	Конь-Колодезь	135	1893 – действ.
6	27947	Тамбов	127	1940 – действ.

4.2 Оценка стационарности метеорологических наблюдений

Для оценки влияния метеорологических параметров на изменение максимального стока весеннего половодья рек в бассейне р. Дон были проанализированы данные по среднемесячной температуре воздуха, среднемесячным осадкам и высоте снежного покрова за февраль и за март по метеостанциям Воронеж, Каменная Степь, Калач, Тамбов, Конь-Колодезь и Балашов.

Ряды данных были проверены на однородность по критерию Фишера F (оценка однородности выборочных дисперсий) и критерию Стьюдента t (оценка однородности выборочных средних) сравнением с их критическими значениями. Результаты расчетов приведены в таблицах 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.10 – 4.12.

Температура воздуха

По результатам расчетов среднемесячной температуры воздуха за февраль и март можно сделать вывод, что ряды данных не однородны по критерию Стьюдента. Годом изменения температуры воздуха за указанный период, предшествующий весеннему половодью в данном регионе, можно считать 1988 год.

Таблица 4.2 – Среднемесячная температура воздуха за февраль

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_{α}	t	t_{α}	Результат
Балашов	1923 – 1988 1989 – 2022	66 34	1.22	2.02	4.00	2.62	не однороден
Воронеж	1945 – 1988 1989 – 2022	44 33	1.21	2.40	3.74	2.60	не однороден
Калач	1930 – 1988 1989 – 2022	59 34	1.21	2.10	3.43	2.60	не однороден
Каменная Степь	1923 – 1984 1985 – 2022	62 38	1.10	2.10	3.43	2.60	не однороден
Конь-Колодезь	1945 – 1988 1989 – 2022	43 34	1.18	2.38	3.57	2.64	не однороден
Тамбов	1927 – 1988 1989 – 2022	62 34	1.01	2.05	3.86	2.62	не однороден

Таблица 4.3 – Среднемесячная температура воздуха за март

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_{α}	t	t_{α}	Результат
Балашов	1923 – 1988 1989 – 2022	66 34	1.47	2.02	4.53	2.62	не однороден
Воронеж	1945 – 1988 1989 – 2022	44 33	1.51	2.40	4.87	2.60	не однороден
Калач	1930 – 1987 1988 – 2022	58 35	1.19	2.10	4.55	2.60	не однороден

Каменная Степь	1923 – 1987 1988 – 2022	65 35	1.27	2.00	5.30	2.60	не однороден
Конь- Колодезь	1945 – 1988 1989 – 2022	44 34	1.49	2.35	4.54	2.64	не однороден
Тамбов	1927 – 1989 1990 – 2022	63 33	1.44	2.04	4.29	2.62	не однороден

В приложении Г представлены хронологические и интегральные графики среднемесячных температур воздуха февраля и марта по данным метеостанциям.

В таблице 4.4 приведены результаты расчетов среднемесячных температур воздуха февраля и марта, а также относительных изменений температуры воздуха за указанный период.

Таблица 4.4 – Среднемесячные температуры воздуха за февраль и март, а также относительных изменений температуры воздуха за указанный период

№п/п	Метеостанция	Месяц	Период наблюдений	$t_{cp.}, ^\circ C$	$\Delta t, \%$	$\Delta t, ^\circ C$
1	Балашов	февраль	1923 – 1988 1989 – 2022	-10.6 -7.2	32	3.4
		март	1923 – 1988 1989 – 2022	-4.7 -2.0	57	2.7
2	Воронеж	февраль	1945 – 1988 1989 – 2022	-8.8 -5.4	39	3.4
		март	1945 – 1988 1989 – 2022	-3.3 -0.1	97	3.2
3	Калач	февраль	1930 – 1988 1989 – 2022	-8.7 -5.4	38	3.3
		март	1930 – 1987 1988 – 2022	-3.0 -0.1	97	2.9
4	Каменная Степь	февраль	1923 – 1984 1985 – 2022	-9.6 -6.6	31	3.0
		март	1923 – 1987 1988 – 2022	-4.0 -0.8	80	3.2
5	Конь- Колодезь	февраль	1945 – 1988 1989 – 2022	-9.4 -6.0	36	3.4
		март	1945 – 1988 1989 – 2022	-3.9 -0.8	79	3.1
6	Тамбов	февраль	1927 – 1988	-10.1	32	3.2

		1989 – 2022	-6.9		
	март	1927 – 1989	-4.4	59	2.6
		1990 – 2022	-1.8		

Как видно из таблицы 4.4, среднемесячные температуры воздуха в феврале в последние десятилетия (в период с середины до конца 80-х гг. XX века) изменились в среднем на 35%, т.е. в феврале стало теплее на 3.3 °С. В то время как в марте температура воздуха стала так же теплее на 3.0 °С, но это изменение уже составляет в среднем 78%.

После проведения оценки однородности ряды наблюдений проверялись на наличие значимых трендов. Тренды оценивались с использованием методов анализа программы Excel. Значимость трендов проверялась по критерию Фишера на 5%-ом уровне значимости. В таблице 4.5 приведена оценка значимости трендов. Для выбранных метеостанций с выявленными трендами наблюдается и неоднородность.

Таблица 4.5 – Оценка значимости трендов среднемесячной температуры воздуха за февраль и март

Метеостанция	n	месяц	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/O_R	$R/\sigma_R > t_{2\alpha}$
Балашов	99	февраль	0.136	0.09	1.98	0.37	3.91	значим
		март	0.196	0.09	1.98	0.44	4.86	значим
Воронеж	77	февраль	0.123	0.11	1.99	0.35	3.24	значим
		март	0.254	0.10	1.99	0.50	5.05	значим
Калач	92	февраль	0.091	0.10	1.99	0.30	3.00	значим
		март	0.173	0.10	1.99	0.42	4.34	значим
Каменная Степь	99	февраль	0.145	0.09	1.98	0.38	4.06	значим
		март	0.234	0.09	1.98	0.48	5.44	значим
Конь-Колодезь	77	февраль	0.101	0.11	1.99	0.32	2.88	значим
		март	0.229	0.10	1.99	0.48	4.72	значим

Тамбов	95	февраль	0.139	0.10	1.99	0.37	3.87	значим
		март	0.211	0.09	1.99	0.46	4.99	значим

Количество осадков

Если рассматривать ряды данных по месячному количеству осадков за февраль и за март, то ряды можно считать однородными по критериям Фишера и Стьюдента. Оценка стационарности в рядах осадков приведены в таблицах 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6 – Среднемесячное количество осадков за февраль

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_{α}	t	t_{α}	Результат
Балашов	1966 – 1978	13	1.41	2.38	1.40	2.64	однороден
	1979 – 2022	43					
Воронеж	1966 – 1998	33	1.40	2.70	1.95	2.60	однороден
	1999 – 2022	24					
Калач	1966 – 1994	28	1.20	2.87	2.81	2.68	однороден
	1995 – 2022	28					
Каменная Степь	1966 – 1995	29	1.64	2.84	1.71	2.67	однороден
	1996 – 2022	27					
Конь-Колодезь	1966 – 1994	28	1.04	2.87	2.00	2.68	однороден
	1995 – 2022	28					
Тамбов	1966 – 1994	28	1.22	2.87	0.43	2.68	однороден
	1995 – 2022	28					

Таблица 4.7 – Среднемесячное количество осадков за март

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_{α}	t	t_{α}	Результат
Балашов	1966 – 1987	22	1.75	2.67	2.17	2.66	однороден
	1988 – 2022	34					
Воронеж	1966 – 1991	26	1.90	2.77	2.15	2.60	однороден
	1992 – 2022	31					
Калач	1966 – 1988	23	1.52	2.67	1.76	2.66	однороден
	1989 – 2022	34					

Каменная Степь	1966 – 1986 1987 – 2022	21 36	1.62	2.61	0.70	2.66	однороден
Конь- Колодезь	1966 – 1988 1989 – 2022	22 34	1.95	2.67	1.55	2.66	однороден
Тамбов	1966 – 1995 1996 – 2022	30 27	1.25	2.81	1.39	2.67	однороден

В приложении Д приведены хронологические и интегральные графики месячного количества осадков за февраль, март по годам наблюдений по выбранным метеостанциям. В таблице 4.8 приведены результаты анализа рядов месячных сумм осадков за февраль и март.

Таблица 4.8 – Месячное количество осадков за февраль и март, а также относительные изменения месячного количества осадков за указанный период

№п/п	Метеостанция	Месяц	Период наблюдений	$X_{cp.}$, мм	ΔX , %	ΔX , мм
1	Балашов	февраль	1966 – 1978 1979 – 2022	26.5 34.3	29	7.8
		март	1966 – 1987 1988 – 2022	25.3 35.7	41	10.4
2	Воронеж	февраль	1966 – 1998 1999 – 2022	31.8 40.9	29	9.1
		март	1966 – 1991 1992 – 2022	28.5 39.1	37	10.6
3	Калач	февраль	1966 – 1994 1995 – 2022	26.3 38.5	46	12.2
		март	1966 – 1988 1989 – 2022	25.1 32.9	31	7.8
4	Каменная Степь	февраль	1966 – 1995 1996 – 2022	26.1 33.5	28	7.4
		март	1966 – 1986 1987 – 2022	25.7 28.7	12	3.0
5	Конь- Колодезь	февраль	1966 – 1994 1995 – 2022	25.6 33.7	32	8.1
		март	1966 – 1988 1989 – 2022	25.1 31.7	26	6.6
6	Тамбов	февраль	1966 – 1994 1995 – 2022	31.0 33.1	7	2.1
		март	1966 – 1995 1996 – 2022	30.8 25.5	17	5.3

Как видно из таблицы 4.8, месячное количество осадков по анализируемым данным в феврале увеличилось в среднем по территории на 29% или на 7.8 мм в период с 1978 по 1998 годы, не имея зональной закономерности. Среднемесячное количество осадков в марте в последние десятилетия (в период с конца 80х гг. до начала 90-х гг. XX века) изменились в среднем на 22%, т.е. в марте стало в среднем на 22 мм осадков больше. Однако, по м.ст. Тамбов, которая находится в северной части исследуемой территории, такая тенденция не актуальна – среднемесячное количество осадков после середины 90-х гг. увеличилось лишь на 7%, в то время как в марте наоборот уменьшилось на 17%.

После проведения оценки однородности ряды наблюдений проверялись на наличие значимых трендов. Значимость трендов проверялась по критерию Фишера на 5%-ом уровне значимости. В таблице 4.9 приведена оценка значимости трендов. Для выбранных метеостанций с однородными рядами тренд не значим.

Таблица 4.9 – Оценка значимости трендов среднемесячного количества осадков в феврале и марте

Метеостанция	n	месяц	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_{2\alpha}$
Балашов	56	февраль	0.064	0.13	2.00	0.25	1.92	не значим
		март	0.044	0.13	2.00	0.21	1.58	не значим
Воронеж	56	февраль	0.055	0.13	2.00	0.23	1.77	не значим
		март	0.033	0.13	2.00	0.18	1.36	не значим
Калач	56	февраль	0.067	0.13	2.01	0.26	1.95	не значим
		март	0.057	0.13	2.00	0.24	1.81	не значим
Каменная Степь	56	февраль	0.059	0.13	2.01	0.24	1.82	не значим
		март	0.013	0.14	2.00	0.11	0.84	не значим
	56	февраль	0.029	0.14	2.01	0.17	1.26	не значим

Конь-Колодезь		март	0.028	0.14	2.01	0.17	1.24	не значим
Тамбов	56	февраль	0.001	0.14	2.01	0.03	0.23	не значим
		март	0.031	0.13	2.00	0.18	1.31	не значим

Высота снежного покрова

Анализируя данные наблюдений за снежным покровом за период действия метеостанций, можно сделать вывод, что ряды данных со среднемесячной высотой снежного покрова в феврале, марте, а также сумме данных показателей за два месяца, являются однородными по 5 метеостанциям из 6. Исключение составили наблюдения на м.ст. Балашов (ряд данных был признан не однородным по критерию Стьюдента) (таблицы 4.10, 4.11, 4.12).

Таблица 4.10 – Среднемесячная высота снежного покрова в феврале

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_{α}	t	t_{α}	Результат
Балашов	1958 – 1990	32	1.41	2.70	4.49	2.60	не однороден
	1991 – 2022	32					
Воронеж	1931 – 1979	47	1.17	2.25	0.50	2.63	однороден
	1980 – 2022	43					
Калач	1960 – 1983	23	2.67	2.50	2.11	2.60	не однороден
	1984 – 2022	39					
Каменная Степь	1932 – 1982	51	1.04	2.14	0.79	2.63	однороден
	1983 – 2022	40					
Конь-Колодезь	1936 – 1987	49	1.62	2.18	0.80	2.63	однороден
	1988 – 2022	35					
Тамбов	1936 – 1995	60	1.18	2.07	1.48	2.62	однороден
	1996 – 2022	27					

Таблица 4.11 – Среднемесячная высота снежного покрова в марте

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_{α}	t	t_{α}	Результат
Балашов	1958 – 1990	32	1.79	2.70	2.27	2.60	однороден
	1991 – 2022	32					
Воронеж	1931 – 1973	42	1.02	2.18	0.89	2.63	однороден

	1974 – 2022	49					
Калач	1960 – 1983	23	2.02	2.50	0.72	2.60	однороден
	1984 – 2022	39					
Каменная Степь	1932 – 1982	51	1.01	2.14	0.85	2.63	однороден
	1983 – 2022	40					
Конь- Колодезь	1936 – 1987	49	1.23	2.18	1.97	2.63	однороден
	1988 – 2022	35					
Тамбов	1936 – 1995	60	1.04	2.07	2.30	2.62	однороден
	1996 – 2022	27					

Таблица 4.12 – Суммарная высота снежного покрова в феврале и марте

Метеостанция	Период наблюдений	n	F	F_a	t	t_α	Результат
Балашов	1958 – 1990	32	1.44	2.70	3.56	2.60	не однороден
	1991 – 2022	32					
Воронеж	1931 – 1981	50	1.06	2.15	0.04	2.63	однороден
	1982 – 2022	41					
Калач	1960 – 1983	23	2.20	2.50	1.49	2.65	однороден
	1984 – 2022	39					
Каменная Степь	1932 – 1982	51	1.15	2.14	0.08	2.63	однороден
	1983 – 2022	40					
Конь- Колодезь	1936 – 1987	49	1.54	2.18	1.47	2.63	однороден
	1988 – 2022	35					
Тамбов	1936 – 1995	60	1.01	2.07	2.04	2.62	однороден
	1996 – 2022	27					

В приложении Е приведены хронологические и интегральные графики высоты снежного покрова за февраль – март по годам наблюдений по выбранным метеостанциям. В таблице 4.13 приведены результаты изменчивости осадков за рассматриваемые периоды.

Таблица 4.13 – Среднемесячная высота снежного покрова за февраль и март, а также относительные изменения среднемесячной высоты снежного покрова за указанный период

№п/п	Метеостанция	Месяц	Период наблюдений	$h_{\text{ср.}}$, см	Δh , %	Δh , см
1	Балашов	февраль	1958 – 1990	18.1	65	11.7
			1991 – 2022	29.8		
		март	1958 – 1990	15.1	46	7.0

			1991 – 2022	22.1		
2	Воронеж	февраль	1931 – 1979	20.9	7	1.4
			1980 – 2022	22.3		
		март	1931 – 1973	17.9	15	2.6
			1974 – 2022	15.3		
3	Калач	февраль	1960 – 1983	10.1	61	6.2
			1984 – 2022	16.3		
		март	1960 – 1983	9.1	25	2.3
			1984 – 2022	11.4		

Продолжение таблицы 4.13

№п/п	Метеостанция	Месяц	Период наблюдений	$h_{\text{ср.}}$, см	Δh , %	Δh , см
4	Каменная Степь	февраль	1932 – 1982	15.6	13	2.0
			1983 – 2022	17.6		
		март	1932 – 1982	14.4	16	2.3
			1983 – 2022	12.1		
5	Конь-Колодезь	февраль	1936 – 1987	19.4	11	2.2
			1988 – 2022	17.2		
		март	1936 – 1987	16.7	35	5.8
			1988 – 2022	10.9		
6	Тамбов	февраль	1936 – 1995	30.1	16	4.7
			1996 – 2022	25.4		
		март	1936 – 1995	25.2	33	8.3
			1996 – 2022	16.9		

Как видно из таблицы 4.13, среднемесячная высота снежного покрова в феврале месяце как правило увеличивается, в среднем на 36% или на 5.3 см. Исключение составляют метеостанции, расположенные в северной части изучаемой территории – Конь-Колодезь и Тамбов. Тут наблюдается тенденция к уменьшению высоты снежного покрова на 13%, что составляет 3.5 см. Если рассматривать среднемесячную высоту снежного покрова в марте, то в основном идет уменьшение ее в среднем на 25% или на 4.8 см. Однако, по двум метеостанциям (Калач и Балашов), наоборот, за многолетний период наблюдений наблюдается тенденция к увеличению снежного покрова в марте месяце на 4.7 см или на 36%.

После проведения оценки однородности ряды наблюдений проверялись на наличие значимых трендов. Значимость трендов проверялась по критерию Фишера на 5%-ом уровне значимости. В таблице 4.14 приведена оценка значимости трендов. Для выбранных метеостанций с однородными рядами тренд не значим. Исключение составляет метеостанция Балашов, где ряд среднемесячной высоты снежного покрова в феврале был не однороден.

Таблица 4.14 – Оценка значимости трендов среднемесячной высоты снежного покрова в феврале и марте

Метеостанция	n	месяц	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	$R/\sigma_R > t_{2\alpha}$
Балашов	63	февраль	0.236	0.11	2.00	0.49	4.34	значим
		март	0.083	0.12	2.00	0.29	2.35	значим
Воронеж	90	февраль	0.016	0.11	1.99	0.13	1.19	не значим
		март	0.015	0.11	1.99	0.12	1.17	не значим
Калач	61	февраль	0.025	0.13	2.00	0.16	1.23	не значим
		март	0.004	0.13	2.00	0.06	0.49	не значим
Каменная Степь	90	февраль	0.014	0.11	1.99	0.12	1.12	не значим
		март	0.074	0.10	1.99	0.27	2.65	значим
Конь- Колодезь	84	февраль	0.00003	0.11	1.99	0.01	0.05	не значим
		март	0.013	0.11	1.99	0.11	1.04	не значим
Тамбов	87	февраль	0.018	0.11	1.99	0.13	1.25	не значим
		март	0.033	0.11	1.99	0.18	1.68	не значим

5. Оценка антропогенных факторов

В 1966 году в Советском Союзе согласно Постановлению ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 16 июня 1966 года «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур» была принята программа широкомасштабной мелиорации сельскохозяйственных земель. В результате выполнения этой программы с 1966 по 1990 годы площади орошаемых земель в РФ увеличились с 1.510 до 6.156 млн. гектаров. Основным источником воды для орошения стали построенные мелиоративные водохранилища и пруды.

Влияние орошения заключается в изменении климатических параметров территории, изменении соотношения элементов теплового и водного балансов, происходящие на значительных территориях. Все это, несомненно, приводит к изменению стоковых характеристик. При этом, изменения в основном затрагивают не величину годового стока, а его внутригодовое распределение.

В бассейне р. Дон на территории РФ на современном уровне насчитывается 12.3 тыс. прудов и малых водохранилищ полной емкостью до 10 млн.м³, суммарным полным объемом 3464 млн.м³, площадью зеркала 1.4 тыс.км² сегодня практически не используемых в целях, для которых ранее создавались.

Например, на отдельно взятой водосборной площади створа р. Битюг – пгт. Мордово, где в настоящее время расположено около 140 прудов общей площадью ~ 12,4 км², из них мелиоративных прудов, условно построенных после 1966 г. ~ 42, общая площадь которых составляет ~ 9,7 км².

Как рассматривалось в главе 3.2 настоящей работы, максимальные расходы воды на данном гидрологическом посту за период наблюдений с 1983 года по 2021 год уменьшились более чем в 3.8 раза, относительно максимальных расходов за 1949 – 1982 годы. Естественно предположить, что разница в максимальных расходах весеннего половодья до начала 80–х годов и после

связана со строительством мелиоративных прудов. Данную гипотезу хорошо иллюстрирует график среднемесячных расходов воды в створе р. Битюг – пгт. Мордово в периоды: 1963 – 1966 гг. и 2014 – 2017 гг. (рисунок 5.1).

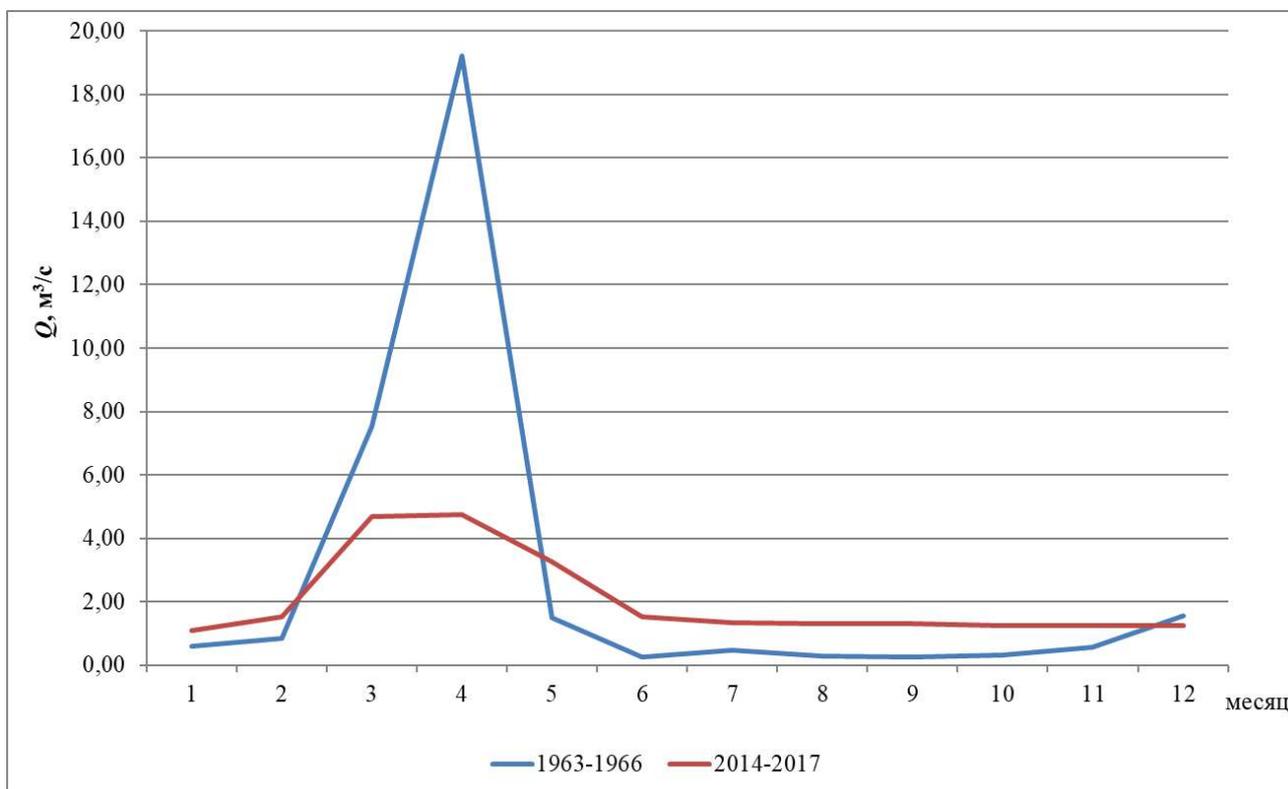


Рисунок 5.1 – Среднемесячные расходы воды в створе р. Битюг–пгт. Мордово

Разница средних апрельских расходов воды в периоды 1963 – 1966 гг. и 2014 – 2017 гг. составляет $14.47 \text{ м}^3/\text{с}$. Эту разницу воспринимают (амортизируют) пруды и водохранилища. Начиная с мая по ноябрь, расходы воды в 2014–2017 гг. в среднем на $1,1 \text{ м}^3/\text{с}$ больше чем в 1963–1966 гг. Эта разница обеспечивается равномерным спуском воды из прудов.

Оценка влияния строительства мелиоративных прудов выполнена на примере расчетного створа на р. Битюг в с. Вязковка Эртильского района Воронежской области, который расположен в 50 км ниже по течению от гидрологического поста р. Битюг – пгт. Мордово, и который использовался в качестве реки-аналога [18].

Значения максимальных расходов $Q_{p\%}$, рассчитанные с использованием общей кривой распределения (1949 – 2021 гг.) и кривой за период 1983–2021 гг., будут отличаться в 3.5 раза (таблица 5.1), а расчетные наивысшие уровни воды заданной вероятности превышения более чем на 1 м (таблица 5.2).

Таблица 5.1 – Максимальные расходы воды весеннего половодья заданной обеспеченности по расчётному створу с. Вязковка, м³/с

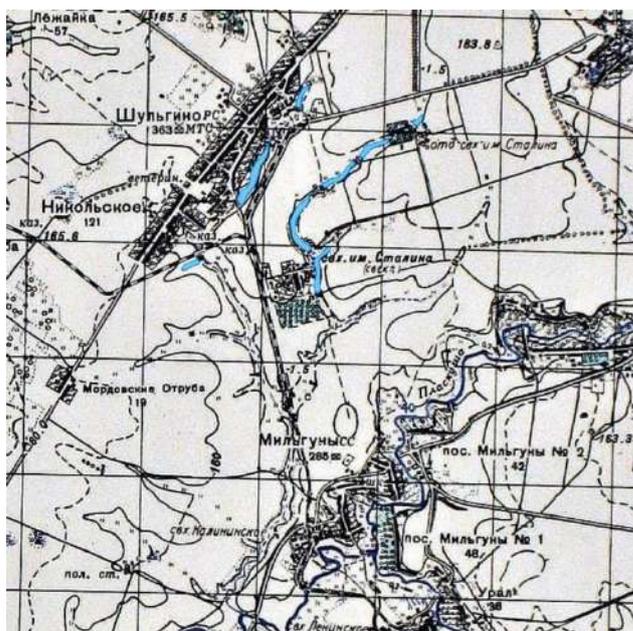
Расчетный период	$Q_{1\%}$	$Q_{3\%}$	$Q_{5\%}$	$Q_{10\%}$	$Q_{25\%}$	$Q_{50\%}$
1949 – 2021 гг.	634	535	473	384	205	71.4
1983 – 2021 гг.	173	138	122	99.1	67.0	41.1

Таблица 5.2 – Расчетные наивысшие уровни воды заданной вероятности превышения по створу с. Вязковка, мБС

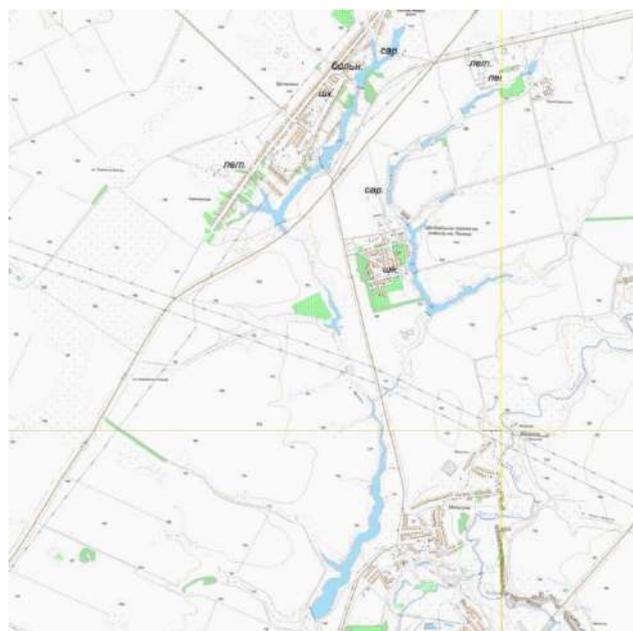
Расчетный период	$H_{1\%}$	$H_{3\%}$	$H_{5\%}$	$H_{10\%}$	$H_{25\%}$	$H_{50\%}$
1949 – 2021 гг.	116.73	116.57	116.46	116.28	115.80	114.87
1983 – 2021 гг.	115.66	115.52	115.36	115.11	114.84	114.66

Стоит так же отметить, что озерность в пределах отдельных водосборов малых рек в лесостепной зоне России весьма неоднородна.

Так, средневзвешенная озерность в пределах водосборной площади створа р. Битюг – пгт. Мордово с учетом мелиоративных прудов составляет 0.064 %, коэффициент δ , учитывающий снижение максимального расхода воды весеннего половодья за счет зарегулирования прудами соответственно равен 0,987. А если взять, к примеру, водосборную площадь р. Солонка (приток р. Пласкуша, правого притока р. Битюг в пределах рассматриваемого водосбора) площадь водосбора которого составляет 64 км², то средневзвешенная озерность на нем составит – 2.234 %, коэффициент δ – 0.691.



1941 г.



2018 г.

Рисунок 5.2 – Распространение мелиоративных прудов на примере р. Солонка

В практике гидрологических расчетов принято считать, что озерность на водосборе реки-аналога и расчетной реки примерно одинаковая и, соответственно, при расчете обратным путем параметра, характеризующего дружность весеннего половодья K_0 из редуccionной формулы, коэффициенты δ компенсируют друг друга и учитывать этот коэффициент при определении максимальных расходов воды весеннего половодья не обязательно. Приведенный пример с малым водосбором р. Солонка показывает, что разница в рассчитанных максимальных расходах с учетом коэффициента δ и без него составляет около 30 %, а это уже большая разница, которую уже следует учитывать [18].

Заключение

В данной магистерской диссертации была проведена оценка характеристик максимального весеннего стока рек Донского бассейна и оценка влияния климатических параметров на изменение максимального стока.

Первоначально был проведен сбор, анализ и обобщение данных гидрометрических и метеорологических наблюдений. Затем были изучены и применены методы приведения коротких рядов наблюдений к многолетнему периоду, произведена оценка неоднородности и нестационарности рядов гидрологических и метеонаблюдений, сделан расчет максимальных расходов весеннего половодья в створах гидрометрической сети с учетом неоднородности и нестационарности гидрологических рядов согласно действующим нормативным документам. Далее был проведен анализ влияния климатических и антропогенных факторов на основные характеристики стока весеннего половодья рек на примере гидрометрических постов сети Росгидромет, расположенных в бассейне Верхнего и северо-западной части Среднего Дона с диапазоном площадей водосбора от 426 км² до 102 000 км².

Для выполнения данной работы применялись методы статистического анализа, гидрологической аналогии, пространственной интерполяции, географического районирования.

При решении поставленных задач, можно сделать вывод, что климатические характеристики (среднемесячная температура воздуха, среднемесячное количество осадков и снегозапасы за период с февраля по март, являющегося периодом, предшествующему весеннему половодью) напрямую не влияют на снижение максимального стока рек данного региона. Изменение данных климатических характеристик произошло позже по годам наблюдений, чем изменение стока.

Таким образом, в дальнейших исследованиях данного вопроса следует сделать упор на более углубленное изучение антропогенного фактора, а именно – создание мелиоративных прудов, которые ввиду зарегулированности существенно влияют на максимальный сток рек Донского района в лесостепной зоне.

Список использованных источников

1. Савко А.Д. Геология Воронежской антеклизы // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. – вып. 7. – Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 2002. – 165 с.
2. Холмовой Г.В., Глушков Б.В. Неогеновые и четвертичные отложения Среднерусской возвышенности // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. Вып. 1. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. – 220 с.
3. Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. – Воронеж, 2001. – 220 с.
4. Горбаткина Т.Е., Иосифова Ю.И., Кононов Н.Д. Составление комплекта карт геологического содержания масштаба 1:500000 и мельче по территории деятельности Центрального ДПР (объект 1). Книга 5. Воронежская область. Том 1. Объяснительная записка к геологическим картам четвертичных и дочетвертичных отложений Воронежской области масштаба 1:500 000.
5. Иосифова Ю.И., Шулешкина Е.А. Составление комплекта карт геологического содержания масштаба 1:500000 и мельче по территории деятельности Центрального ДПР (объект 1). Книга 10. Липецкая область. Том 1. Объяснительная записка к геологическим картам четвертичных и дочетвертичных отложений Липецкой области масштаба 1:500 000.
6. Гидрогеология СССР. Т. IV. Воронежская, Курская, Белгородская, Брянская, Орловская, Липецкая, Тамбовская области. – М.: Недра, 1972. – 495 с.
7. Научно-прикладной справочник «Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон», Санкт-Петербург, 2020 г.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 7, Донской район

9. Разуваев В.Н. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник «Климат России». ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Режим доступа – <http://aisori.meteo.ru/ClspR> (дата обращения 17.10.2023).
10. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – ГУ «ГГИ», Санкт-Петербург, 2005.
11. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – ГУ «ГГИ», Санкт-Петербург, 2010.
12. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик
13. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 269 с.
14. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
15. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – ГУ «ГГИ», Санкт-Петербург, 2004.
16. Сотникова Л.Ф. Оценка точности расчетной гидрологической информации. В кн. Регулирование и комплексное использование водных ресурсов. – М.: Наука, 1987, гл.3. – с.50 – 79.
17. Гидрологический ежегодник. Том 1. Бассейн реки Дон. выпуск 3. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 395 с.
18. Мацкевич И. А., Корабельников Н. А., Валяльщикова А. А. Влияние водохозяйственных прудов на максимальный расход речного стока в лесостепной зоне // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы XV Общероссийской

конференции изыскательских организаций, 26-29 ноября 2019 г. — Москва, 2019. – С. 219 – 223.

Приложение А. Хронологические и интегральные графики максимальных расходов воды

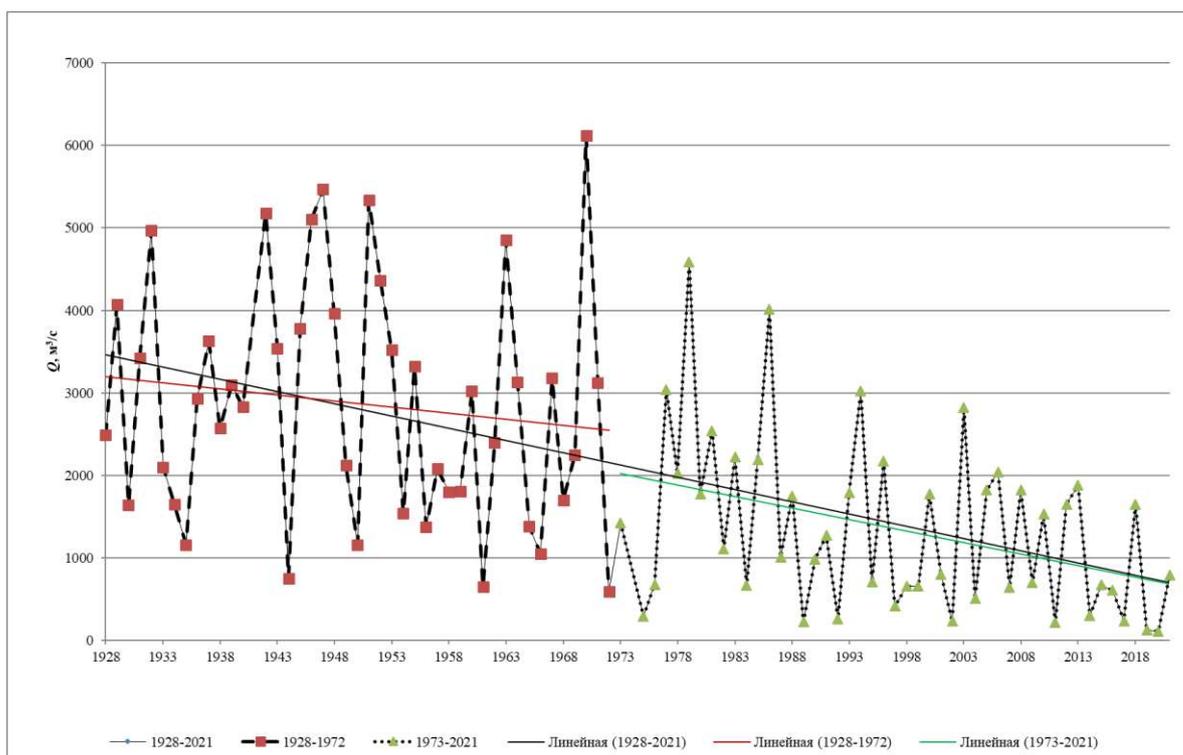


Рисунок А.1 – Хронологический график максимальных расходов воды (р. Дон – г. Задонск)

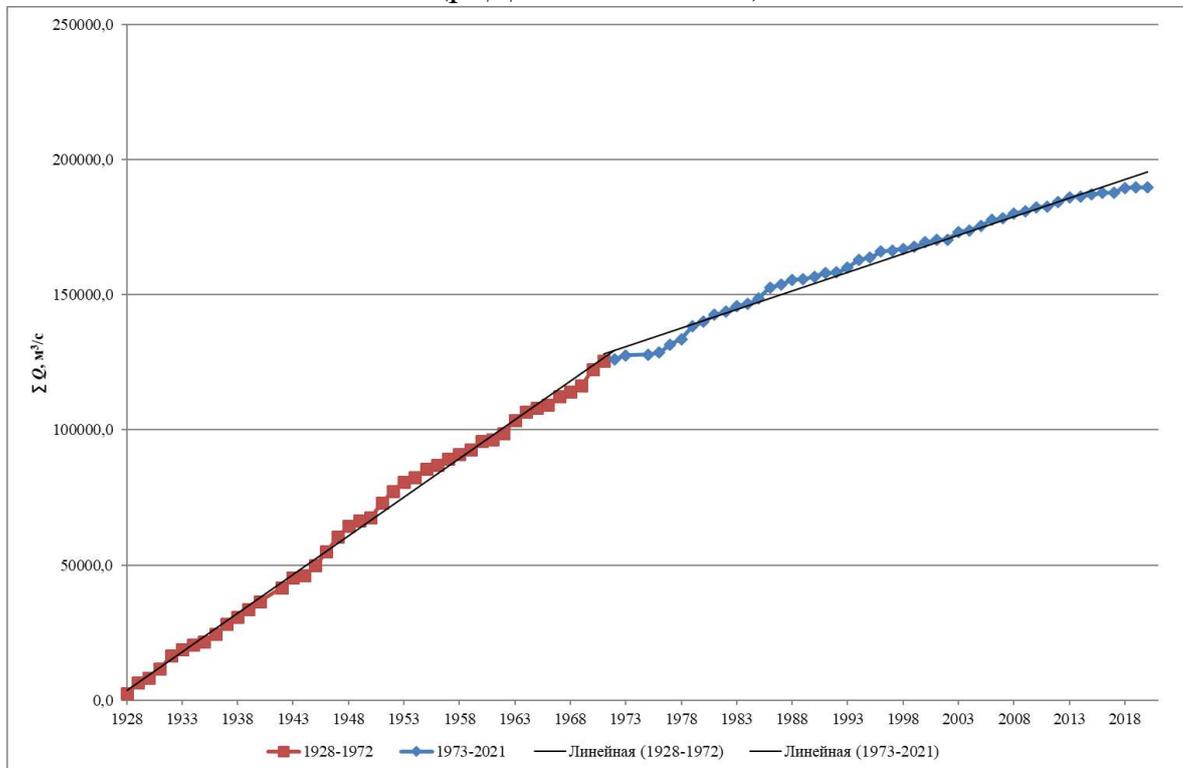


Рисунок А.2 – Интегральный график максимальных расходов воды (р. Дон – г. Задонск)

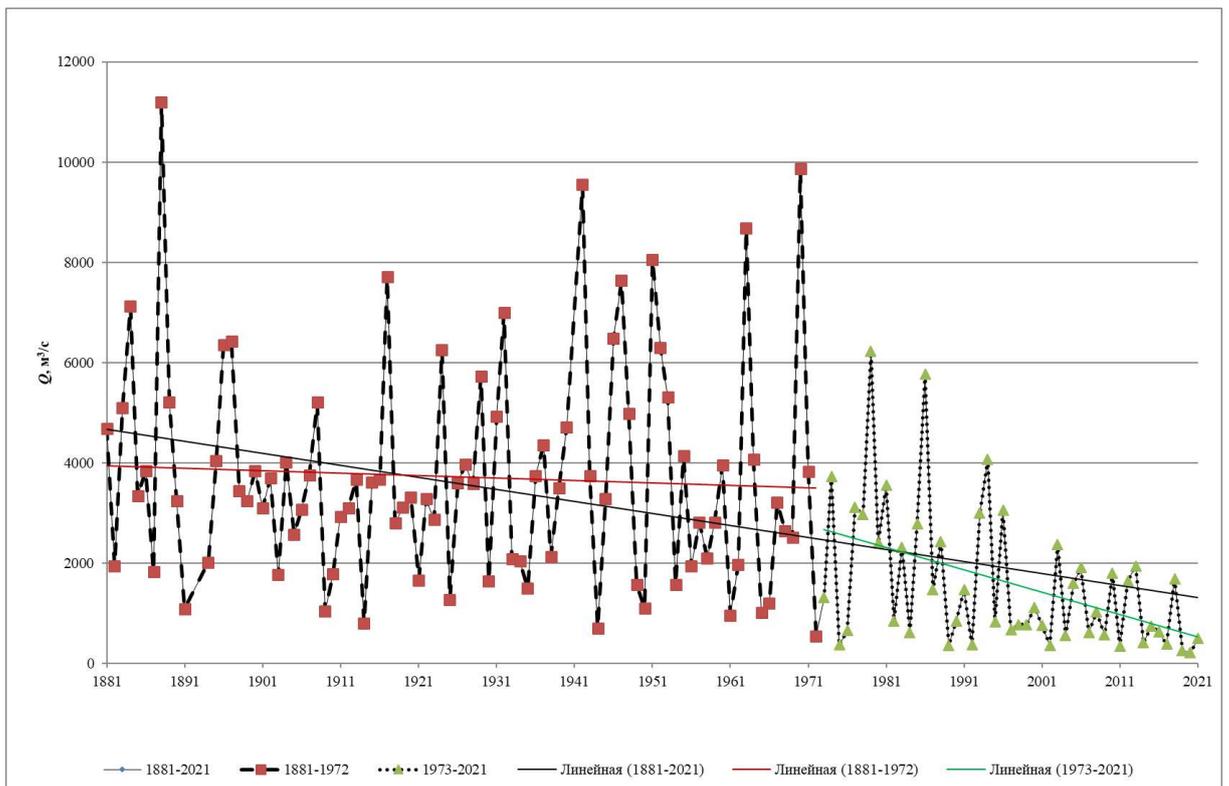


Рисунок А.3 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Дон – г. Лиски)

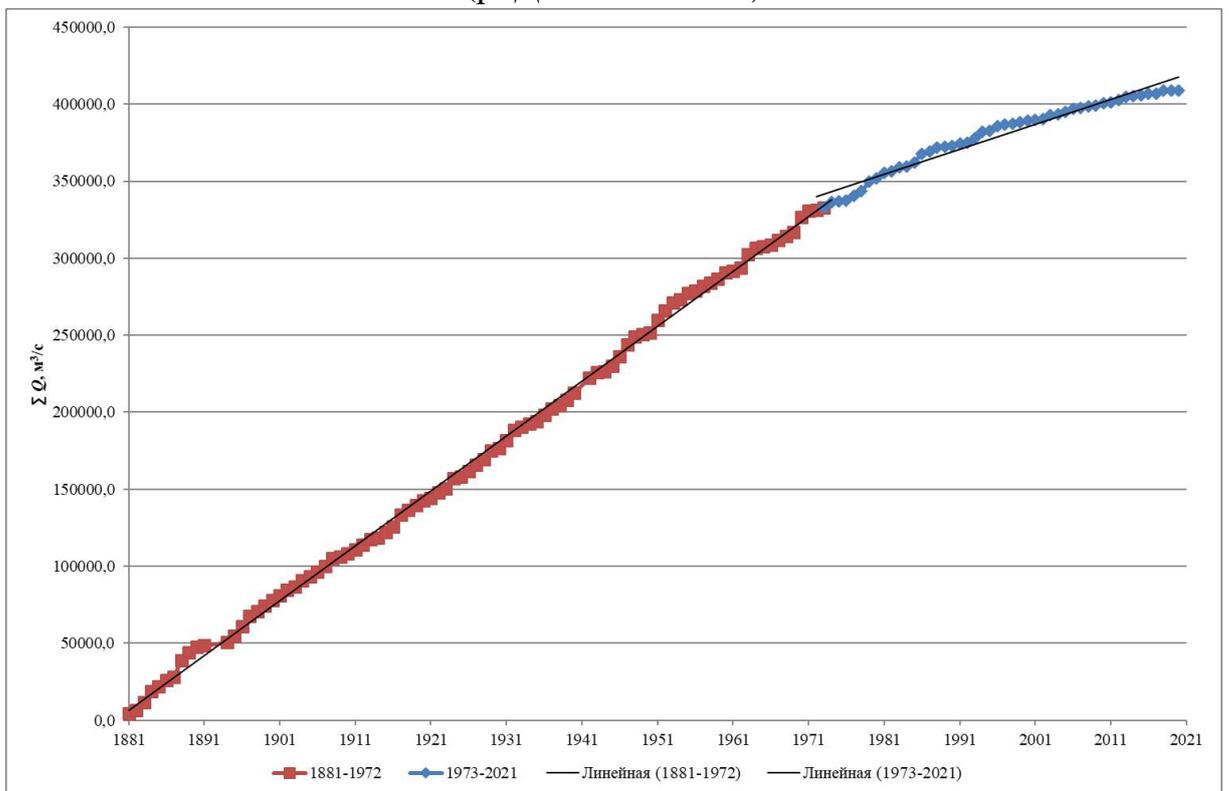


Рисунок А.4 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Дон – г. Лиски)

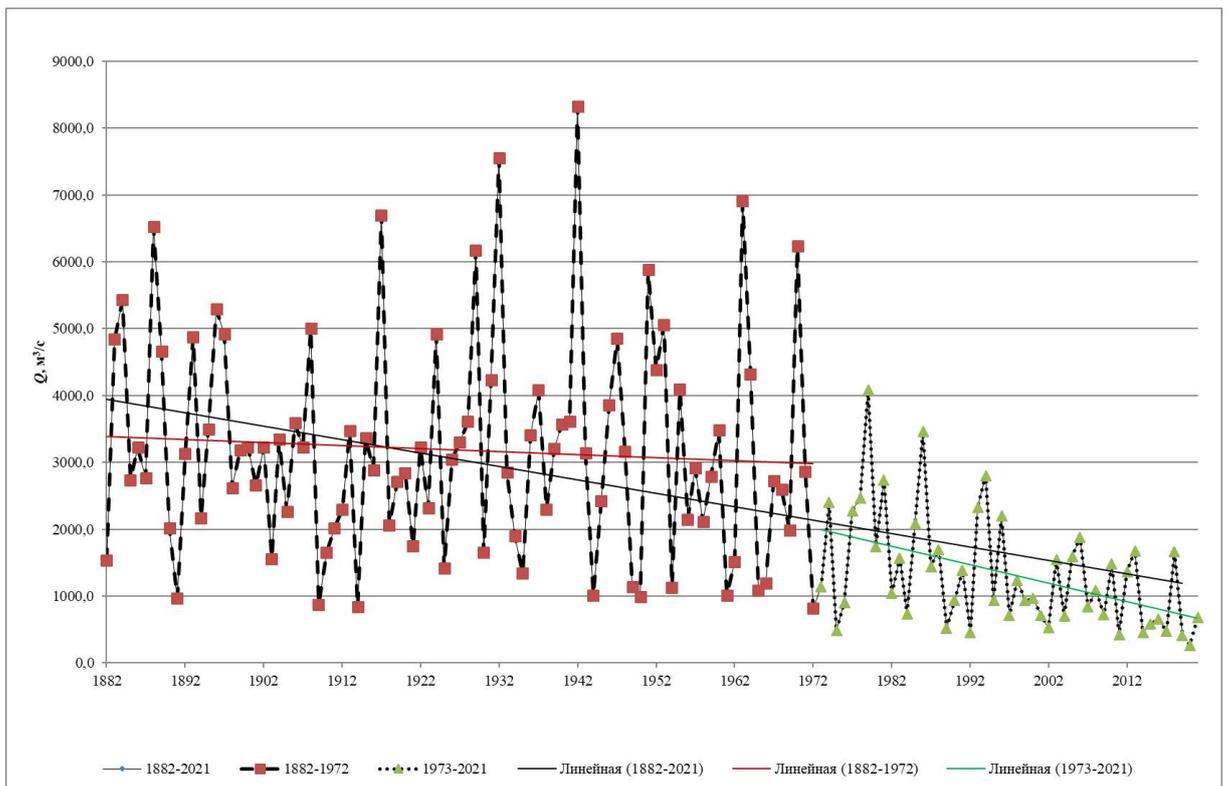


Рисунок А.5 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Дон – ст-ца Казанская)

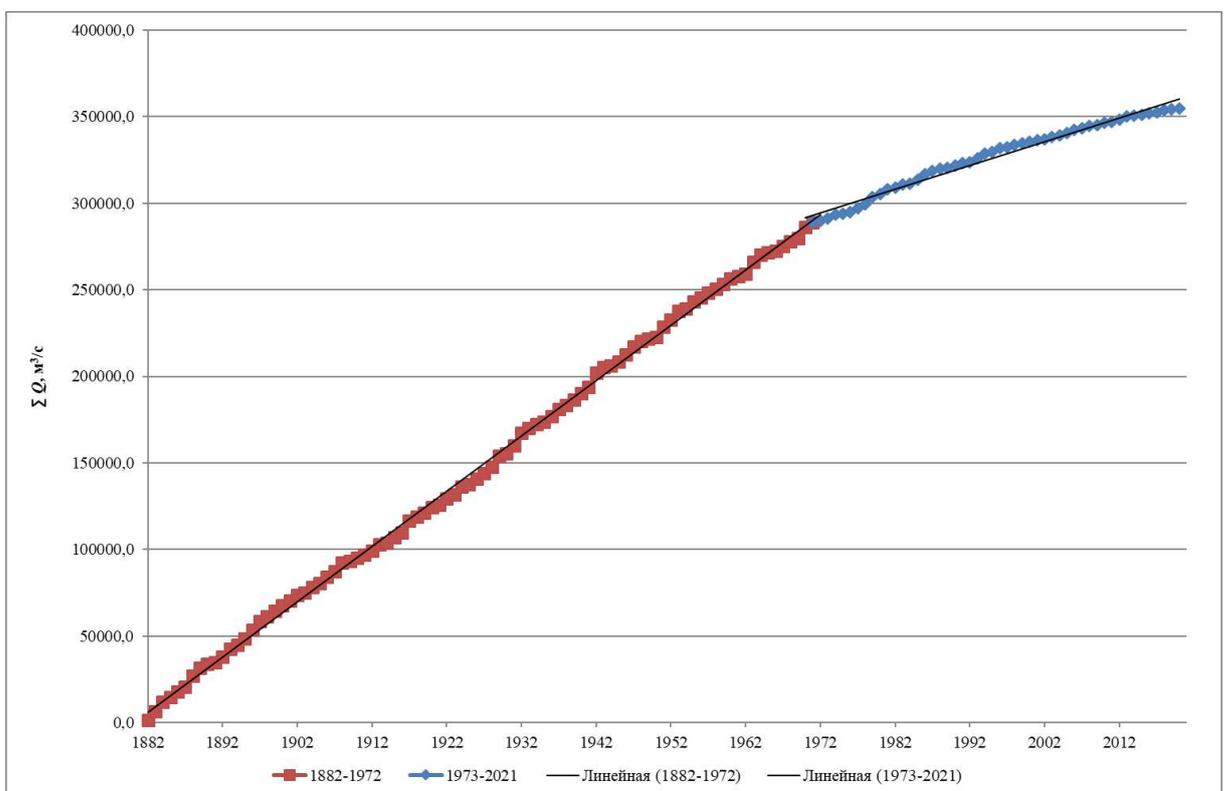


Рисунок А.6 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Дон – ст-ца Казанская)

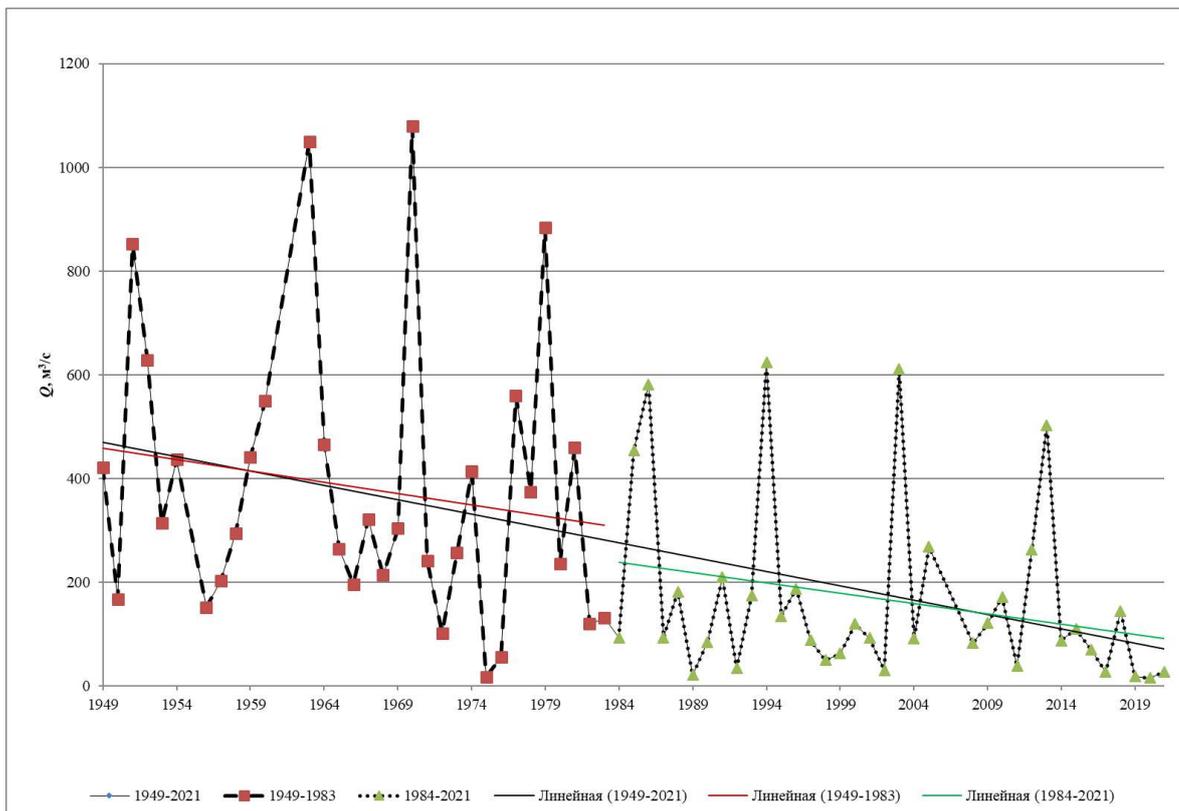


Рисунок А.7 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Красивая Меча – г. Ефремов)

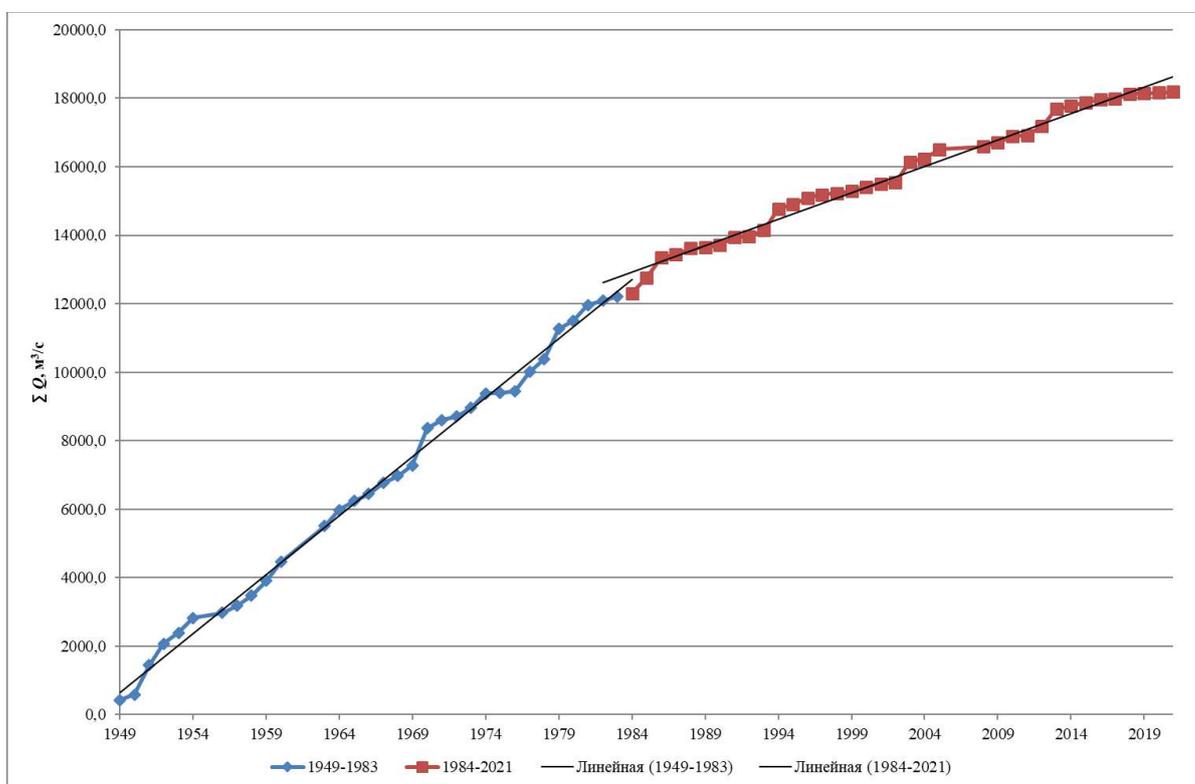


Рисунок А.8 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Красивая Меча – г. Ефремов)

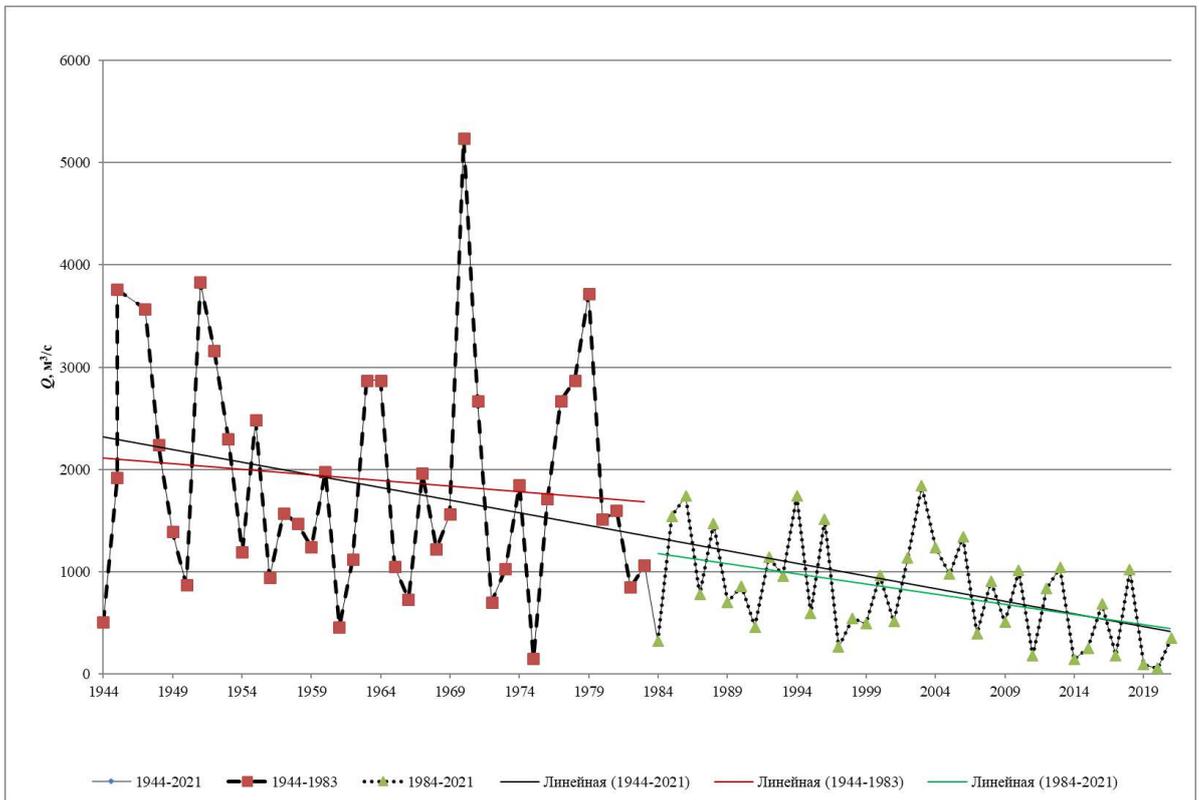


Рисунок А.9 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Сосна – г. Елец)

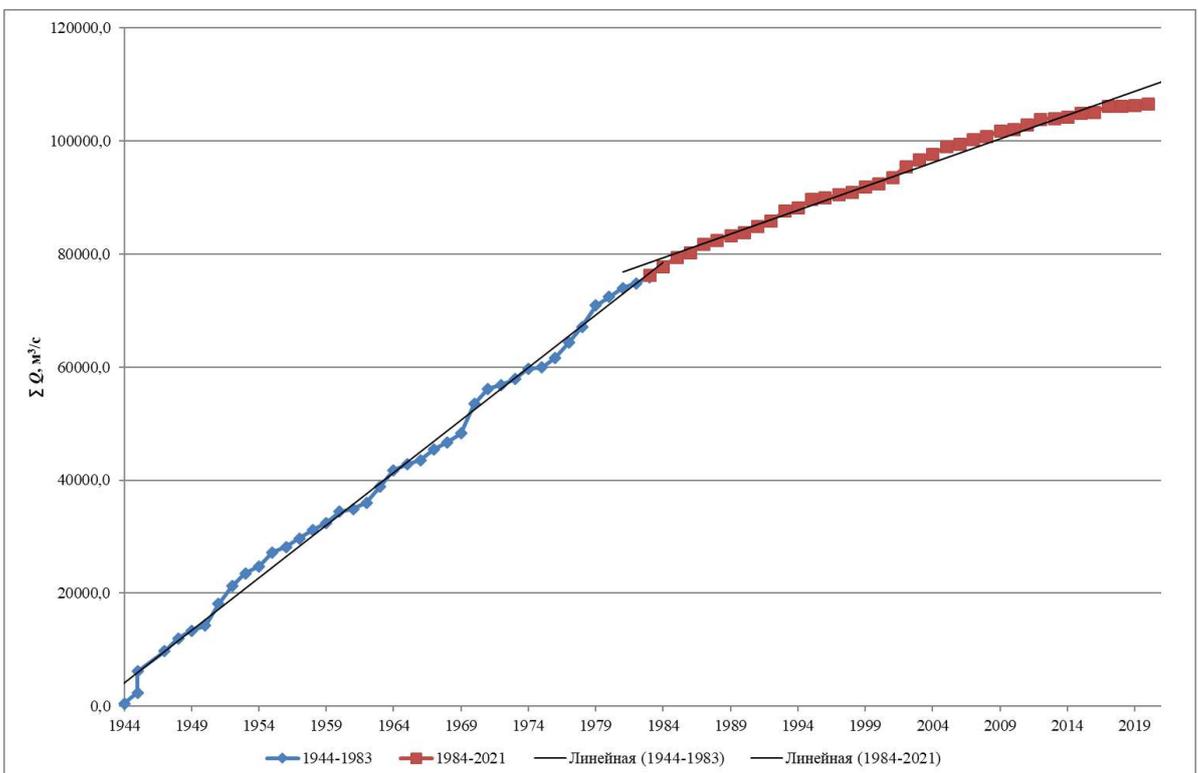


Рисунок А.10 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Сосна – г. Елец)

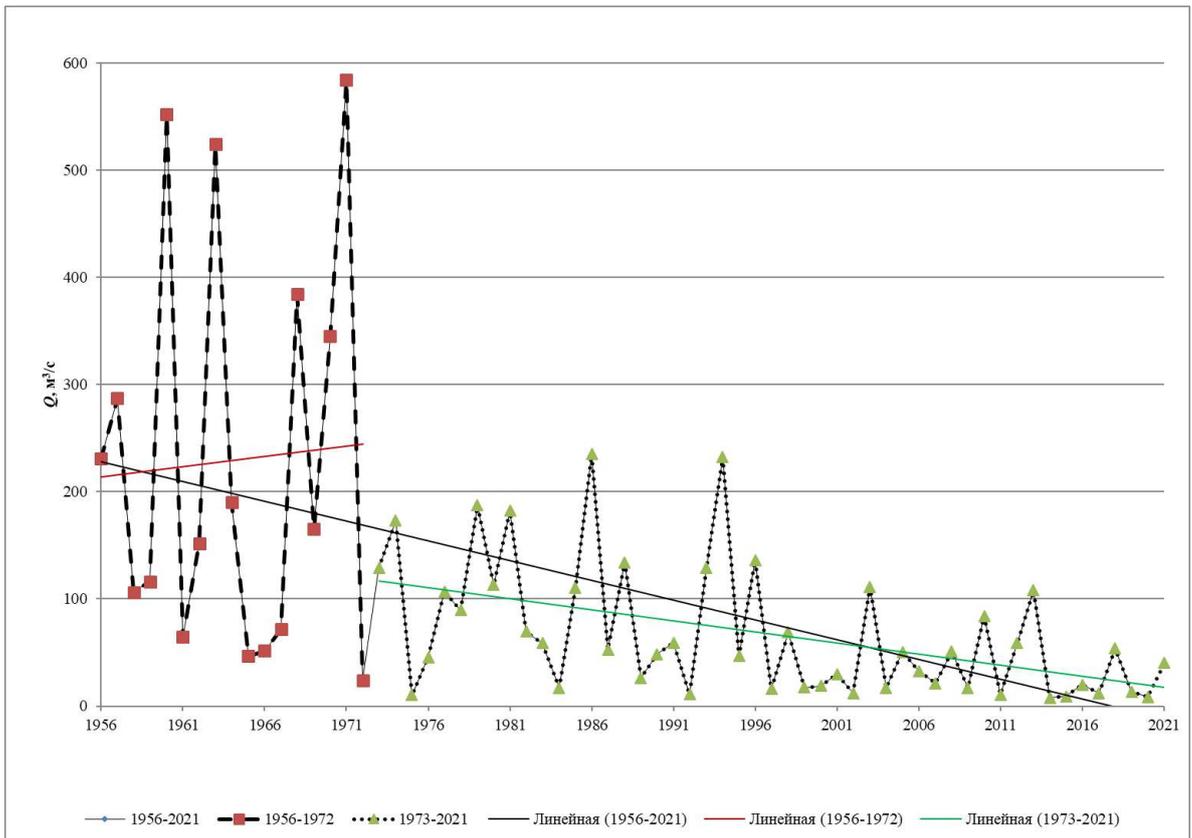


Рисунок А.11 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Девица – с. Девица)

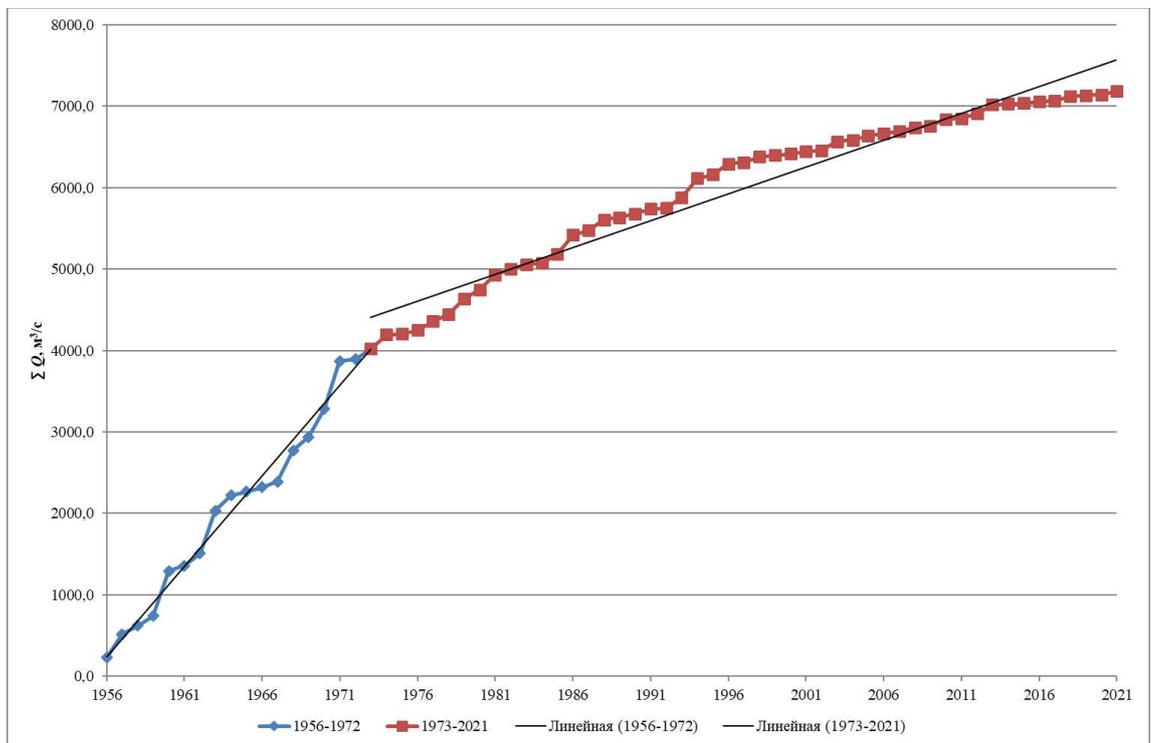


Рисунок А.12 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Девица – с. Девица)

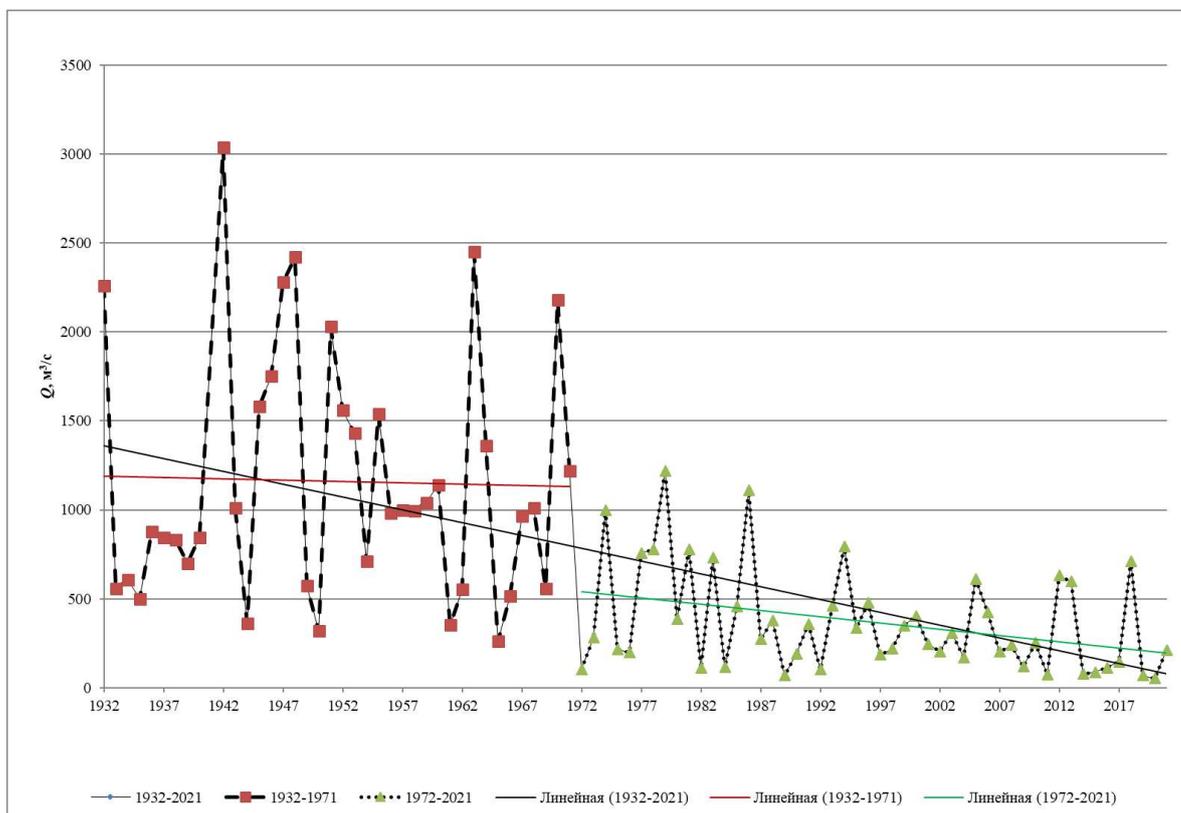


Рисунок А.13 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Воронеж – г. Липецк 2)

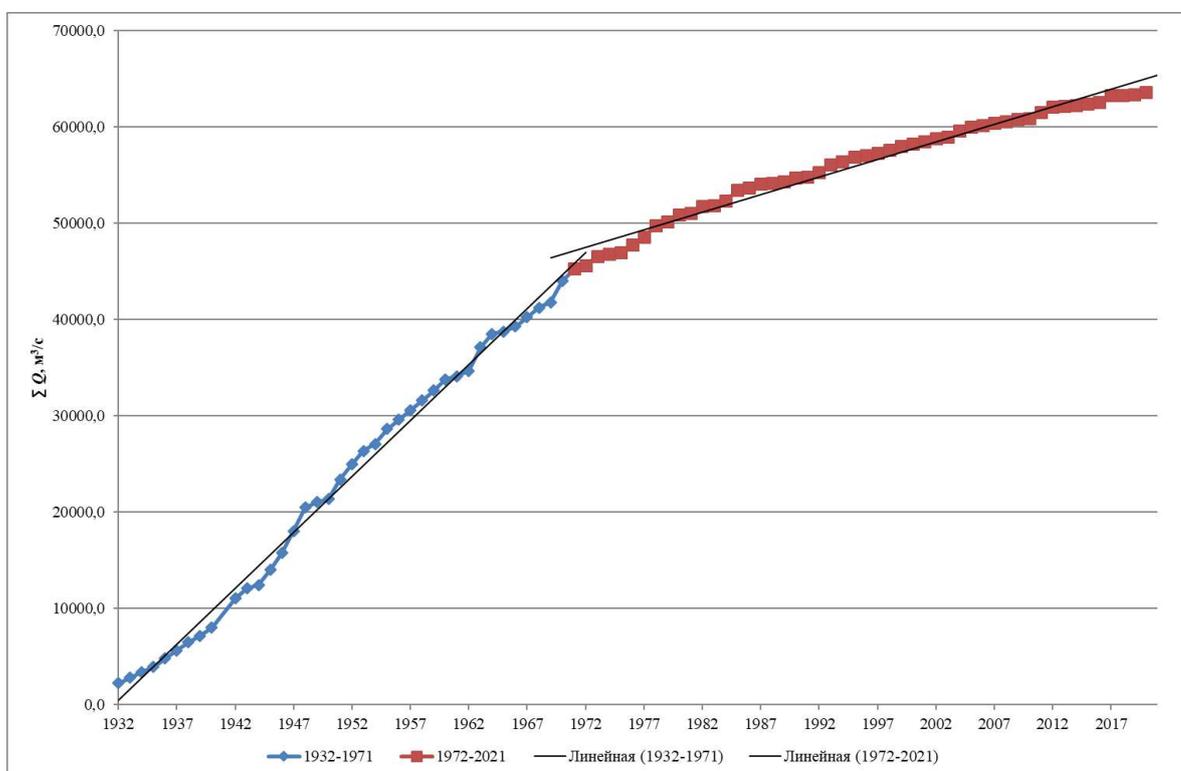


Рисунок А.14 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Воронеж – г. Липецк 2)

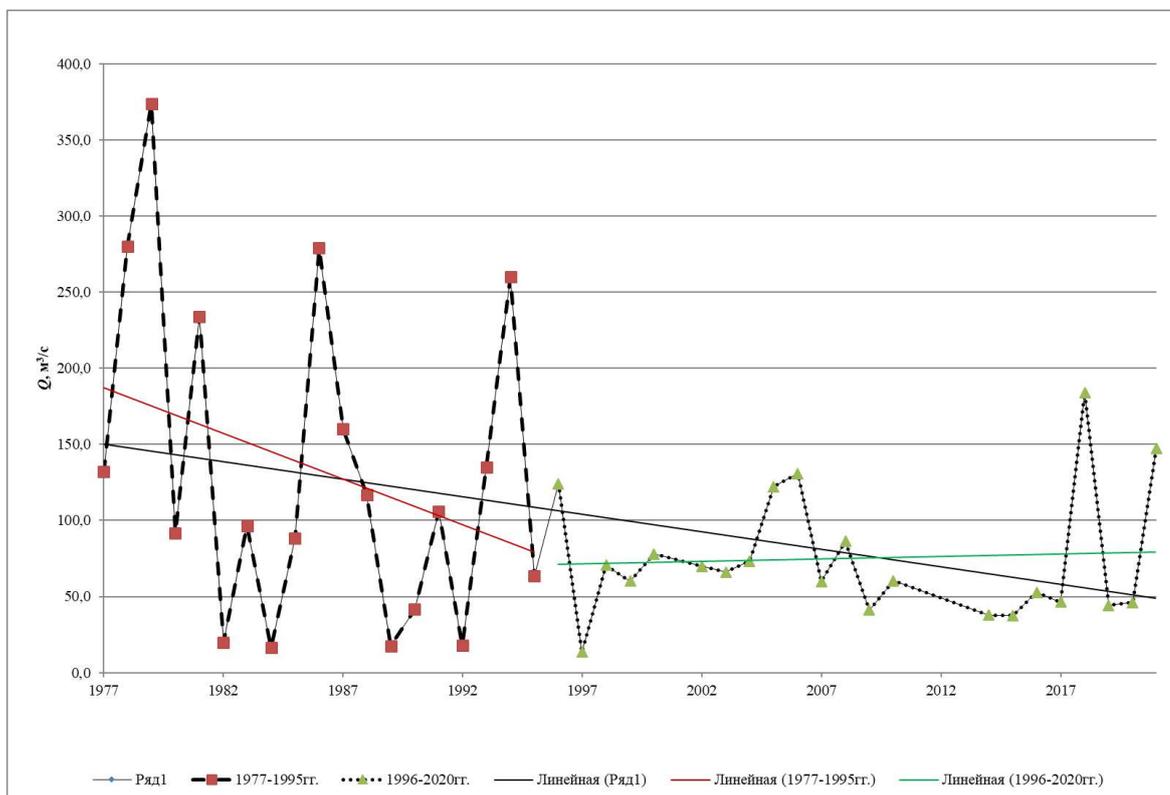


Рисунок А.15 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Усмань – д. Боровое)

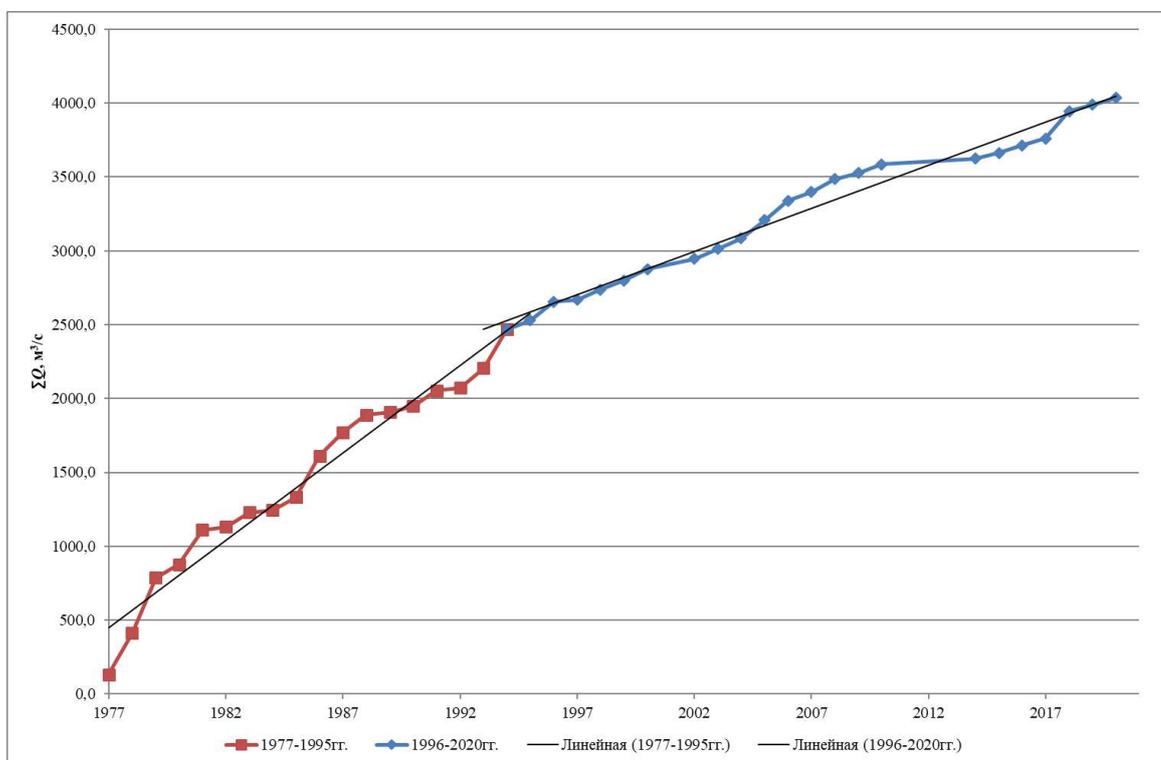


Рисунок А.16 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Усмань – д. Боровое)

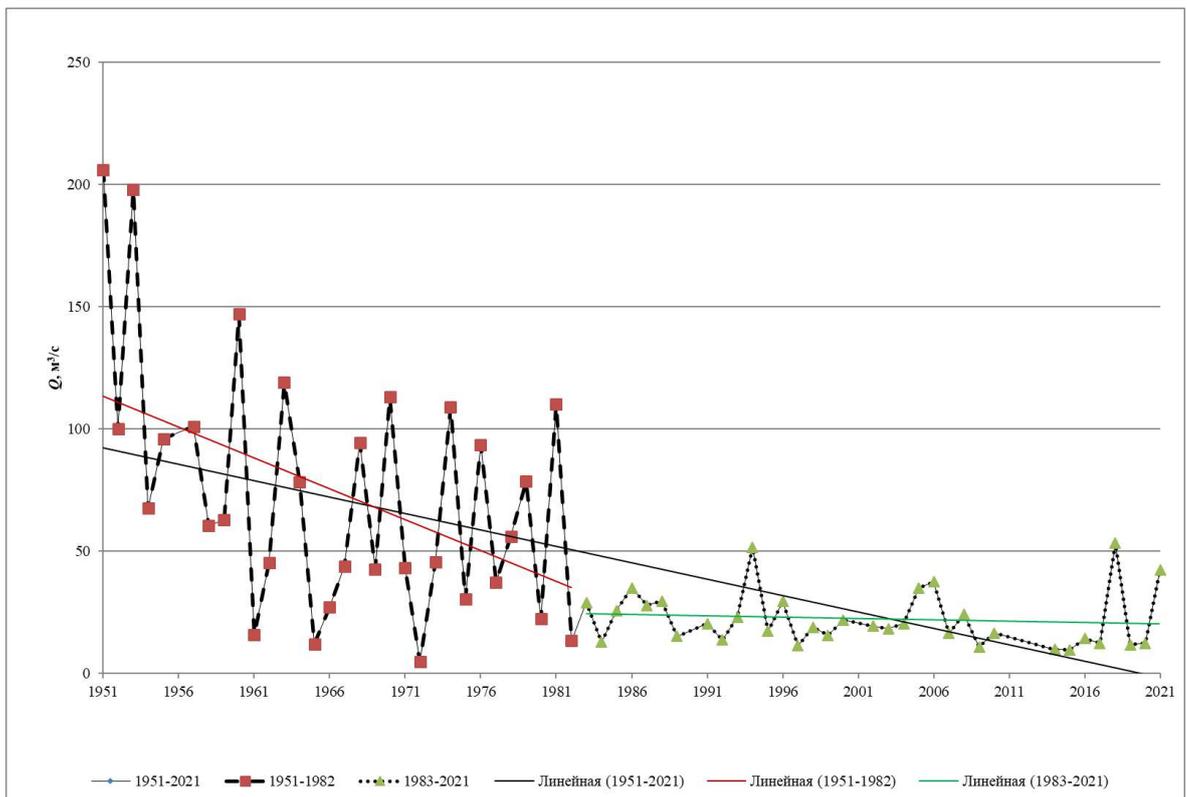


Рисунок А.17 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Хава – с. Ильиновка)

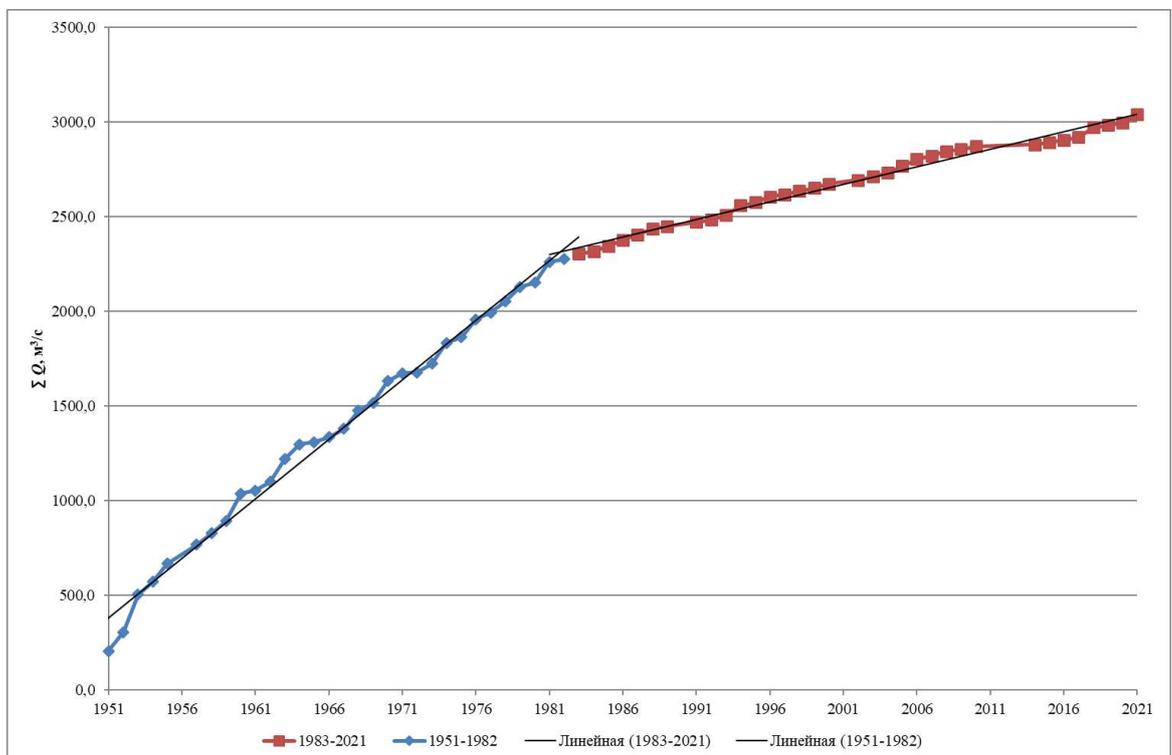


Рисунок А.18 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Хава – с. Ильиновка)

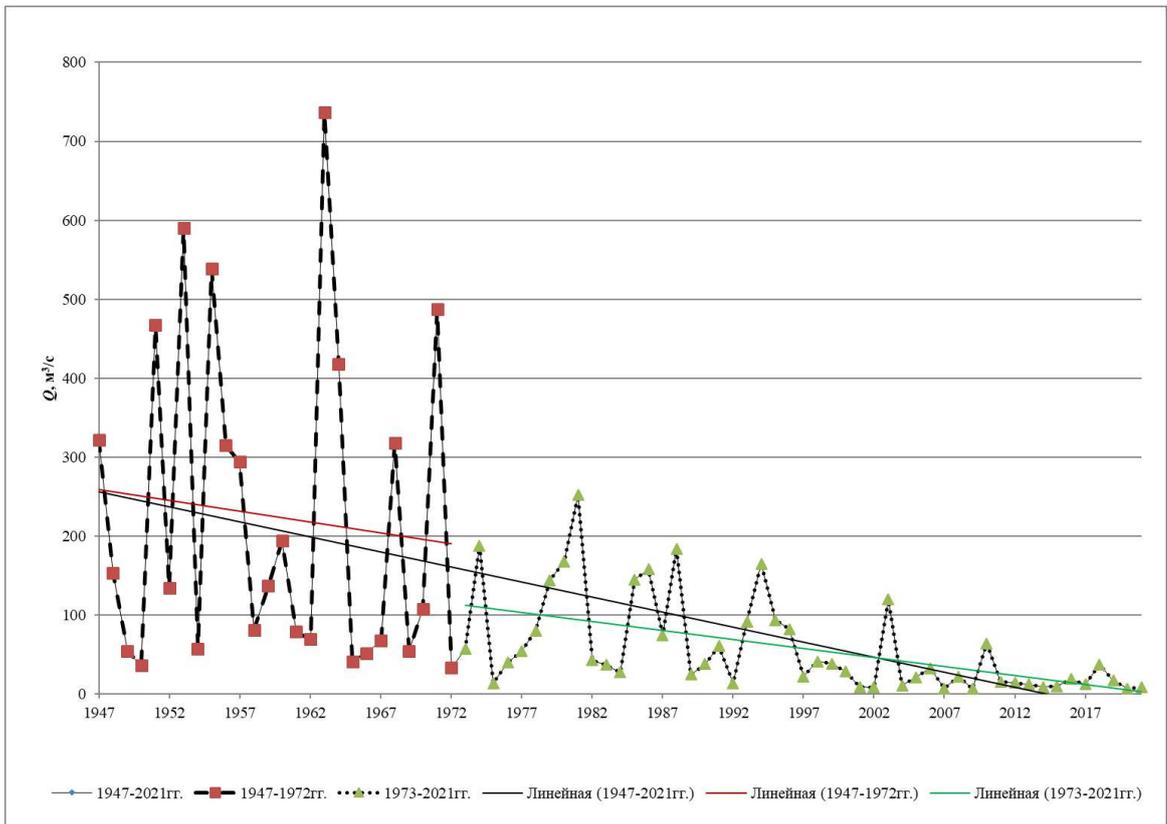


Рисунок А.19 – Хронологический график максимальных расходов воды (р. Тихая Сосна – г. Алексеевка)

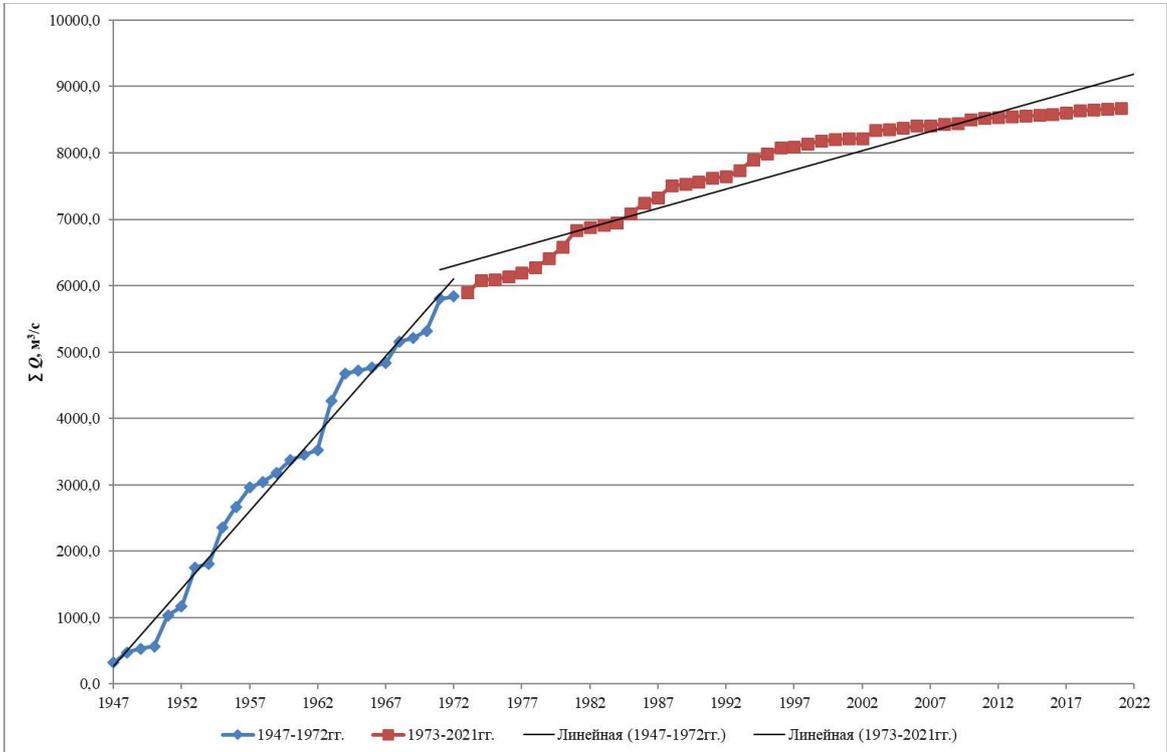


Рисунок А.20 – Интегральный график максимальных расходов воды (р. Тихая Сосна – г. Алексеевка)

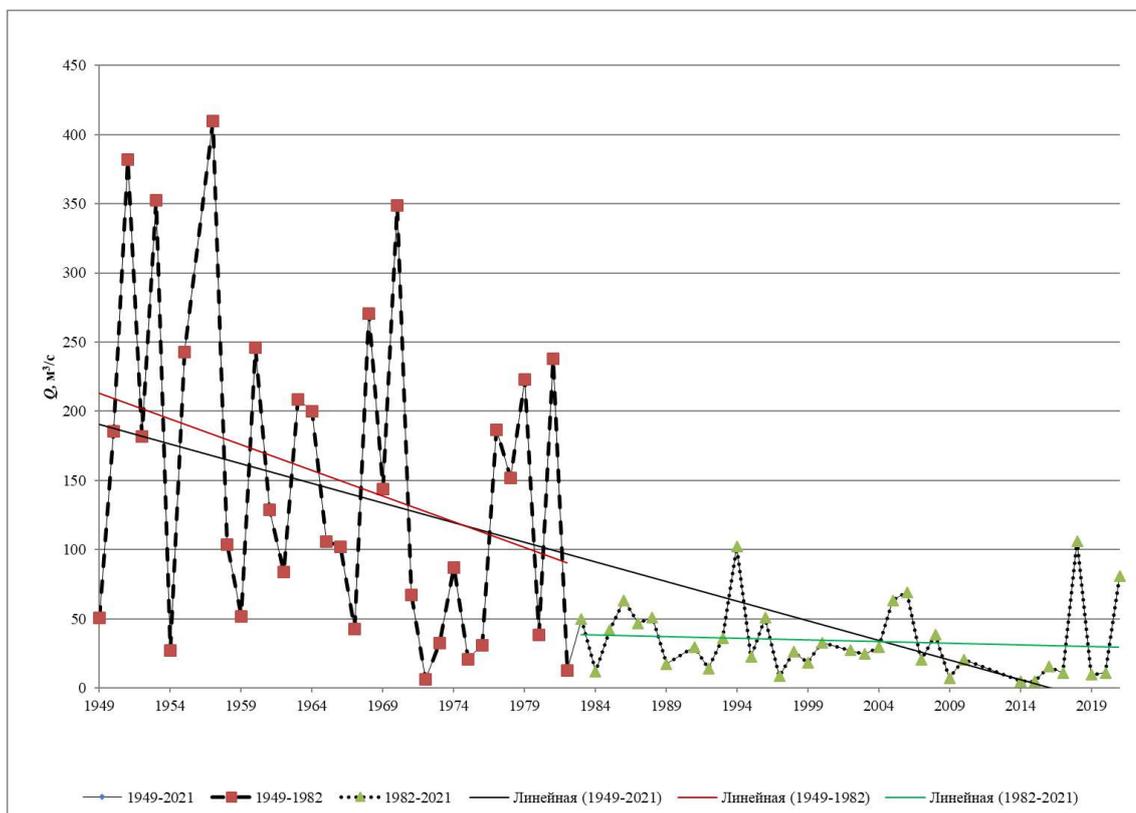


Рисунок А.21 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Битюг – пгт. Мордово)

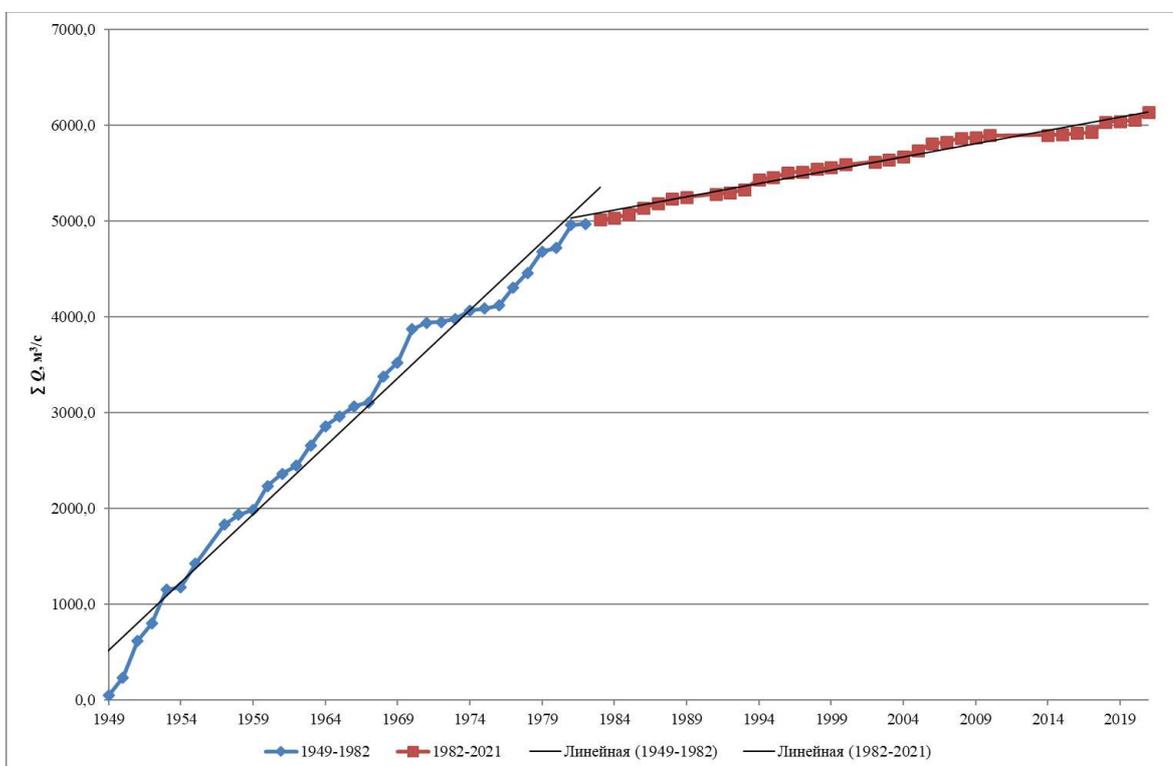


Рисунок А.22 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Битюг – пгт. Мордово)

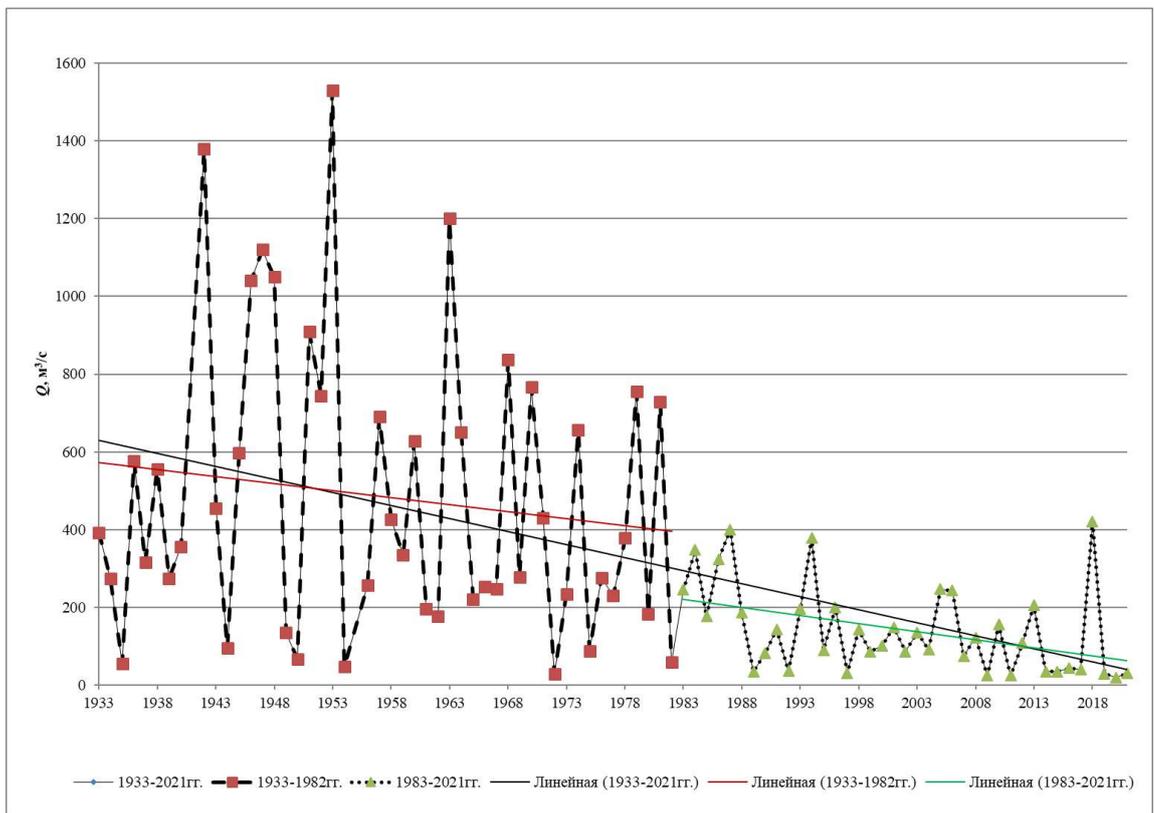


Рисунок А.23 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Битюг – г. Бобров)

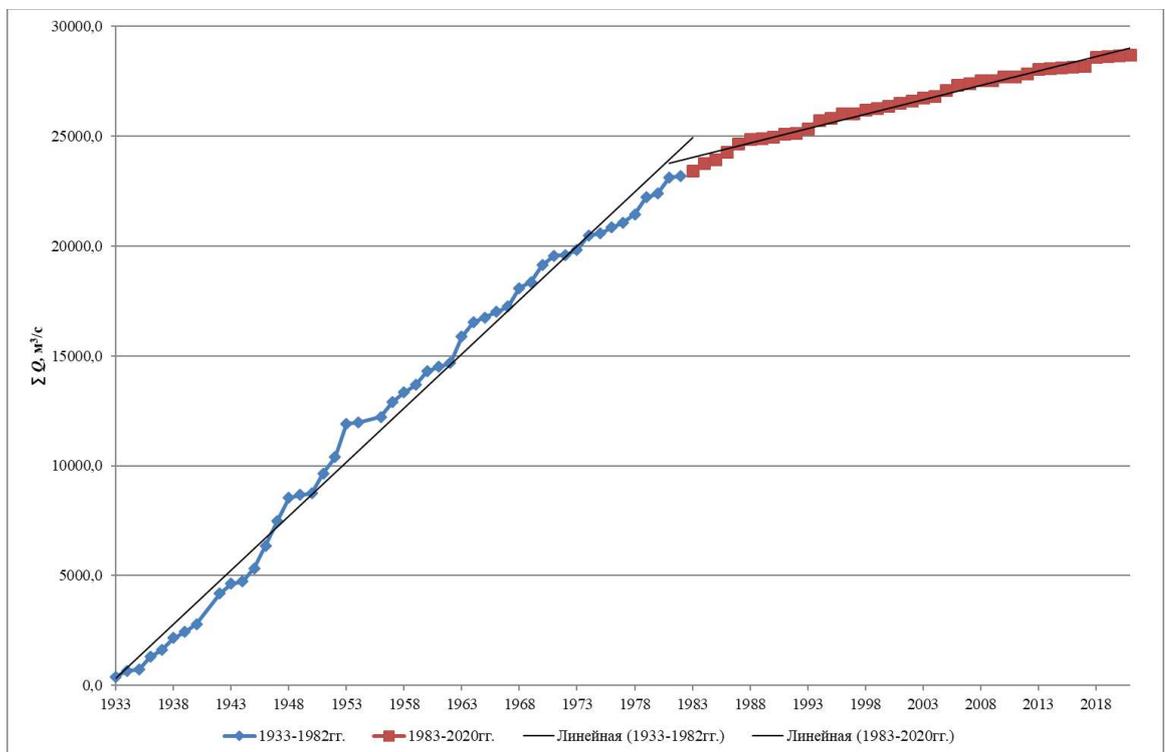


Рисунок А.24 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Битюг – г. Бобров)

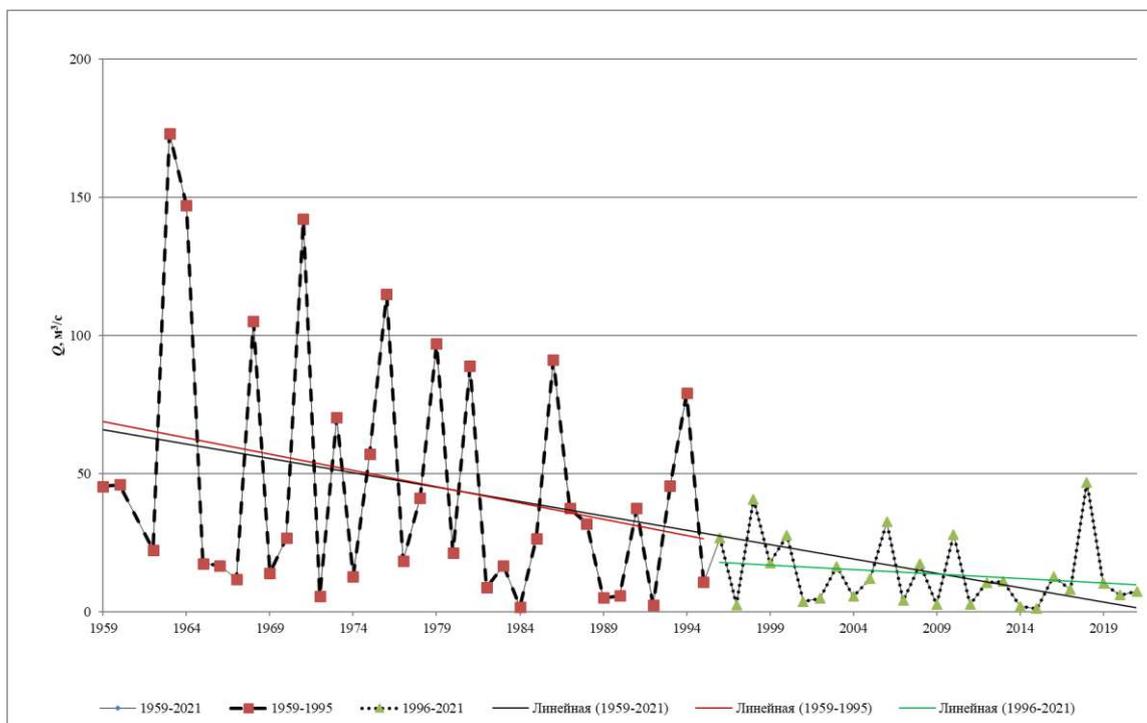


Рисунок А.25 – Хронологический график максимальных расходов воды (р. Чигла – пос. Первомайский)

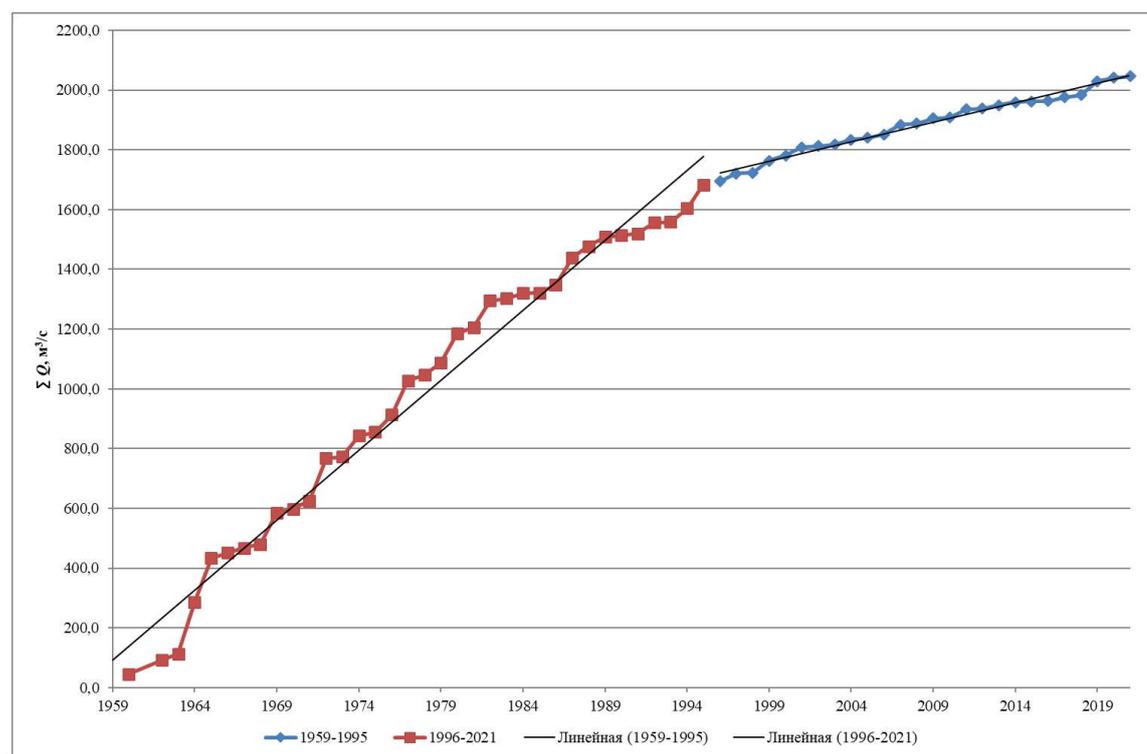


Рисунок А.26 – Интегральный график максимальных расходов воды (р. Чигла – пос. Первомайский)

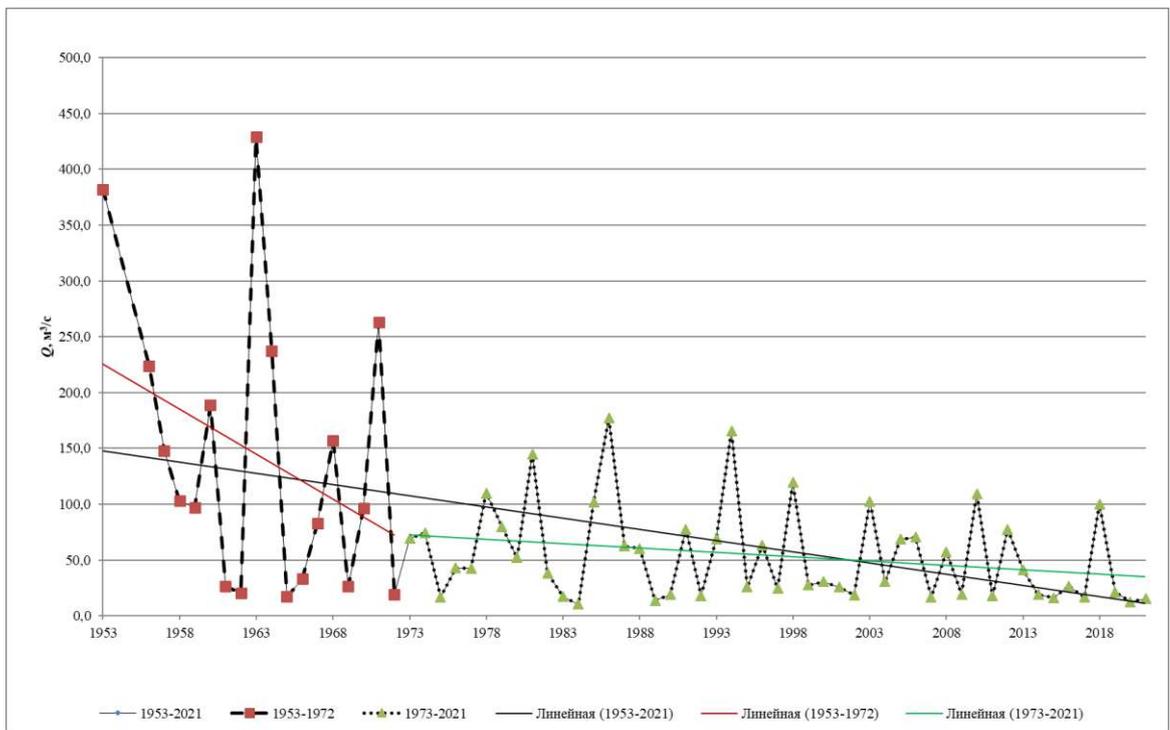


Рисунок А.27 – Хронологический график максимальных расходов воды (р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка)

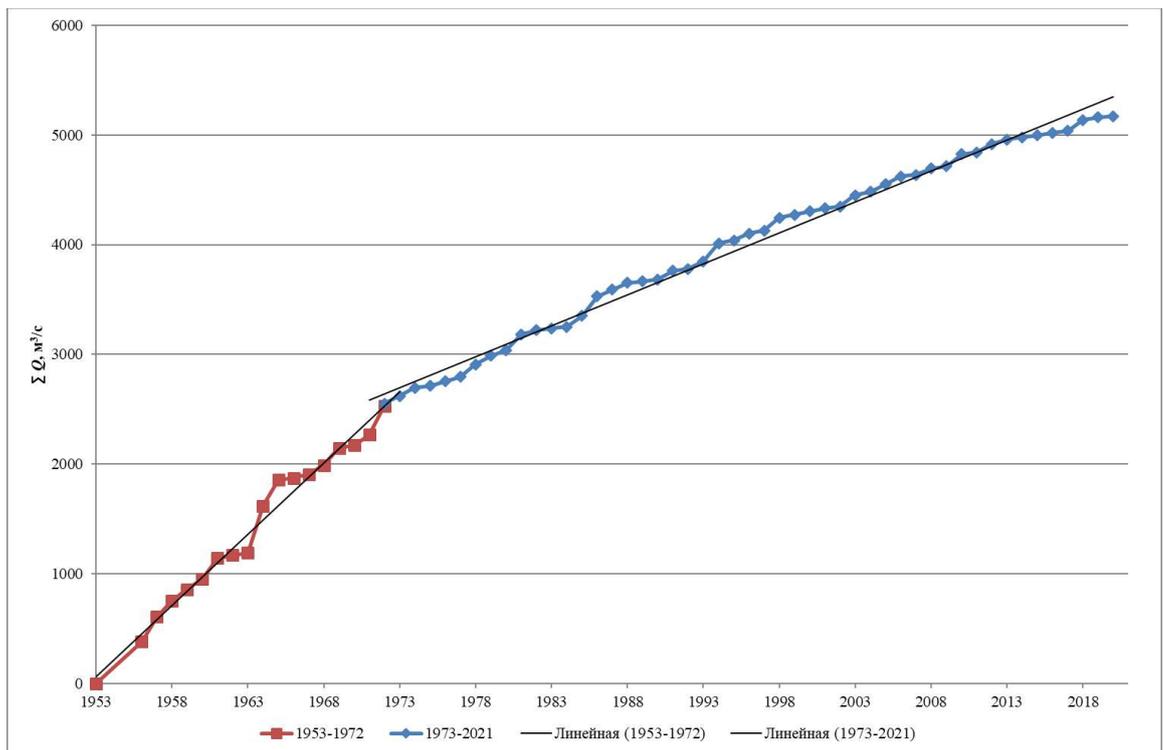


Рисунок А.28 – Интегральный график максимальных расходов воды (р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка)

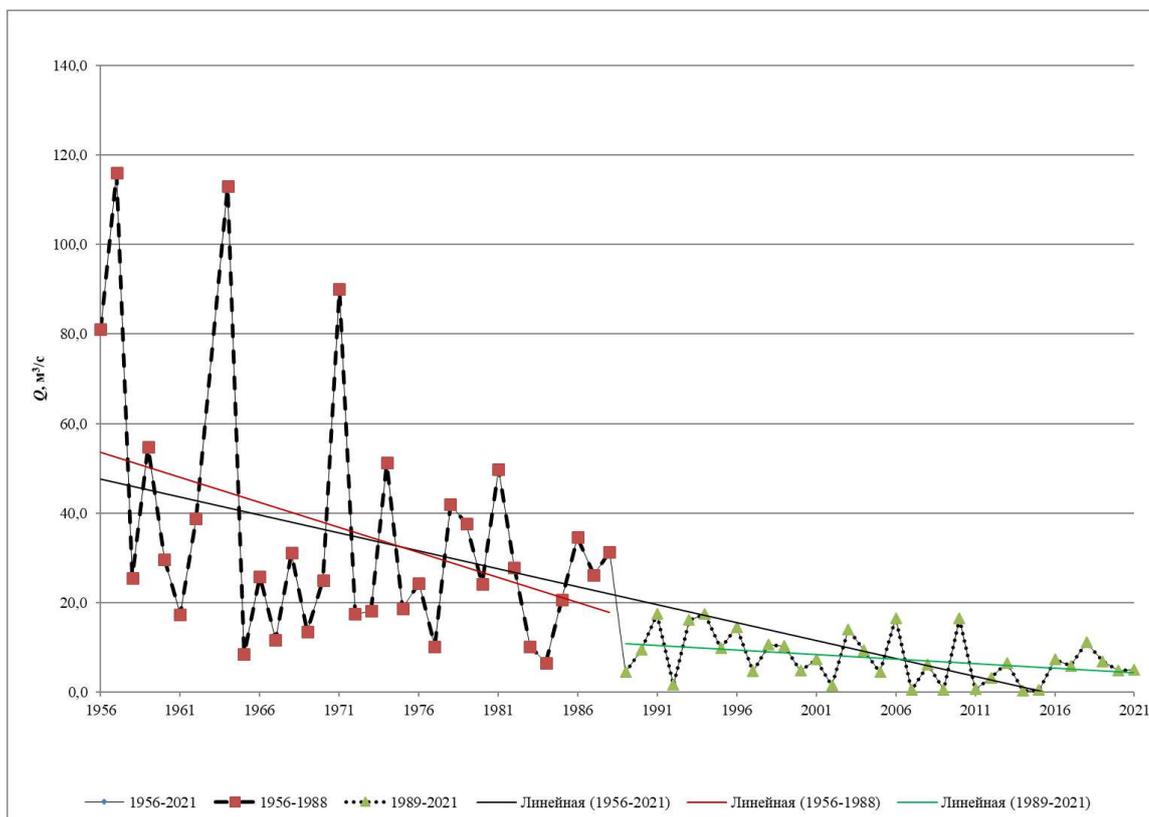


Рисунок А.29 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Россошь – пгт. Подгоренский)

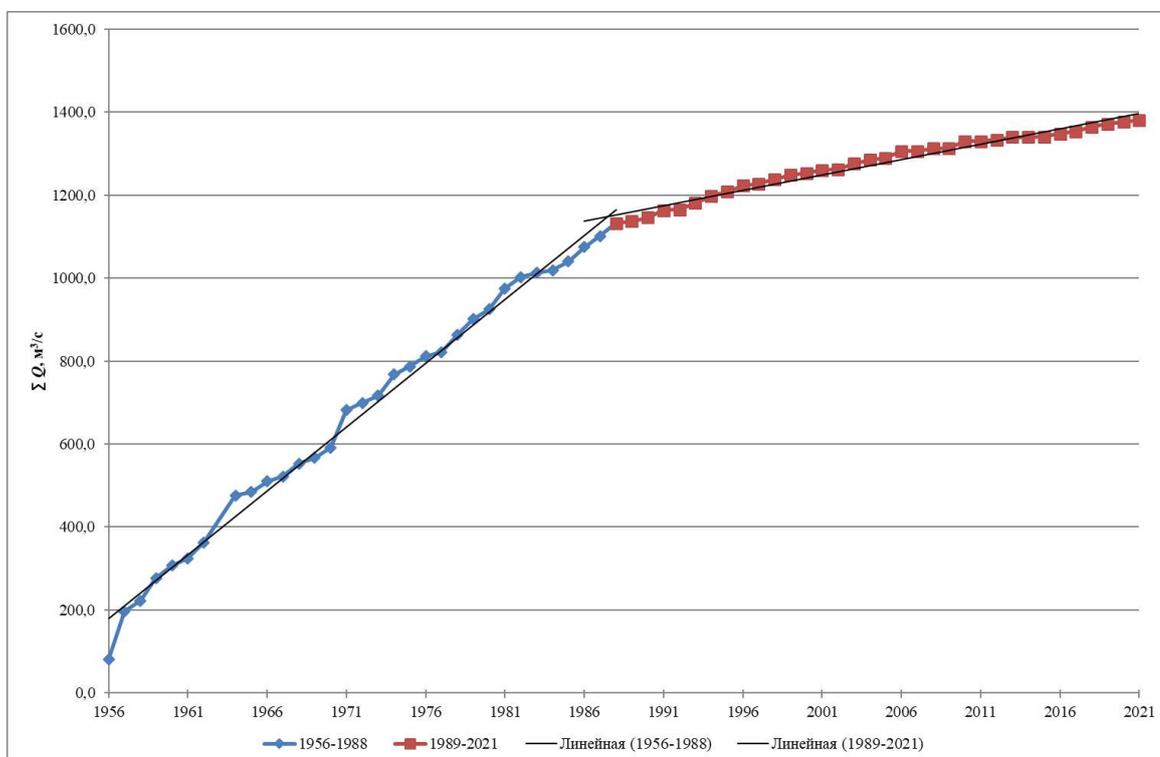


Рисунок А.30 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Россошь – пгт. Подгоренский)

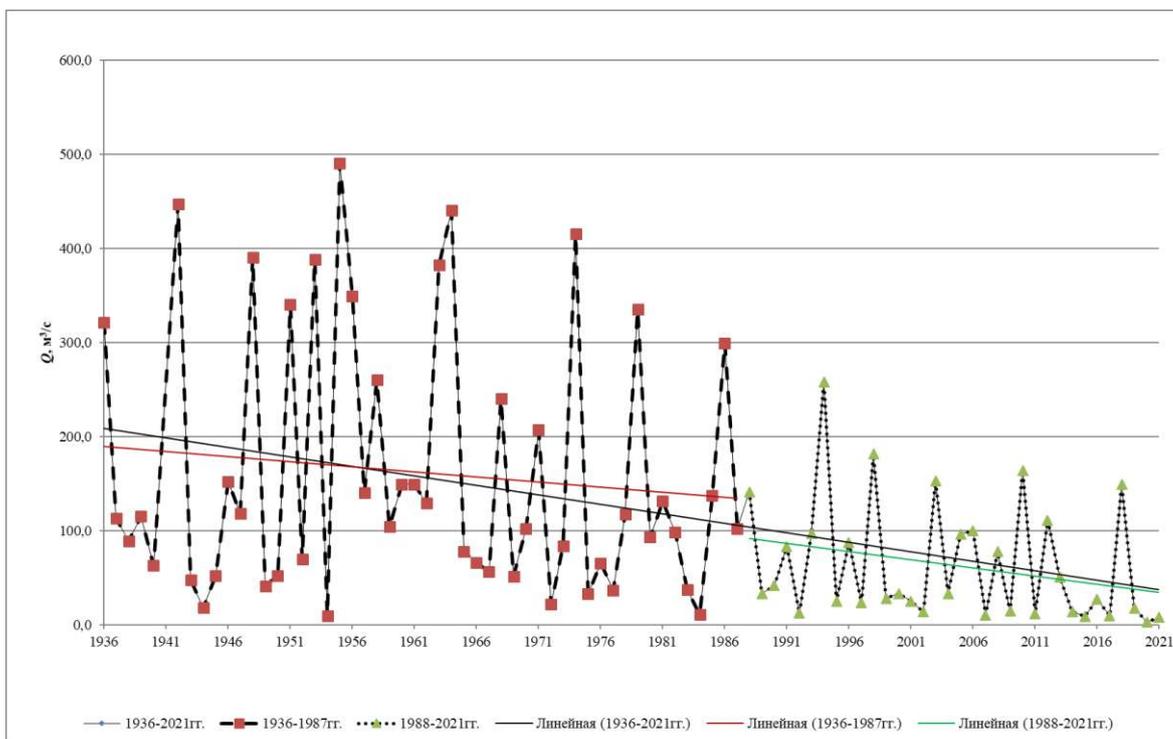


Рисунок А.31 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Подгорная – г. Калач)

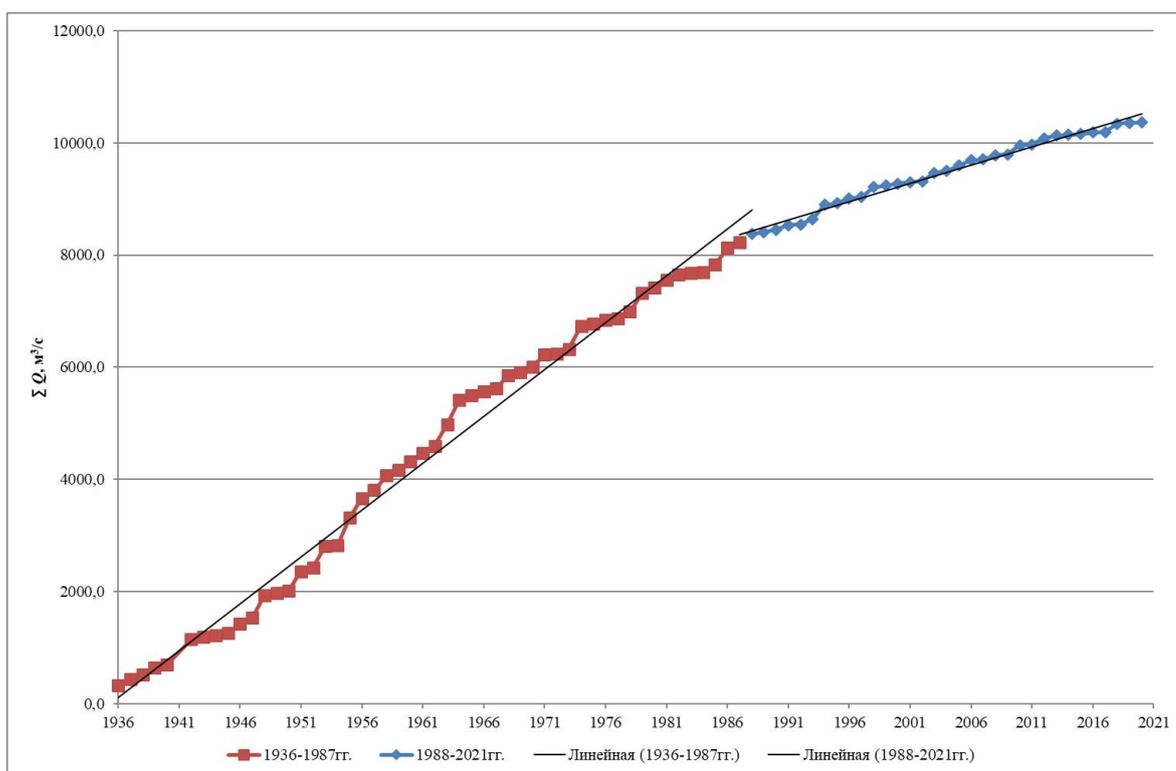


Рисунок А.32 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Подгорная – г. Калач)

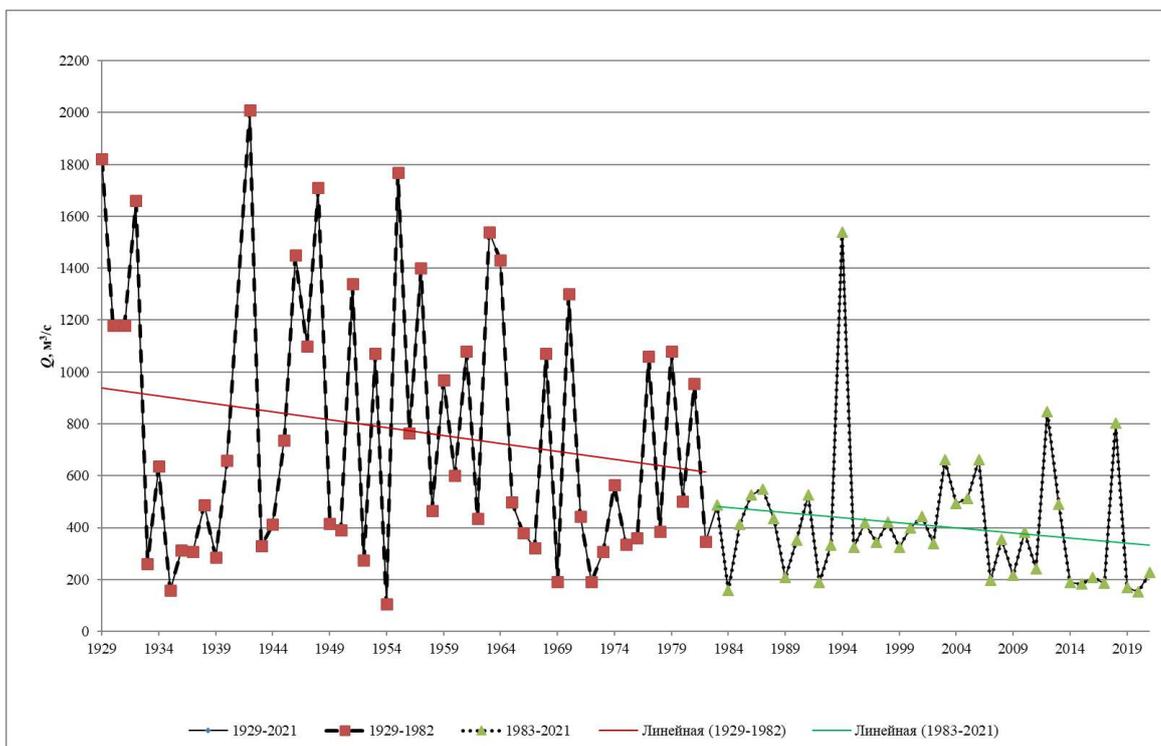


Рисунок А.33 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Хопер – г. Поворино)

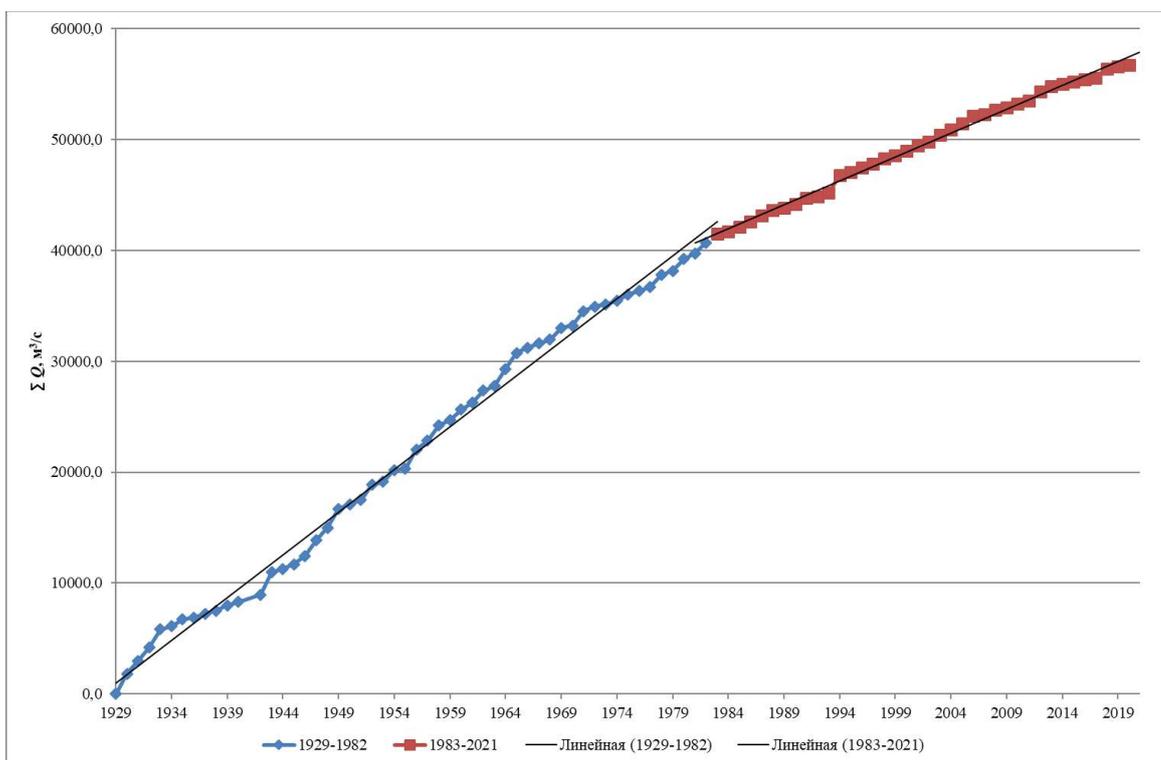


Рисунок А.34 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Хопер – г. Поворино)

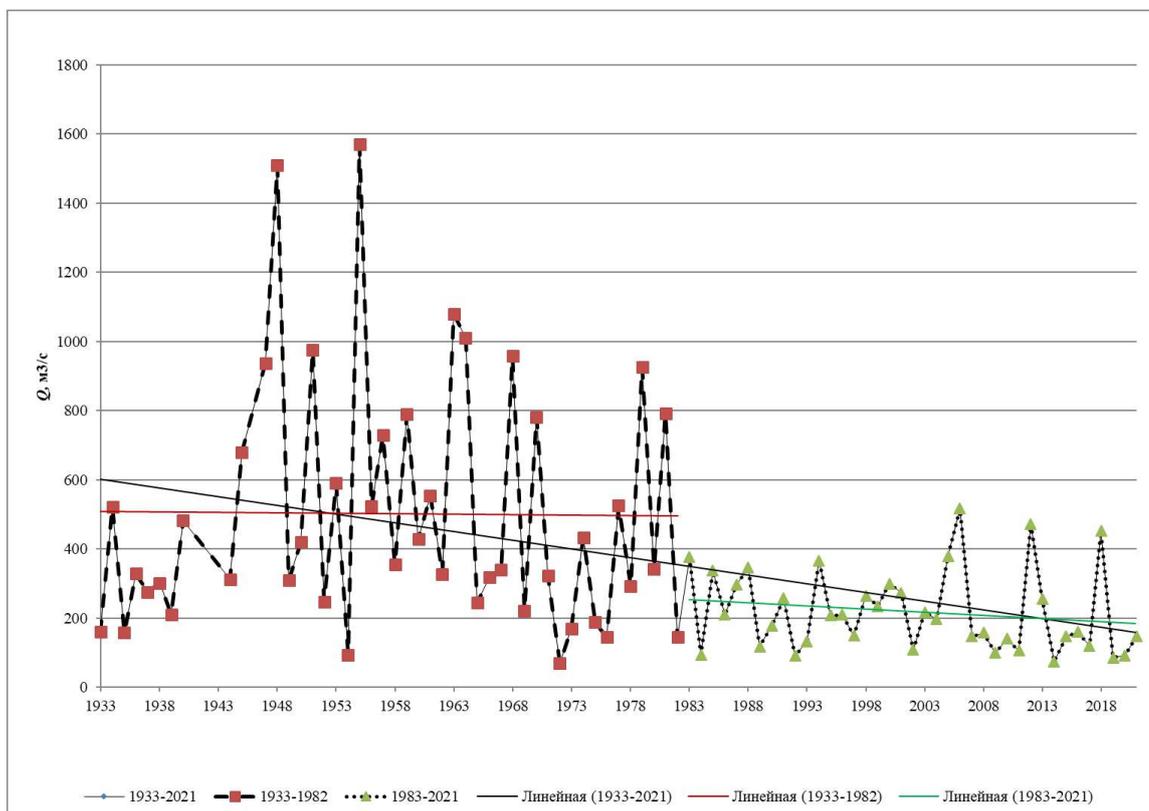


Рисунок А.35 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Ворона – г. Борисоглебск)

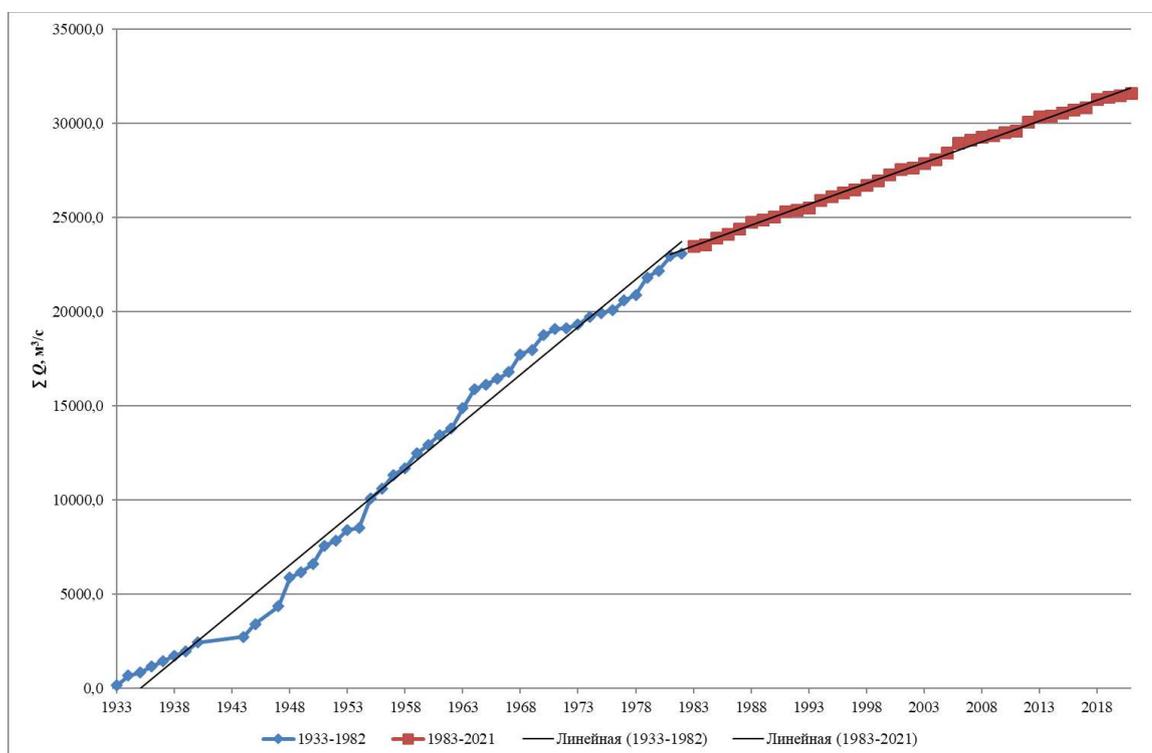


Рисунок А.36 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Ворона – г. Борисоглебск)

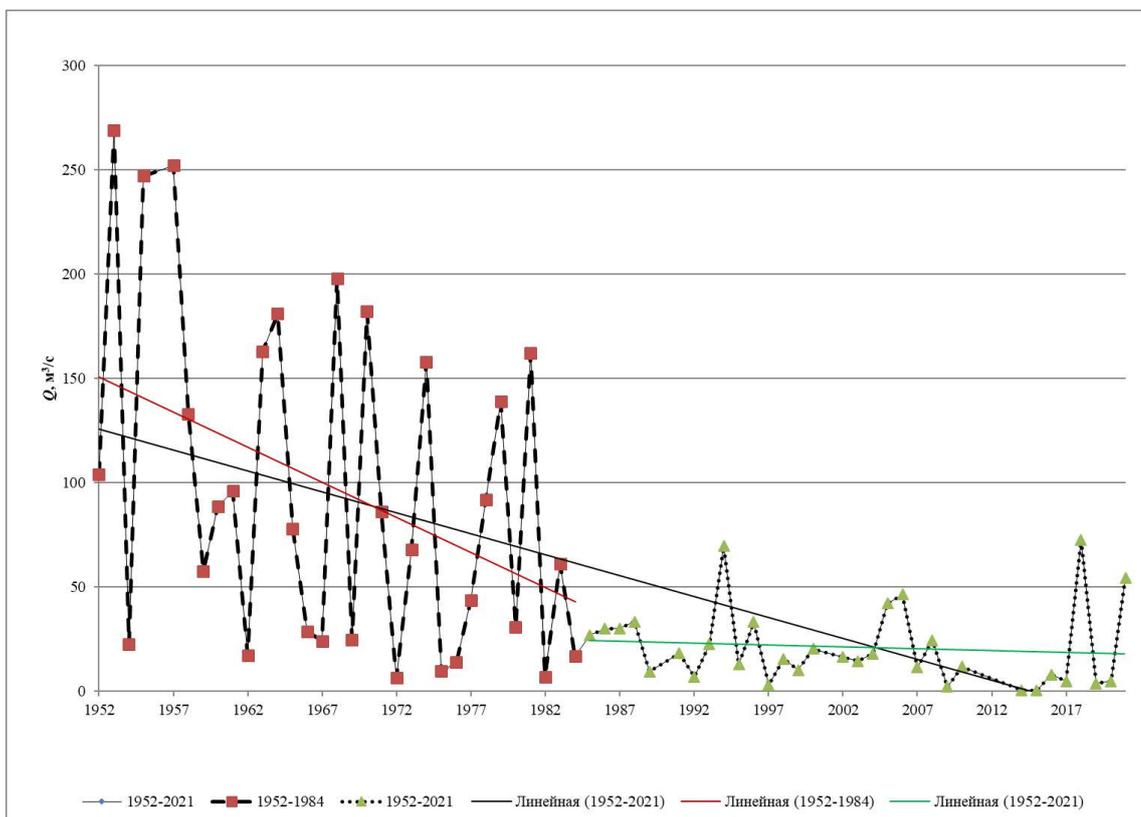


Рисунок А.37 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Карачан – с. Алешки)

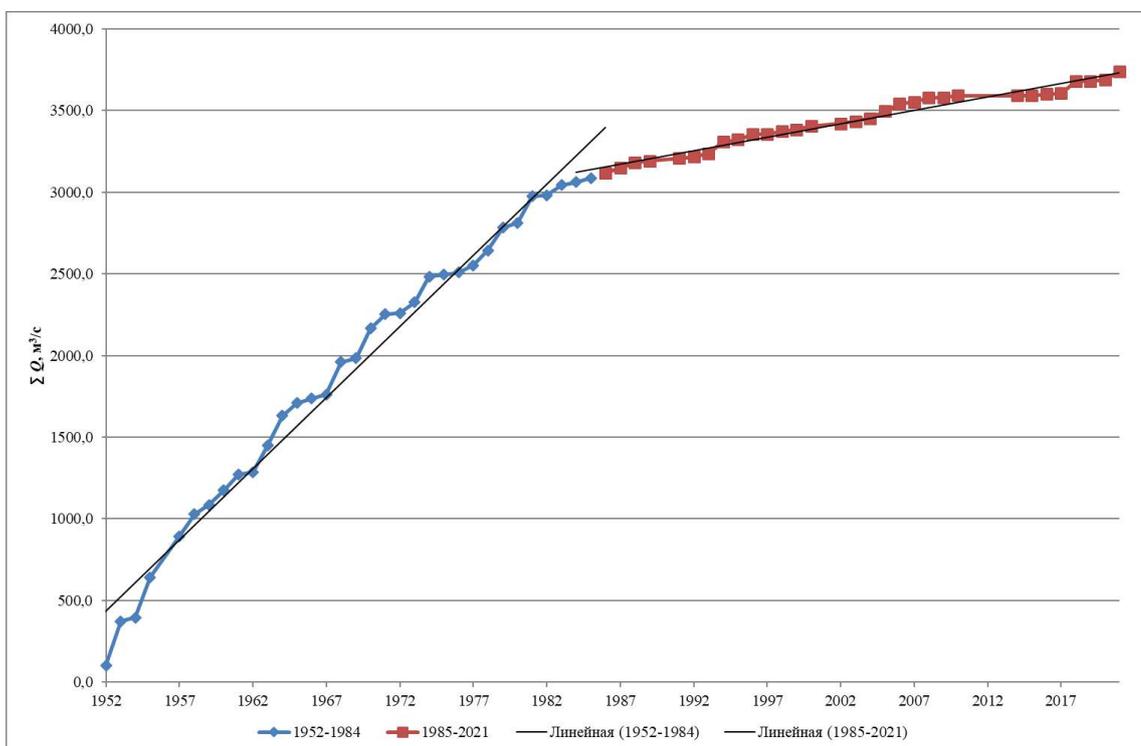


Рисунок А.38 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Карачан – с. Алешки)

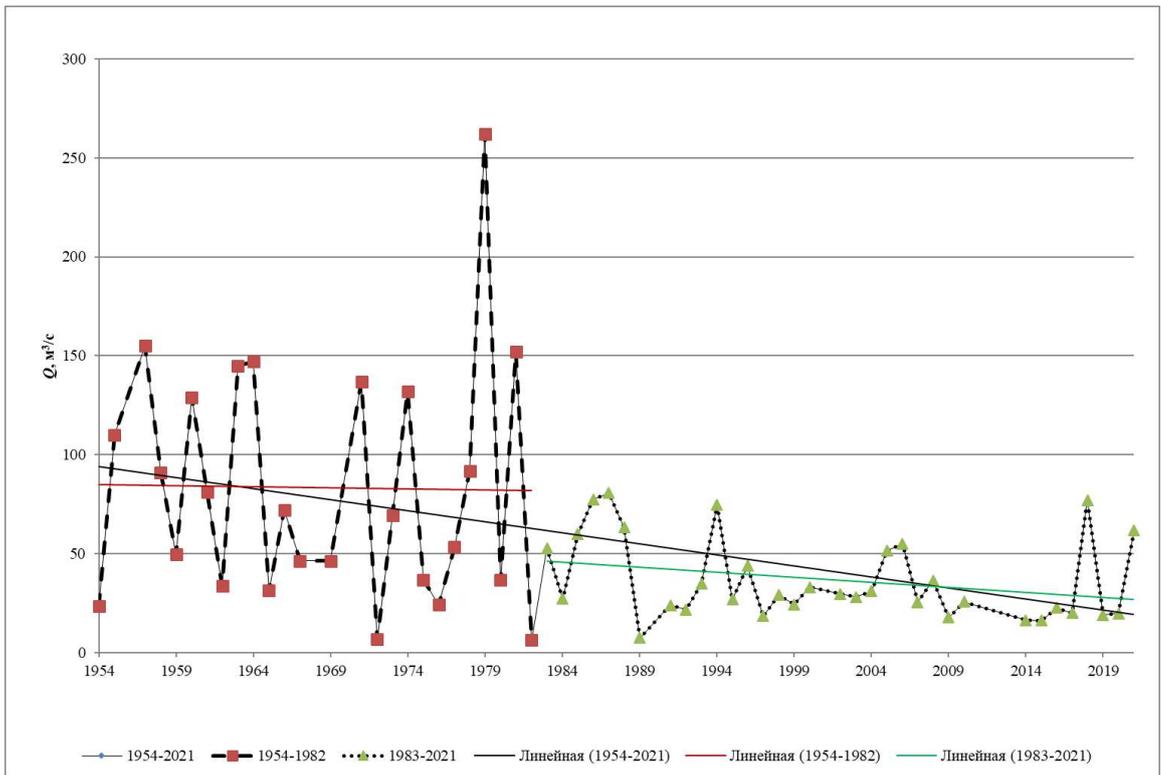


Рисунок А.39 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Токай – с. Ростоши)

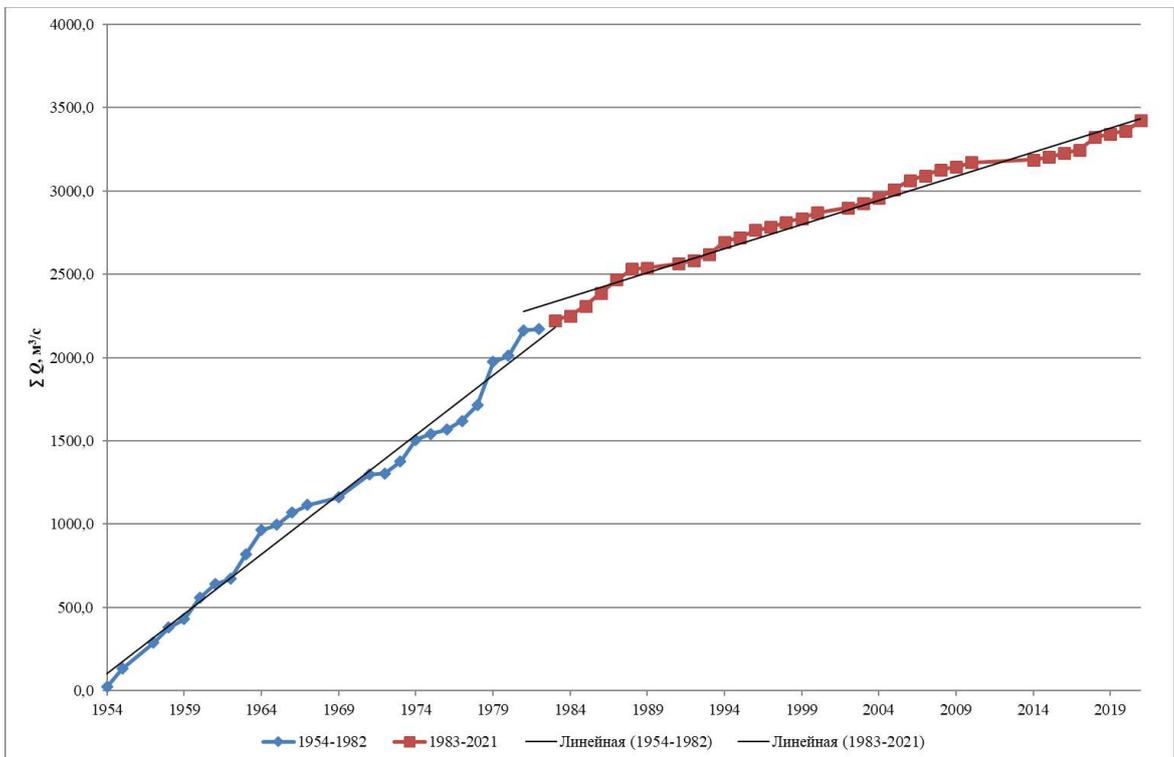


Рисунок А.40 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Токай – с. Ростоши)

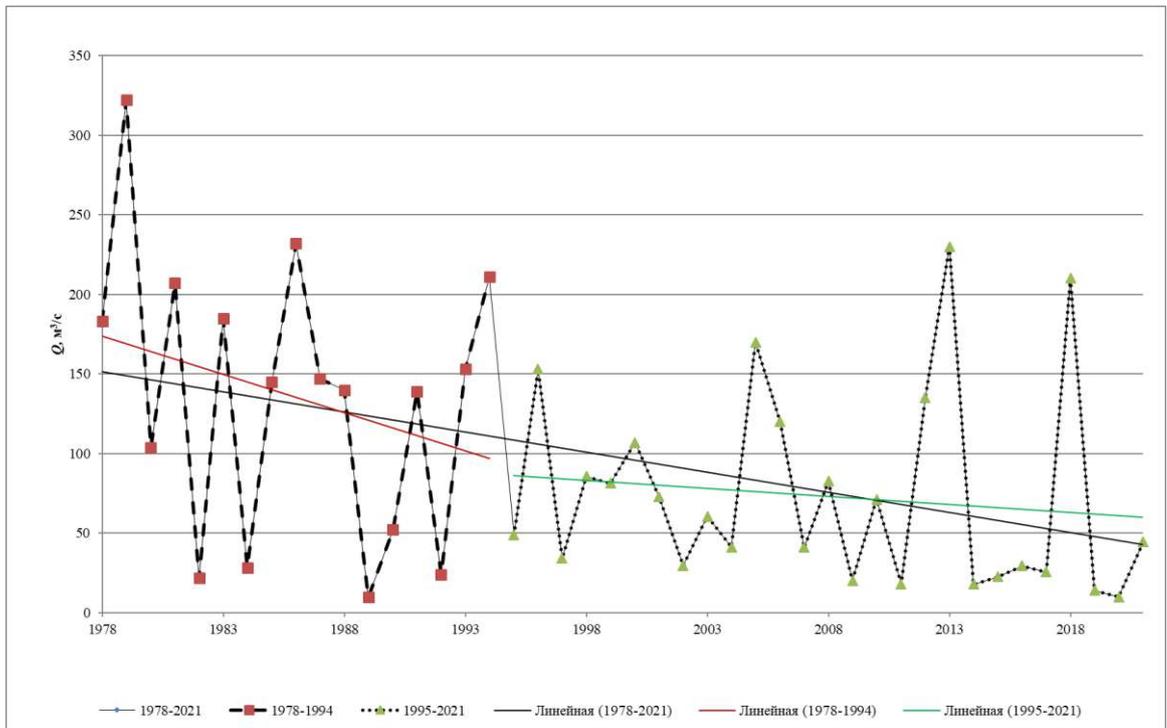


Рисунок А.41 – Хронологический график максимальных расходов воды
(р. Матыра – с. Крутое)

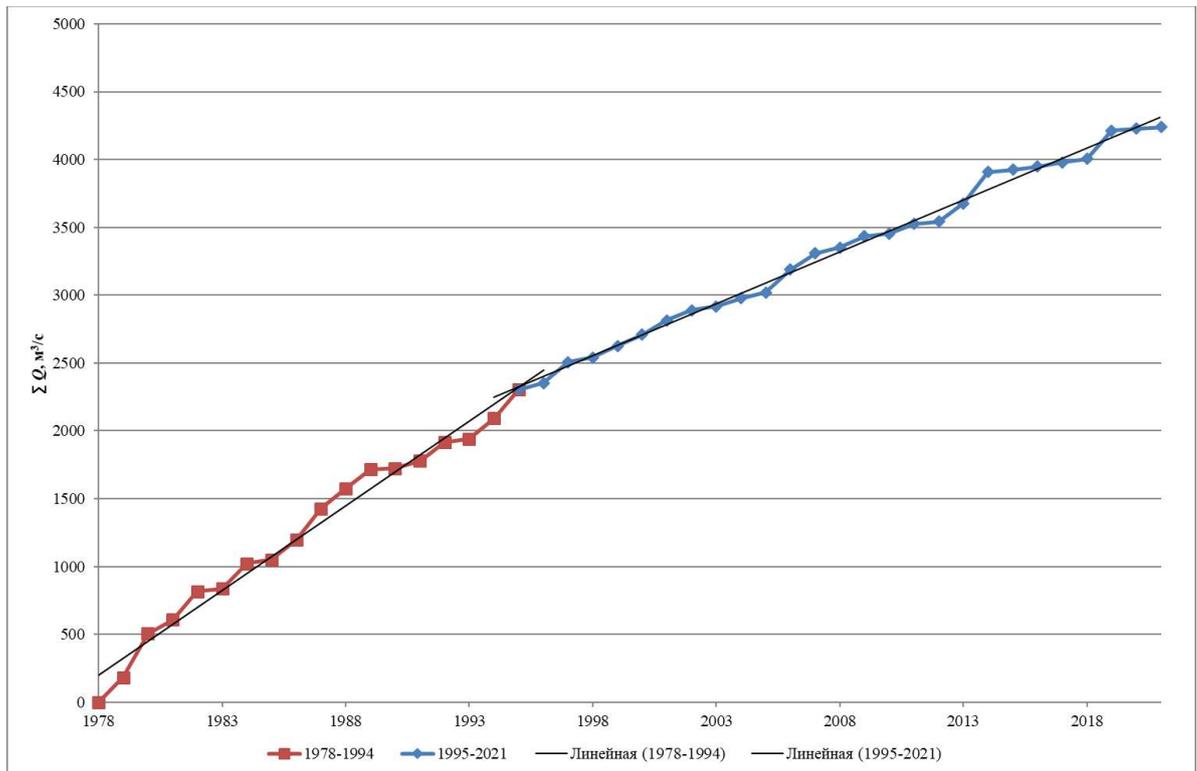


Рисунок А.42 – Интегральный график максимальных расходов воды
(р. Матыра – с. Крутое)

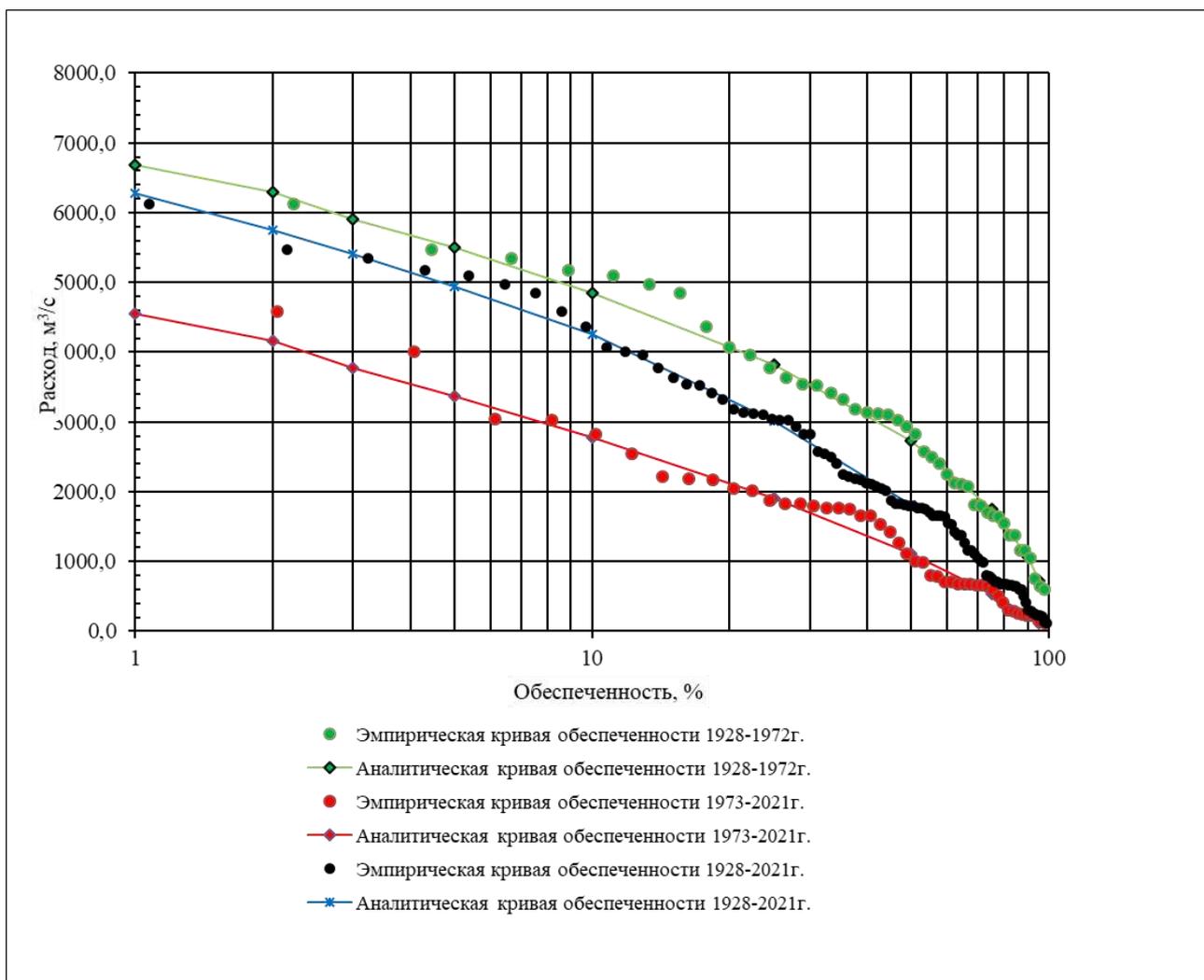


Рисунок Б.1 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Дон – г. Задонск)

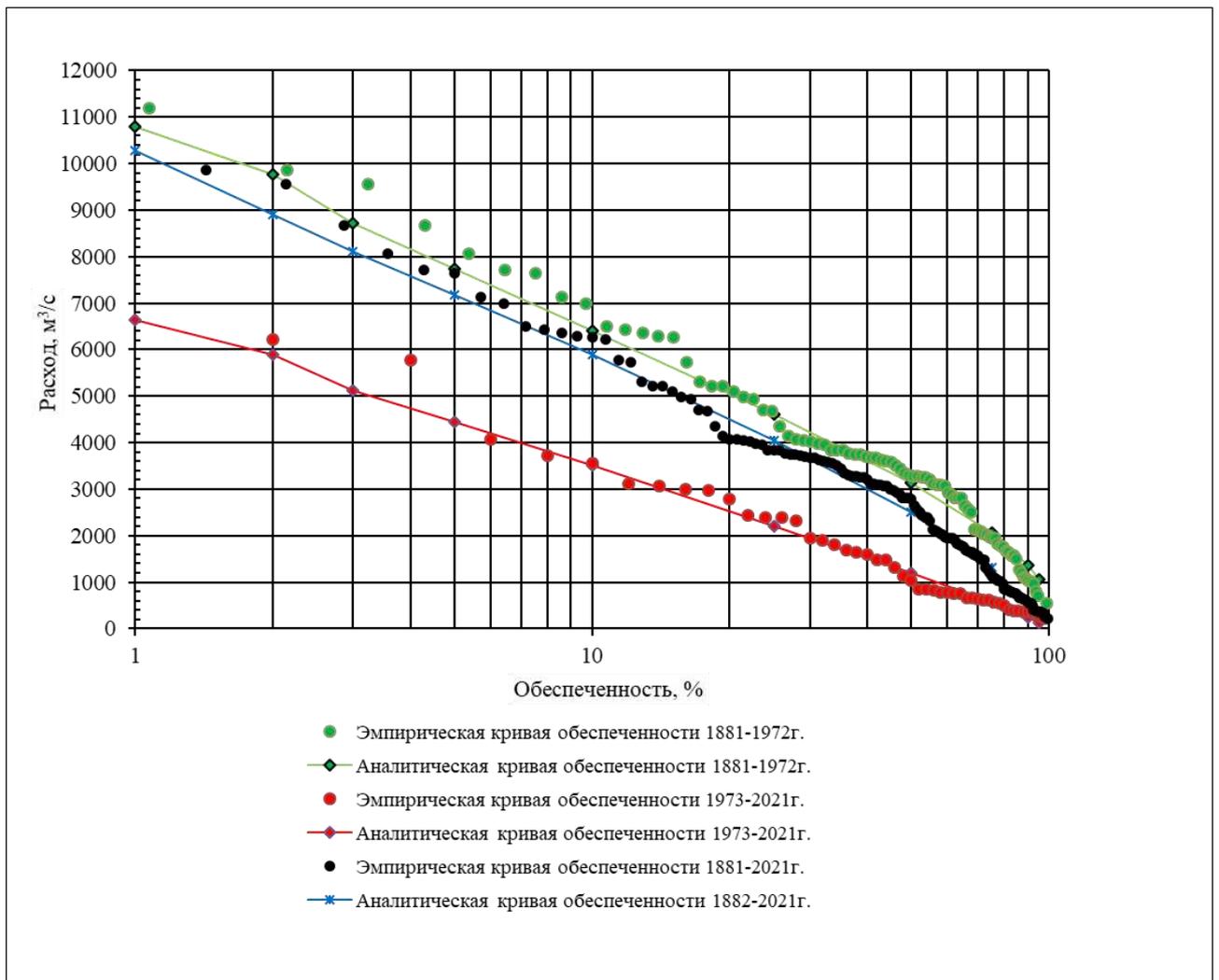


Рисунок Б.2 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Дон – г. Лиски)

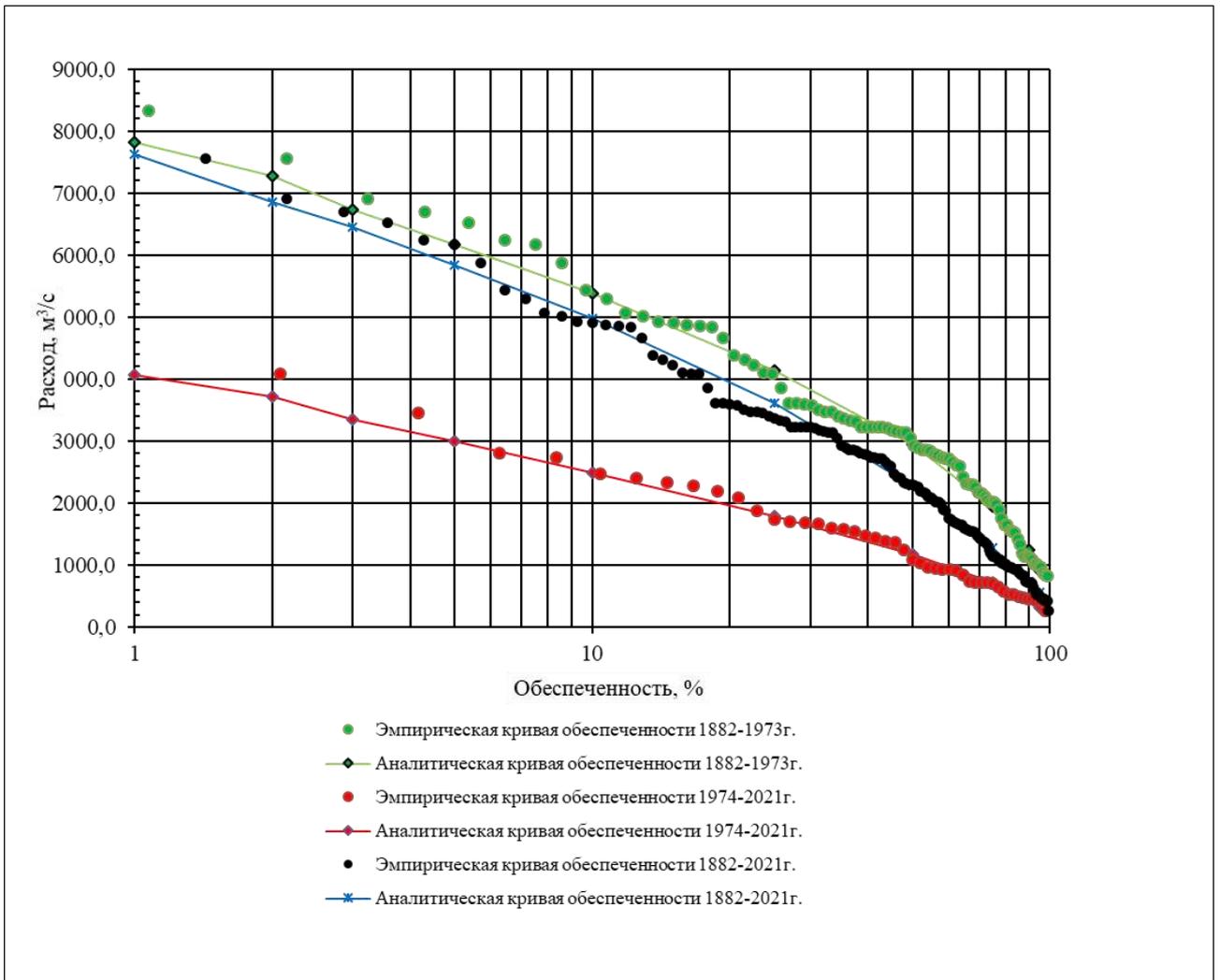


Рисунок Б.3 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Дон – ст-ца Казанская)

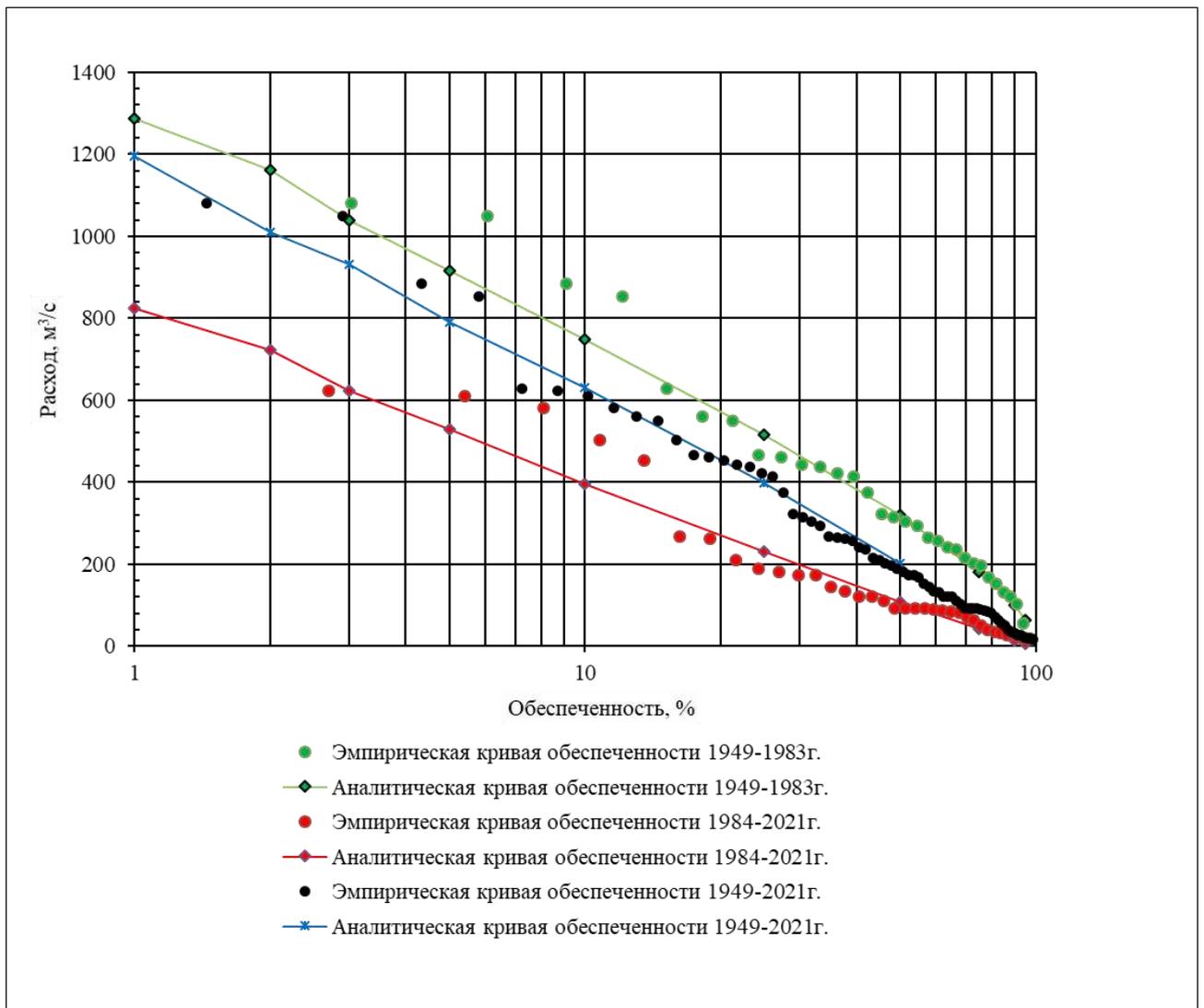


Рисунок Б.4 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Красивая Меча – г. Ефремов)

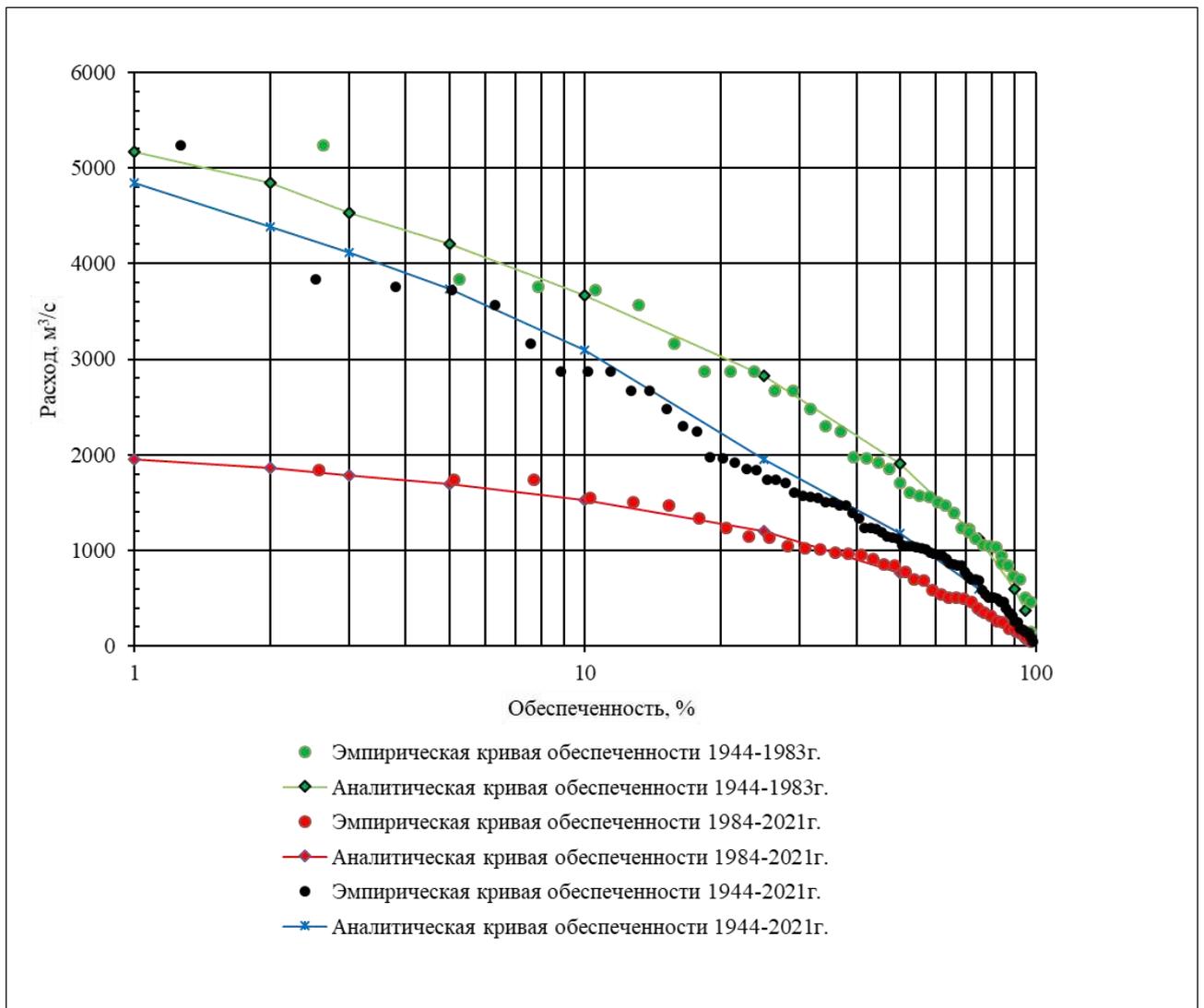


Рисунок Б.5 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Сосна – г. Елец)

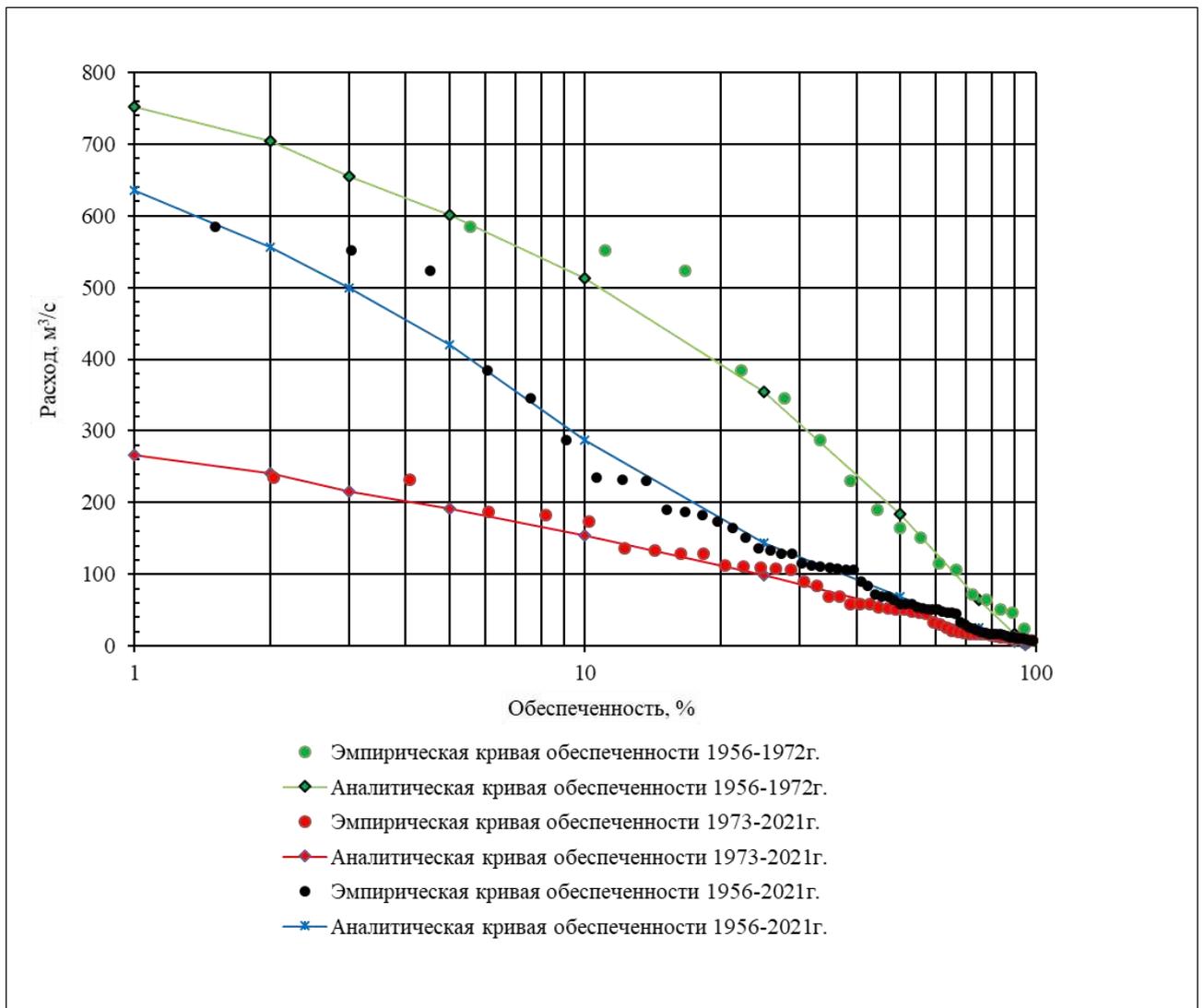


Рисунок Б.6 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Девица – с. Девица)

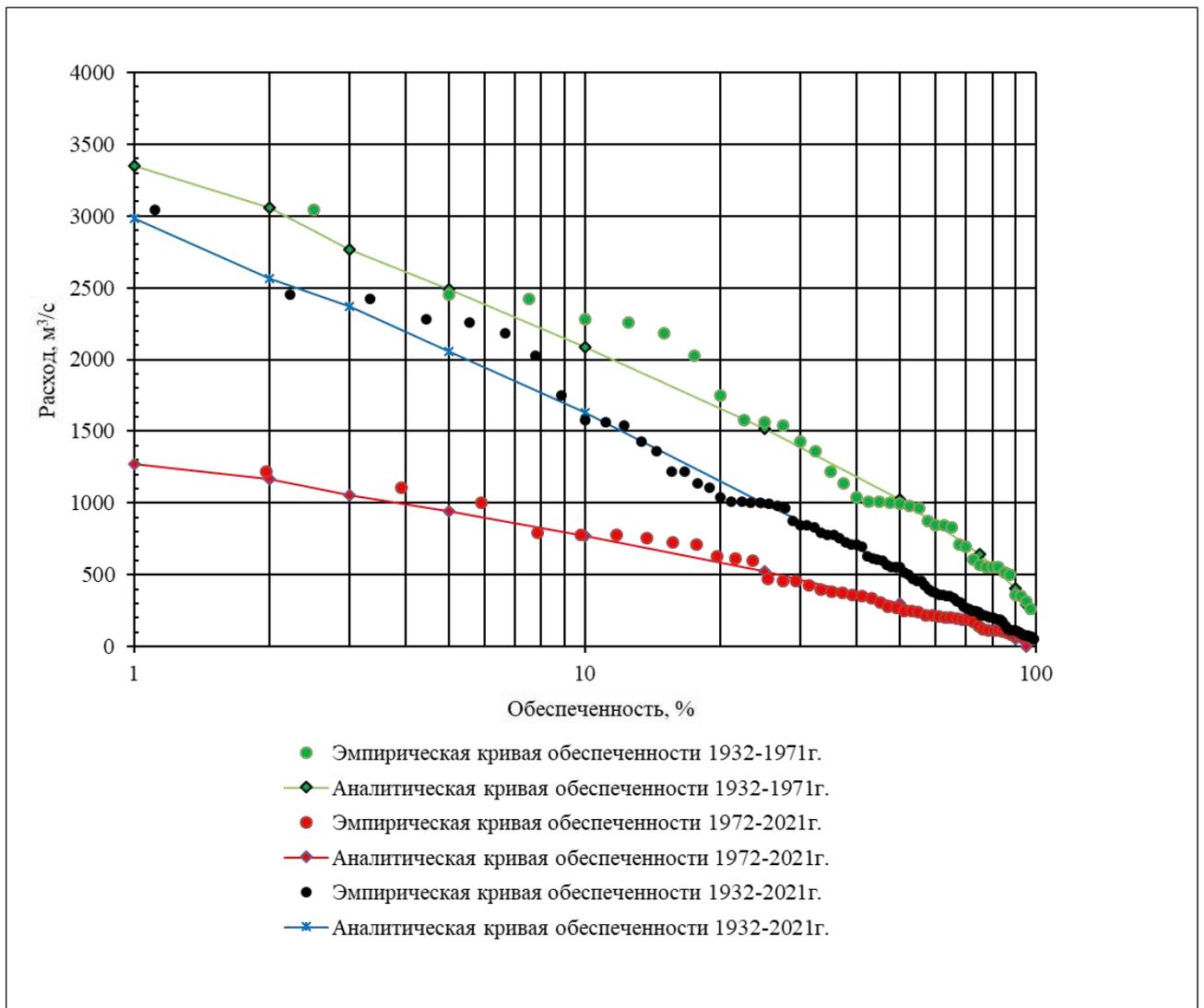


Рисунок Б.7 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Воронеж – г. Липецк 2)

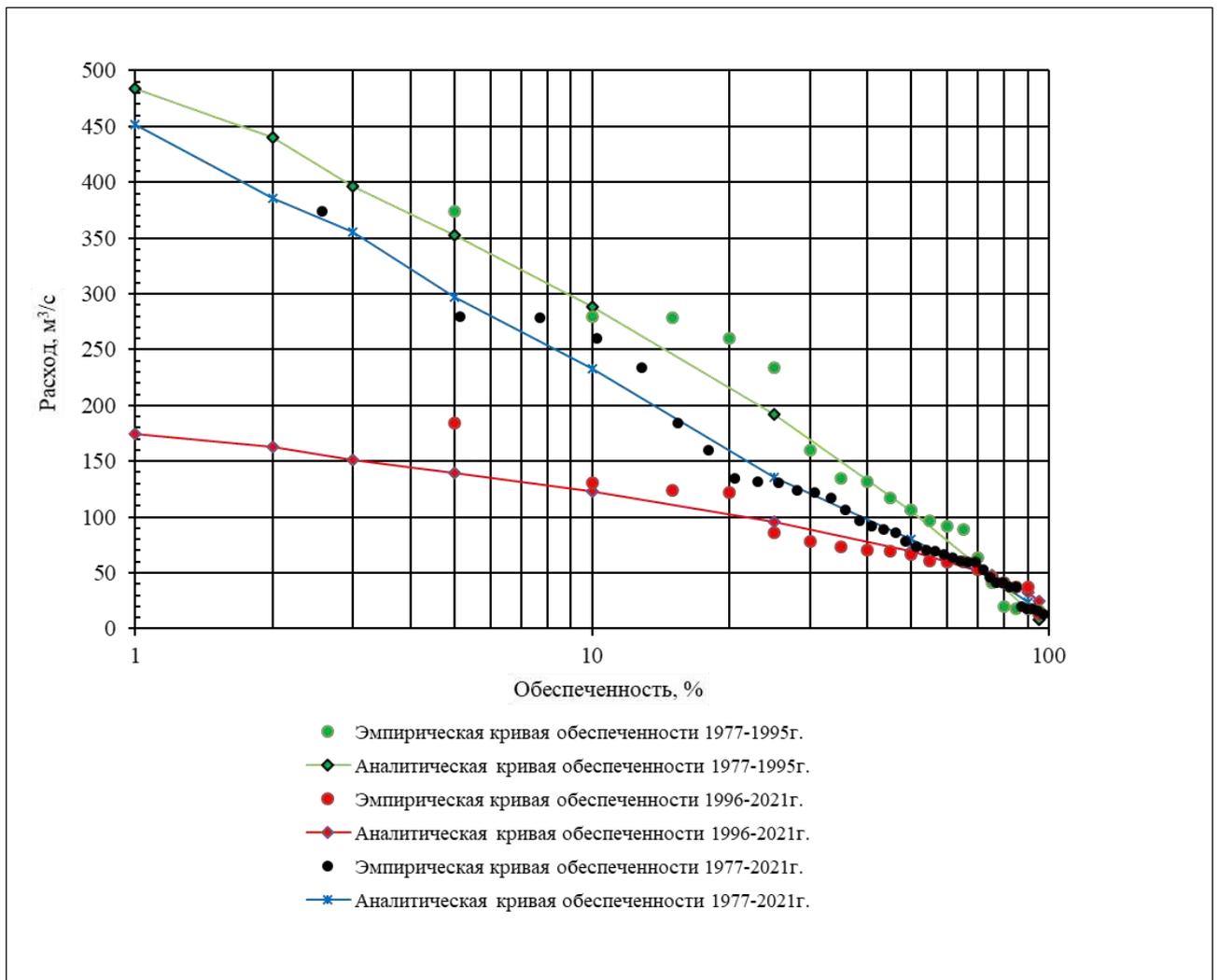


Рисунок Б.8 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Усмань – д. Боровое)

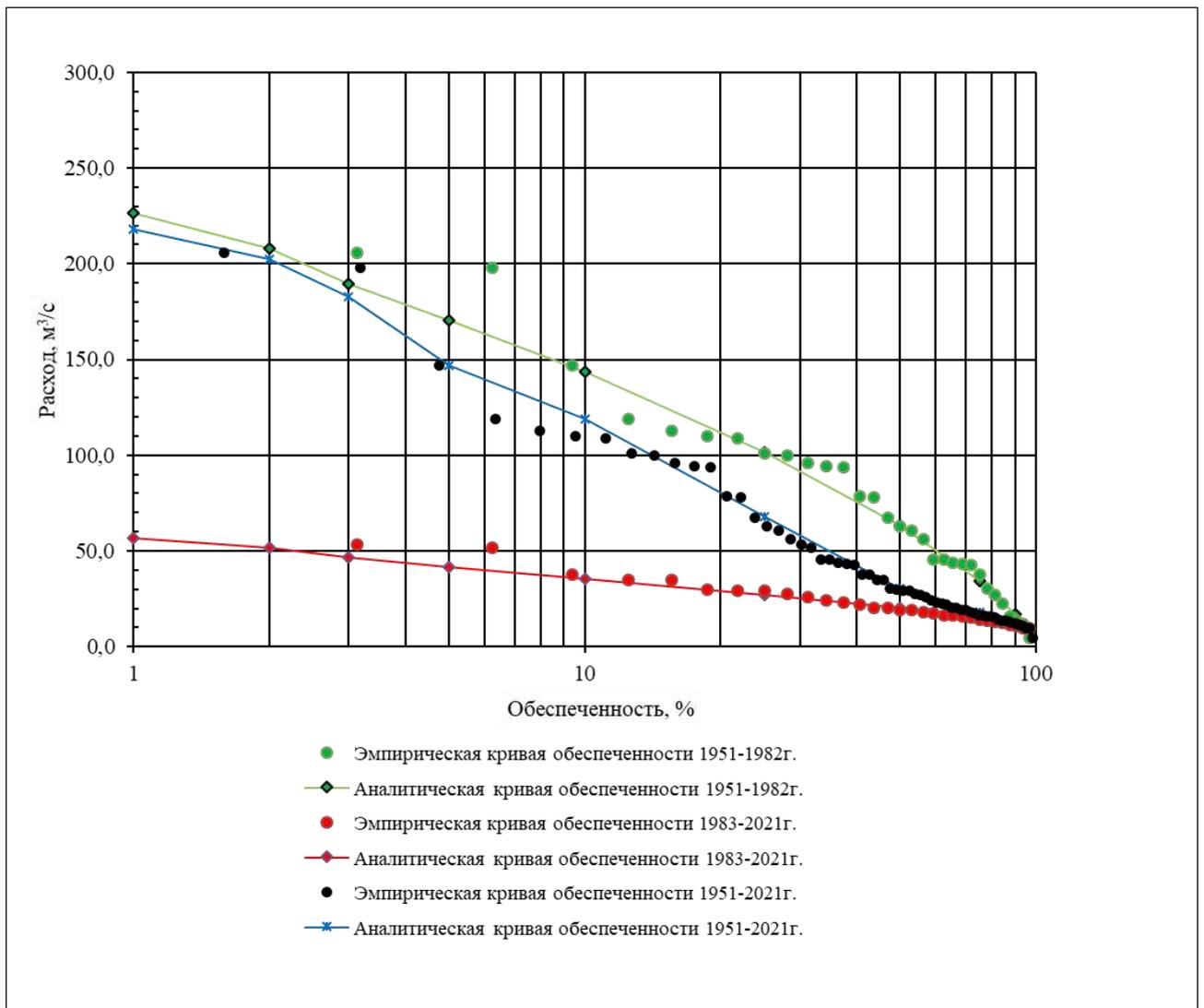


Рисунок Б.9 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Хава – с. Ильиновка)

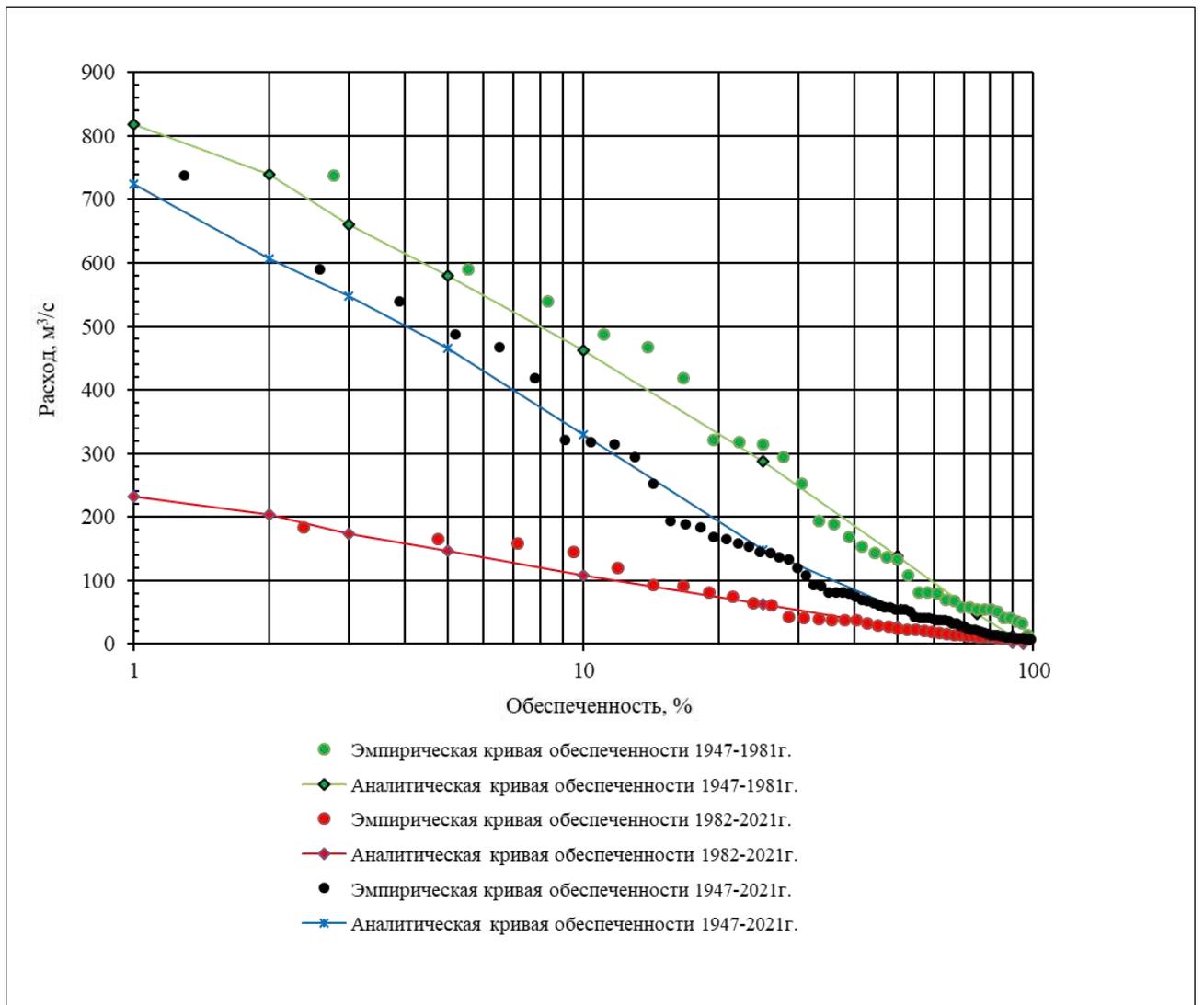


Рисунок Б.10 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Тихая Сосна – г. Алексеевка)

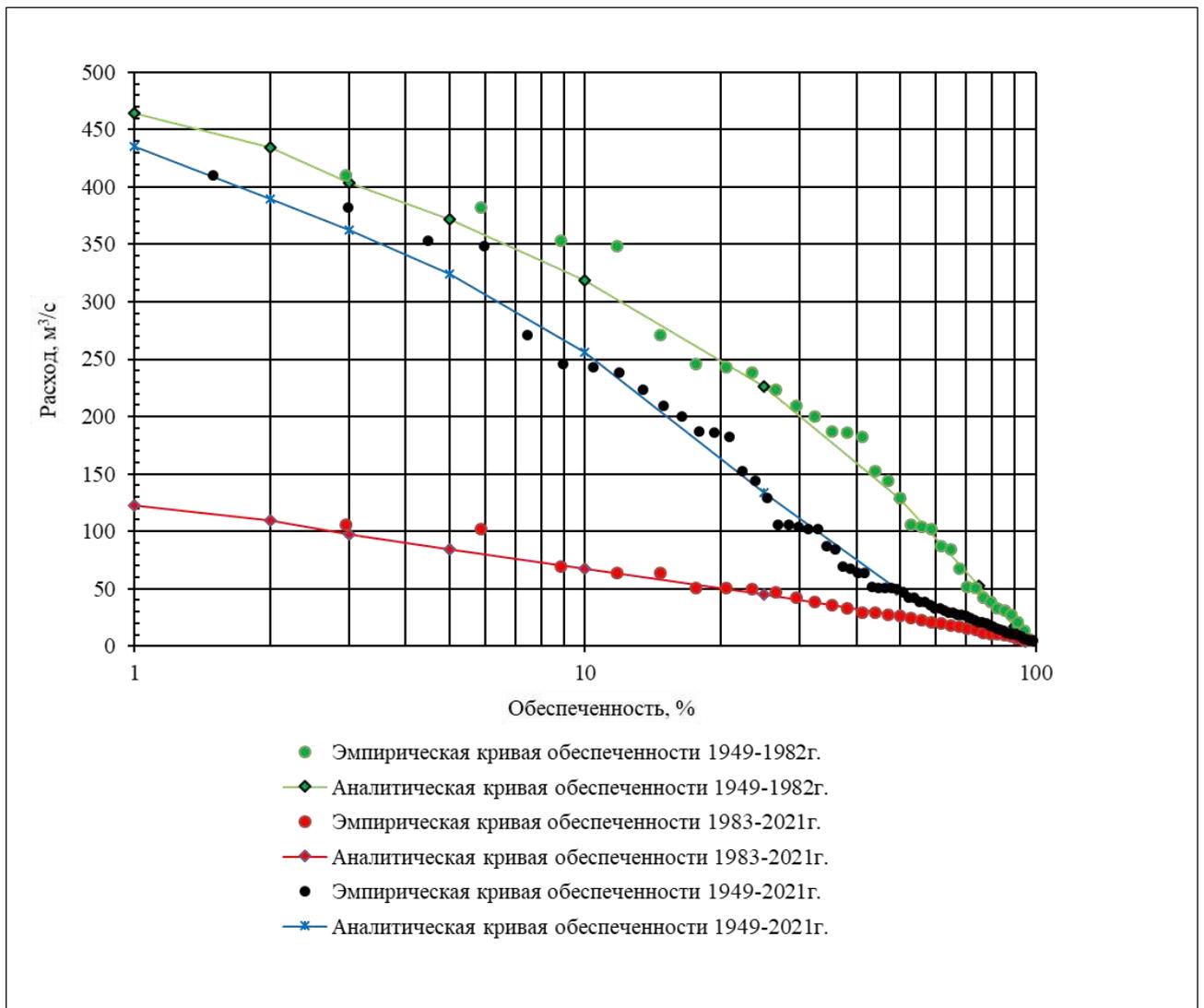


Рисунок Б.11 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Битюг – пгт. Мордово)

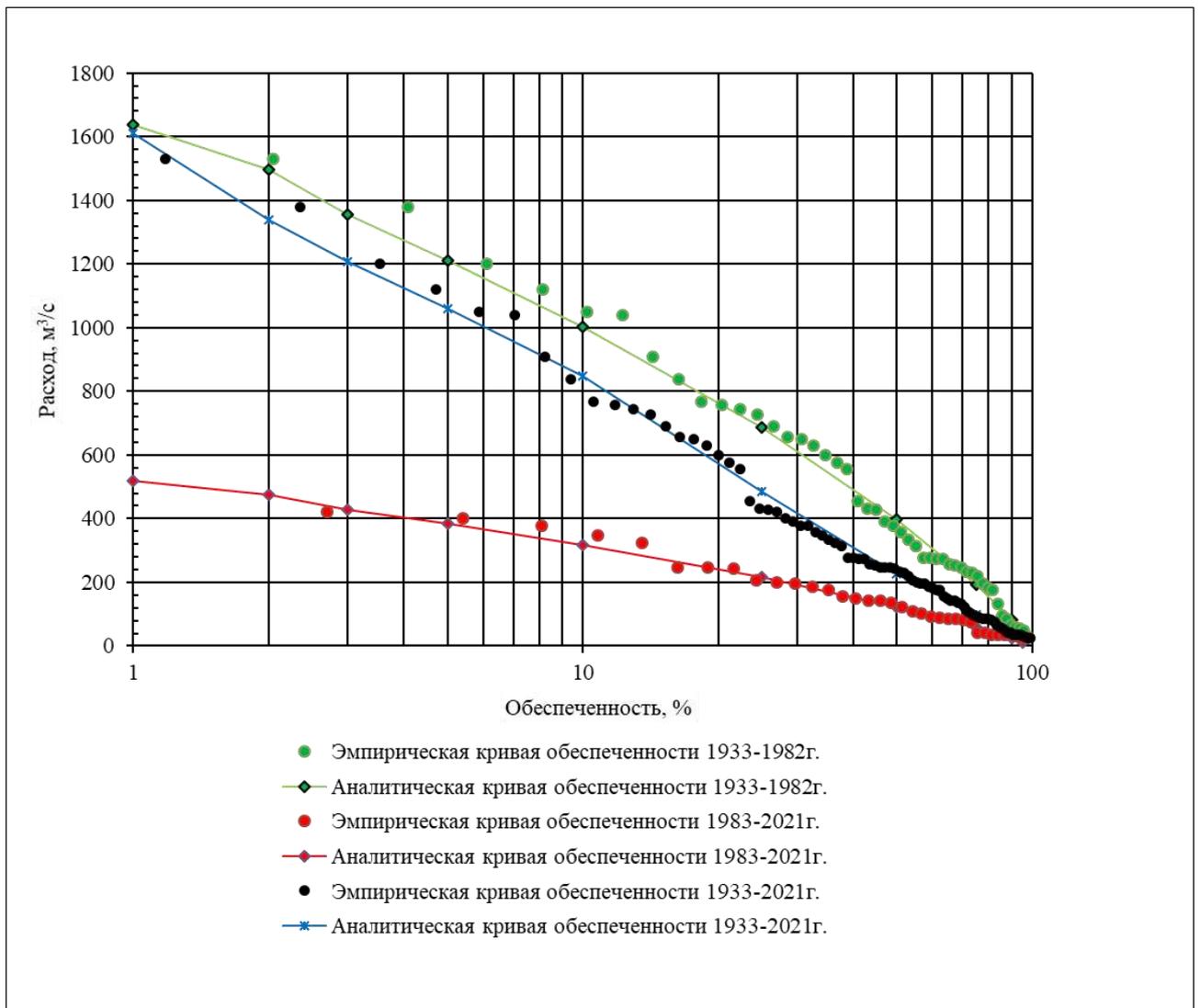


Рисунок Б.12 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Битюг – г. Бобров)

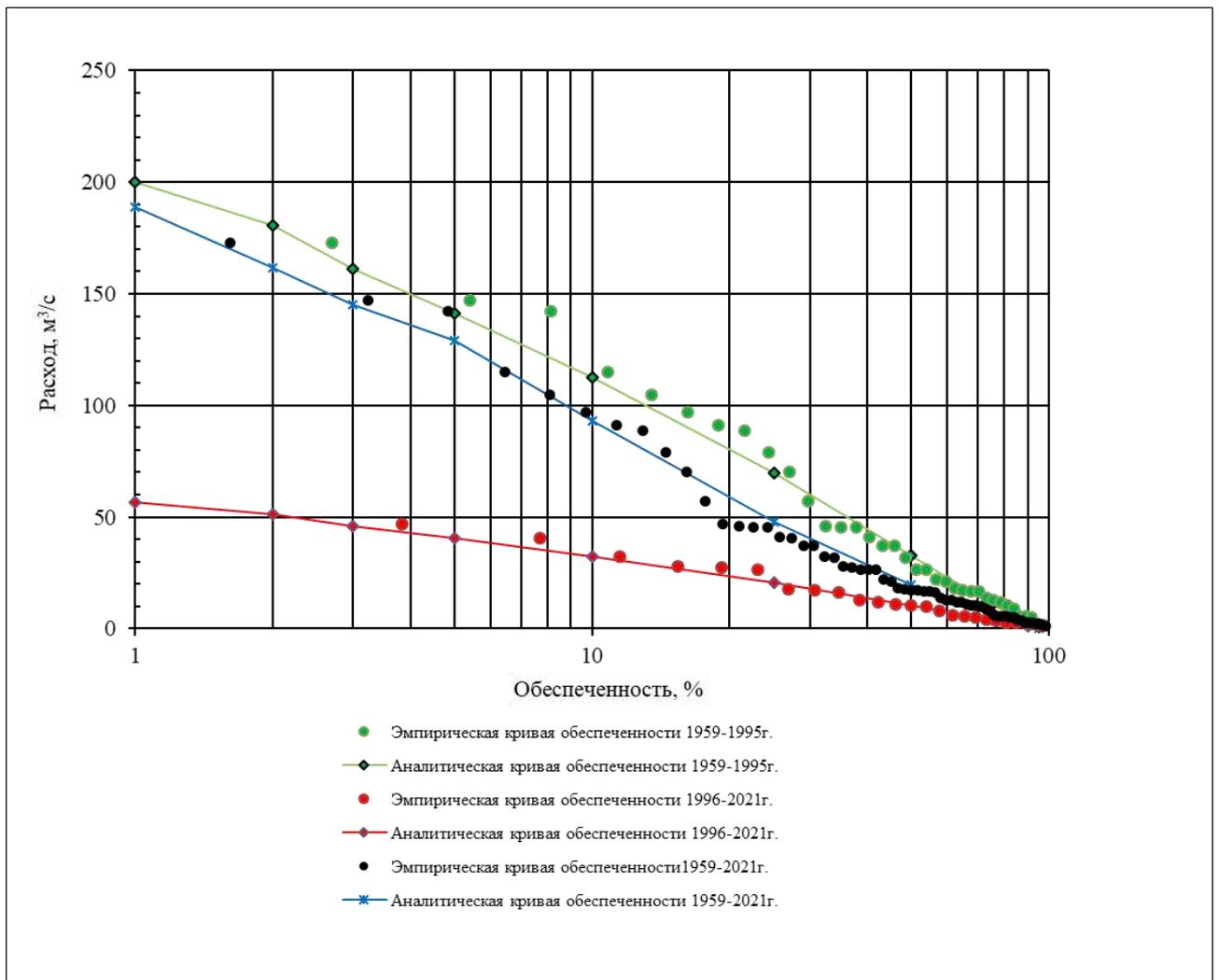


Рисунок Б.13 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Чигла – пос. Первомайский)

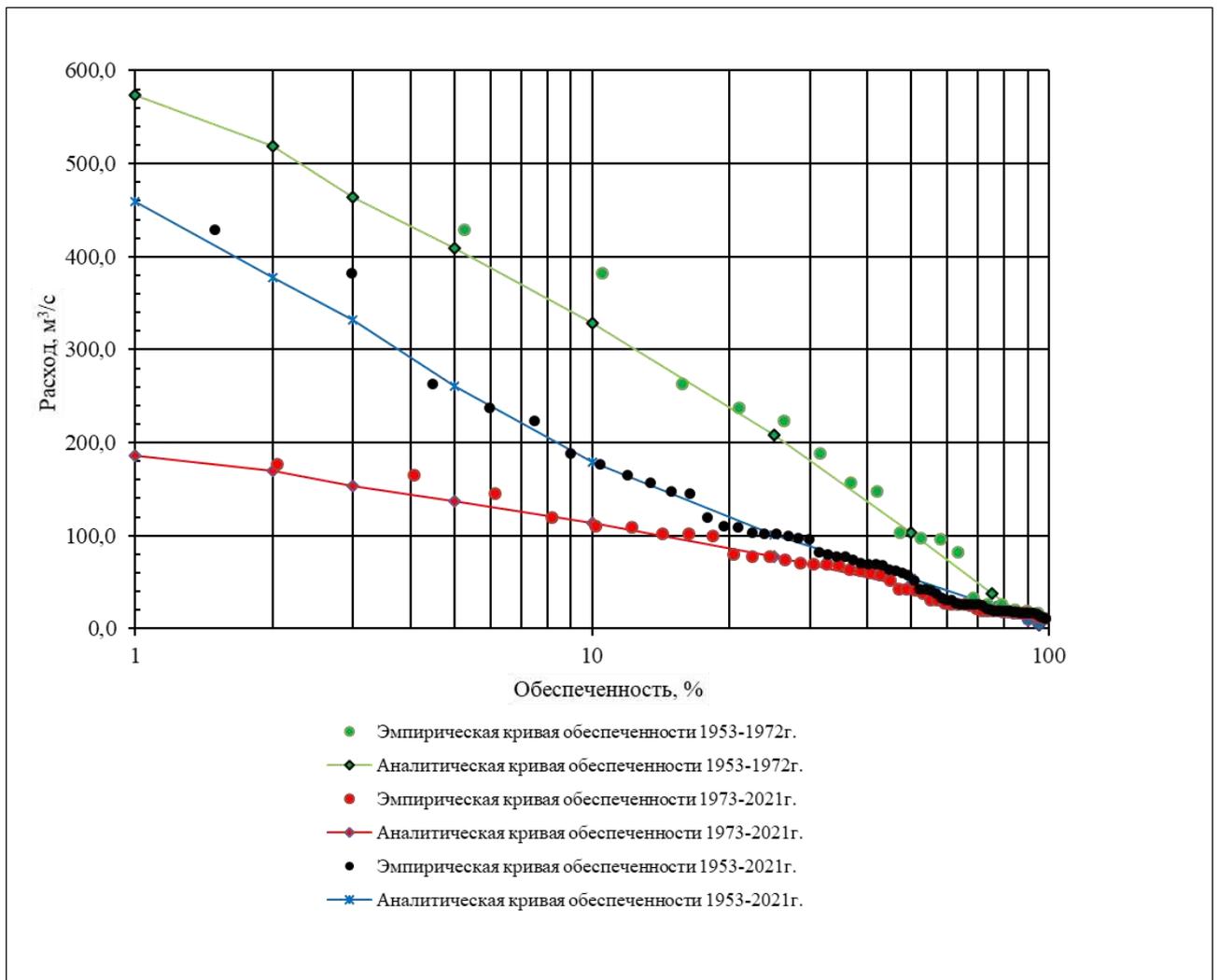


Рисунок Б.14 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Черная Калитва – пгт. Ольховатка)

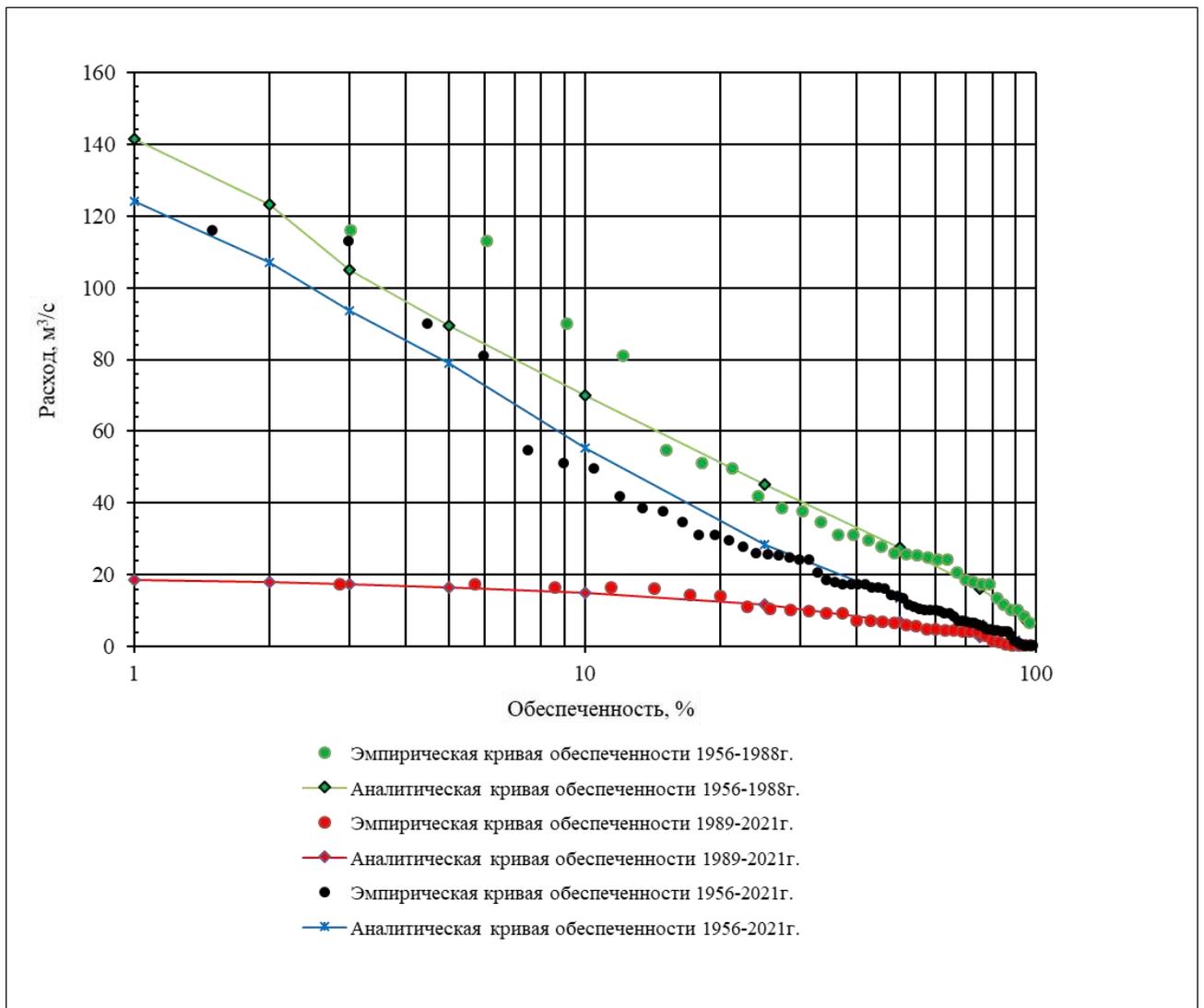


Рисунок Б.15 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Россошь – пгт. Подгоренский)

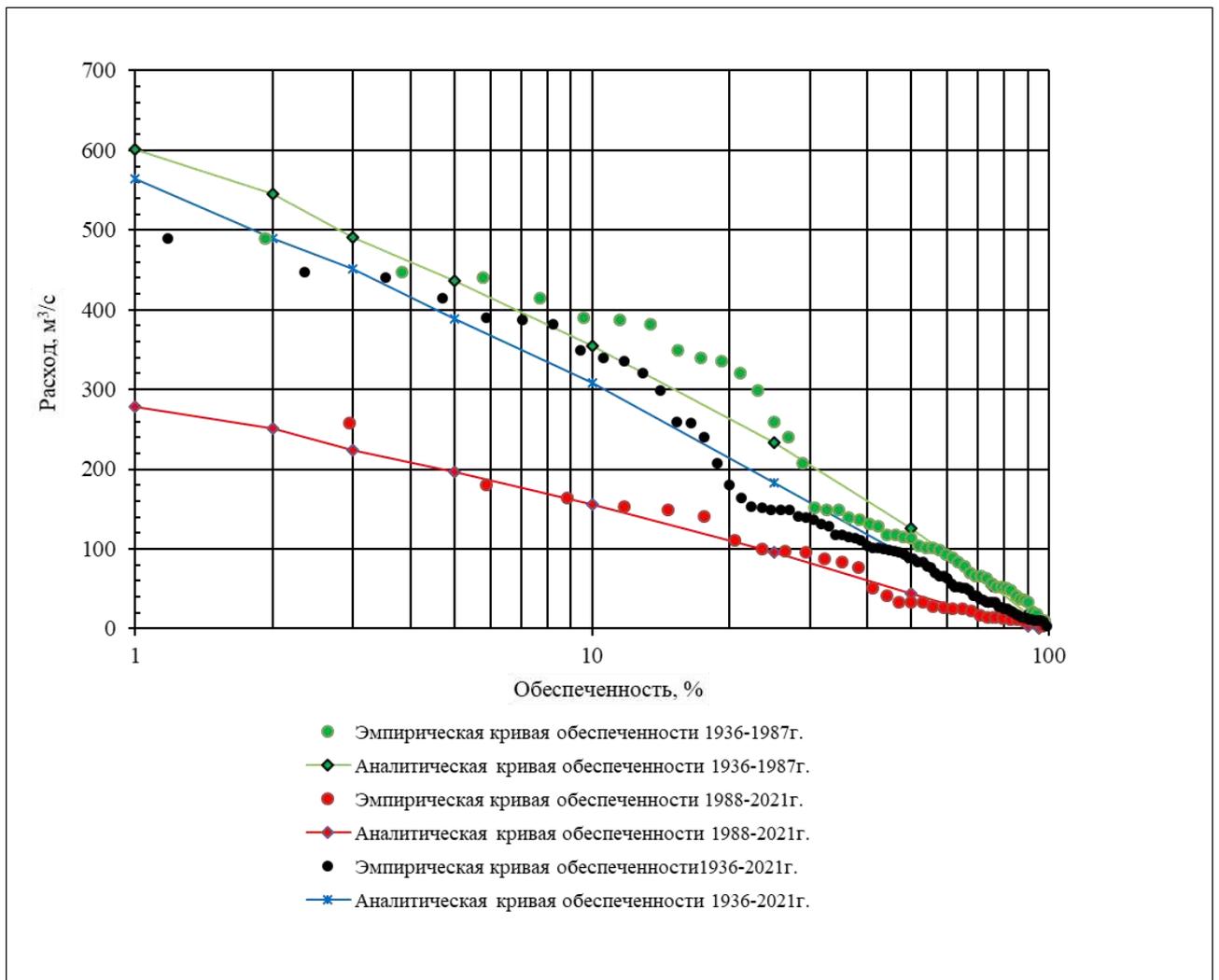


Рисунок Б.16 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Подгорная – г. Калач)

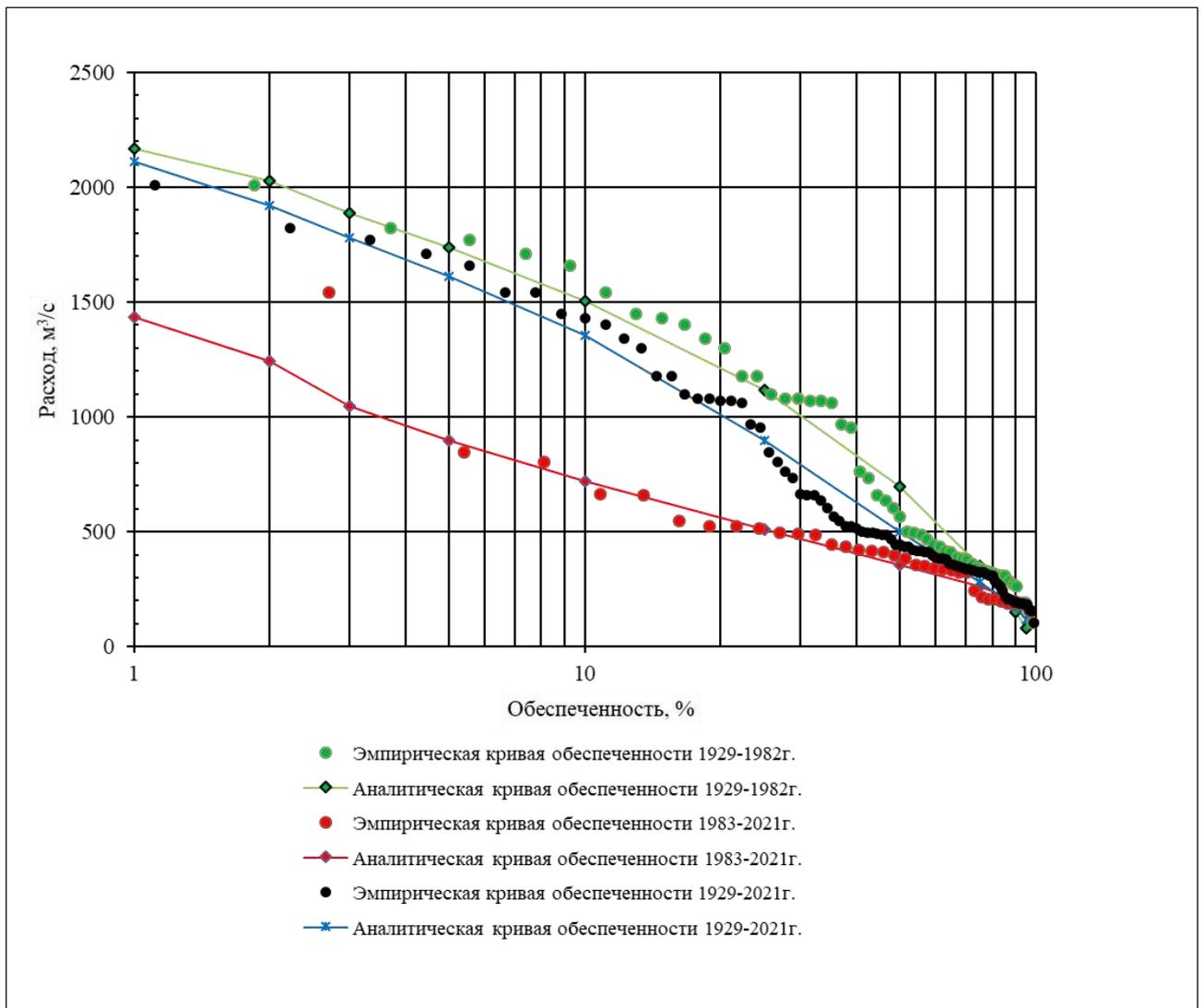


Рисунок Б.17 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Хопер – г. Поворино)

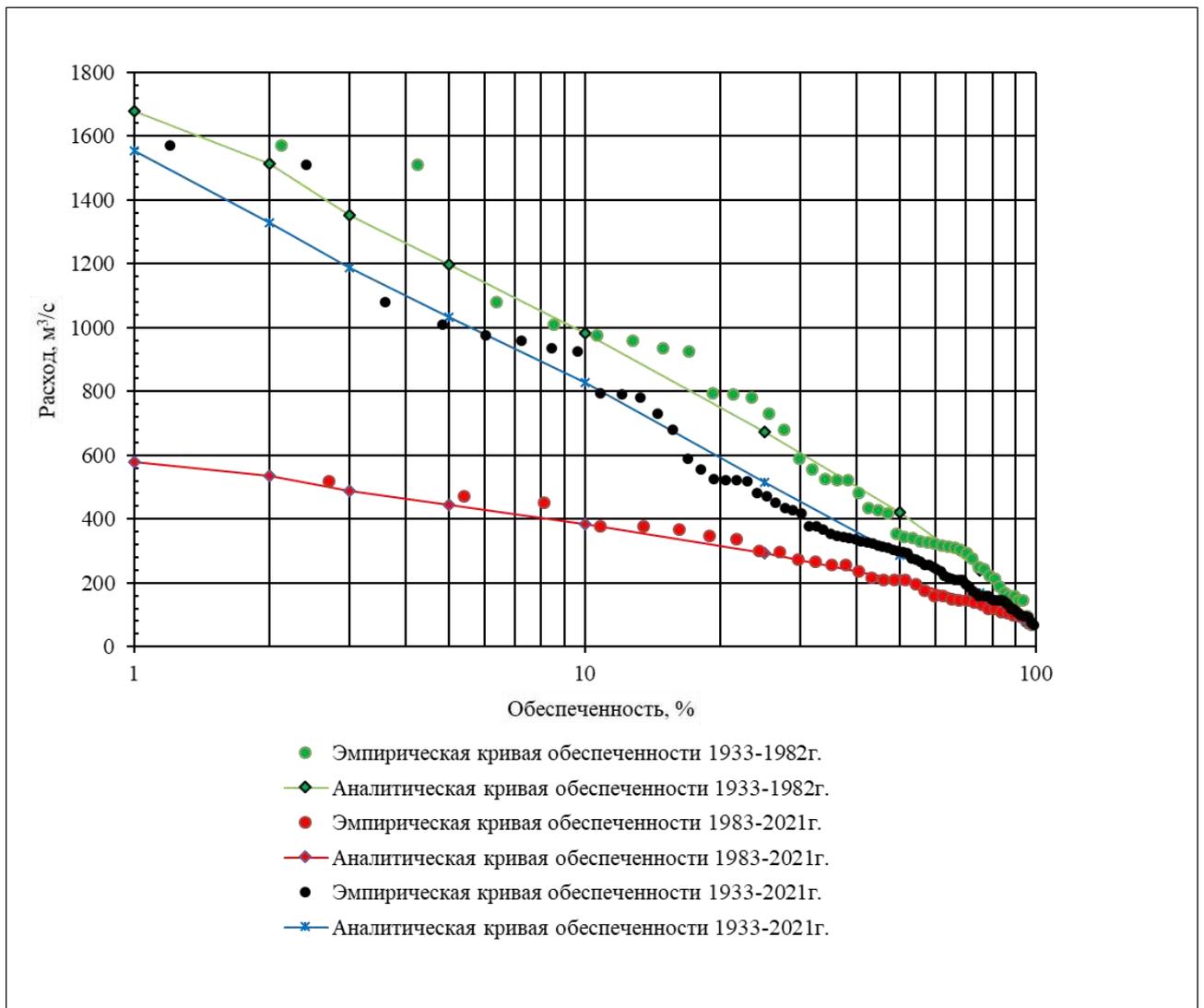


Рисунок Б.18 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Ворона – г. Борисоглебск)

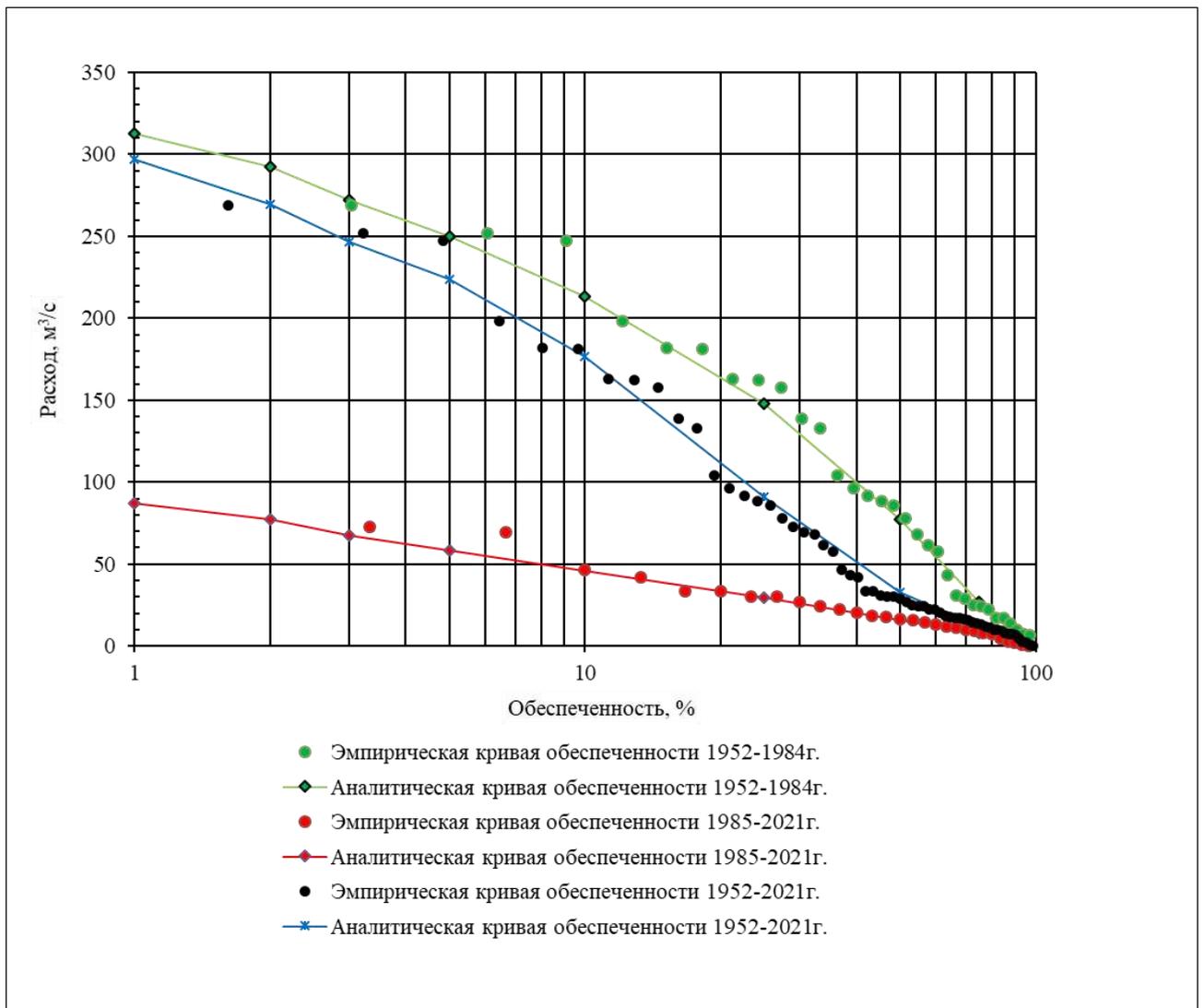


Рисунок Б.19 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Карачан – с. Алешки)

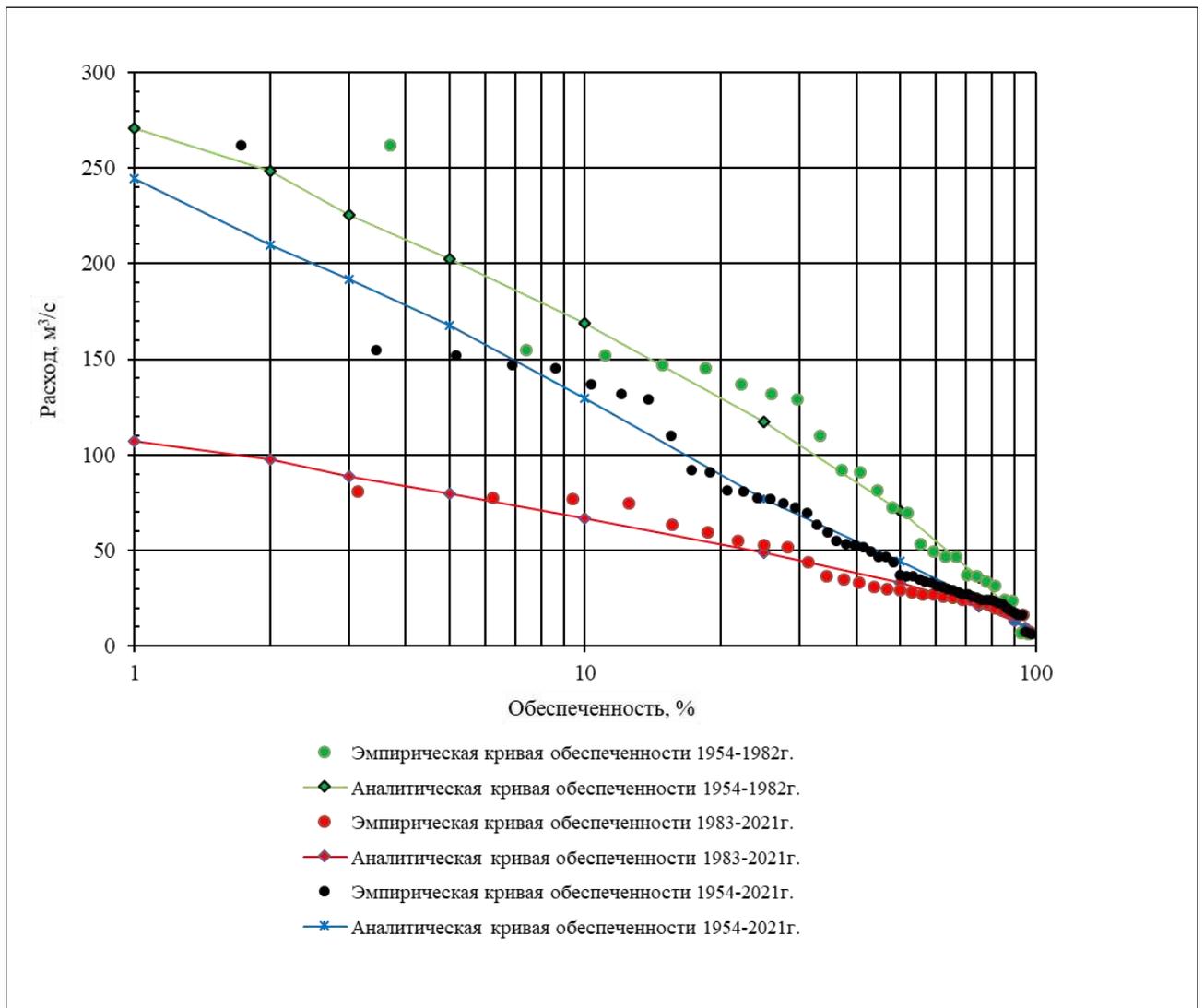


Рисунок Б.20 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Токай – с. Ростоши)

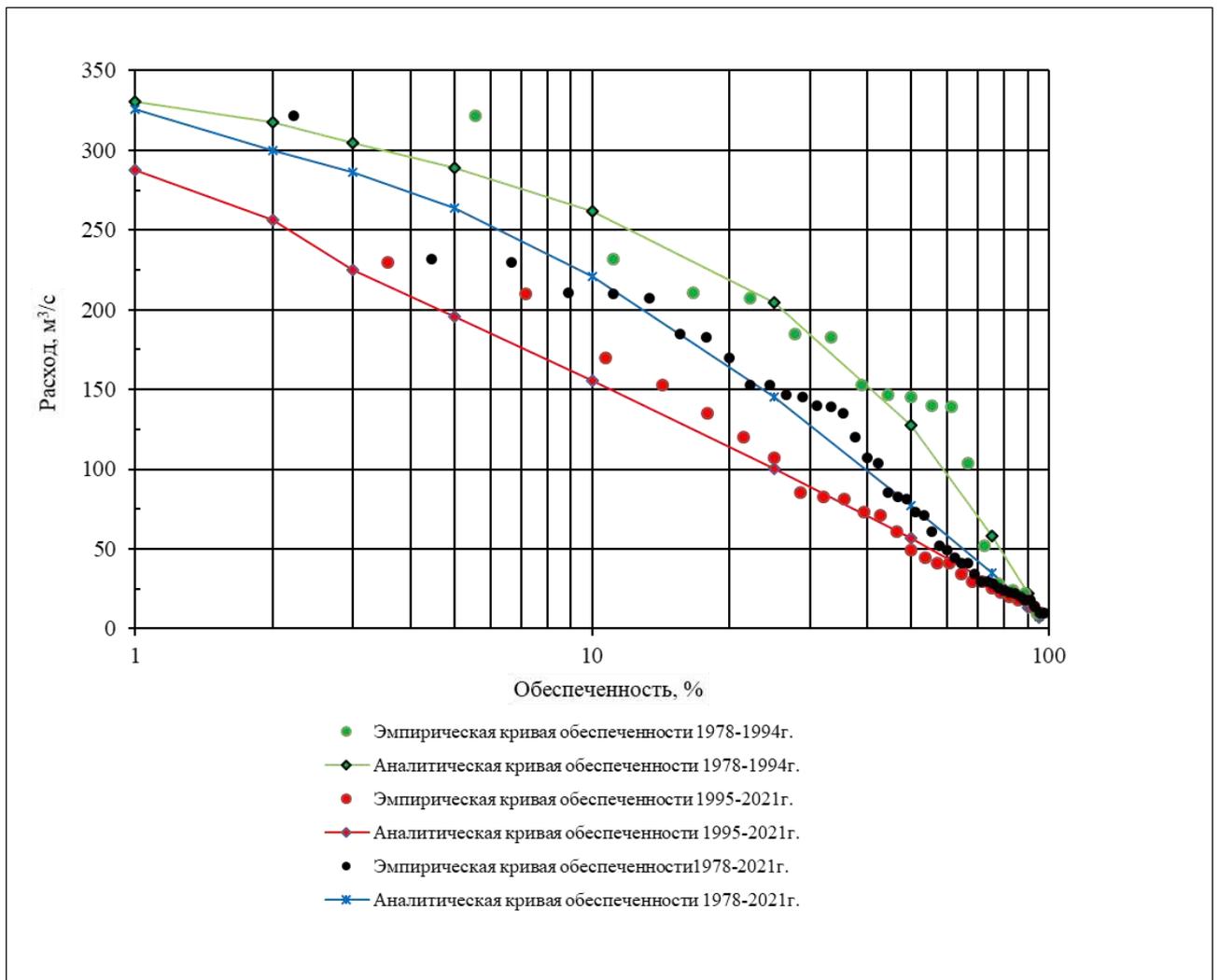


Рисунок Б.21 Эмпирические и аналитические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды (р. Матыра – с. Крутое)

Приложение В. Результаты корреляционного анализа

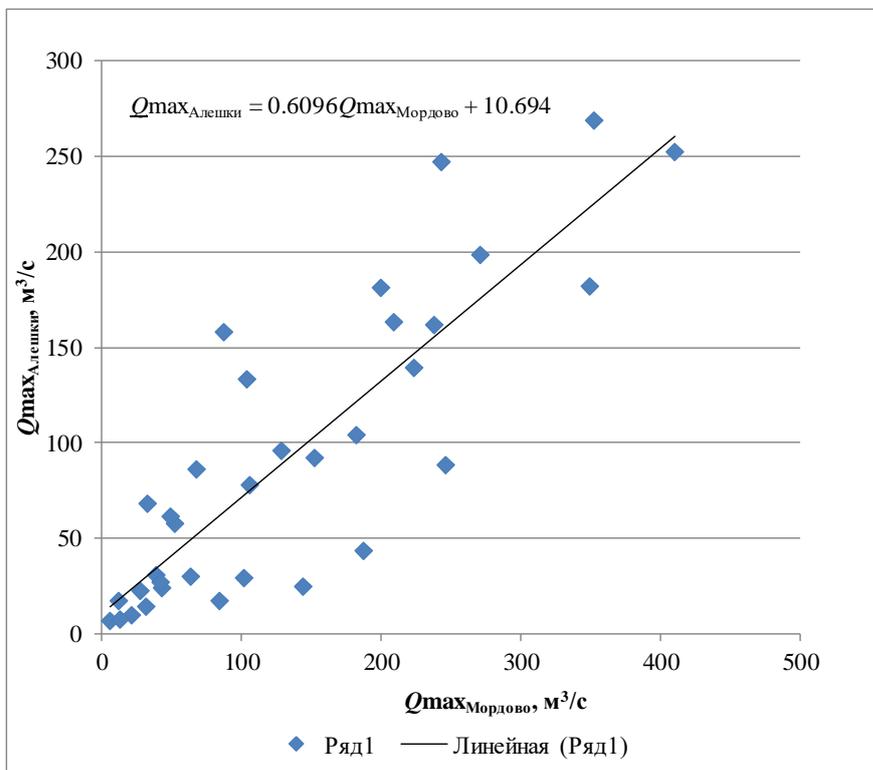
Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Карачан - с. Алешки

Створ-аналог: р. Битюг - р.п.Мордово

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	σ_R	R/ σ_R	k	k_0	σ_k	k/ σ_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				34	91.70	132.89	0.86	0.05	18.16	0.6096	10.694	0.05	12.98
1	1952	104	182										
2	1953	269	353										
3	1954	22.6	27.1										
4	1955	247	243										
5	1957	252	410										
6	1958	133	104										
7	1959	57.6	52										
8	1960	88.5	246										
9	1961	96	129										
10	1962	17.2	84										
11	1963	163	209										
12	1964	181	200										
13	1965	78.1	106										
14	1966	28.8	102										
15	1967	24.1	42.6										
16	1968	198	271										
17	1969	24.7	144										
18	1970	182	349										
19	1971	86	67.5										
20	1972	6.39	6.22										
21	1973	67.9	32.9										
22	1974	158	87.5										
23	1975	9.74	21										
24	1976	13.9	31.1										
25	1977	43.6	187										
26	1978	91.8	152										
27	1979	139	223										
28	1980	30.7	38.7										
29	1981	162	238										
30	1982	7.05	13.1										
31	1983	61.3	49.6										
32	1984	16.9	11.8										
33	1985	27	42										
34	1986	30	63.3										



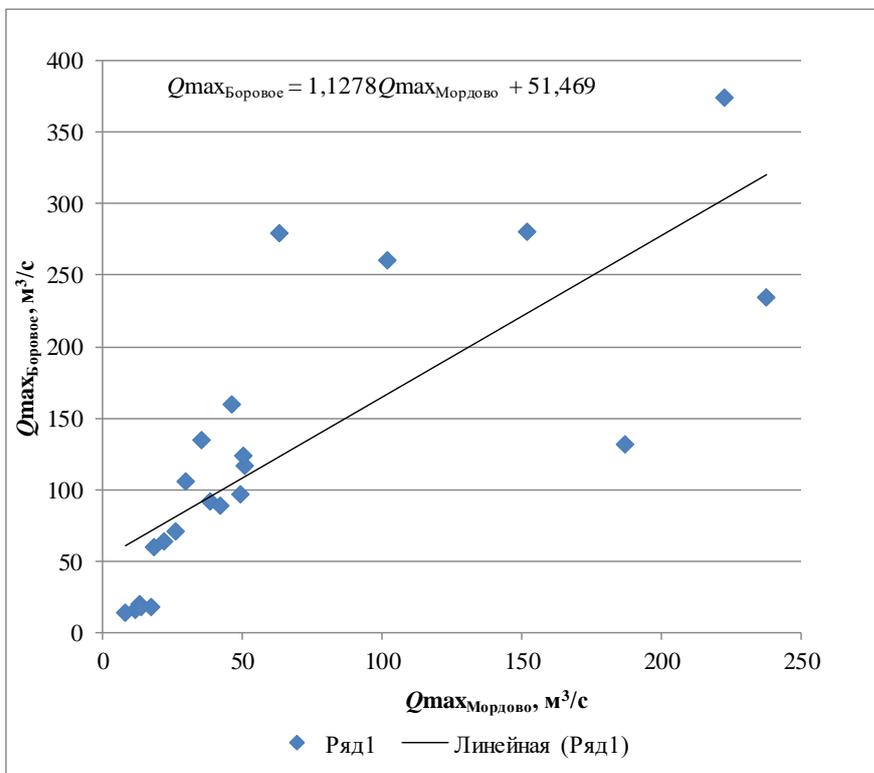
Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Усмань - д. Боровое

Створ аналог: р. Битюг - р.п.Мордово

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	s_R	R/ s_R	k	k_0	s_k	k/ s_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				22	125,31	65,47	0,78	0,09	8,86	1,1278	51,469	0,15	7,59
1	1977	132	187										
2	1978	280	152										
3	1979	374	223										
4	1980	91,7	38,7										
5	1981	234	238										
6	1982	20	13,1										
7	1983	96,5	49,6										
8	1984	16,3	11,8										
9	1985	88,5	42										
10	1986	279	63,3										
11	1987	160	46,6										
12	1988	117	51										
13	1989	17,6	17,3										
14	1991	106	29,6										
15	1992	17,8	14										
16	1993	135	35,7										
17	1994	260	102										
18	1995	63,4	22,3										
19	1996	124	50,7										
20	1997	13,4	8,35										
21	1998	70,6	26										
22	1999	60	18,3										



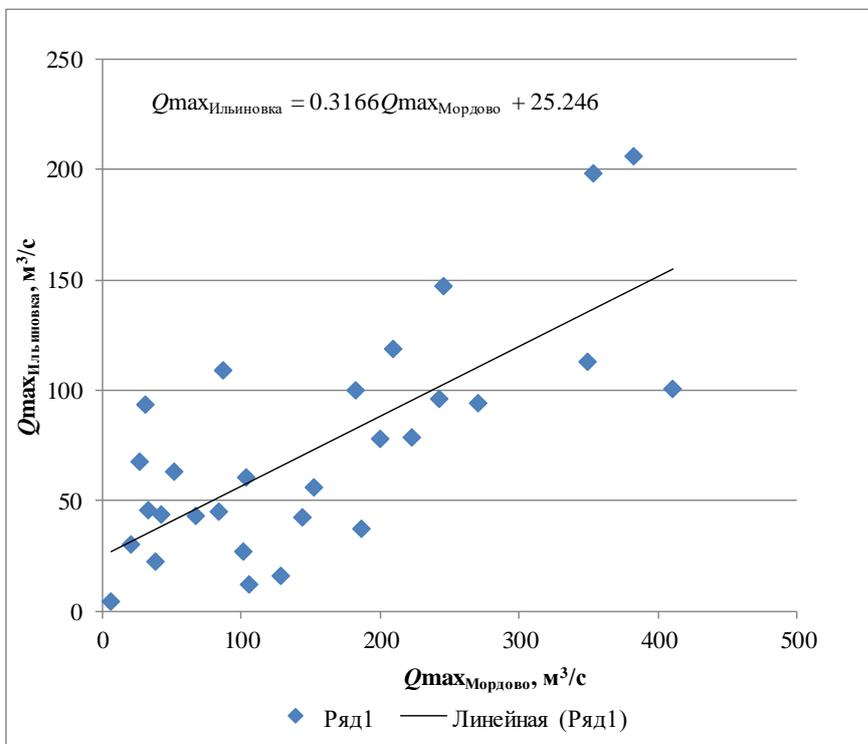
Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Хава - д. Ильиновка

Створ аналог: р. Битюг - р.п.Мордово

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	σ_R	R/ σ_R	k	k_0	σ_k	k/ σ_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				29	74,18	154,57	0,74	0,09	8,36	0,3166	25,246	0,04	7,51
1	1951	206	382										
2	1952	100	182										
3	1953	198	353										
4	1954	67,5	27,1										
5	1955	96	243										
7	1957	101	410										
8	1958	60,4	104										
9	1959	63	52										
10	1960	147	246										
11	1961	15,8	129										
12	1962	45,3	84										
13	1963	119	209										
14	1964	78,3	200										
15	1965	12,1	106										
16	1966	27,3	102										
17	1967	43,9	42,6										
18	1968	94,4	271										
19	1969	42,7	144										
20	1970	113	349										
21	1971	43,1	67,5										
22	1972	4,73	6,22										
23	1973	45,6	32,9										
24	1974	109	87,5										
25	1975	30,3	21										
26	1976	93,6	31,1										
27	1977	37,4	187										
28	1978	56,1	152										
29	1979	78,5	223										
30	1980	22,3	38,7										



Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

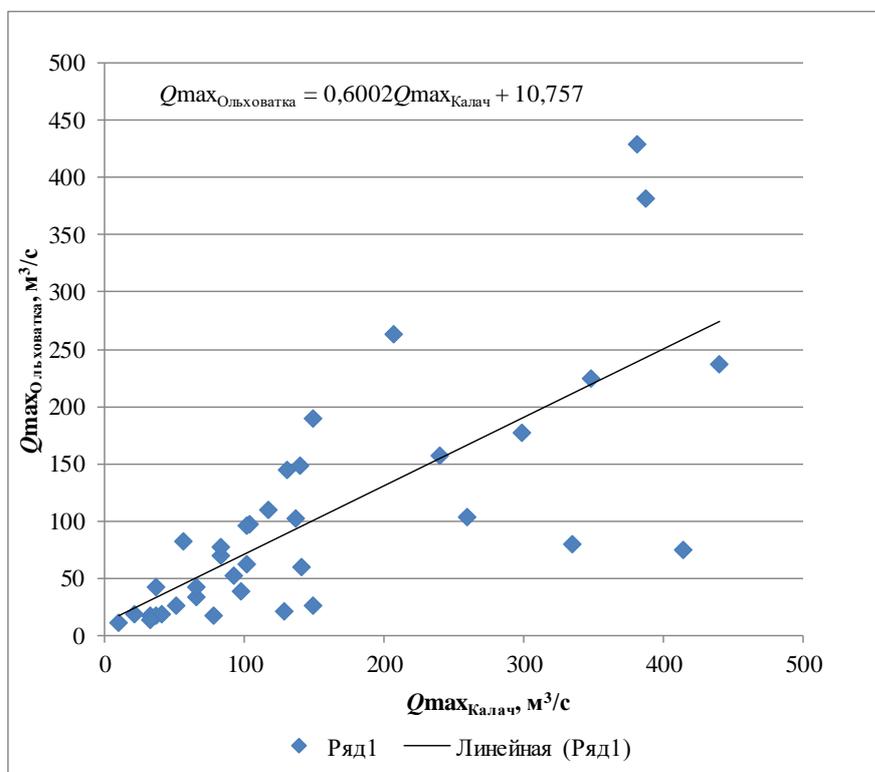
Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Черная Калитва-пгт. Ольховатка

Створ аналог: р. Подгорная-г.Калач

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	σ_R	R/ σ_R	k	k_0	σ_k	k/ σ_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				37	101,66	151,45	0,74	0,08	9,70	0,6002	10,757	0,07	8,72

1	1953	382	388
2	1956	224	349
3	1957	148	140
4	1958	103	260
5	1959	97	104
6	1960	189	149
7	1961	26,2	149
8	1962	20,6	129
9	1963	429	382
10	1964	237	440
11	1965	17,2	78
12	1966	33	65,8
13	1967	82,7	56,4
14	1968	157	240
15	1969	26,2	51,4
16	1970	96,5	102
17	1971	263	207
18	1972	19,2	21,4
19	1973	69,3	83,8
20	1974	74,5	415
21	1975	16,8	32,6
22	1976	42,80	65,50
23	1977	42,60	36,60
24	1978	110	117
25	1979	79,9	335
26	1980	52,1	92,80
27	1981	145	131
28	1982	38,3	98,00
29	1983	17	37,40
30	1984	10,5	10,50
31	1985	102	137
32	1986	177	299
33	1987	62,6	102
34	1988	60,3	141
35	1989	13,6	33,00
36	1990	19	41,30
37	1991	77,5	83,00



Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

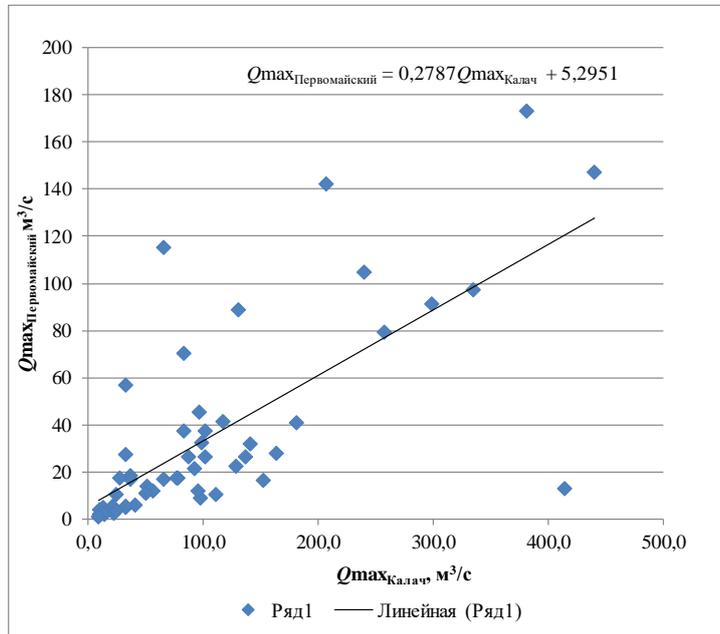
Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Чигла - пос. Первомайский

Створ аналог: р. Подгорная - г. Калач

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	σ_R	R/ σ_R	k	k_0	σ_k	k/ σ_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				54	34,66	105,36	0,72	0,07	10,69	0,2787	5,295	0,03	9,84

1	1962	22,3	129,0
2	1963	173	382,0
3	1964	147	440,0
4	1965	17,4	78,0
5	1966	16,7	65,8
6	1967	11,8	56,4
7	1968	105	240,0
8	1969	14	51,4
9	1970	26,6	102,0
10	1971	142	207,0
11	1972	5,6	21,4
12	1973	70,2	83,8
13	1974	12,8	415,0
14	1975	57	32,6
15	1976	115	65,5
16	1977	18,3	36,6
17	1978	41,2	117
18	1979	97,1	335
19	1980	21,2	92,8
20	1981	88,9	131
21	1982	8,74	98,0
22	1983	16,7	37,4
23	1984	1,77	10,5
24	1985	26,5	137,0
25	1986	91,2	299,0
26	1987	37,4	102,0
27	1988	31,9	141,0
28	1989	4,97	33,0
29	1990	5,74	41,3
30	1991	37,4	83,0
31	1992	2,33	12,1
32	1993	45,5	96,7
33	1994	79,1	258,0
34	1995	10,6	24,8
35	1996	26,6	87,5
36	1997	2,49	23,0
37	1998	40,7	181,0
38	1999	17,6	27,7
39	2000	27,6	33
40	2001	3,62	24,8
41	2002	4,82	13,4
42	2003	16,4	153
43	2004	5,53	33,0
44	2005	12	96,2
45	2006	32,5	99,4
46	2007	4,02	10,1
47	2008	17,3	77,4
48	2009	2,6	14,1
49	2010	27,9	164,0
50	2011	2,53	11,6
51	2012	10,5	111,0
52	2013	10,9	50,7
53	2014	1,99	13,8
54	2015	1,04	8,8



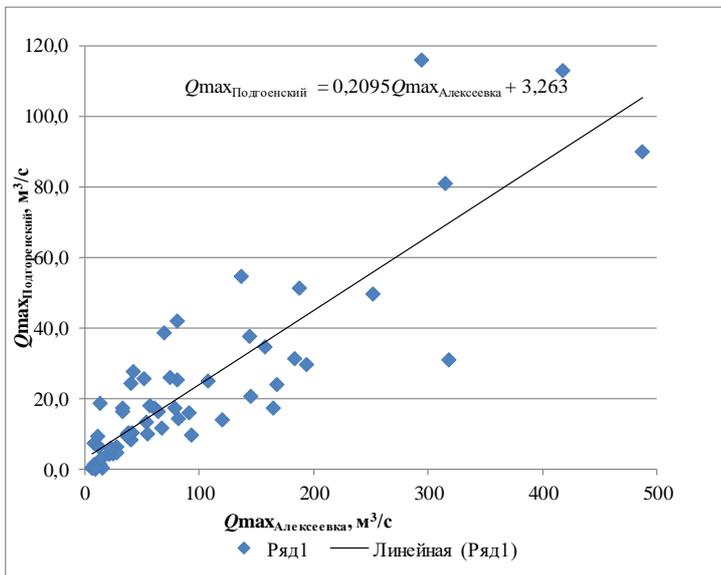
Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Россошь - пгт. Подгоренский

Створ аналог: р. Тихая Сосна - г. Алексеевка

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	σ_R	R/ σ_R	k	k_0	σ_k	k/ σ_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				59	22,72	92,86	0,86	0,03	25,67	0,2095	3,263	0,01	17,82
1	1956	81,0	315										
2	1957	116,0	294										
3	1958	25,5	81,4										
4	1959	54,8	137										
5	1960	29,7	194										
6	1961	17,3	79										
7	1962	38,7	69,4										
8	1964	113	418										
9	1965	8,42	40,7										
10	1966	25,8	51,6										
11	1967	11,7	67,8										
12	1968	31,1	318										
13	1969	13,5	54,4										
14	1970	25	108										
15	1971	90,0	487										
16	1972	17,4	33,1										
17	1973	18,1	56,9										
18	1974	51,2	188										
19	1975	18,7	13,7										
20	1976	24,3	40,1										
21	1977	10,2	54,7										
22	1978	42	80,5										
23	1979	37,6	144										
24	1980	24,2	168										
25	1981	49,8	252										
26	1982	27,8	42,6										
27	1983	10,2	36,9										
28	1984	6,5	27,6										
29	1985	20,6	145										
30	1986	34,6	158										
31	1987	26,2	74,6										
32	1988	31,3	184										
33	1989	4,4	24,6										
34	1990	9,4	37,9										
35	1991	17,4	61										
36	1992	1,6	13,9										
37	1993	16,1	91,7										
38	1994	17,4	165										
39	1995	9,8	93,6										
40	1996	14,5	82										
41	1997	4,6	22,3										
42	1998	10,6	41,5										
43	1999	10,3	38,6										
44	2000	4,8	28,4										
45	2001	7,3	8,84										
46	2002	1,4	8,26										
47	2003	14,0	120										
48	2004	9,3	11										
49	2005	4,4	21,1										
50	2006	16,5	32,8										
51	2007	0,4	6,89										
52	2008	6,1	22,5										
53	2009	0,5	6,49										
54	2010	16,4	64,1										
55	2011	0,6	15,6										
56	2012	3,2	14,3										
57	2013	6,5	12,5										
58	2014	0,3	9,14										
59	2015	0,4	9,83										



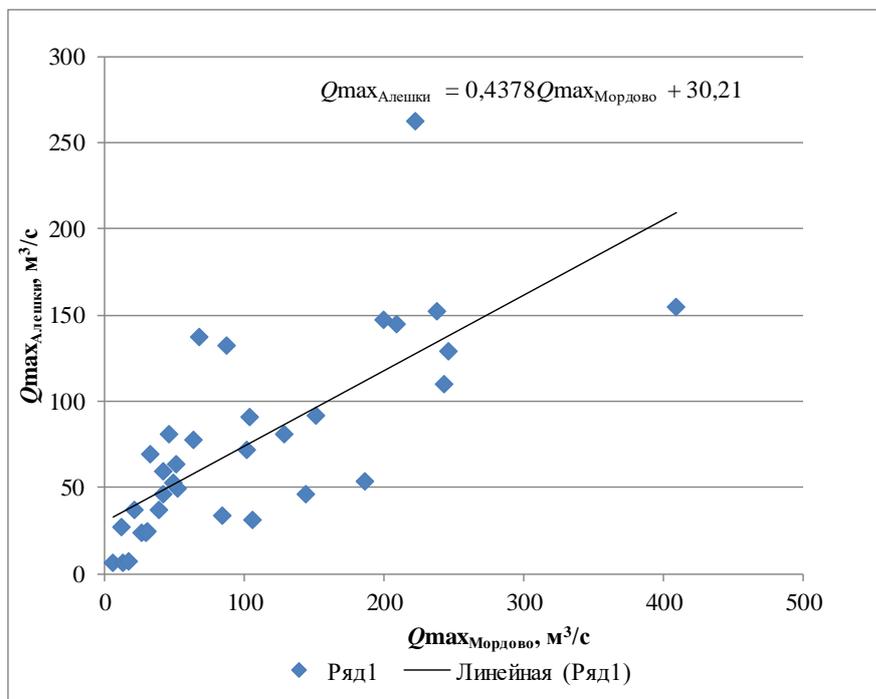
Результаты корреляционного анализа совместного ряда наблюдений

Гидрологическая характеристика - максимальный расход весеннего половодья, $Q \text{ м}^3/\text{с}$

Расчетный створ: р. Токай - с. Ростоши

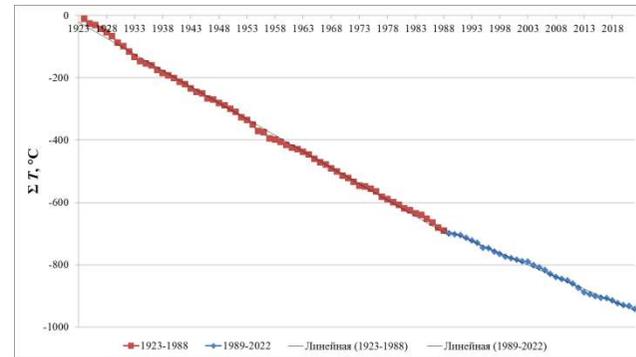
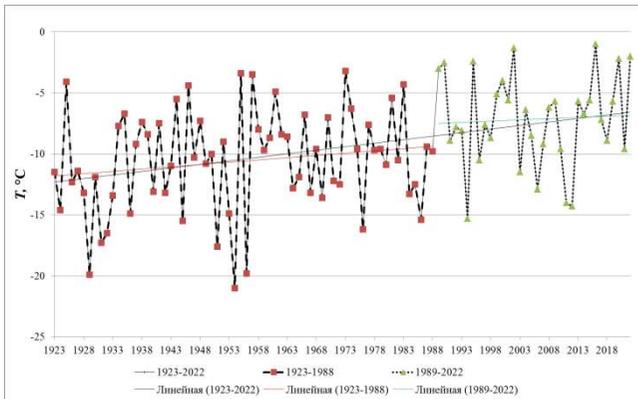
Створ аналог: р. Битюг - р.п.Мордово

№	Год	Створы:		n	Среднее		R	σ_R	R/ σ_R	k	k_0	σ_k	k/ σ_k
		Расч.	Аналог		Расч.	Анал.							
Совместные наблюдения:				34	75,38	103,17	0,73	0,08	8,80	0,4378	30,210	0,05	8,04
1	1954	23,6	27,1										
2	1955	110	243										
3	1957	155	410										
4	1958	91,1	104										
5	1959	49,5	52										
6	1960	129	246										
7	1961	81,2	129										
8	1962	33,7	84										
9	1963	145	209										
10	1964	147	200										
11	1965	31,4	106										
12	1966	72,2	102										
13	1967	46,4	42,6										
15	1969	46,4	144										
17	1971	137	67,5										
18	1972	6,71	6,22										
19	1973	69,5	32,9										
20	1974	132	87,5										
21	1975	36,9	21										
22	1976	24,2	31,1										
23	1977	53,4	187										
24	1978	91,8	152										
25	1979	262	223										
26	1980	36,7	38,7										
27	1981	152	238										
28	1982	6,39	13,1										
29	1983	52,8	49,6										
30	1984	27,3	11,8										
31	1985	59,8	42										
32	1986	77,5	63,3										
33	1987	80,6	46,6										
34	1988	63,3	51										
35	1989	7,42	17,3										
36	1991	24	29,6										



Приложение Г. Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха

а)



б)

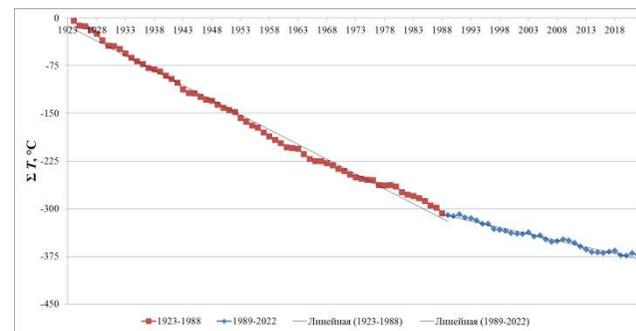
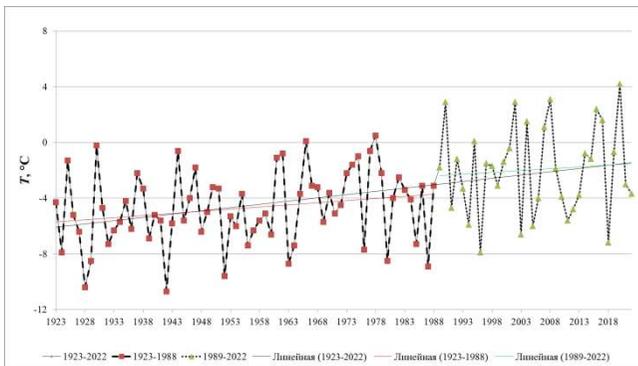
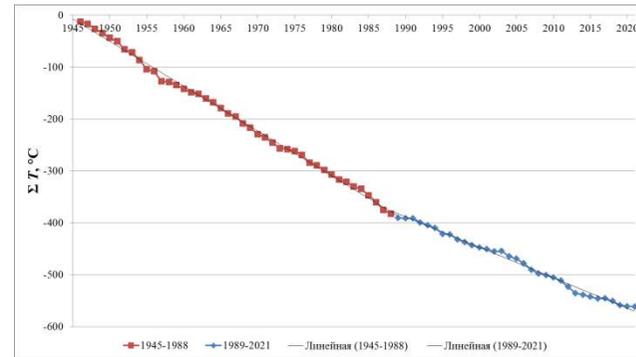
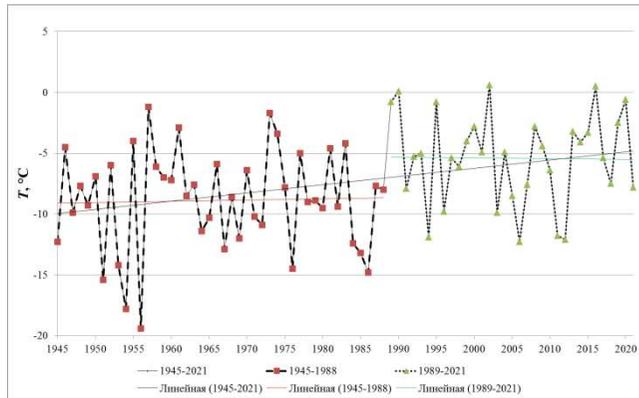


Рисунок Г.1 Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха (а – февраль; б – март)

(м.ст. Балашов)

а)



б)

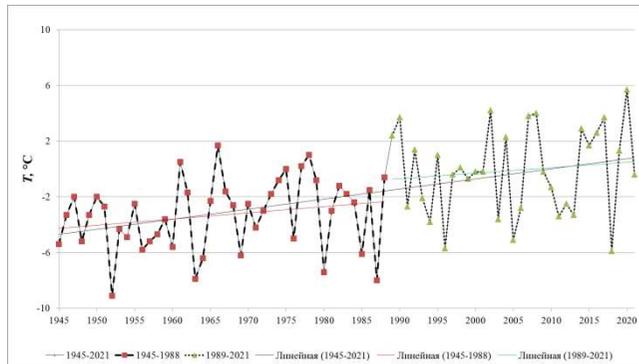
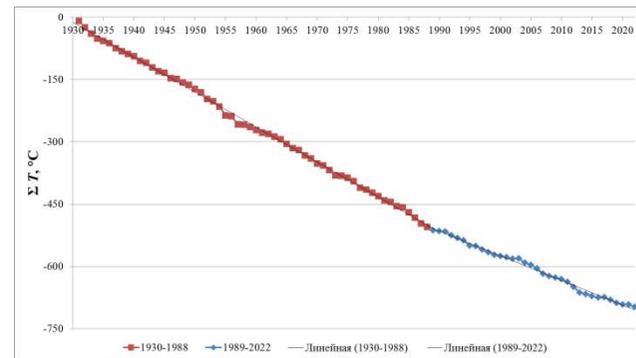
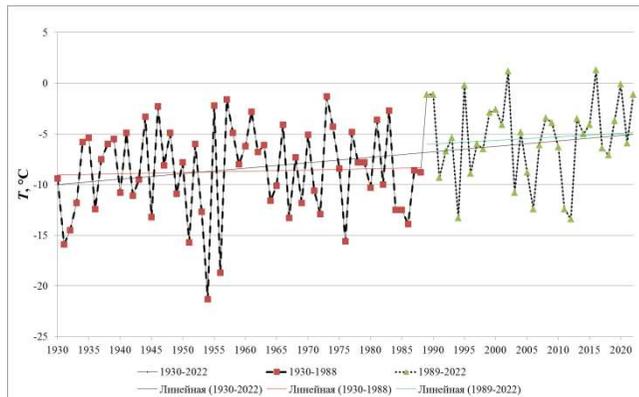


Рисунок Г.2 Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха (а – февраль; б – март)
(м.ст. Воронеж)

а)



б)

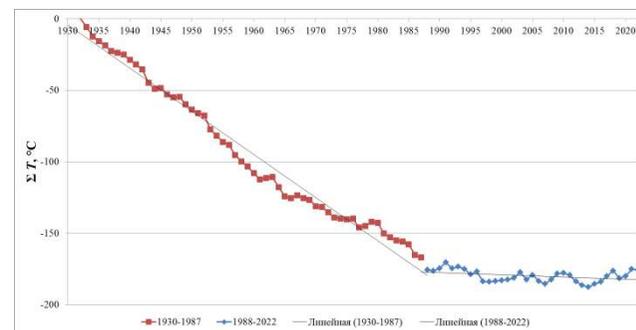
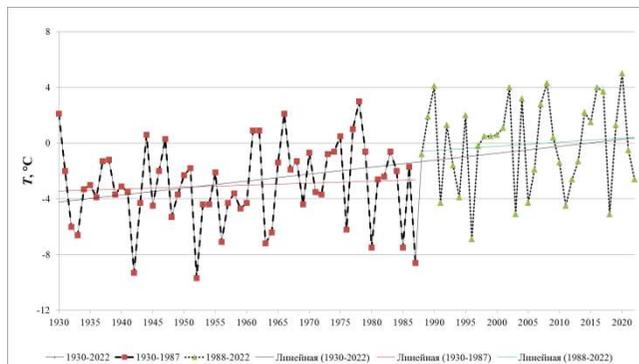
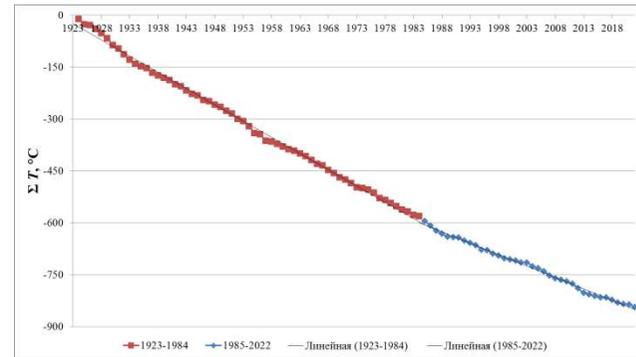
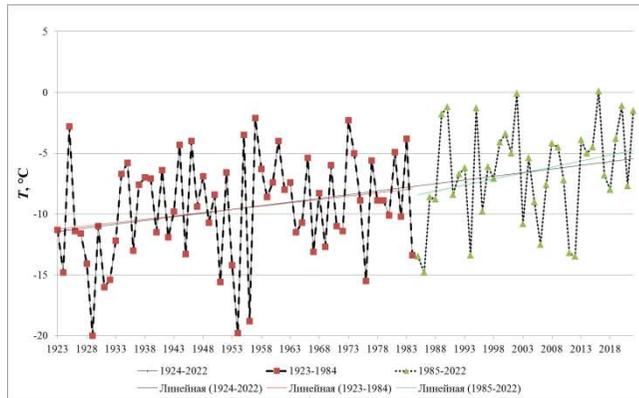


Рисунок Г.3 Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха (а – февраль; б – март)
(м.ст. Калач)

а)



б)

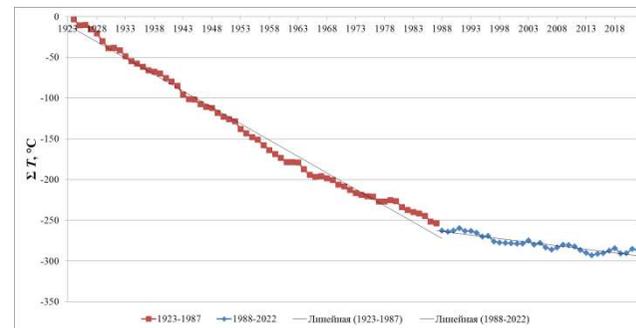
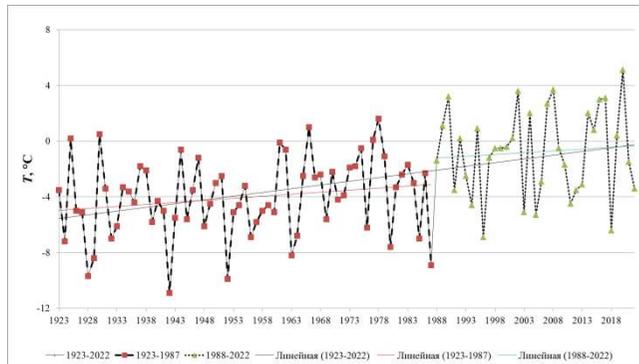
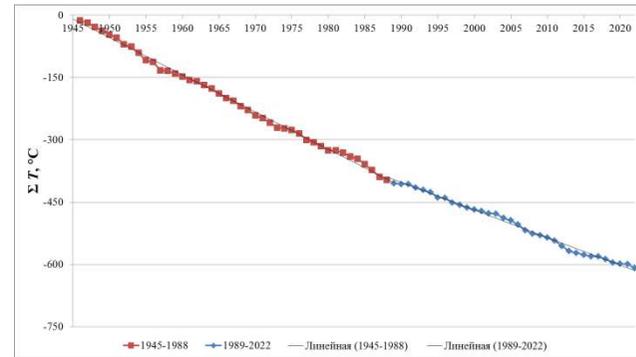
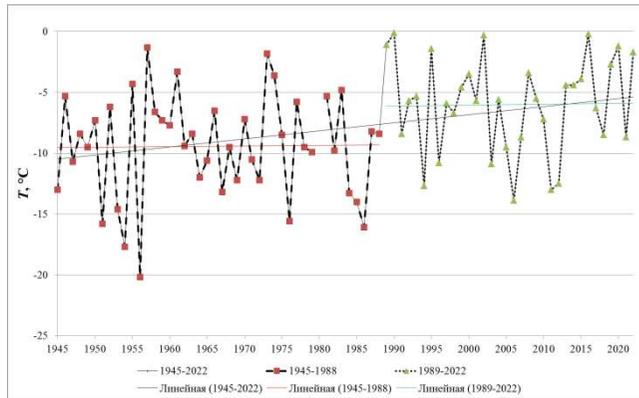


Рисунок Г.4 Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха (а – февраль; б – март) (м.ст. Каменная Степь)

а)



б)

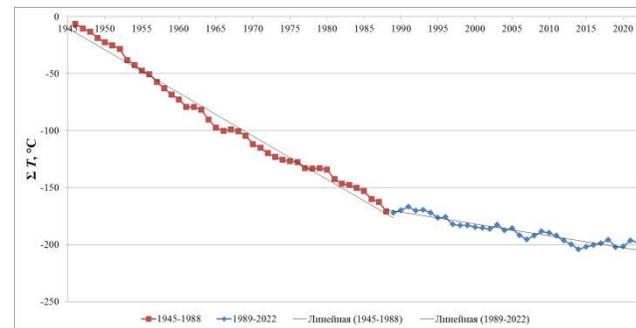
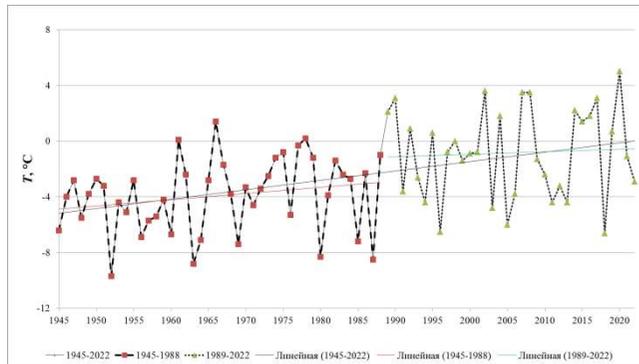
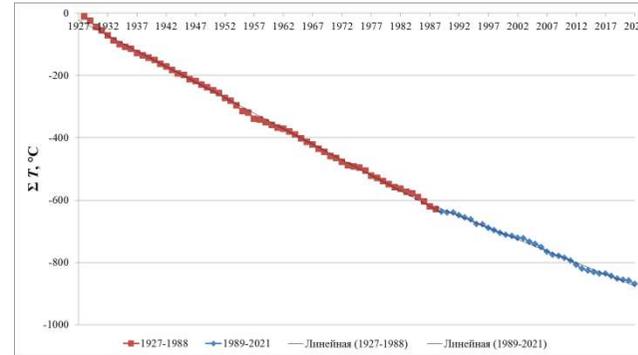
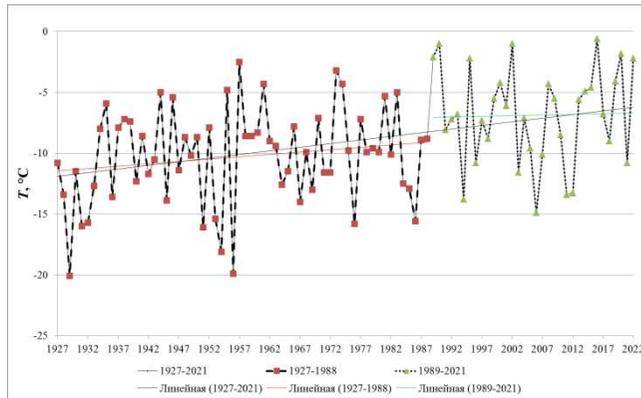


Рисунок Г.5 Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха (а – февраль; б – март)
(м.ст. Конь-Колодезь)

а)



б)

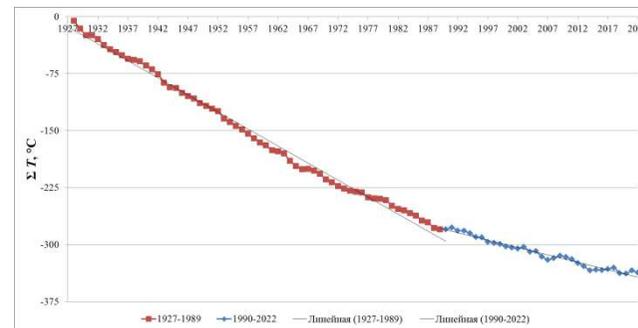
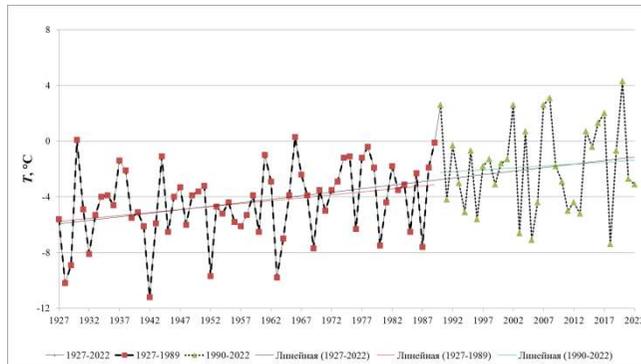
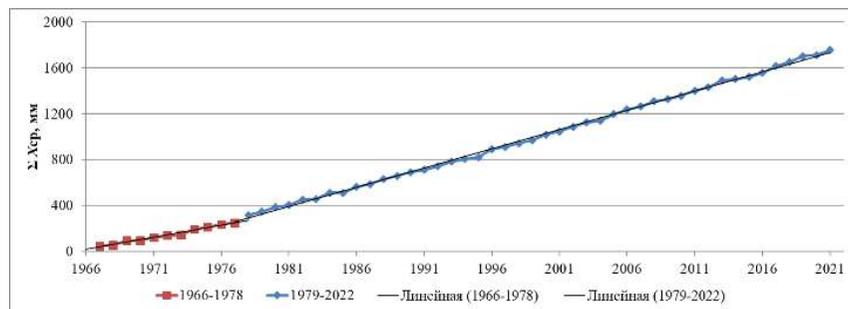
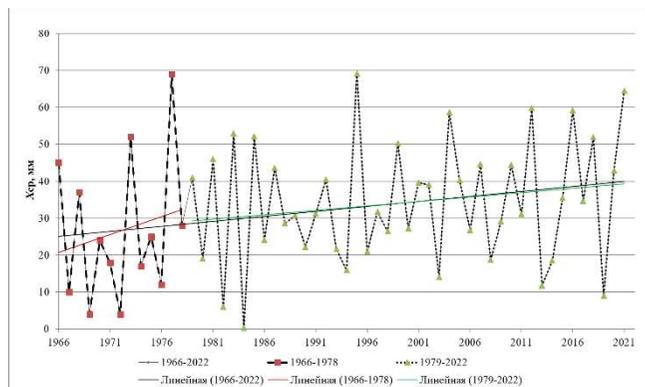


Рисунок Г.6 Хронологические и интегральные графики среднемесячной температуры воздуха (а – февраль; б – март) (м.ст. Тамбов)

Приложение Д. Хронологические и интегральные графики среднемесячного количества осадков

а)



б)

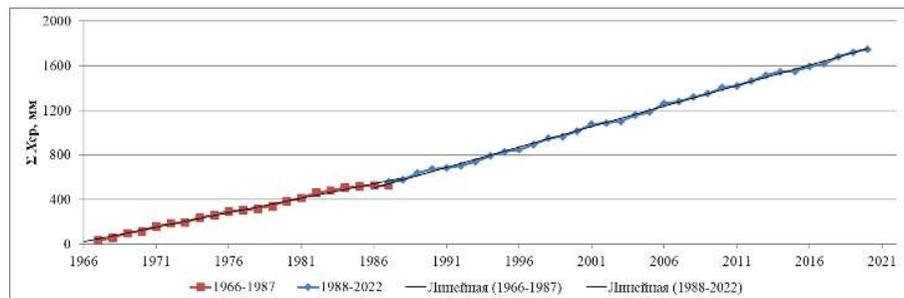
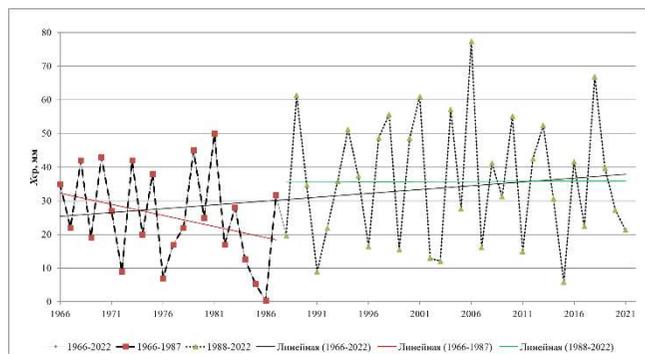
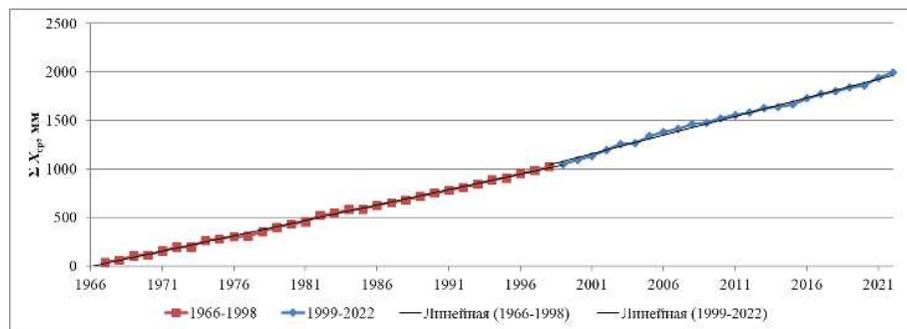
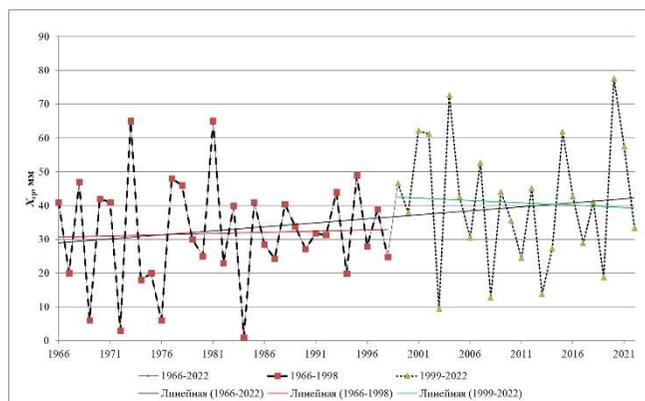


Рисунок Д.1 Хронологические и интегральные графики среднемесячного количества осадков (а – февраль; б – март)

(м.ст. Балашов)

а)



б)

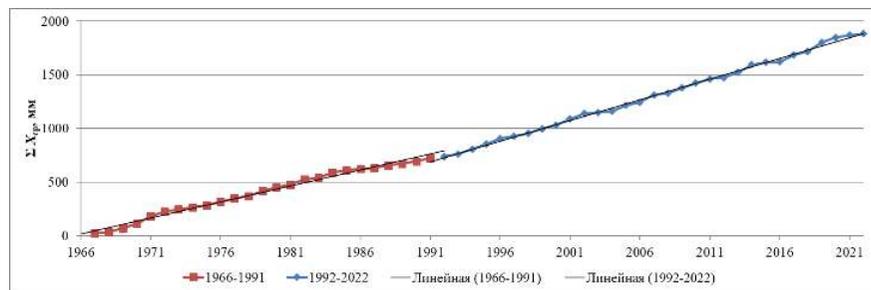
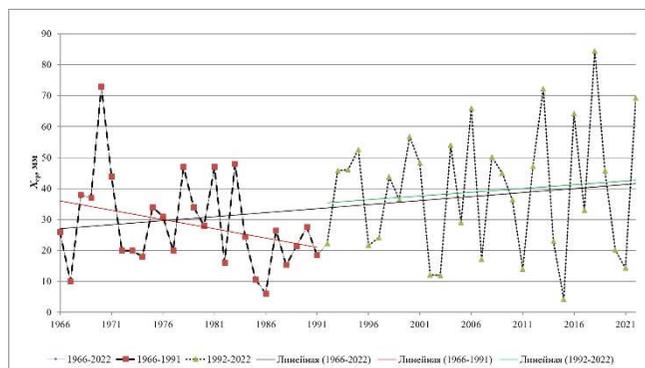
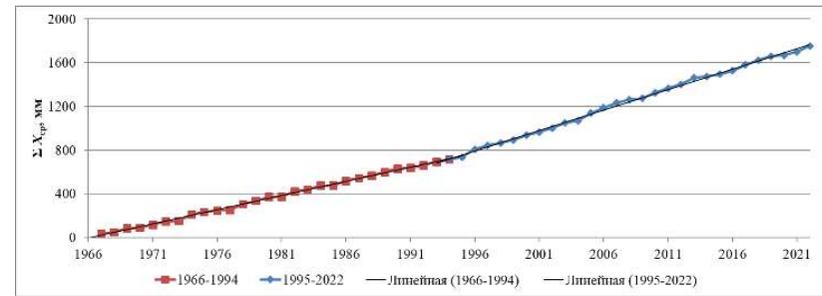
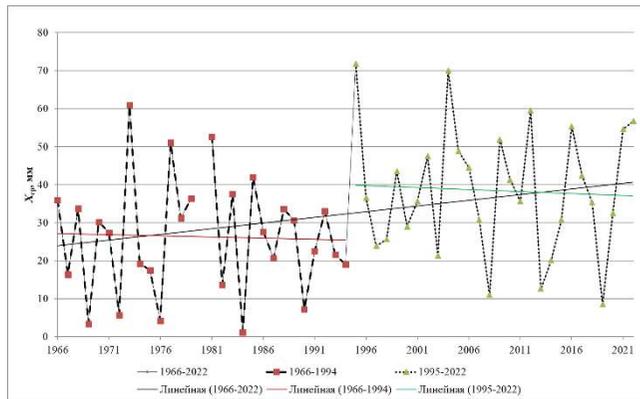


Рисунок Д.2 Хронологические и интегральные графики среднемесячного количества осадков (а – февраль; б – март) (м.ст. Воронеж)

а)



б)

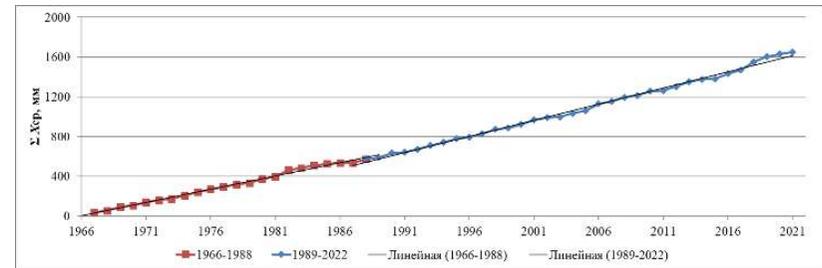
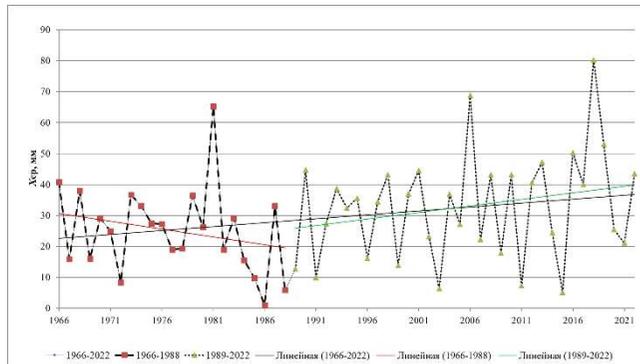
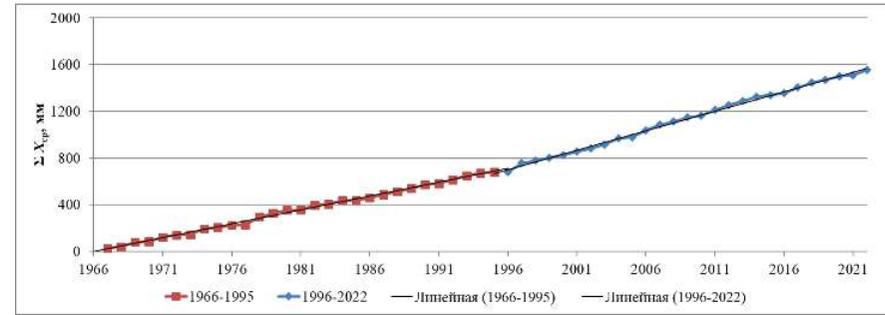
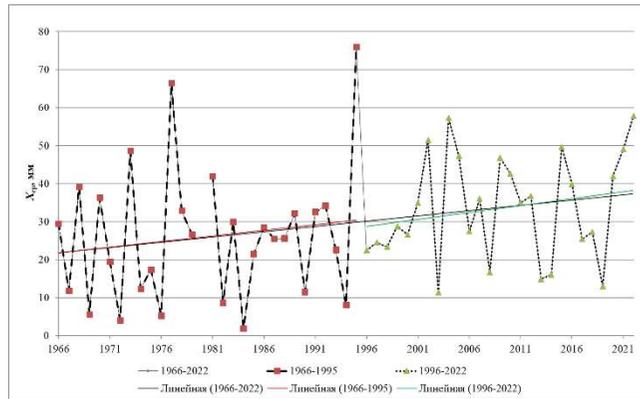


Рисунок Д.3 Хронологические и интегральные графики среднеемесячного количества осадков (а – февраль; б – март) (м.ст. Калач)

а)



б)

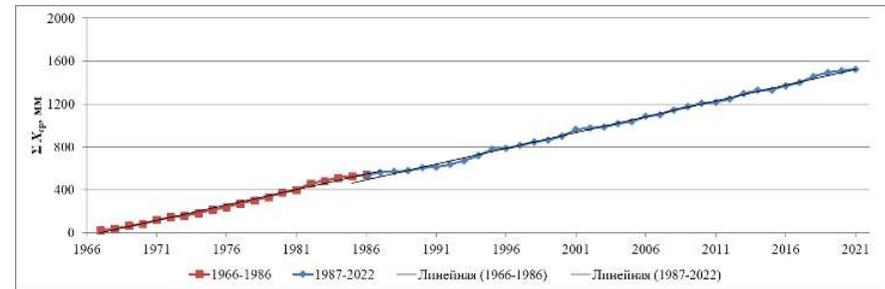
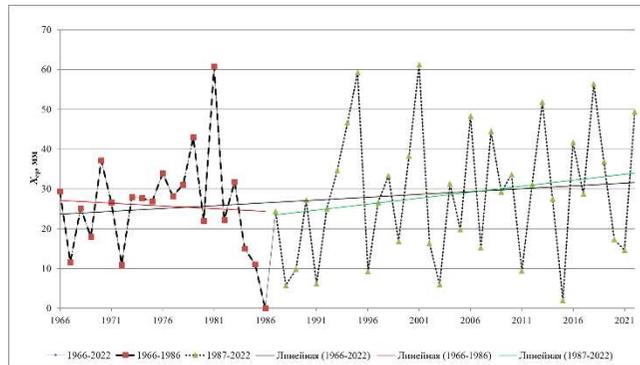
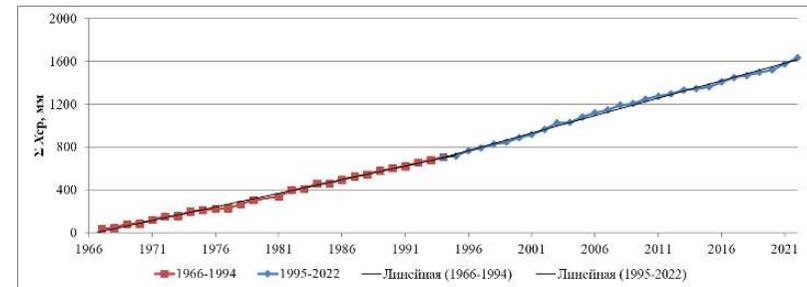
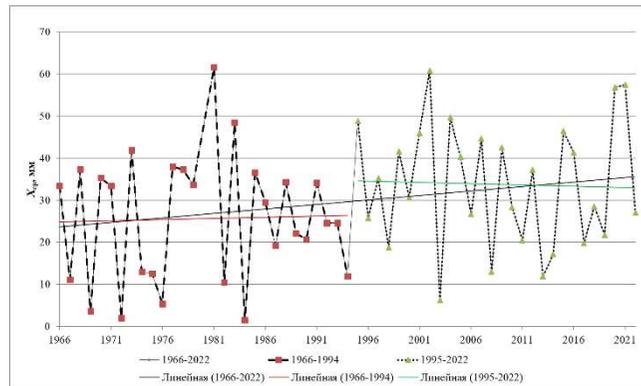


Рисунок Д.4 Хронологические и интегральные графики среднеемесячного количества осадков (а – февраль; б – март) (м.ст. Каменная Степь)

а)



б)

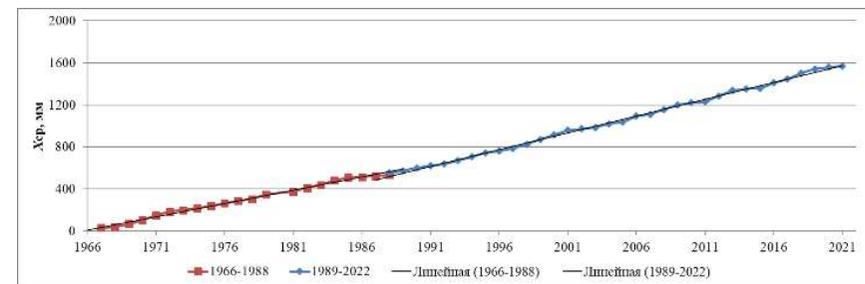
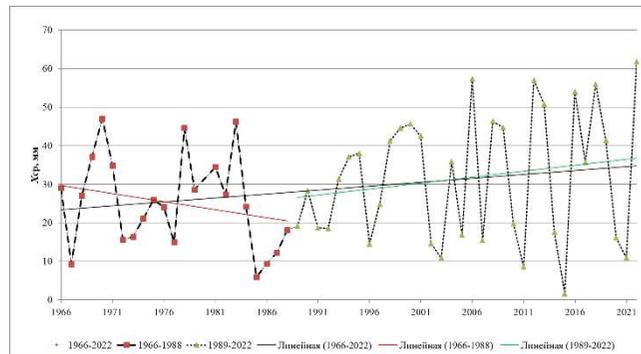
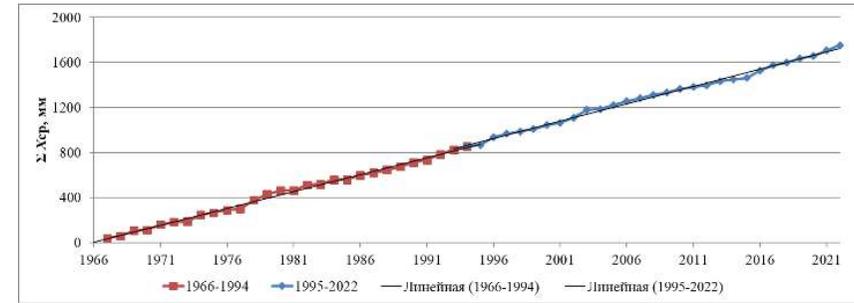
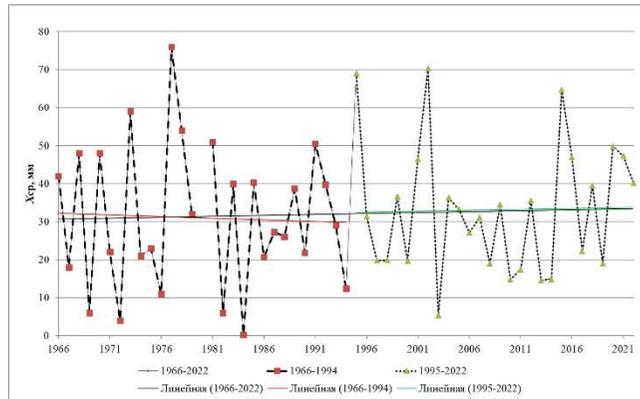


Рисунок Д.5 Хронологические и интегральные графики среднемесячного количества осадков (а – февраль; б – март) (м.ст. Конь-Колодезь)

а)



б)

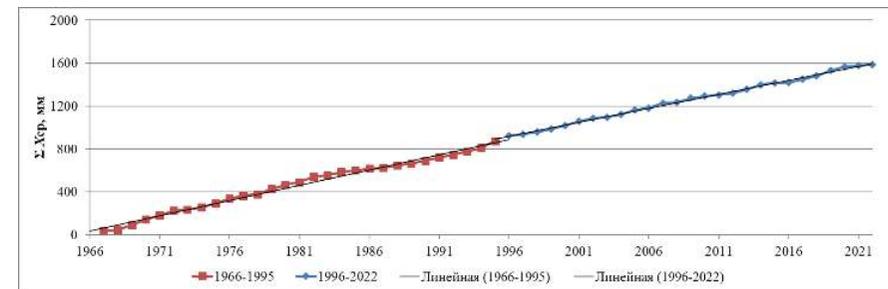
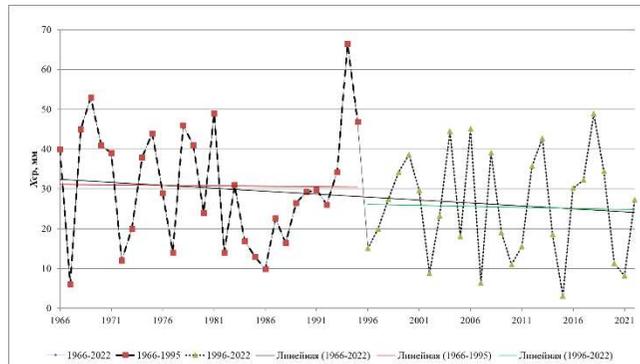
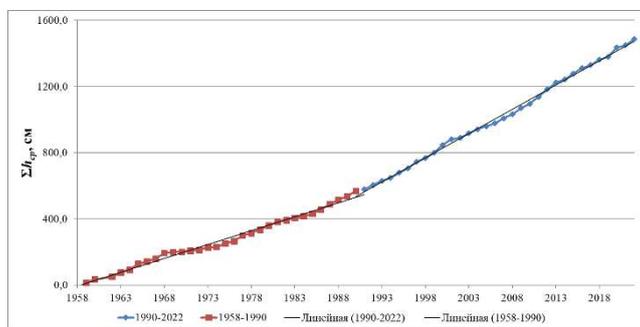
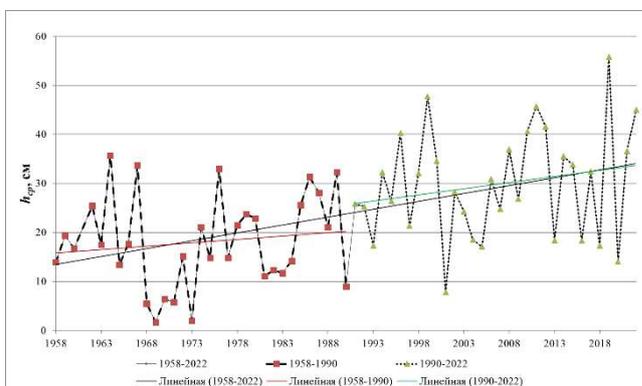


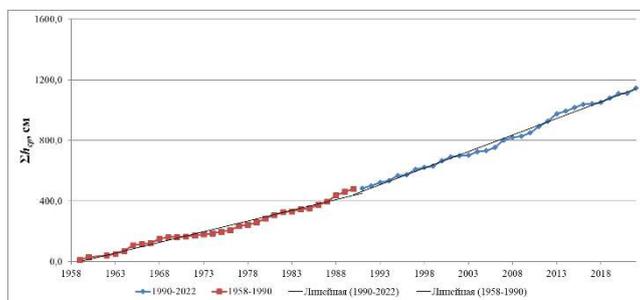
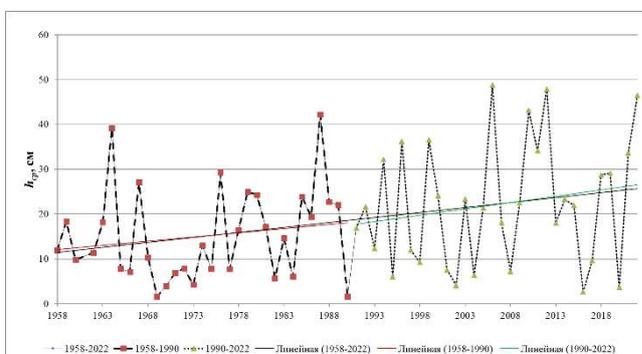
Рисунок Д.6 Хронологические и интегральные графики среднеемесячного количества осадков (а – февраль; б – март)
(м.ст. Тамбов)

Приложение Е. Хронологические и интегральные графики среднемесячной
 высоты снежного покрова

а)



б)



в)

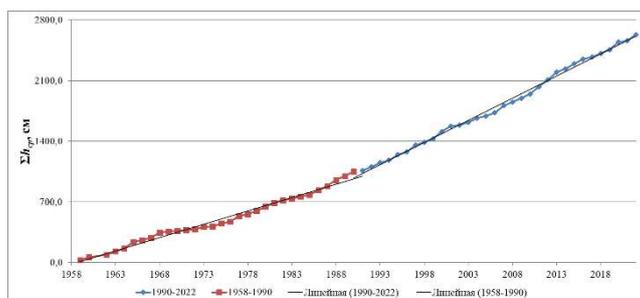
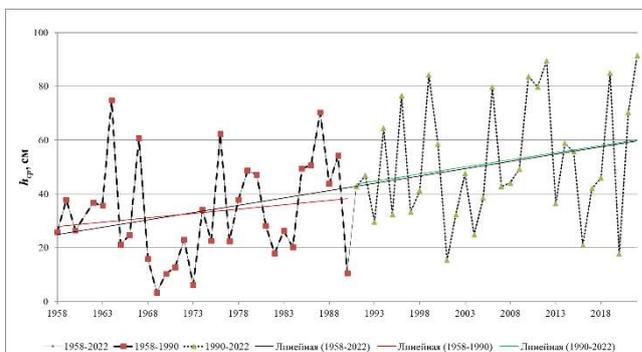
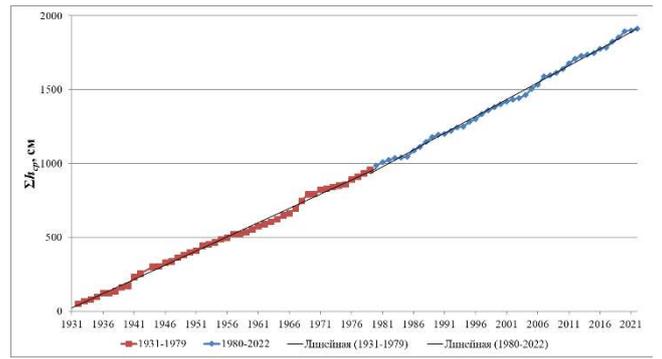
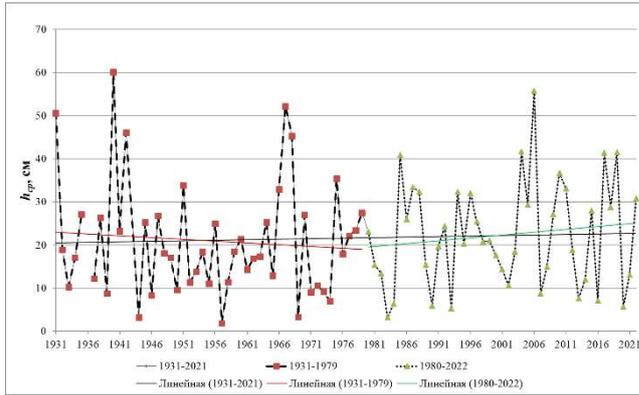
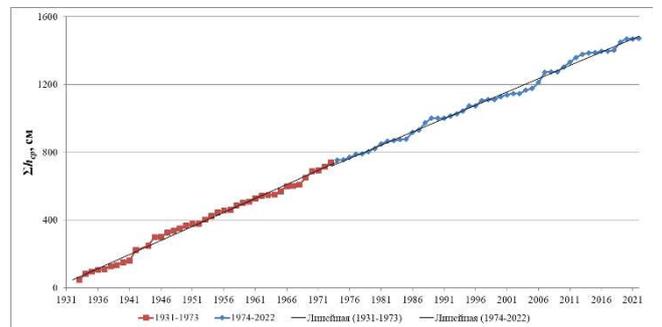
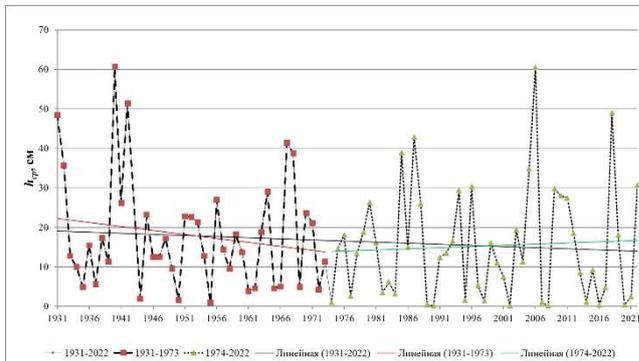


Рисунок Е.1 Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты
 снежного покрова (а – февраль; б – март; в – сумма февраль и март)
 (м.ст. Балашов)

a)



б)



в)

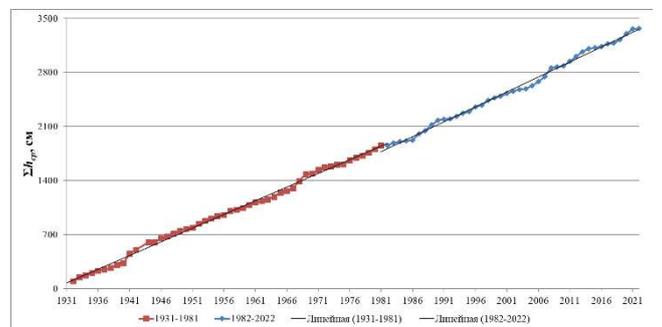
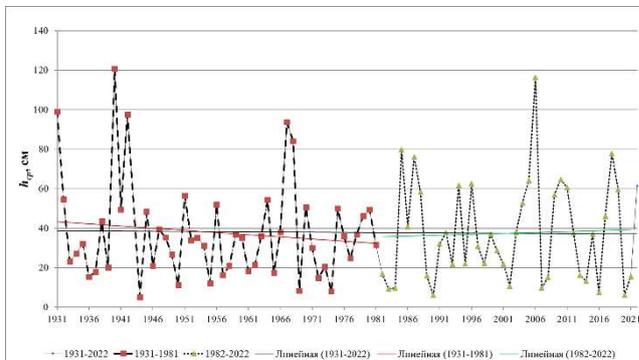
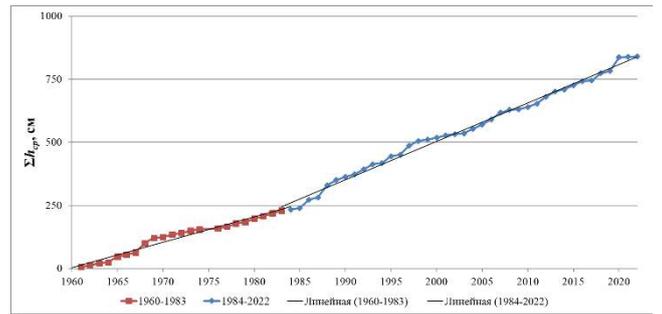
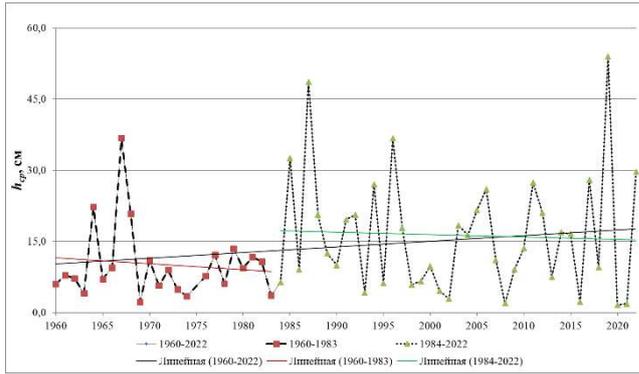
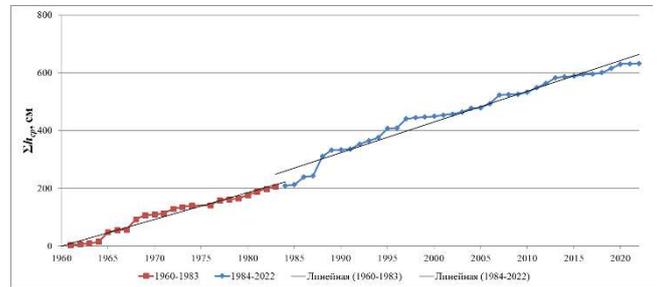
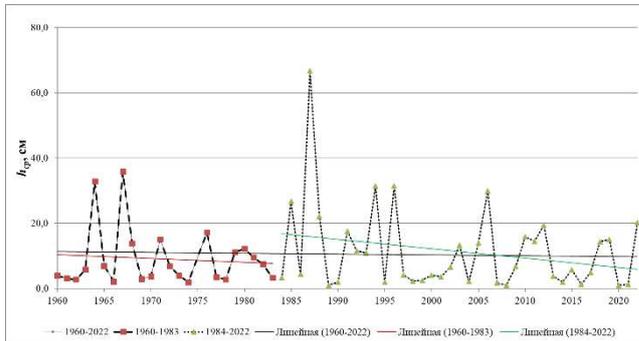


Рисунок Е.2 Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты снежного покрова (а – февраль; б – март; в – сумма февраль и март) (м.ст. Воронеж)

а)



б)



в)

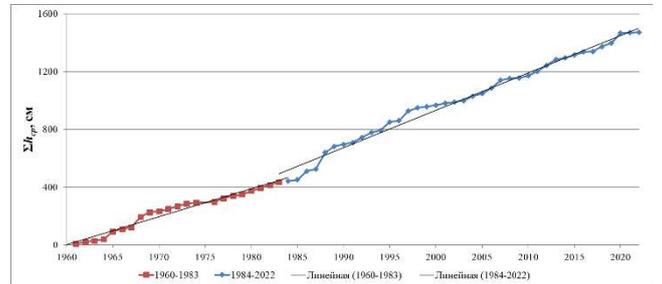
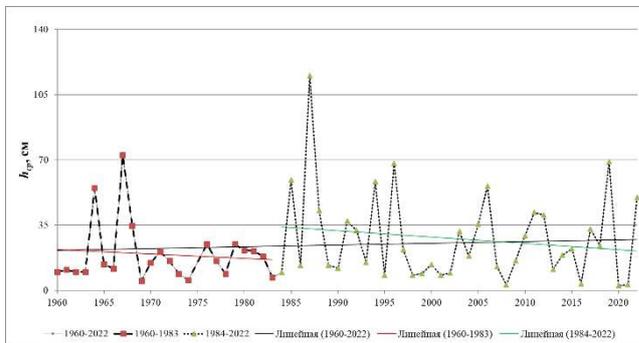
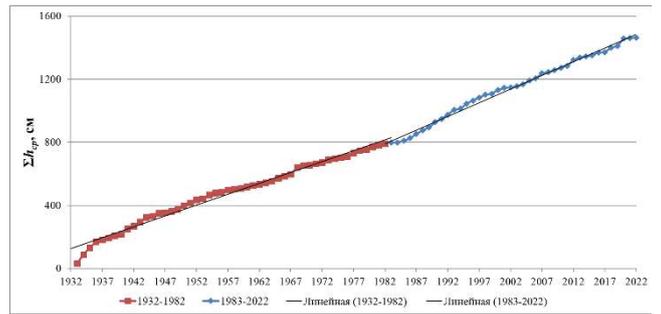
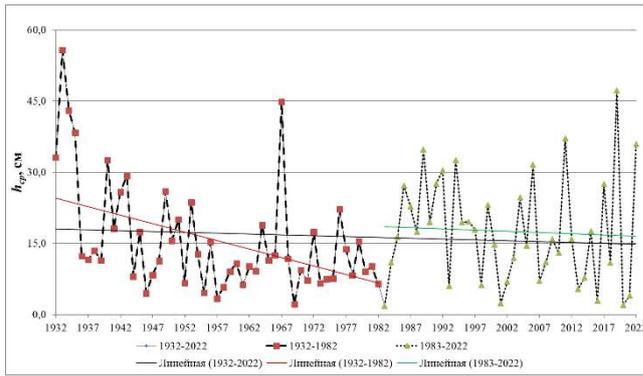
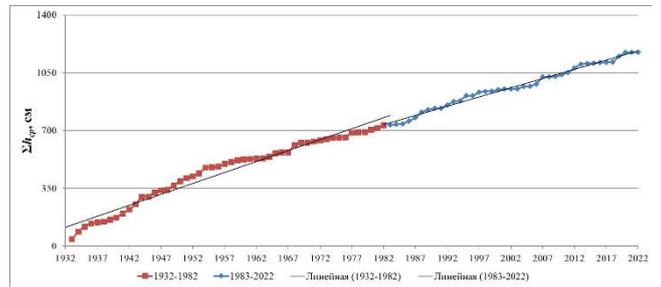
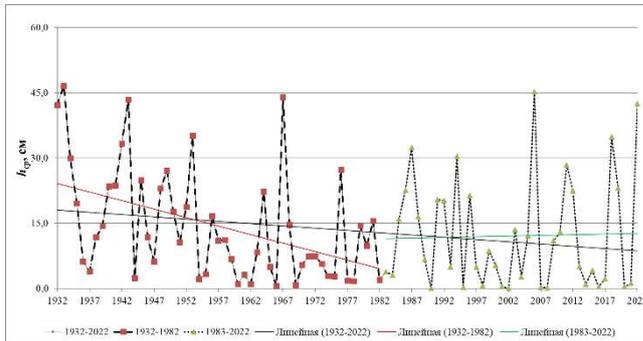


Рисунок Е.3 Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты снежного покрова (а – февраль; б – март; в – сумма февраль и март) (м.ст. Калач)

a)



б)



в)

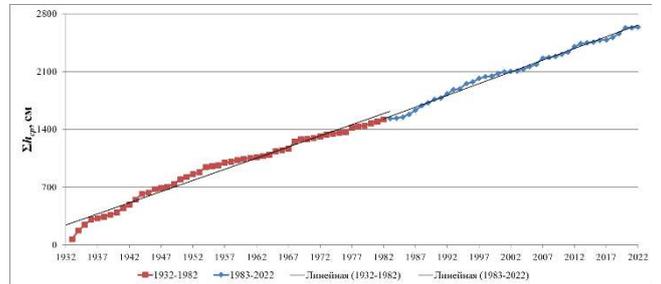
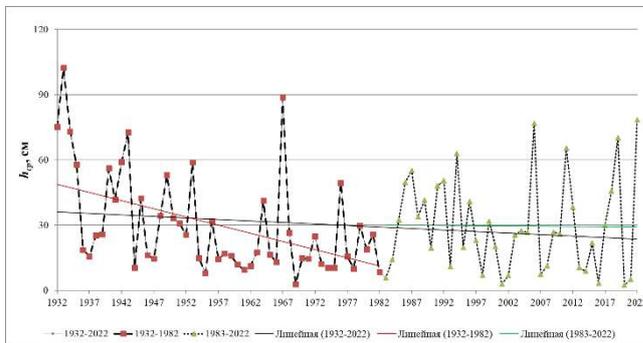
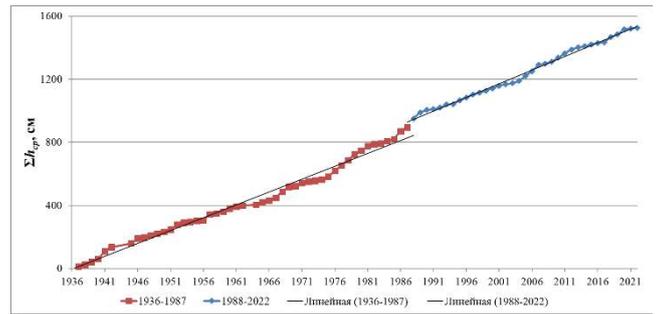
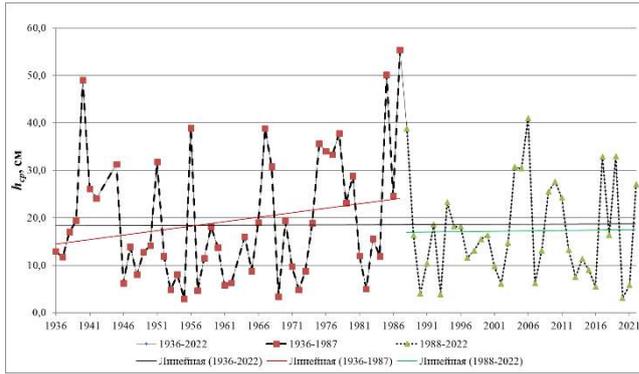
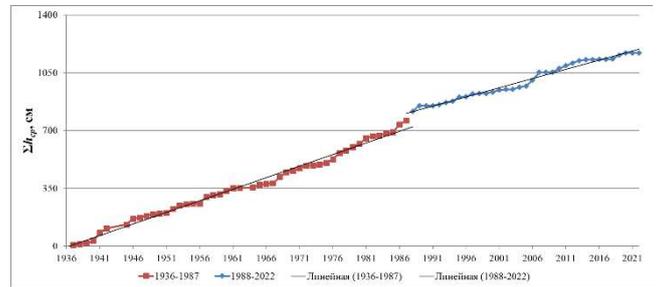
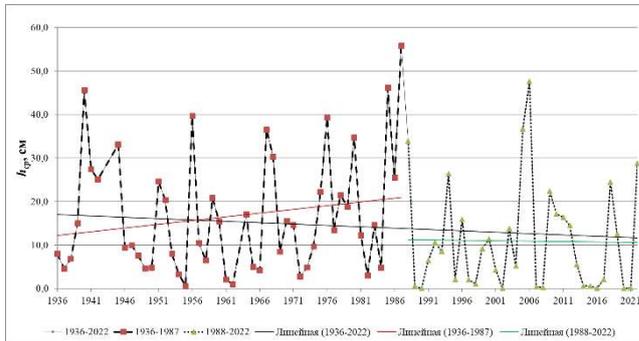


Рисунок Е.4 Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты снежного покрова (а – февраль; б – март; в – сумма февраль и март) (м.ст. Каменная Степь)

a)



б)



в)

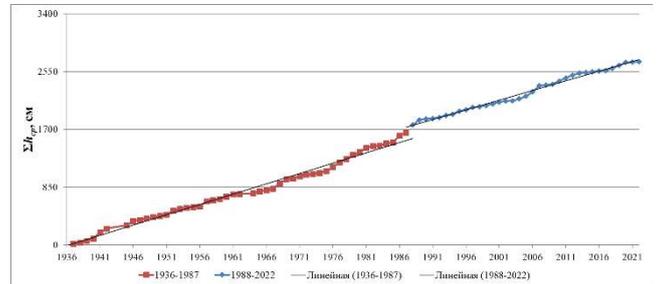
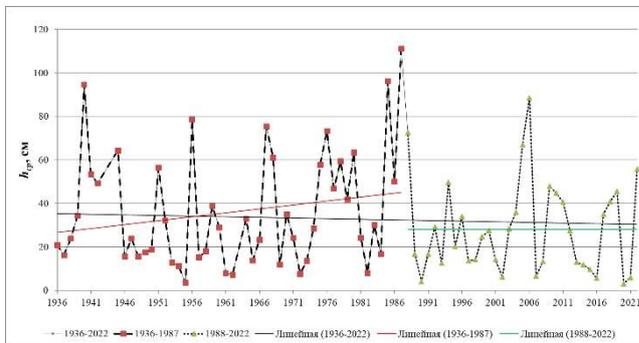
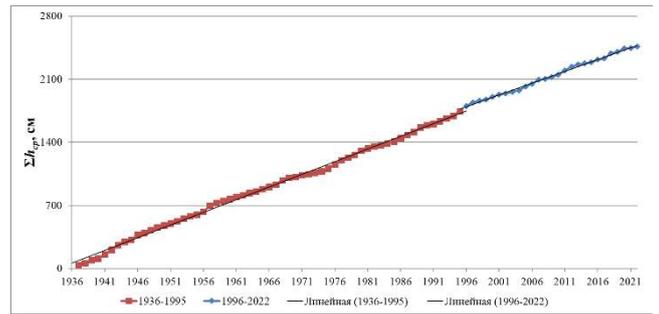
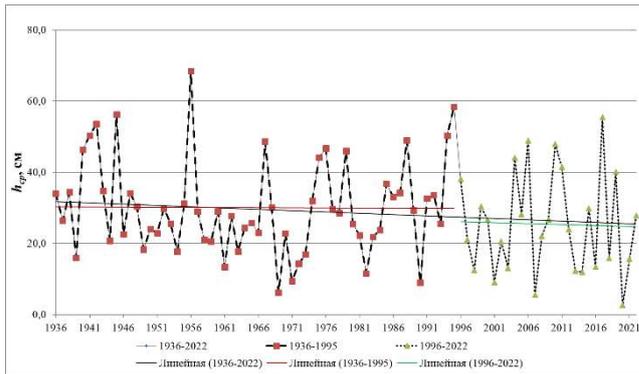
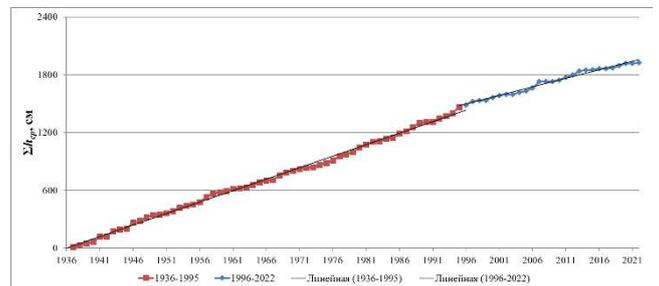
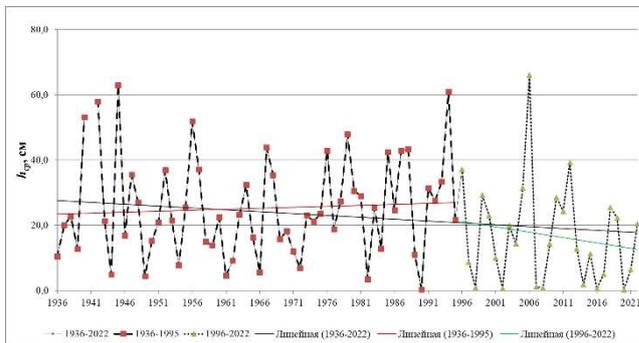


Рисунок Е.5 Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты снежного покрова (а – февраль; б – март; в – сумма февраль и март) (м.ст. Конь-Колодезь)

a)



б)



в)

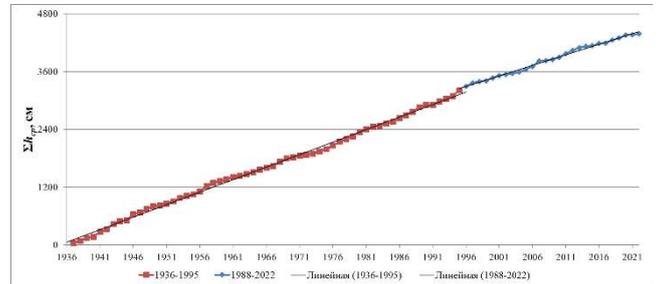
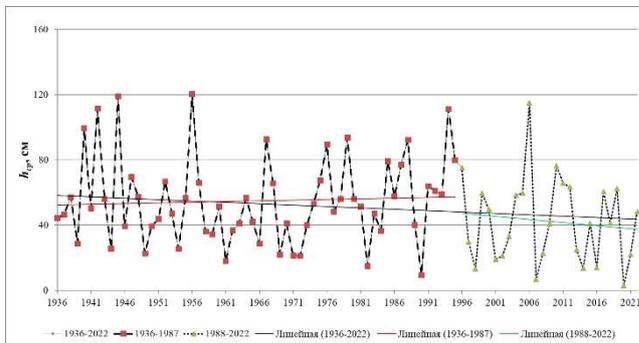


Рисунок Е.6 Хронологические и интегральные графики среднемесячной высоты снежного покрова (а – февраль; б – март; в – сумма февраль и март) (м.ст. Тамбов)