



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

Кафедра Гидрологии суши

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

На тему **Особенности гидрологического  
режима реки Нигер**

Исполнитель Коне Амиду

Руководитель кандидат географических наук, доцент

Сикан Александр Владимирович

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук, доцент Сикан Александр Владимирович

«6» июня 2017 г.

Санкт-Петербург  
2017

Магистерская диссертация

Особенности гидрологического режима реки

Нигер

КОНЕ АМИДУ (Республика Мали)

2017 г.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

Печать отдельно

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.....	4
1. Краткая физико-географическая характеристика республики Мали.....	6
1.1. Рельеф.....	8
1.2. Почвы.....	10
1.3. Растительность.....	11
1.4. Хозяйственная деятельность.....	11
2. Климат Республики Мали.....	13
2.1. Осадки.....	14
2.1.1. Внутригодовое распределение осадков.....	14
2.1.2. Восстановление пропусков в рядах осадков.....	16
2.1.3. Проверка рядов осадков на однородность.....	18
2.1.4. Оценка линейных трендов в рядах осадков.....	22
2.1.5. Анализ разностных интегральных кривых годовых сумм осадков.....	25
2.2. Температура воздуха.....	27
2.2.1. Внутригодовое распределение температура воздуха.....	27
2.2.2. Восстановление пропусков в рядах температур.....	28
2.2.3. Проверка рядов температур на однородность.....	30
2.2.4. Оценка линейных трендов в рядах температур.....	32
2.2.5. Анализ разностных интегральных кривых среднегодовых тем- пература воздуха.....	35
3. Гидрологический режим реки Нигер и ее притоков.....	37
3.1. Исходные данные.....	39
3.2. Внутригодовое распределение стока.....	40
3.3. Восстановление пропусков в рядах среднемесячных и среднегодовых расходов воды.....	41

3.4. Проверка рядов среднегодовых расходов воды на однородность.....	42
3.5. Оценка линейных трендов в рядах среднегодовых расходов воды.....	45
3.6. Анализ интегральных и разностных интегральных кривых среднегодовых расходов воды.....	47
3.7. Расчет основных статистических характеристик рядов среднегодовых расходов воды.....	50
3.8. Расчет среднеговых расходов воды различной обеспеченности.....	53
3.9. Влияние антропогенных факторов на водный режим реки Нигер.....	67
Заключение.....	69
Список использованных источников.....	70
Приложения.....	72
Приложение1.....	72
Приложение2.....	78
Приложение3.....	90
Приложение4.....	93
Приложение5.....	94

## ВВЕДЕНИЕ

Республика Мали – в основном аграрная страна, но большую ее часть (около 60%) занимают пустыни и полупустыни. Более благоприятные условия для жизни людей только в юго-западной части, где проживает большинство населения страны.

Ежегодный объем водозабора в Мали составляет примерно 6,6 км<sup>3</sup>, из них 97% расходуется на нужды сельского хозяйства. Основным источником воды в Мали является река Нигер, к бассейну которого относится 41% территории республики. Поэтому изучение водного режима реки Нигер – задача актуальная как с научной, так и с практической точки зрения.

Основная цель исследования – изучение особенностей водного режима реки Нигер. В связи с этим решались следующие задачи.

- Оценка влияния климатических факторов на водный режим реки Нигер.
- Изучение внутригодового распределения стока реки Нигер.
- Анализ многолетних колебаний водности реки Нигер.
- Расчет среднегодовых расходов воды р. Нигер различной обеспеченности.

В качестве исходных данных использовались ряды метеорологических характеристик по 18 метеорологическим станциям района исследований и ряды среднемесячных и среднегодовых расходов воды по 7 гидрологическим постам, расположенным на реке Нигер в пределах республики Мали.

При решении поставленных задач применялись методы статистического анализа, гидрологической аналогии, пространственной интерполяции, географического районирования.

При обработке и анализе данных использовались компьютерные программы: MS Excel, MapInfo Professional, Statistica, HydroStatCalc.

Работа состоит из 3 разделов, введения и заключения.

В первом разделе представлена краткая физико-географическая характеристика Республики Мали.

Во втором разделе, с использованием данных 18 метеостанций, дана характеристика климата бассейна Мали.

В третьей главе на основе анализа среднемесячных и среднегодовых расходов воды по 7 гидрологическим постам выполнен анализ особенностей водного режима реки Нигер.

В заключении представлены результаты проведенного исследования.

Работа содержит 56 рисунков, 22 таблицы, 5 приложений и список использованных источников из 26 наименований. Общий объем работы 94 страницы.

# 1 КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕСПУБЛИКИ МАЛИ

Республика Мали является крупнейшим государством Западной Африки и одним из самых крупных в Африке, не имеющим выхода к морю. Занимает площадь 1 241 238 км<sup>2</sup>. Республика граничит на западе – с Сенегалом, на севере – с Мавританией и Алжиром, на востоке – с Нигером, на юго-востоке – с Буркина-Фасо, на юге – Кот-д’Ивуаром и Гвинеей (рисунок 1.1).

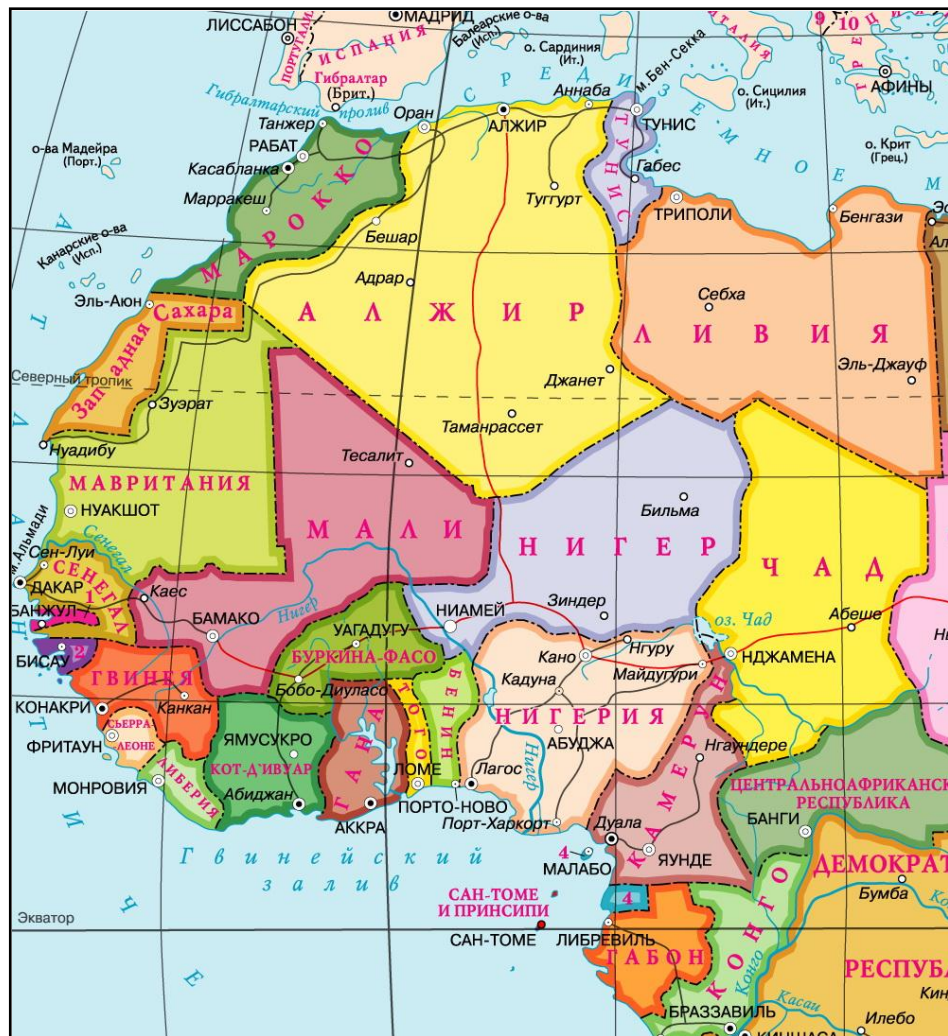


Рисунок 1.1 – Республика Мали на карте Западной Африки.

Столица Мали – Бамако. Крупнейшие города: Каес, Куликоро, Сикасо, Сегу, Мопти, Томбукту, Гао, Кидаль.

Поверхность водных объектов занимает 1,67% от общей площади страны. Это самый высокий показатель в регионе.

Мали пересекается двумя крупными реками: Нигер и Сенегал.

Сенегал является рекой с тропическим режимом, длина 1790 км, площадь бассейна 337000 км<sup>2</sup>, берет свое начало в Гвинее. Река Сенегал протекает по территории Мали, Мавритании и Сенегала.

Река Нигер третья по величине после Нила и Конго река Африки. Нигер берет свое начало на границе Сьерра-Леоне и Гвинеи. В верхнем течении река течет в северо-восточном направлении, пересекая Гвинею и южную часть Мали.

Между городами Сегу и Тимбукту расположена «внутренняя дельта» Нигера, образовавшаяся в месте сильного уменьшения продольного руслового уклона. Местность представляет собой область русловой многорукавности. Имеет длину 425 км при средней ширине 87 км. Сезонные разливы делают внутреннюю дельту чрезвычайно благоприятной для рыболовства и сельского хозяйства. На участке внутренней дельты Нигер теряет от 25 до 50% своего расхода в основном за счет испарения и фильтрации.

В районе города Мопти в Нигер (справа) впадает река Бани, которая берет начало в Кот-д'Ивуаре, но ее расход не компенсирует потери во внутренней дельте.

Через 250 км ниже города Томбуку Нигер поворачивает на юго-восток, протекает по западной части государства Нигер, вдоль границы с Бенином и далее – по территории Нигерии, где в нижнем течении течет с севера на юг.

На территории Нигерии в районе города Лакоджи в Нигер впадает (слева) его главный приток – река Бенуэ, которая удваивает расход Нигера.

Впадает Нигер в Гвинейский залив Атлантического океана, формируя в районе впадения дельту.

### 1.1 Рельеф

Рельеф Мали преимущественно равнинный, однообразный. Песчаниковые горы и плато высотой 200-500 мм с юго-востока понижаются на северо-



запад к низменностям Верхне-Сенегальской и Эльджуф. Характерны возвышенности, выступившие в результате выветривания и эрозии.

Горы и песчаники залегают полого и несогласно перекрывают до кембрийских сланцев и гнейсы. В песчаниках включены дайки долеритов и габбро. Из уступов, образованных песчаниками, наиболее известны Тамбаура, горы Мандинг и длинный уступ, который тянется от Банфора на Буркина-Фасо к северу до величественного уступа Бадянгара (южнее излучены Нигера).

По рельефу и природным условиям в Республике Мали можно выделить следующие районы:

Горы Бамбук и Мандинг, сложенные палеозойскими песчаниками, представляют северный отрог Фута-Джаллона (Гвинея).

Горы Бамбук заканчиваются на западе уступом Тамбаура, господствующим к югу от Кайеса над долиной р. Фалеме (приток р. Сенегал).

Плосковершинные и часто покрытые латеритов коркой горы Мандинга (до 795 м) тянутся восточнее Бафинга и заканчиваются к западу от Бамако, где их южная кромка господствует над левым берегом Нигера.

Сахель - область песчаных низменностей, тянущихся северо-западнее и севернее Нигера до Сегу и далее в Мавританию. Отметки области от 530 м (к северу от Бамако) до 320 м на границе с Мавританией. На севере и северо-востоке республики Мали - обширные песчаные равнины (Азавад), каменистые пустыни - Гамада Танезруфт, территории, прорезанные руслами уэдов в известняках. В песчаниках расположена долина Тилемси, восточнее которой расположено обширное нагорье Адрар-Иофорас (с высотами до 600 м), а между этим нагорьем и р. Нигер - очень сухая область Пуле - Медене, с поверхностью сильно расчлененной эрозией.

Равнины Бани тянутся по обе стороны одноименного крупного притока Нигера. Значительные пространства, занятые латеритами или железистой коркой, носят название пустыни Боваль. Среди этих голых, раскаленных зноем участков, лишь вдоль р. Бани тянется узкая лента плодородных земель.

Отметки поверхности от 300 м (у реки) до 480 м (на юго-востоке) и 650 м (на востоке).

Плато Мина, Сикассо, Бадянгара, Хомбори. Восточнее Бани местность почти незаметно повышается по направлению к высокому, сложенному палеозойскими песчаниками и обрывающемуся на восток уступу (в пределах Буркина-Фасо известный под названием уступа Бонфара. В Мали высшие точки его достигают 791 м.

Район излучины Нигера. К югу от большой петли, образуемой Нигером, расположено невысокое сухое плато. К северо-востоку от Хомбори через сложенные докембрийскими гнейсами и сланцами низкие холмы Нигер прорывается в ущелье высшее Бурима. Встречаются холмы со скалистыми вершинами, покрытые латеритами. Большую часть года здесь очень сухо, но поскольку кристаллические породы водонепроницаемы, во влажный сезон вода скапливается, а западинах и земли заболачиваются.

Юго-западная часть Мали (в области бассейна Сенегала) представляется собой обширное плато с невысокими холмистыми грядами в междуречьях.

Общее положение отметок от 700 м в верховьях реки Бауле (от речья хребта Мандинг) до 100-130 м в районе устьев рек Фалеме и Каракоро на границе с республикой Сенегал.

Понижение отметок плато с востока на запад от средней части течения реки Бауле на восток до реки Бафинг незначительное, в среднем порядка 50 м, от реки Бафинг до р. Фалеме - более 100 м.

Северная часть плато бассейна р. Сенегал на территории республики Мали (от р. Бакой -Бауле до границы с Мавританией) слабо холмистая, засушливая зона с большими количествами пересыхающих русловых образований.

Нужно отметить, что пересыхающие русловые образования имеют место (но в меньшем количестве) и на водосборных площадях других рек и бассейна Сенегала и бассейна Нигера севернее Бамако и особенно в бассейнах р. Бани в нижнем течении.

В целом рельеф рассматриваемой части территории Мали имеет достаточно спокойный характер, но обеспечивающий на большей части территории беспрепятственный сток дождевых осадков.

## 1.2 Почвы

На севере страны почвы песчаные, глинистые и каменистые, к югу от Тимбукту- светло-бурые, бурые и каштановые, на крайнем юге преобладают красно-бурые почвы латеритного ряда. Затапливаемые равнины образованы содержанием в водах плодородного ила, но ежегодное затопление мало повышает плодородие почв.

Почвы древних аллювиальных террас (верхней и средней) небольших и узких долинах мало развиты, латеритные, неплодородные. Они принадлежат к большой группе тропических выщелоченных железистых почв с временными подъемами уровней грунтовых вод в период дождей, за которым следует образование горизонта твердых железистых конкреций.

Почвы рисовых полей серые, илисто-глинистые, призматические структуры, небогаты обменными веществами. Почвы возвышенностей серые суглинисто-песчаные и пылеватые. На берегах притоков почвы глинистые, охристые, зернистой структуры, богатые гумусом.

Почвы на обширных площадях аллювиальных отложений р. Нигер в центральной дельте и озерной зоне, образовавшиеся на более древних наносах, выступивших из-под воды, принадлежат также к большой группе тропических железистых почв и представляют интерес для сельскохозяйственного использования.

Несмотря на кажущуюся однородность аллювиальных отложений, образовавшихся из кристаллических или песчаных пород верхней части бассейна р. Нигер, почвы долин рек отличаются большим разнообразием в зависимости от распределения аллювиальных отложений, на которых они образовались, их механического состава и генезиса. По мере удаления от берегов рек почвы богаче тонкими отложениями. Содержание илистых и глинистых частиц в них достигает 85%.

### 1.3 Растительность

Почти половину территории на севере страны занимают кустарниковые и злако-кустарниковые пустыни Сахары. Южнее – опустыненная саванна с акациями, злаками, баобабами, пальмами дум. Южнее – типичные саванны, на крайнем юге – лесистая саванна.

В пустынных местностях Мали однородного растительного покрова не существует. Во влажных зонах произрастают различные злаковые, много акаций, баобабов, пальмы дум и ронье. Суданская саванна покрыта густым травяным покровом, здесь растет масличное дерево карите, сейба, ребристый бомбакс.

Во внутренней дельте Нигера господствуют обширные водно-болотные угодья. В южной части преобладают луга, вдоль водотоков - заросли мимозы и ивы, галерейные леса; на севере широко распространены песчаные дюны, вторичная, в основном кустарниковая, растительность и насаждения пальмы дум.

### 1.4 Хозяйственная деятельность

#### *Сельское хозяйство*

Мали является огромной страной сельского хозяйства и животноводства с потенциалом 12 млн. га эксплуатируемого в настоящее время на 25%.

Сельское хозяйство – основа экономики страны. В нем занято более 90 % населения.

В отличие от многих африканских стран в Мали земледелие не приобрело монокультурного направления. Глубинное положение территории и агроклиматические условия стимулировали преимущественное развитие производства продовольственных культур: проса и сорго, риса, кукурузы, фонио. Значительно производство корнеплодов, особенно на юге страны, и бобовых; развито овощеводство и садоводство. Малийцы выращивают манговые деревья, папайю, гуаяву, цитрусовые, на юге – бананы и ананасы, а в полупустынных районах севера и востока – финиковую пальму.

В Западной Африке Мали наряду с Нигерией – крупнейшая скотоводческая страна. В Мали разводят крупный рогатый скот, овец, коз, верблюдов.

В центральной и южной частях страны практикуется отгонно-пастбищное животноводство в сочетании с земледелием.

Мали занимает видное место по улову рыбы во внутренних водах Африки и по товарной продукции рыболовства. Рыболовство развито в основном в среднем течении Нигера и его материковой дельте. Рыбным промыслом обычно занимаются группами в 10-15 человек.

Основные экспортные товары Мали: хлопок, живой скот, арахис, сушеная и копченая рыба.

#### *Промышленный потенциал*

В Мали развивается гидроэнергетика. Добываются полезные ископаемые: каменная соль, известняк, золото.

## 2 КЛИМАТ РЕСПУБЛИКИ МАЛИ

Климат – тропический континентальный, на крайнем юге – субэкваториальный с чередованием сухого (XI-IV) и дождливого (V-X) сезонов.

Территория Мали можно разделить на четыре климатические зоны с юга на север

- *Суданская зона* с климатом гвинейских, занимающую область южнее 12 ° северной широты. При этом количество осадков превышает 1200 мм в год, а иногда и превышает 1500 мм. В этой области, тем лучше поливают страна, наблюдаем 90 дней наступления дождей с мая по октябрь. Эта область охватывает около 13% территории Мали и характеризуется густой растительностью.
- *Судано - сахелианская зона* покрытия площадью Бамако с чистым тропическим климатом, расположенный между 12-м и 14-м градусами широты. Она характеризуется годовым количеством осадков от 700 до 1200 мм с 60 до 80 дней появления среднее количество осадков распределено в период с июня по октябрь. Эта область охватывает 15% территории Мали.
- *Сахелианская зона* охватывает область Ньоро с сахелианского климата, между 14-м и 16-м градусами широты. На этом уровне Среднегодовое количество осадков составляет от 700 до 200 мм с 30 до 40 дней наступления дождей с июня - июля по сентябрь-октябрь. Эта область охватывает 17% территории.
- *Степная зона* – сахель с климатом типа пустыни охватывает 55% территории страны. Она характеризуется большими колебаниями температур. Растительность-скудный травяной покров, группы кустарников, больше количество мелких полупустынных участков. Она занимает всю пустынную область в северной части Мали с 200 до менее 50 мм осадков в год или даже нулевые к северу от 20-й широты.

На исследуемой части территории республики (в юго-западной) расположено более метеорологических станций и гидрологических постов на реках.

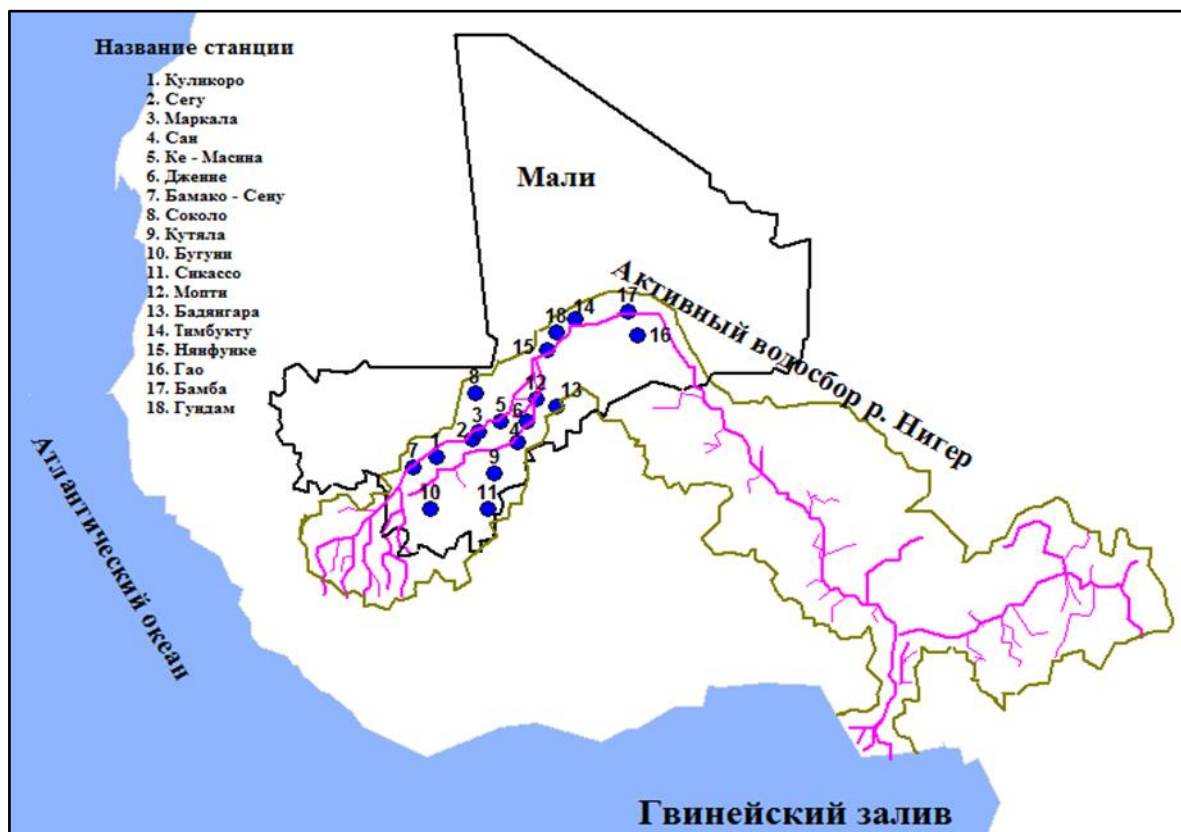


Рисунок 2.1 – Карта – схема республика Мали с 18 метеостанциями.

## 2.1 Осадки

На исследуемой юго-западной части Мали режим осадков, исключительно дождевых, характеризуется сравнительно не большой неравномерностью по годам. Более обстоятельную характеристику осадков целесообразно, дать в рассматриваемой части Мали по территориям бассейнов рек Нигер.

### 2.1.1 Внутригодовое распределение осадков

В бассейне реки Нигер на территории Мали, общие закономерности распределения осадков аналогичны:

Продолжительность сухого сезона на юге-запада зоны в редкие годы может быть в течении пяти месяцев, но в некоторые годы может достигать 6 месяцев.

Продолжительность сухого сезона на севере-восток зоны в некоторые годы достигает 8 месяцев, в среднем же 7-6 месяцев, но никогда не бывает менее 5 месяцев

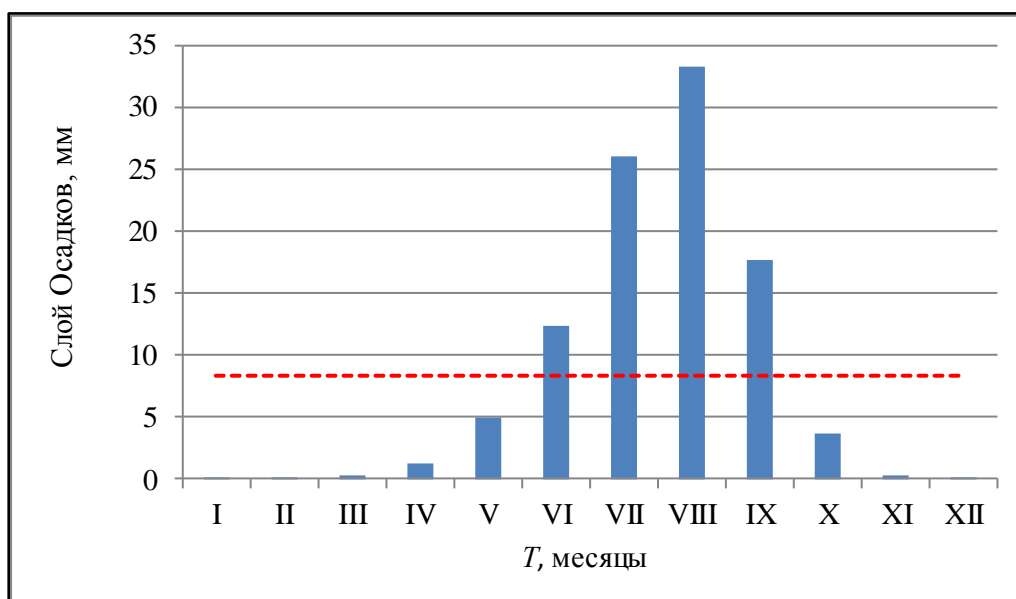


Рисунок 2.2 – Осредненные по 18 метеостанциям среднемесячные суммы осадков в % от годовых.

Общее количество выпавших осадков за год колеблется также в широких пределах и также увеличивается от 150-250 мм с севера – востоке до 1000-1250 мм – на юго - западе.

Таблица 2.1 – Средние многолетние суммы годовых осадков

Расположение	м/с станция	<i>H</i> , мм
Северо-восток	Гао	231
	Гундам	217
	Бамба	161
Центральная часть	Сан	727
	Сегу	677
	Маркала	602
Юго-запад	Сикассо	1241
	Бугуни	1213
	Бамако-Сену	1002



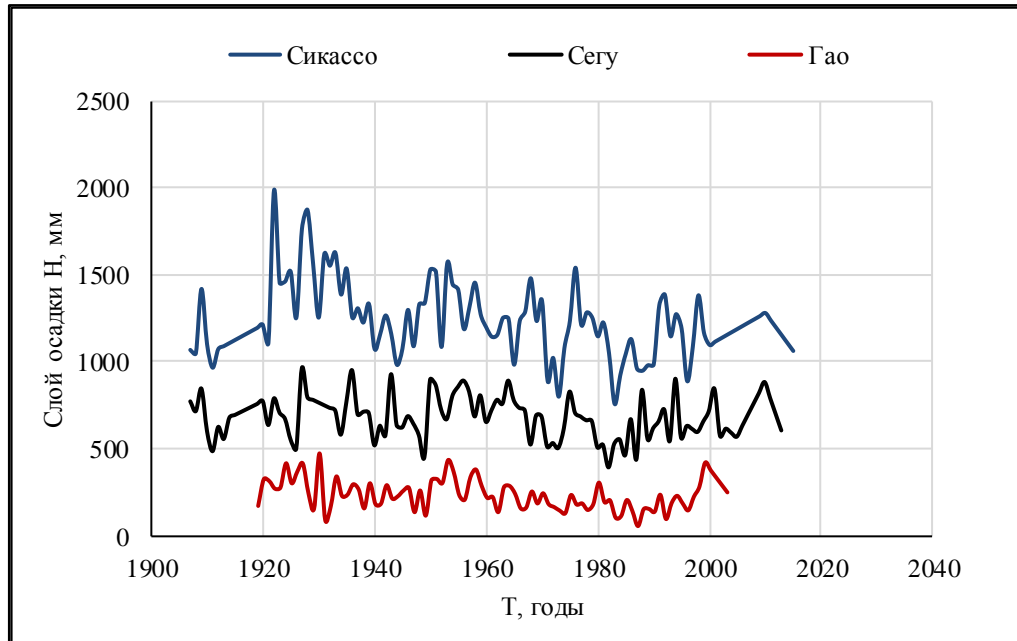


Рисунок 2.3 – Годовые колебания суммы осадков в пунктах Гао, Сегу и Сикассо.

### 2.1.2 Восстановление пропусков в рядах осадков

В рядах осадков имелись пропуски, для этого мы восстанавливались.

Анализ показал, что около 90% годовой суммы осадков в бассейне реки Нигер приходится на период с июня по сентябрь, поэтому при восстановлении пропусков месячных сумм осадков использовался следующий принцип. Если в период с июня по сентябрь имелся пропуск только за один месяц, то пропуски за все месяцы этого года заменялись среднемесячными значениями, затем – рассчитывалась годовая сумма осадков. Если в период с июня по сентябрь имелось более одного пропуска, то месячные суммы этого года не восстанавливались, и годовая сумма осадков не рассчитывалась.

Для восстановления годовых сумм осадков ряд с пропусками сглаживался с помощью универсального фильтра 4253Нв статистическом пакете STATISTICA (рис.2.4 - 2.6) и пропущенные значения заменялись сглаженными значениями. Число восстановленных сумм годовых осадков по отдельным метеостанциям изменялось от 0 до 18% и в среднем составляет 10%.

Фильтр 4253Н включает несколько последовательных преобразований:  
1) 4-х точечная скользящая медиана, 2) 5-ти точечная скользящая медиана, 3) 3-х точечная скользящая медиана, 4) 3-точечное взвешенное скользящее среднее с весами:(0,25; 0,5; 0,25).

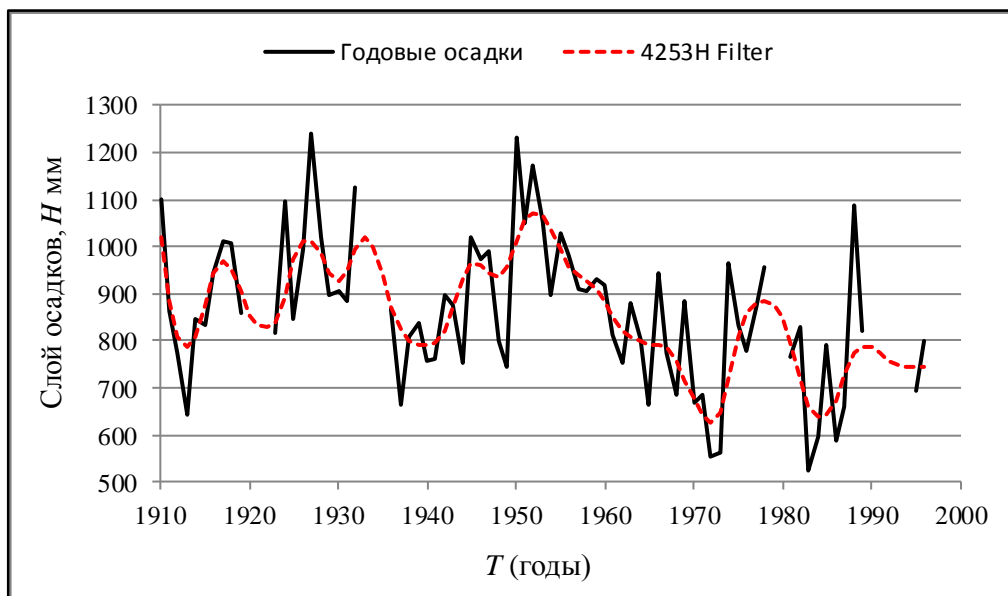


Рисунок 2.4 – Хронологический график годовых сумм осадков и ряд, сглаженный универсальным фильтром 4253Н; метеостанция Куликоро (пропусков 7%).

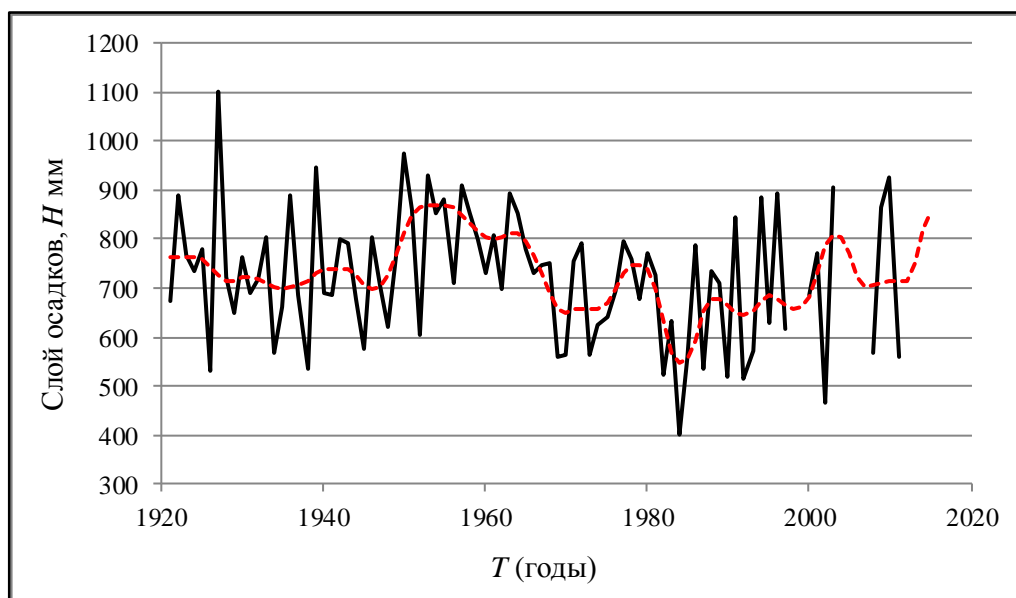


Рисунок 2.5 – Хронологический график годовых сумм осадков и ряд, сглаженный универсальным фильтром 4253Н; метеостанция Сан (пропусков 10%).

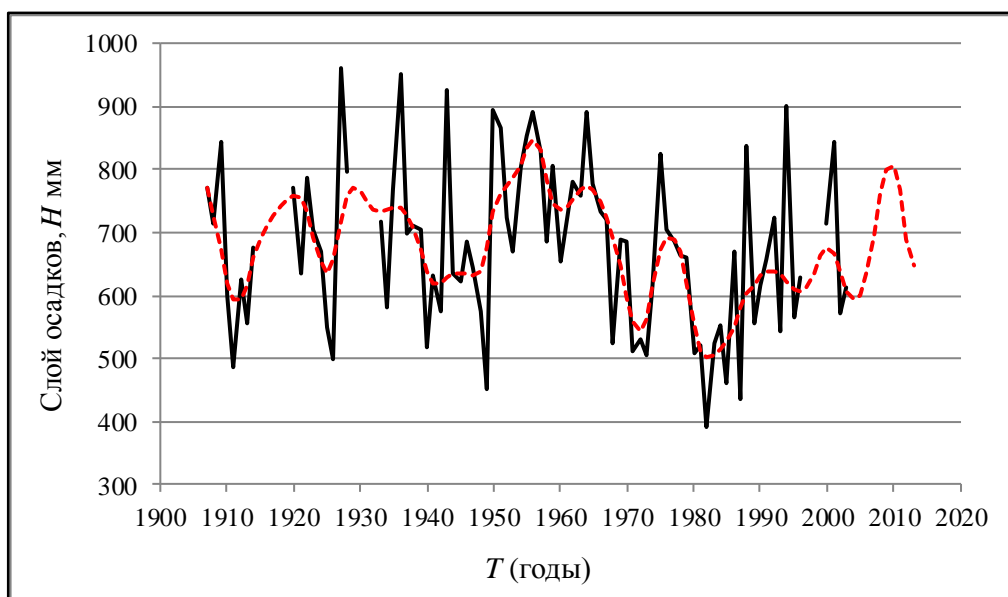


Рисунок 2.6 – Хронологический график годовых сумм осадков и ряд, сглаженный универсальным фильтром 4253Н; метеостанция Сегу (пропусков 17%).

### 2.1.3 Проверка рядов осадков на однородность

Для проверки однородности гидрологических рядов используются специальные тесты – *критерии однородности*.

В данной работе для проверки однородности используются два параметрических критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера.

*Критерий Фишера* позволяет провести проверку ряда на однородность по дисперсии. Проверка проводилась при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ .

Рассчитывалось эмпирическое значение критерия Фишера по формуле:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2}, \quad (2.1)$$

Где  $D_1$  и  $D_2$  – дисперсии по одной и другой частям ряда, причем в числитель следует ставить большую из двух дисперсий ( $D_1 > D_2$ ).

Эмпирическое значение статистики Фишера сравнивается с теоретическим  $F_T$  при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ . Теоретическое значение статистики Фишера определяется по таблицам  $F$ -распределения, опубликованным в [1], в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $\nu_1$  и  $\nu_2$ :

$$\nu_1 = n_1 - 1, \quad (2.2)$$

$$v_2 = n_2 - 1, \quad (2.3)$$

Где  $n_1$  – длина выборки с большей дисперсией;  $n_2$  – длина выборки с меньшей дисперсией.

Гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера опровергалась, если выполнялись условие:

$$F^* > F_{2\alpha} \quad (2.4)$$

*Критерий Стьюдента* позволяет провести проверку ряда на однородность по среднему значению. Эмпирическое значение критерия Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t^* = \left[ (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1+n_2}}, \quad (2.5)$$

Где  $n_1$  и  $n_2$  – длина первой и второй частей ряда;  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  – средние значения по первой и второй частям ряда;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда.

Эмпирическое значение статистики Стьюдента сравнивается с теоретическим  $t_T$  при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ . Теоретическое значение статистики Стьюдента определяется по таблицам  $t$ -распределения опубликованным [1], в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $v$ :

$$v = n - 1, \quad (2.6)$$

Где  $n$  – общая длина исследуемого ряда.

Гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента опровергалась, если выполнялись условие:

$$|t^*| > t_{2\alpha} \quad (2.7)$$

Проверка проводилась для двух вариантов. В первом случае – ряд делился пополам. Во втором – ряд делился по точке перелома на разностной интегральной кривой (РИК).

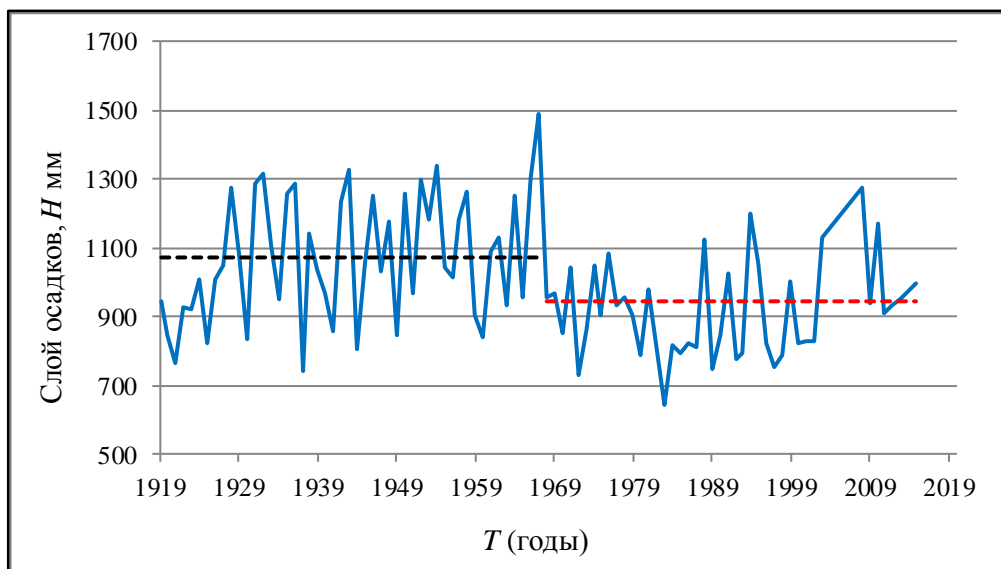


Рисунок 2.7 – Хронологический график годовых сумм осадков и средние линии по делению ряд на однородности, метеостанция Бамако - Сену.

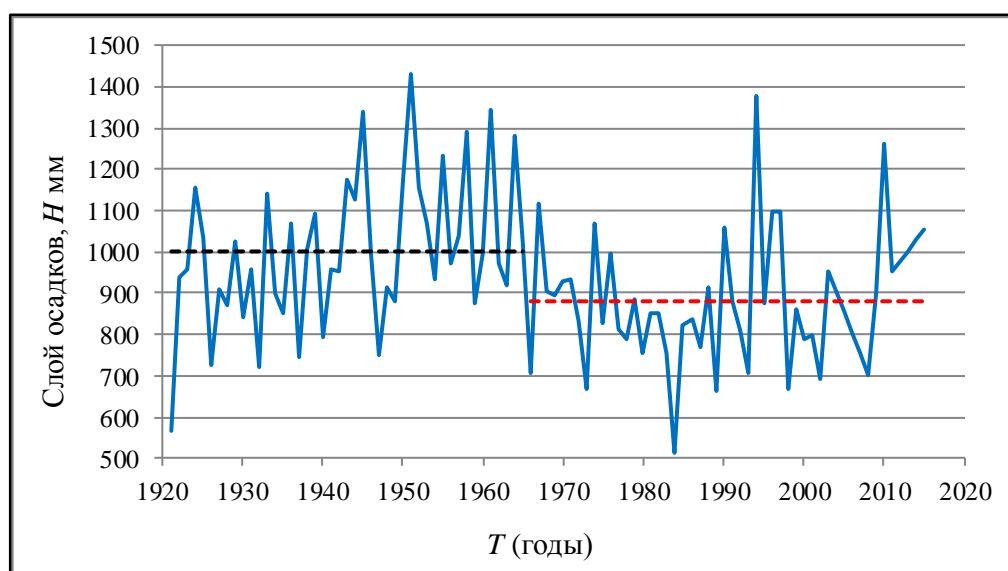


Рисунок 2.8 – Хронологический график годовых сумм осадков и средние линии по делению ряд на однородности, метеостанция Кутяла.

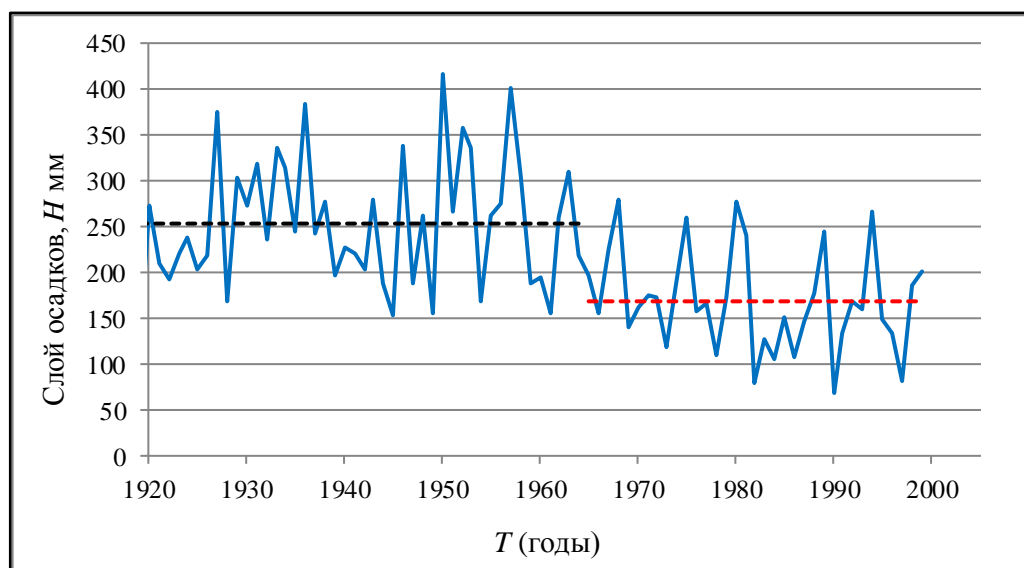


Рисунок 2.9 – Хронологический график годовых сумм осадков средние линии по делению ряд на однородности, метеостанция Гундам.

Результаты проверки рядов на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента представлены в таблицах 2.2, 2.3.

Таблица 2.2 –Результаты проверки рядов на однородность по критериям Фишера и Стьюдента для годовых сумм осадков по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

№ п/п	Станция, пункт	n	Ряд делился пополам						Ряд делился по точке перелома на РИК					
			t*	t <sub>2α</sub>	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	F*	F <sub>2α</sub>	D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>	t*	t <sub>2α</sub>	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	F*	F <sub>2α</sub>	D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>
1	Куликоро	87	4,16	1,99	-	1,14	1,84	+	5,24	1,99	-	1,12	1,88	+
2	Сегу	85	2,42	1,98	-	1,06	1,73	+	13,45	1,98	-	1,06	1,72	+
3	Маркала	95	5,07	2	-	1,27	2,1	+	5,22	2,00	-	1,24	2,1	+
4	Сан	95	2,91	1,99	-	1,15	1,79	+	2,96	1,99	-	1,19	1,79	+
5	Джъене	80	2,19	1,99	-	1,12	1,89	+	3,59	1,99	-	1,40	1,96	+
6	Ке-масина	75	2,96	1,99	-	1,72	1,93	+	3,13	1,99	-	1,63	1,94	+
7	Бамако	97	3,19	1,99	-	1,04	1,78	+	3,83	1,99	-	1,42	1,78	+
8	Соколо	65	5,87	2	-	1,16	2,03	+	5,87	2,00	-	1,16	2,03	+
9	Кутяла	95	3,44	1,99	-	1,39	1,79	+	3,52	1,99	-	1,31	1,78	+
10	Бугуни	95	4,26	1,99	-	3,94	1,79	-	4,63	1,99	-	3,77	1,78	-
11	Сикассо	109	4,19	1,98	-	2,09	1,72	-	4,34	1,98	-	1,88	1,76	-
12	Мопти	95	3,36	1,99	-	1,02	1,79	+	3,36	1,99	-	0,95	0,56	-
13	Бандягара	94	2,39	1,99	-	1,29	1,80	+	4,47	1,99	-	1,33	1,88	+
14	Тимбукту	115	2,27	1,98	-	1,21	1,69	+	3,28	1,98	-	1,17	1,73	+
15	Няфинке	74	2,57	1,99	-	1,01	1,94	+	4,85	1,99	-	0,96	0,51	-
16	Гао	85	3,81	1,99	-	1,39	1,85	+	3,87	1,99	-	1,44	1,85	+
17	Бамба	74	3,03	1,99	-	1,31	1,94	+	4,15	1,99	-	1,23	2,01	+
18	Гундам	81	5,66	1,99	-	1,58	1,88	+	5,85	1,99	-	1,66	1,92	+

« + » - нулевая гипотеза не опровергается; « - » - нулевая гипотеза опровергается

Таблица 2.3 – Сводная таблица проверки на однородность рядов годовых сумм осадков по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

Вид деления	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы об однородности			
		По критерию Фишера		По критерию Стьюдента	
		Абсолютное	Относительное, %	Абсолютное	Относительное, %
Ряд делился пополам	18	2	11%	18	100
Ряд делился по точке перелома на РИК	18	4	22%	18	100

Анализ показал, что по критерию Стьюдента гипотеза об однородности ряда опровергается для всех 18-ти рядов.

По критерию Фишера при делении ряда пополам гипотеза об однородности опровергается для двух рядов (11%), а при делении ряда по точке перелома на РИК – для четырех рядов (22%).

#### 2.1.4 Оценка линейных трендов в рядах осадков

Для проверки линейных трендов в рядах годовых сумм осадков использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости  $H = f(t)$ . Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|R| < t_{2\alpha} \cdot \sigma_R \quad (2.8)$$

где  $t_{2\alpha}$  – теоретическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ ;  $\sigma_R$  – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \frac{(1-R^2)}{\sqrt{(n-1)}} \quad (2.9)$$

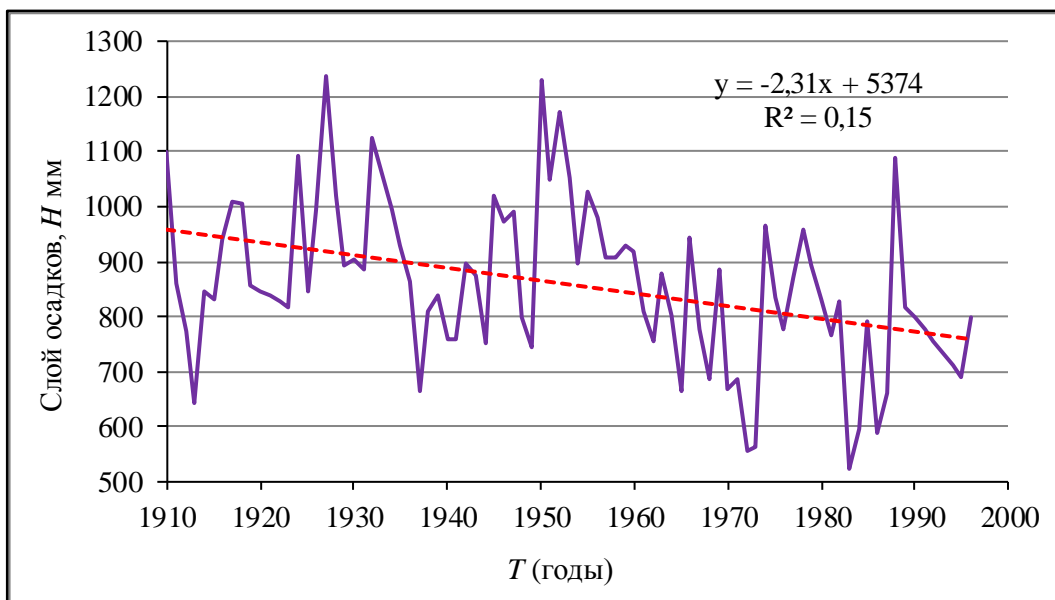


Рисунок 2.10 – Хронологический график годовых сумм осадков и трендовая линия, метеостанция Куликоро.

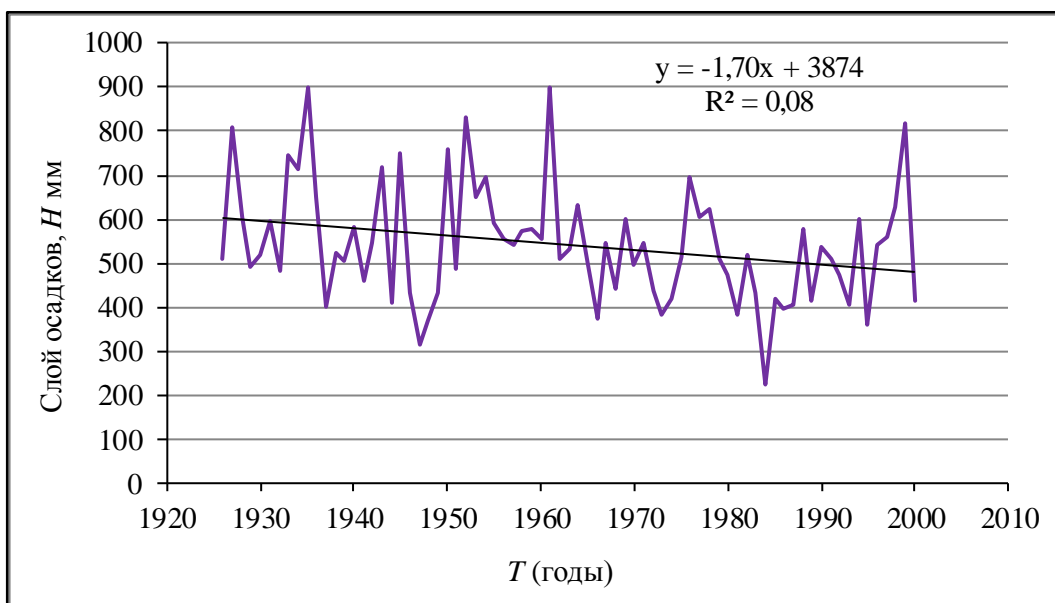


Рисунок 2.11 – Хронологический график годовых сумм осадков и трендовая линия, метеостанция Ке - Масина.



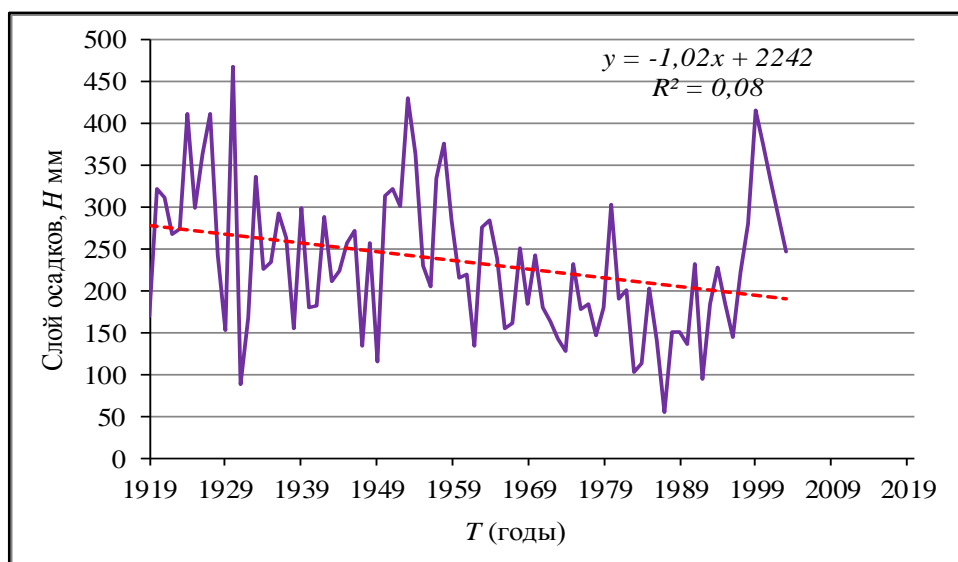


Рисунок 2.12 – Хронологический график годовых сумм осадков и трендовая линия, метеостанция Гао.

Результаты оценки представлены в таблицах 2.4, 2.5.

Таблица 2.4 – Проверка значимости линейных трендов на рядах годовых сумм осадков по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

№ п/п	Станция	$R$	$R^2$	$\sigma_R$	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0:R=0$
1	Куликоро	0,39	0,155	0,091	0,18	-
2	Сегу	0,15	0,023	0,095	1,99	+
3	Маркала	0,45	0,202	0,103	0,21	-
4	Сан	0,15	0,022	0,101	0,20	+
5	Джьеене	0,22	0,049	0,107	0,21	-
6	Ке-масина	0,27	0,076	0,107	0,21	-
7	Бамако	0,17	0,028	0,099	0,20	+
8	Соколо	0,50	0,253	0,093	0,19	-
9	Кутяла	0,16	0,026	0,100	0,20	+
10	Бугуни	0,29	0,085	0,094	0,19	-
11	Сикассо	0,28	0,08	0,089	0,18	-
12	Мопти	0,17	0,029	0,100	0,20	+
13	Бандягара	0,24	0,056	0,098	0,19	-
14	Тимбукту	0,11	0,012	0,093	0,18	+
15	Няфинке	0,38	0,148	0,100	0,20	-
16	Гао	0,29	0,084	0,100	0,20	-
17	Бамба	0,35	0,12	0,103	0,20	-
18	Гундам	0,47	0,218	0,087	0,17	-

« + » - нулевая гипотеза не опровергается; « - » - нулевая гипотеза опровергается

Таблица 2.5 – Сводная таблица результатов оценки значимости линейных трендов в рядах годовых сумм осадков по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

Вид стока	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы значимость	
		Абсолютное	Относительное, %
Годовой суммы осадки	18	12	67

Анализ результатов оценки значимости линейных трендов для рядов годовых суммы осадков по метеостанциям в бассейне реки Нигер показал, что для большинства станций (67%) нулевая гипотеза опровергается. Можно говорить о значимости линейных трендов.

#### 2.1.5 Анализ разностных интегральных кривых годовых сумм осадков.

Интегральная кривая осадки является разновидностью суммарной кривой осадки, которая характеризует последовательность нарастания осадки выпадающие в бассейне рек Нигер от некоторого начального момента времени. В отличие от нее разностная интегральная кривая учитывает колебания осадки за отдельные относительно короткие промежутки времени. Она строится путем суммирования отклонений модульных коэффициентов от середины, т.е. ее ординаты вычисляются как  $\sum_1^i (K - 1)$ , где  $K = N_i / \bar{N}$ . Таким образом ординаты кривой дают на конец каждого  $i$ -го года нарастающую сумму отклонений годовых модульных коэффициентов  $K$  от среднего многолетнего значения.

Для сопоставления многолетних колебаний осадки, производится исключения влияния временной изменчивости осадки, которую показывают коэффициент вариации ряда наблюдений ( $C_v$ ), т.е.  $\sum_1^i (K - 1) / C_v$ .

Разностные интегральные кривые позволяют определять чередование групп маловодных и многоводных лет.

На рисунках 2.12 и 2.13 представлены разностные интегральные кривые (совмещенные и осредненная разностная интегральная кривая годовых сумм осадков для бассейна реки Нигер).

Весь исследуемый период разделим на два подпериода, как видно из разностно интегральной кривой:

Период повышения годовой сумм осадков (многоводный период) до 1970 гг. После 70 гг наблюдается уменьшение годовой сумм осадков (маловодный период). С 2004 года по настоящее время в бассейне реки Нигер наметился «перелом». Слой годовых осадков за этот период примерно на 10% выше нормы.

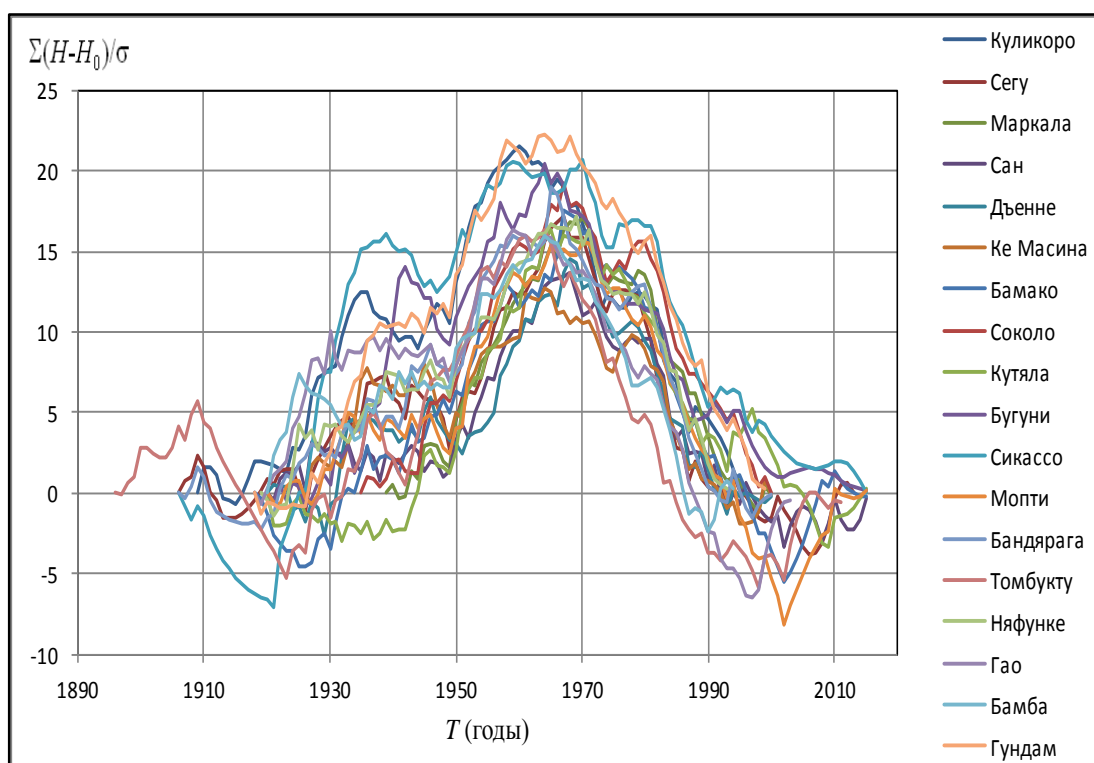


Рисунок 2.13 – Совмещенные разностные интегральные кривые годовых сумм осадков для 18-ти метеорологических станций бассейна реки Нигер (Мали).

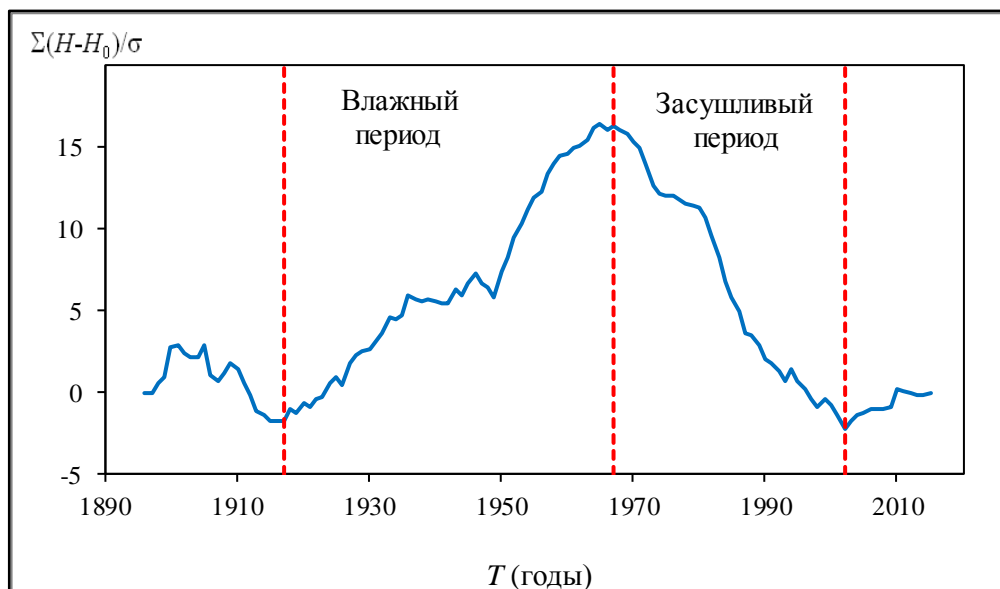


Рисунок 2.14 – Осредненная разностная интегральная кривая годовых сумм осадков для бассейна реки Нигер.

## 2.2 Температура воздуха

### 2.2.1 Внутригодовое распределение температуры воздуха

Как видно из этих рисунков, внутригодовая амплитуда средней месячной температуры воздуха относительно небольшая: (7-13 °С).

Самым холодным месяцем является август и самым теплым месяцем – май.

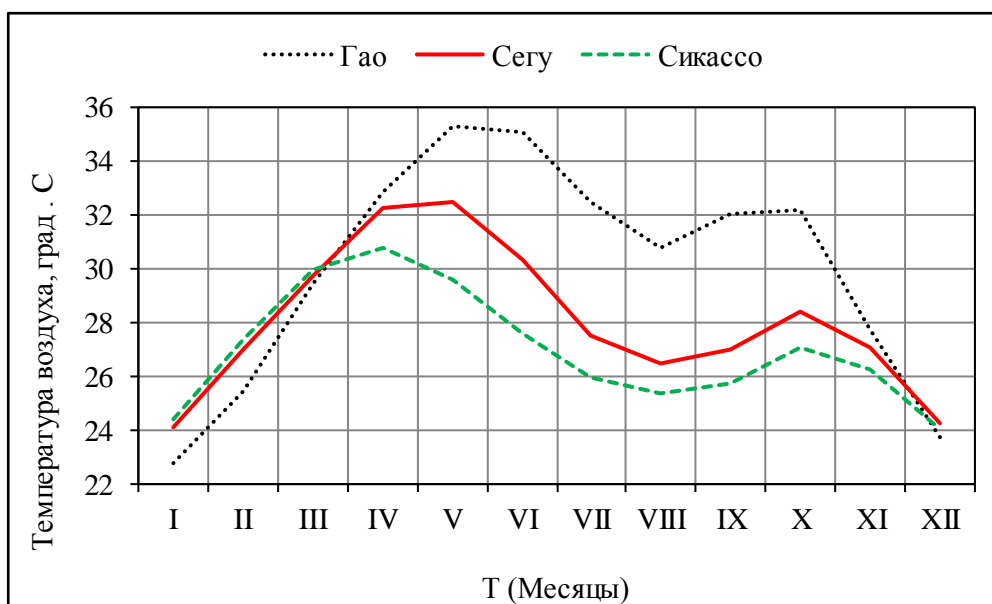


Рисунок 2.15 – Средние многолетние месячные температуры воздуха в бассейне реки Нигер.

## 2.2.2 Восстановление пропусков в рядах температур

Ряды имелись пропусков мы восстанавливали. Использовались два способа:

Методика по уравнениям регрессии состоит в следующем. В случае, когда имеется один месяц кратковременных наблюдений, рассчитываются уравнения регрессии между наблюдениями за этот месяц и последовательно со всеми остальными месяцами, в которых имеются наблюдения в пунктах-аналогах, при условии, что коэффициент корреляции не должен быть не менее 0,70 ( $R \geq 0,70$ ). Заметим что 20% коэффициент корреляции находятся между 0,60 и 0,70 ( $0,60 \leq R \leq 0,70$ ) [приложении 1, 2].

При слабой связи или отсутствие данных наблюдении за месяц, мы перешли к методу фильтра 4253Н.

Среднегодовые ряд с пропусками сглаживался с помощью универсального фильтра 4253Н в статистическом пакете STATISTICA (рис.2.16, 2.17, 2.18) и пропущенные значения заменялись сглаженными значениями. Число восстановленных среднегодовых температур по отдельным метеостанциям изменялось между 7-ью и 8-ью %. Высшее был представлен фильтр 4253Н.

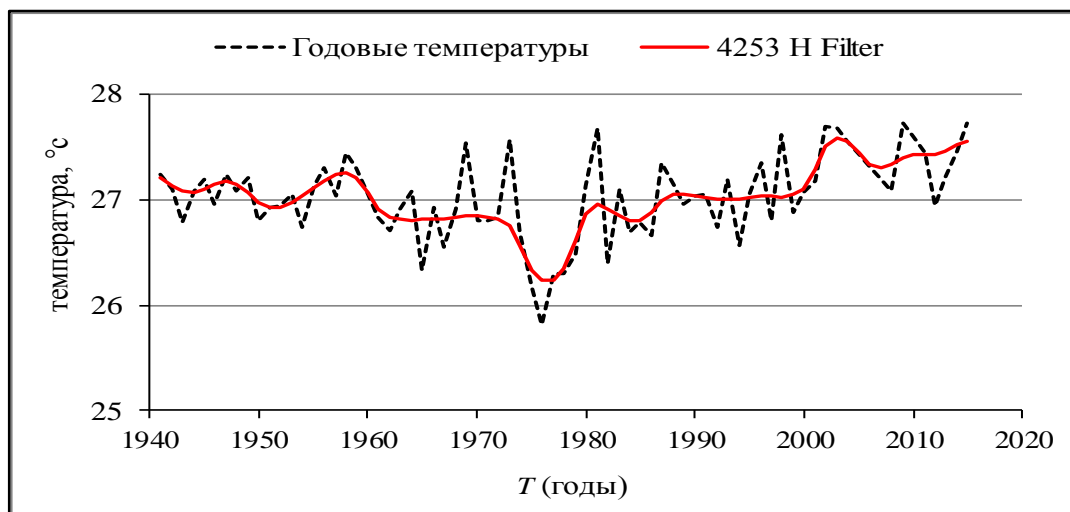


Рисунок 2.16 – Хронологический график среднегодовых температур и ряд, сглаженный универсальным фильтром 4253Н; метеостанция Сикассо (пропусков 8%).

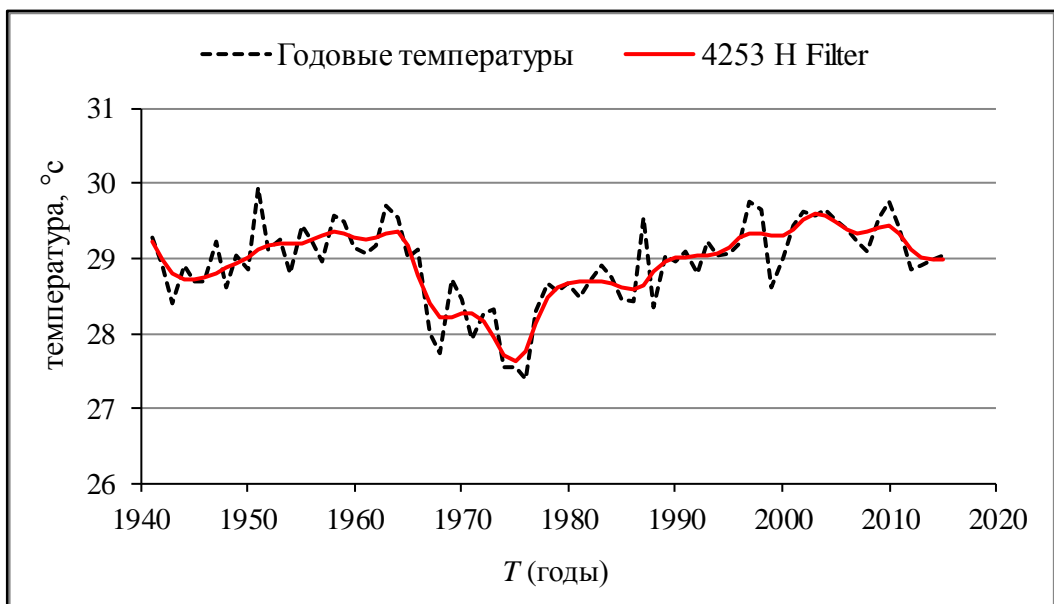


Рисунок 2.17 – Хронологический график среднегодовых температур и ряд, сглаженный универсальным фильтром 4253H; метеостанция Тимбукту (пропусков 7%).

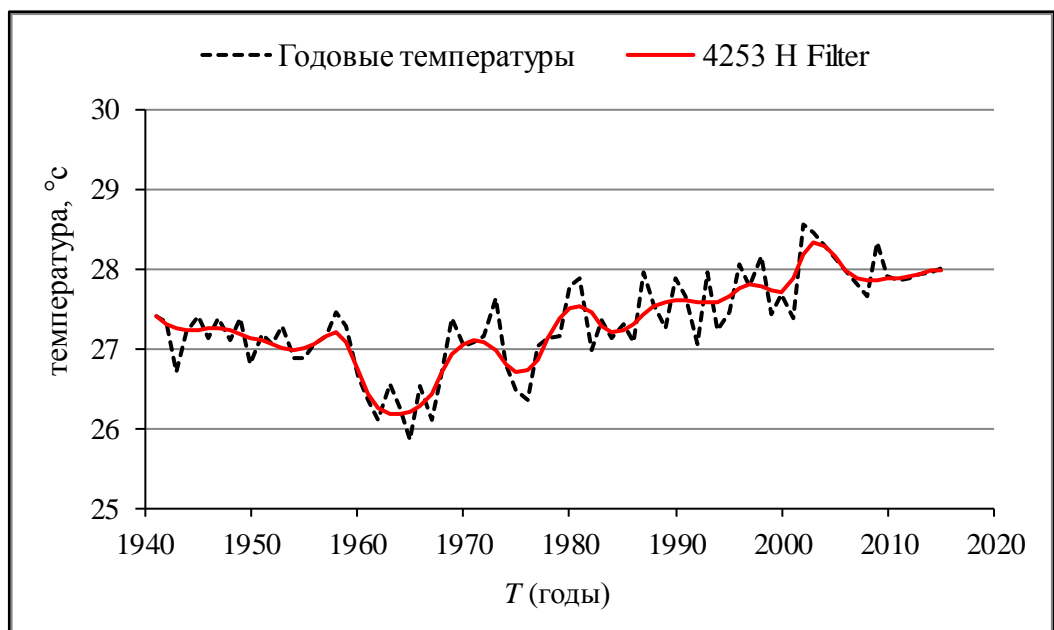


Рисунок 2.18 – Хронологический график среднегодовых температур и ряд, сглаженный универсальным фильтром 4253H; метеостанция Кутяла (пропусков 9%).

### 2.2.3 Проверка рядов температур на однородность

В данной работе для проверки однородности используются два параметрических критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Проверка проводилась для двух вариантов. В первом случае – ряд делился пополам. Во втором – ряд делился по точке перелома на разностной интегральной кривой (РИК).

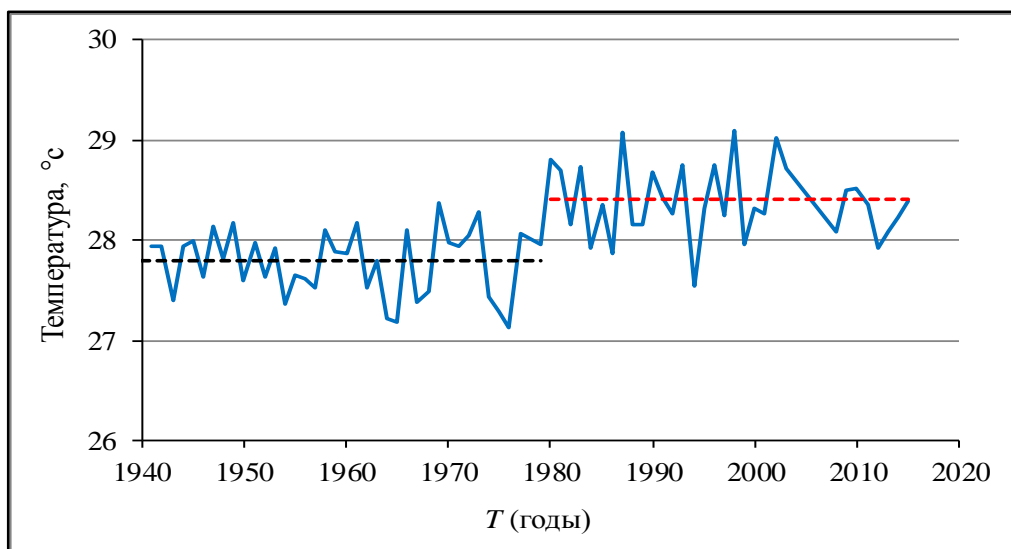


Рисунок 2.19 – Хронологический график среднегодовых температур и средние линии по делению ряд на однородности, метеостанция Сегу.

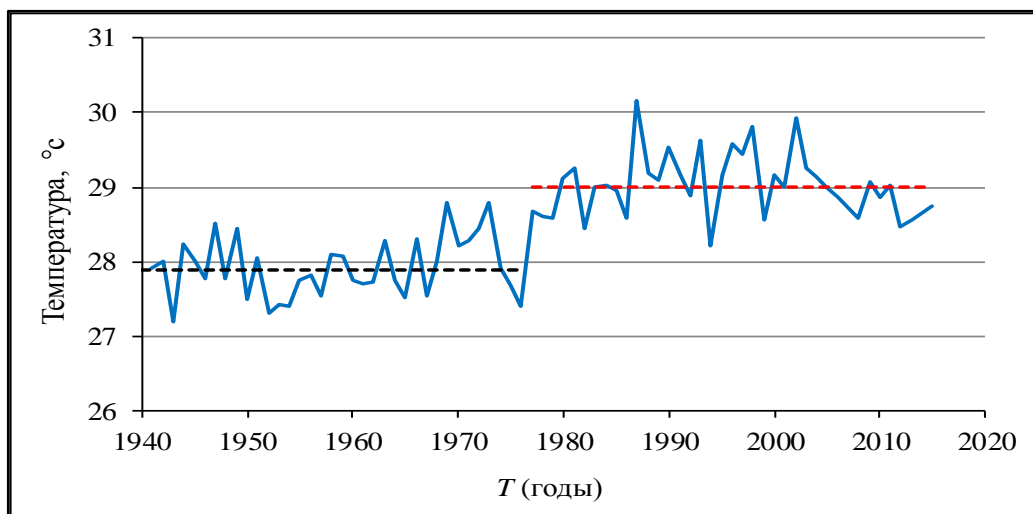


Рисунок 2.20 – Хронологический график среднегодовых температур и средние линии по делению ряд на однородности, метеостанция Мопти.

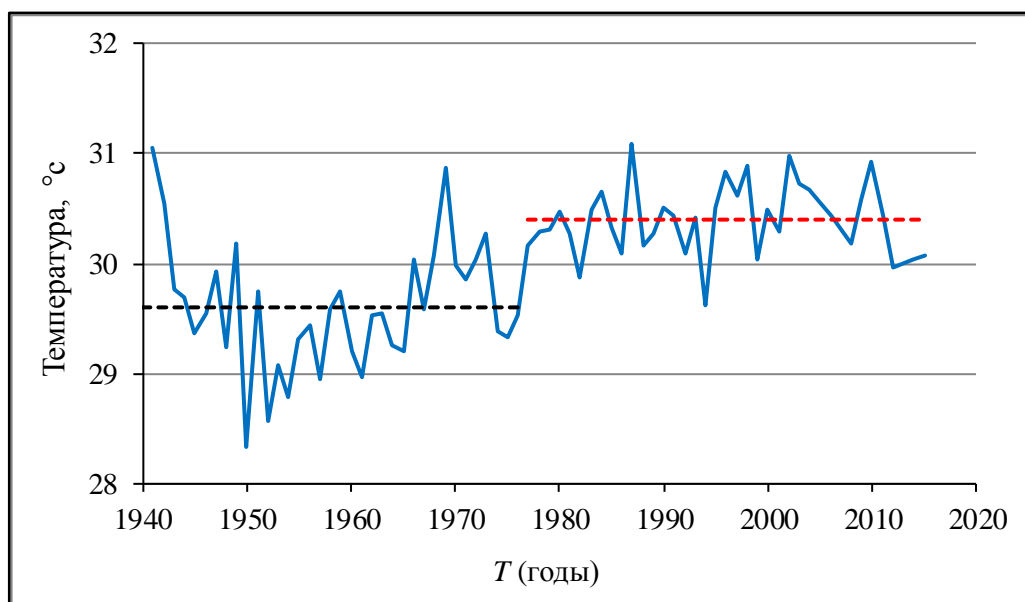


Рисунок 2.21 – Хронологический график среднегодовых температур и средние линии по делению ряд на однородности, метеостанция Гао.

Результаты проверки рядов на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента представлены в таблицах 2.6, 2.7.

Таблица 2.6 – Результаты проверки рядов на однородность по критериям Фишера и Стьюдента для среднегодовых температур по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

№ п/п	Станция, пункт	n	Ряд делился пополам						Ряд делился по точке перелома на РИК					
			t*	t <sub>2α</sub>	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	F*	F <sub>2α</sub>	D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>	t*	t <sub>2α</sub>	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	F*	F <sub>2α</sub>	D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>
1	Сегу	75	7,6	2	-	1,16	1,93	+	7,75	1,99	-	1,17	1,93	+
2	Сан	75	7,5	2	-	1,03	1,94	+	8	2	-	1,08	1,94	+
3	Бамако/сену	75	1,93	1,99	+	1,79	1,94	-	1,99	1,99	+	1,98	1,93	-
4	Кутяла	75	8,2	2	-	1,12	1,94	+	8,38	1,99	-	1,13	1,94	+
5	Бугуни	75	4,2	2	-	1,28	1,94	+	4,5	2	-	1,28	1,94	+
6	Сикассо	75	2,9	2	-	1,04	1,94	+	4	2	-	1,44	2,03	+
7	Мопти	75	10,9	1,99	-	1,02	1,93	+	11,4	2	-	1,12	1,94	+
8	Менака	75	7	2	-	1,69	1,92	+	7,2	2	-	1,71	1,93	+
9	Гао	75	7,02	1,99	-	3,13	1,94	-	7,39	1,99	-	3,23	1,93	-
10	Тимбукту	75	2,44	1,99	-	2,36	1,94	-	3,86	1,99	-	2,64	2,03	-

« + » - нулевая гипотеза не опровергается; « - » - нулевая гипотеза опровергается



Таблица 2.7 –Сводная таблица проверки на однородность рядов среднегодовых температур по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

Вид деления	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы об однородности			
		По критерию Фишера		По критерию Стьюдента	
		Абсолютное	Относительное, %	Абсолютное	Относительное, %
Ряд делился пополам	10	3	30%	9	90%
Ряд делился по точке перелома на РИК	10	3	30%	9	90%

Анализ показал, что по критерию Стьюдента гипотеза об однородности ряда опровергается для 9-ти (90%) рядов по ряду делился пополам и по точке перелома.

По критерию Фишера гипотеза об однородности опровергается для трех рядов (30%) по ряду делился пополам и по точке перелома.

#### 2.2.4 Оценка линейных трендов в рядах температур

Для проверки линейных трендов в рядах годовых температур воздуха использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости  $H = f(t)$ .

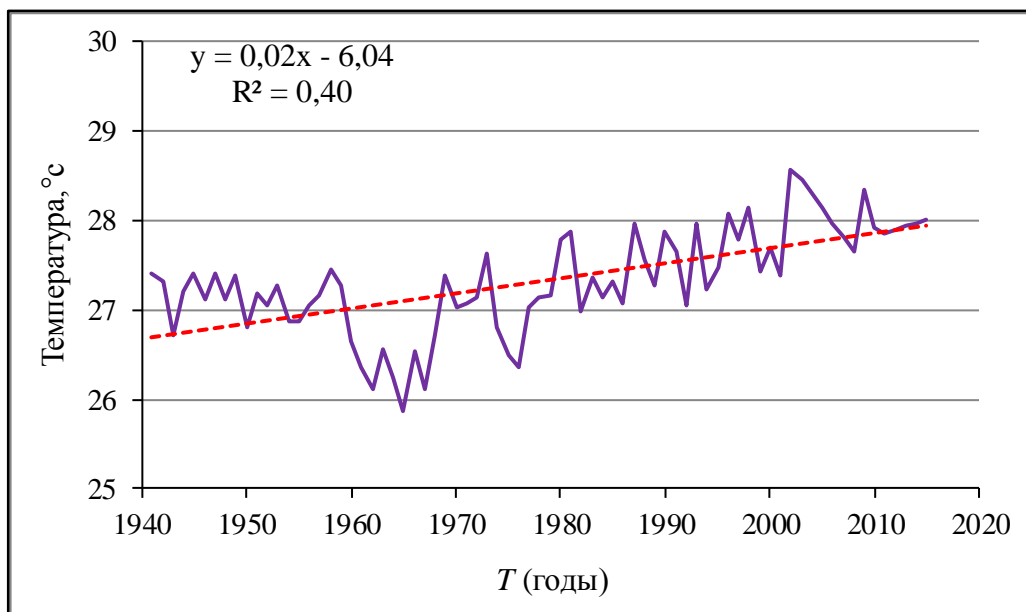


Рисунок 2.22 – Хронологический график среднегодовых температур и трендовая линия, метеостанция Кутяла.

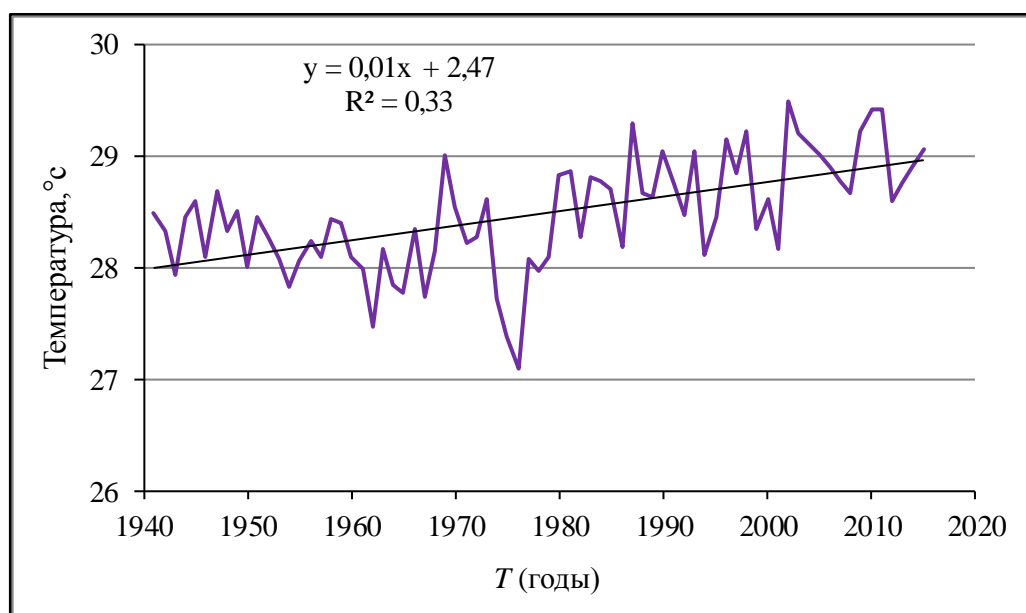


Рисунок 2.23 – Хронологический график среднегодовых температур и трендовая линия, метеостанция Сан.

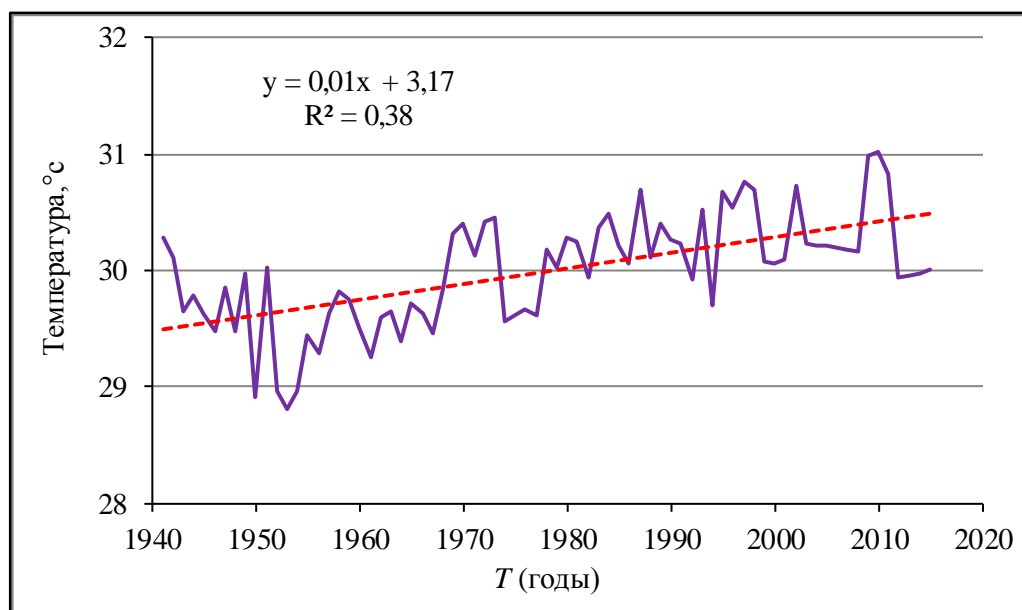


Рисунок 2.24 – Хронологический график среднегодовых температур и трендовая линия, метеостанция Менака.

Результаты оценки представлены в таблицах 2.8, 2.9.

Таблица 2.8 – Проверка значимости линейных трендов на рядах среднегодовых температур по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

№ п/п	Станция	$R$	$R^2$	$\sigma_R$	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0:R=0$
1	Сегу	0,55	0,301	0,081	0,16	-
2	Сан	0,57	0,329	0,078	0,16	-
3	Бамако/Сену	0,1	0,01	0,115	0,23	+
4	Кугяла	0,62	0,386	0,071	0,14	-
5	Бугуни	0,37	0,136	0,1	0,2	-
6	Сикассо	0,28	0,081	0,107	0,23	-
7	Мопти	0,7	0,49	0,059	0,12	-
8	Менака	0,62	0,38	0,072	0,14	-
9	Гао	0,58	0,333	0,078	0,15	-
10	Тимбукту	0,18	0,034	0,112	0,22	+
« + » - нулевая гипотеза не опровергается; « - » - нулевая гипотеза опровергается						

Таблица 2.9 – Сводная таблица результатов оценки значимости линейных трендов в рядах среднегодовых температур по метеостанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

Вид стока	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы значимость	
		Абсолютное	Относительное, %
Годовой суммы осадки	10	8	80

Анализ результатов оценки значимости линейных трендов для рядов средних годовых температур по метеостанциям в бассейне реки Нигер показал, что нулевая гипотеза опровергается для 8-ти (80%) станции. Он позволил сделать заключение, что наблюдается рост значений температуры в рядах средних годовых значений от 0,2 °с до 1,1°с . При этом проявляется колебательный характер хода температуры.

#### 2.2.5 Анализ разностных интегральных кривых годовых среднегодовых температур воздуха

Для выделения и анализа циклов изменения температуры воздуха используют один из визуальных методов – разностные интегральные кривые. Был построен график совмещенных разностных кривых по температурам воздуха для 10 – ти метеорологических станций бассейна реки Нигер (Мали). Очевидным стал факт совпадения лет повышение и понижение температуры по всем бассейнам. На данном графике в многолетних колебаниях среднегодовых температур воздуха можно выделить на всех кривых период понижения температуры (холодная фаза) – 1940 – 1979гг, обеспеченность которого можно считать один раз в сорок лет, а также изменение направления этой кривой в период после 1979г, когда наблюдается повышение температуры (теплая фаза).

Таким образом, мы заметим, что в последнее время на всей территории Мали в котором бассейн реки Нигер расположен, прослеживается теплая фаза

за в колебаниях температур воздуха. Начиная с 1979 года, прирост температур воздуха стал интенсивным.

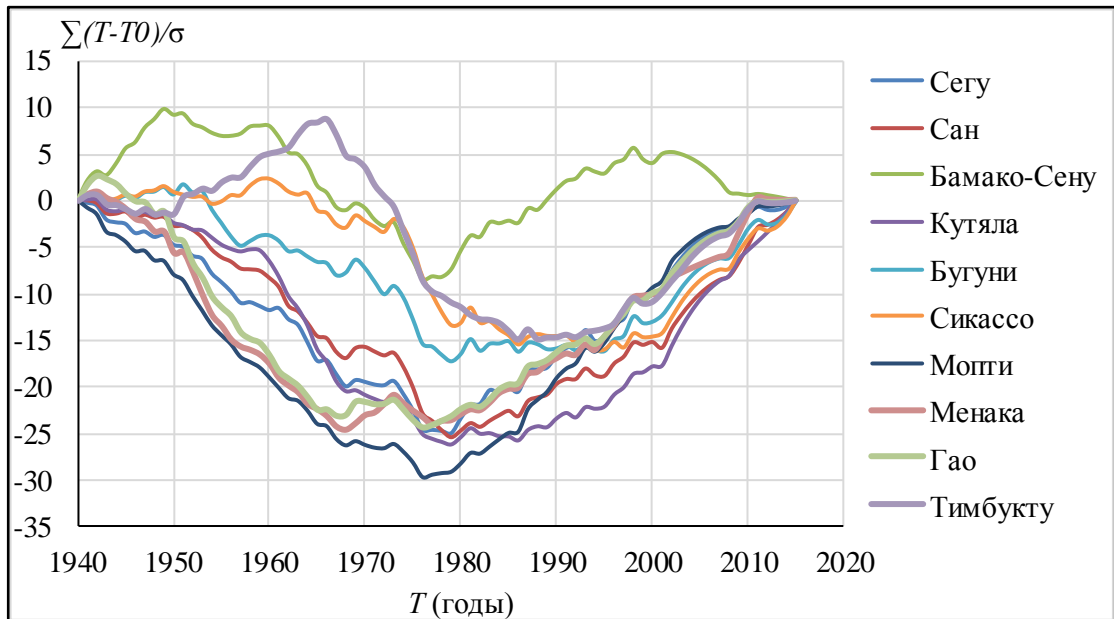


Рисунок 2.25 – Совмещенные разностные интегральные кривые среднегодовых температур для 10-ти метеорологических станций бассейна реки Нигер (Мали).

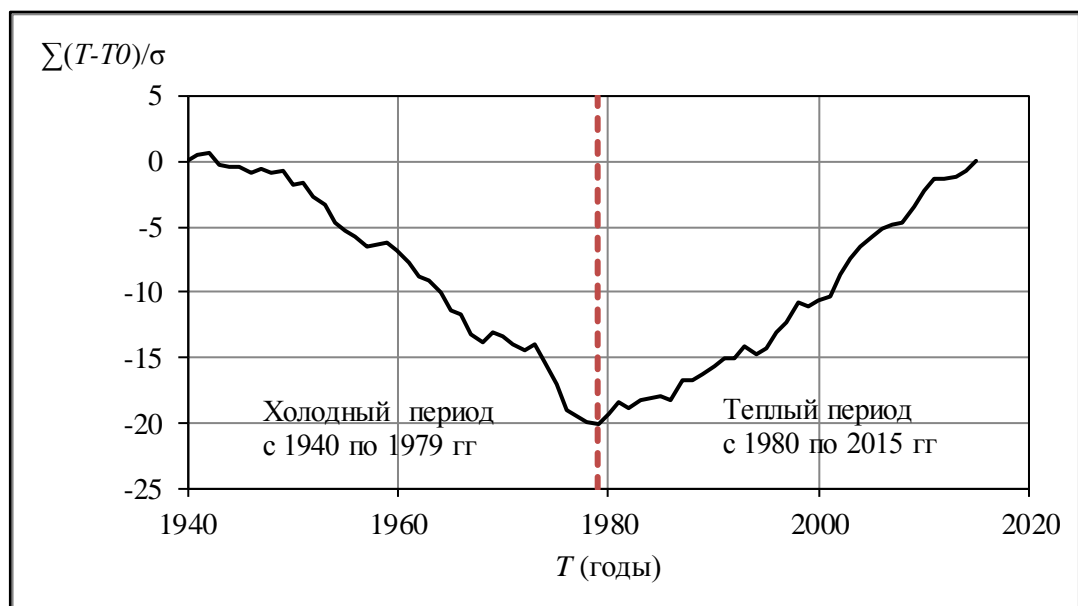


Рисунок 2.26 – Осредненная разностная интегральная кривая среднегодовых температур для бассейна реки Нигер (Мали).

### 3 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ НИГЕР И ЕЕ ПРИТОКОВ

Река Нигер третья по величине после Нила и Конго река Африки, длина 4700 км из которых 1700 в Мали. Она берет свое начало в фута-джалон в Гвинее впадает в Атлантическом океане в Нигерии. Его две основные притоки в Мали р. Санкарани и р. Бани.

Бассейн Нигер расположен на 9 стран и делится на четыре однородных подмножеств (Брунет-Морет У. и др., 1986): Выше Нигер, внутренняя Дельта реки Нигер, средний Нигер, нижний Нигер.

Части, которые касаются Мали: Выше Нигер, внутренняя Дельта реки Нигер.

Нигер Выше - Он представляет собой замок в воды реки Нигер и есть значительные возможности для регулирования стока реки. Области вниз по течению от горы в настоящее время испытывают значительное увеличение добычи и эксплуатации древесины, источников доходов, но и потенциально опасной для окружающей среды (загрязнения воды, транспорт наносов). В настоящее время, одна важная структура гидравлического управления, расположенная на верхнем течении реки плотины Селинге на Санкарани, правый приток реки Нигер. Озеро плотины мощностью 2 млрд. м<sup>3</sup> и позволяет производить на ГЭС, поддержки производства риса, и улучшить навигацию в низовьях Куликоро.

Внутренняя Дельта реки Нигер - Расположенный в Мали является обширной поймы во время наводнений было значительное развитие. Он теряет между 25 и 50 % воды, в основном из-за испарения. Этот регион обеспечивает основную часть риса условиях производства страны. Производство было частично увеличена после изъятия плотины Маркала, что орошает около 70 000 гектаров. Внутренняя дельта является домом для более чем 20% населения Мали и ежегодно производит около 90 000 тонн рыбы. В сухой сезон она служит в качестве области пастбищных и источника водоснабжения для более чем одного миллиона крупного рогатого скота и двух миллио-

нов овец и коз. Три миллиона животных, которые используют пастбища Внутренней Дельта двигаться между Мали, Буркина-Фасо и Мавритании, давая в богатых дельты простого регионального значения. Он также играет важную роль в выживании водоплавающих птиц, в том числе в Европе, которые приходят, чтобы остаться в зимний период, и там должны накопить ресурсы, необходимые для обратного пути через Сахару.

В таблице 3.1 показана доля площади бассейна в различных странах. Реки Нигер играет важную роль в регионе и странах, где она пересекает. Это позволяет удовлетворять потребности местного населения, в том числе различного производства продуктов питания (сельское хозяйство, рыболовство и животноводство). Поймах рек, как правило, используются для выращивания риса, хлопка и пшеницы, и многие овощи. Регион реки Нигер является местом обитания более чем 130 видов водных, в том числе, в частности, рыб, гиппопотамов, крокодилов и ламантинов. Кроме того, важное значение растительная биомасса, связанное с расширением этих водно-болотных угодий, является уникальным резервуаром биоразнообразия и существенным барьером против вторгающимися пустыни.

Таблица.3.1 – доля площади бассейна в различных странах

Страны	площадь в активном бассейне реки Нигер км <sup>2</sup>	% общая площадь
Бенин	46384	2
Буркина- Фасо	83900	4
Камерун	87900	4
Кот-д'Ивуар	23770	1
Гвинея	97168	5
Мали	578850	29
Нигер	427323	21
Нигерия	629545	32
Чад	20020	1
итог	1994402	100

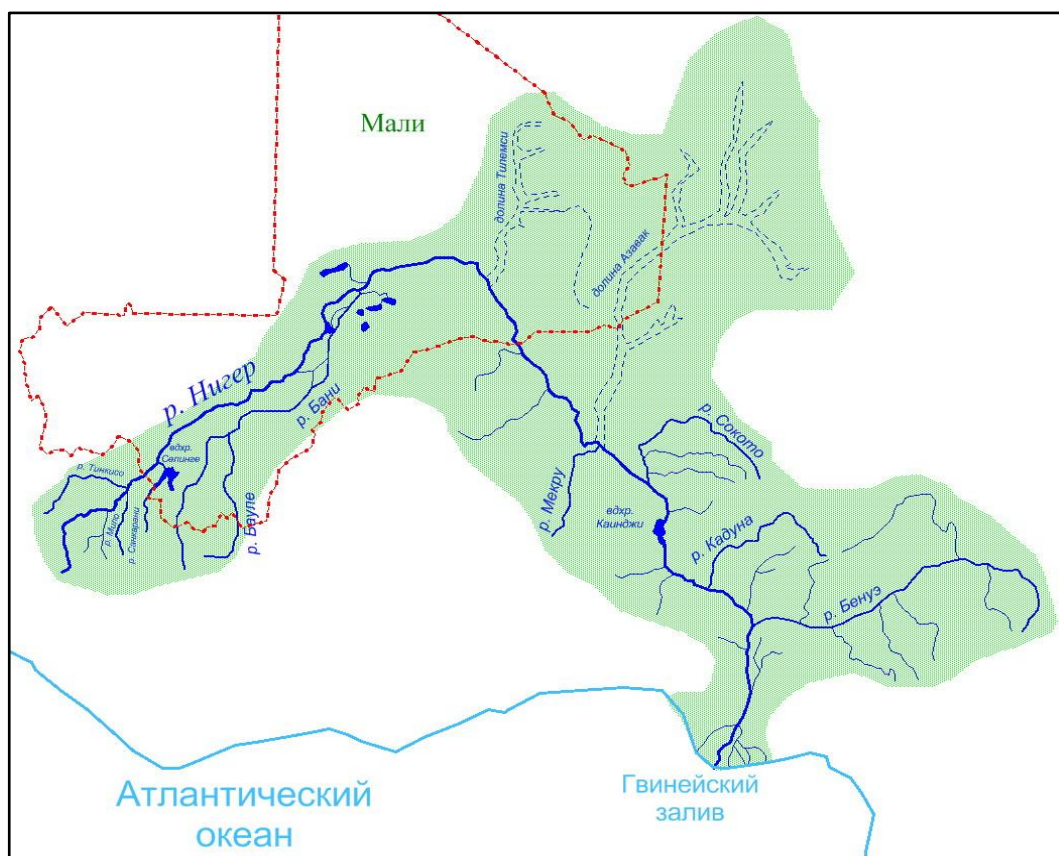


Рисунок 3.1 – Водосбор реки Нигер

Следует отметить, что 82% от общей площади поверхности бассейна разделена между тремя странами. Мали занимает второе место по площади в активном бассейне реки Нигер (29% от общего числа).

### 3.1 Исходные данные

Исходные данные были использованы материалы наблюдений на 7 постах, относительно равномерно расположенных по бассейне реки Нигер на территории Мали. Карта – схема с отмеченными постами наблюдений представлена на рисунке 3.2. Продолжительность наблюдений составила 92 – 93 лет для всех характеристик.



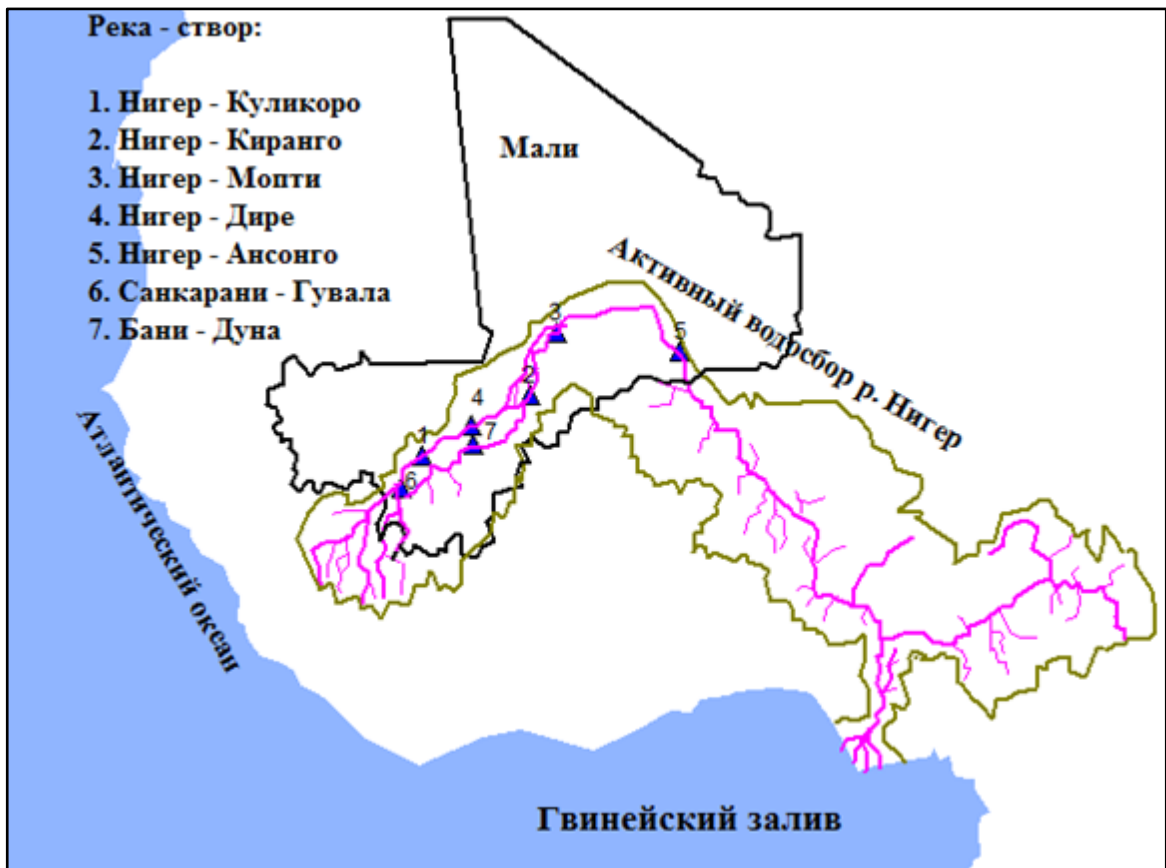


Рисунок 3.2 – Схема расположения гидрологических постов на реке Нигер в пределах Мали

### 3.2 Внутригодовое распределение стока

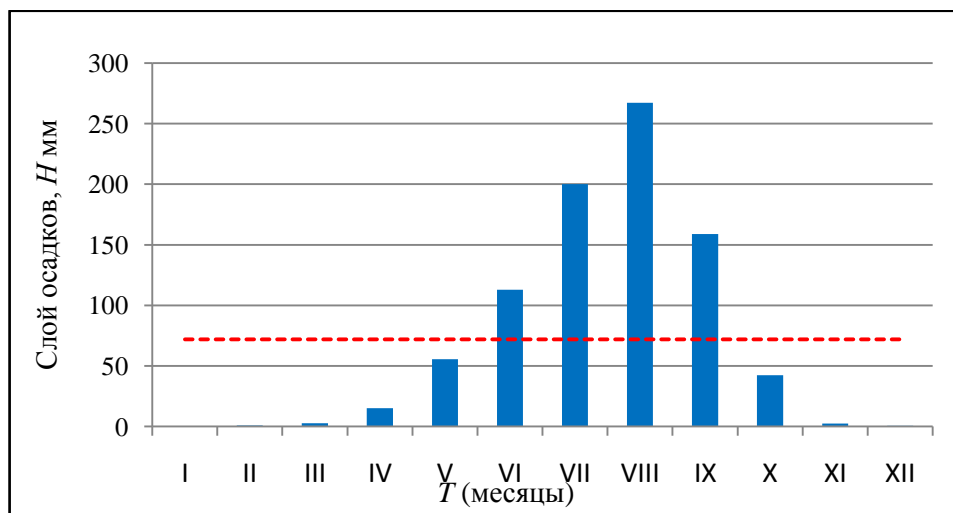


Рисунок 3.3 – Средние многолетние месячные суммы осадков; м/с Куликоро.

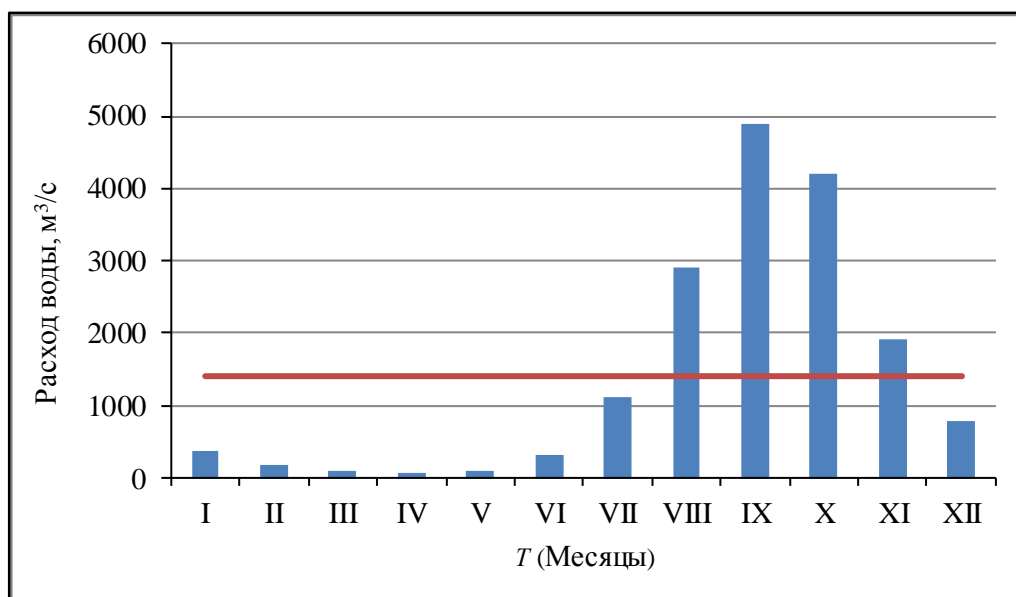


Рисунок 3.4 – Средние многолетние месячные расходы воды; р. Нигер - Куликоро.

Из рисунок видно, что ход стока реки Нигер повторяет ход осадков, со сдвигом во времени на 1,5-2 месяца. Многоводный период приходится на период с июля по декабрь, межень – с января по июнь, наиболее маловодный период – с февраля по май.

### 3.3 Восстановление пропусков в рядах среднемесячных и среднегодовых расходов воды.

Восстановление проводилось в два этапа:

На первом этапе был применен метод гидрологической аналогии (использовались данные по 1990 год).

Так как после 1990 года данные по стоку отсутствуют, на втором этапе ряды среднегодовых расходов воды восстанавливались по уравнению множественной линейной регрессии:

$$Q_1 = a_1X + a_2T + b \quad (3.1)$$

Уравнение регрессии является надежным, если выполняются следующие условия:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0,7; \quad \frac{R}{\sigma_R} \geq 2; \quad \frac{a}{\sigma_q} \geq 2 \quad (3.2)$$

Характеристики уравнение представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Основные характеристики уравнение множественной линейной регрессии.

№ п/п	Станция			a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b	R	a <sub>1</sub> /σ <sub>a1</sub>	a <sub>2</sub> /σ <sub>a2</sub>	R/σ <sub>R</sub>
	Расход	Осадки	Температура							
1	Ансонго	Гао	Гао	1,22	0,73	3,81	0,73	3,83	-2,65	10,8
2	Мопти	Мопти	Мопти	0,76	0,71	3,65	0,71	3,65	-2,45	10,2

Из таблицы видно, что все условия выполняются и, следовательно, уравнение можно использовать для восстановления,

### 3.4 Проверка рядов среднегодовых расходов воды на однородность

В данной работе для проверки однородности используются два параметрических критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Проверка проводилась для двух вариантов. В первом случае – ряд делился пополам. Во втором – ряд делился по точке перелома на разностной интегральной кривой (РИК).

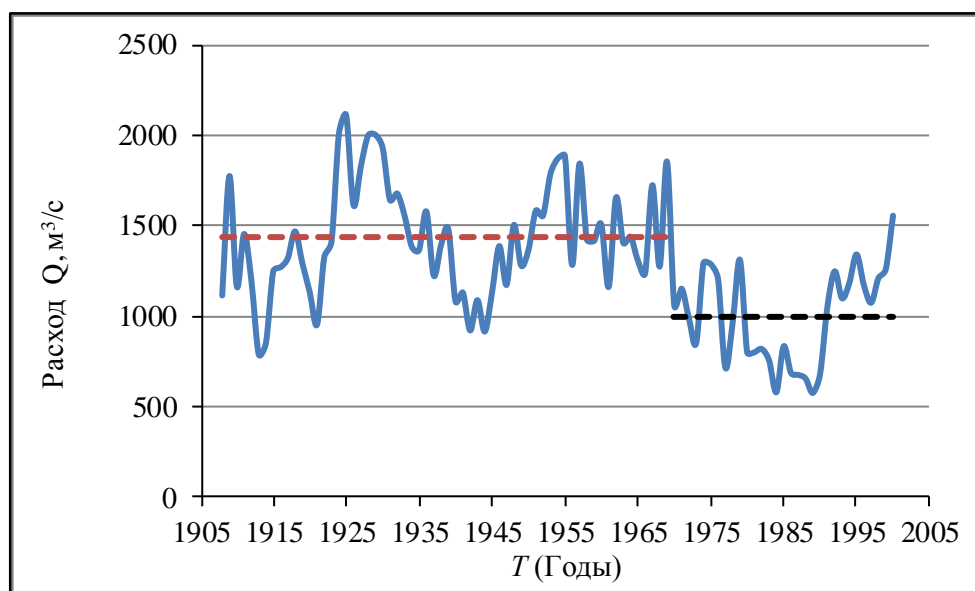


Рисунок 3.5 – Хронологический график среднегодовых расходов воды и средние линии по делению ряд на однородности, станция Киранго.

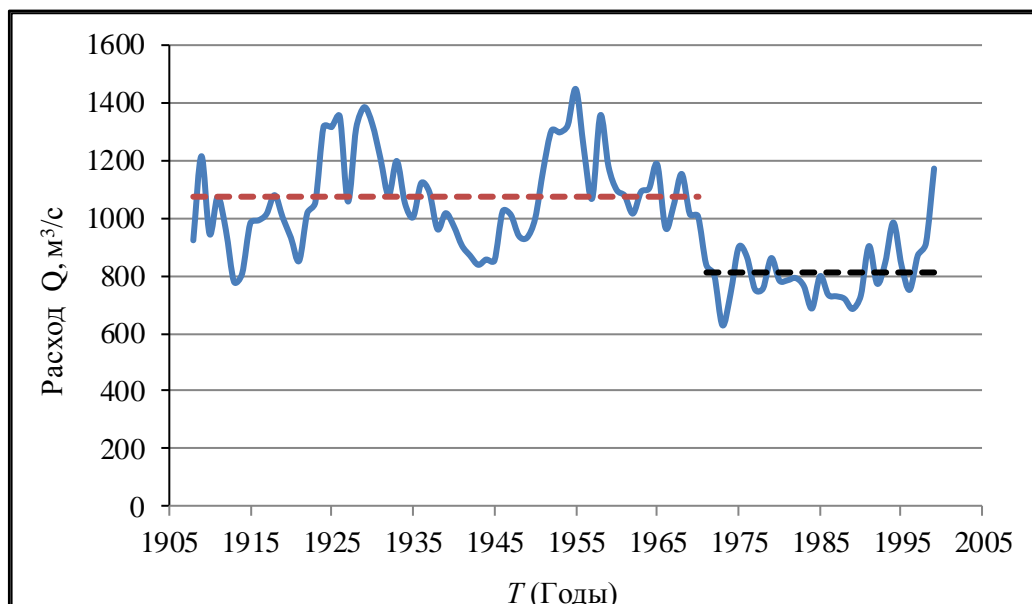


Рисунок 3.6 – Хронологический график среднегодовых расходов воды и средние линии по делению ряд на однородности, станция Ансонго.

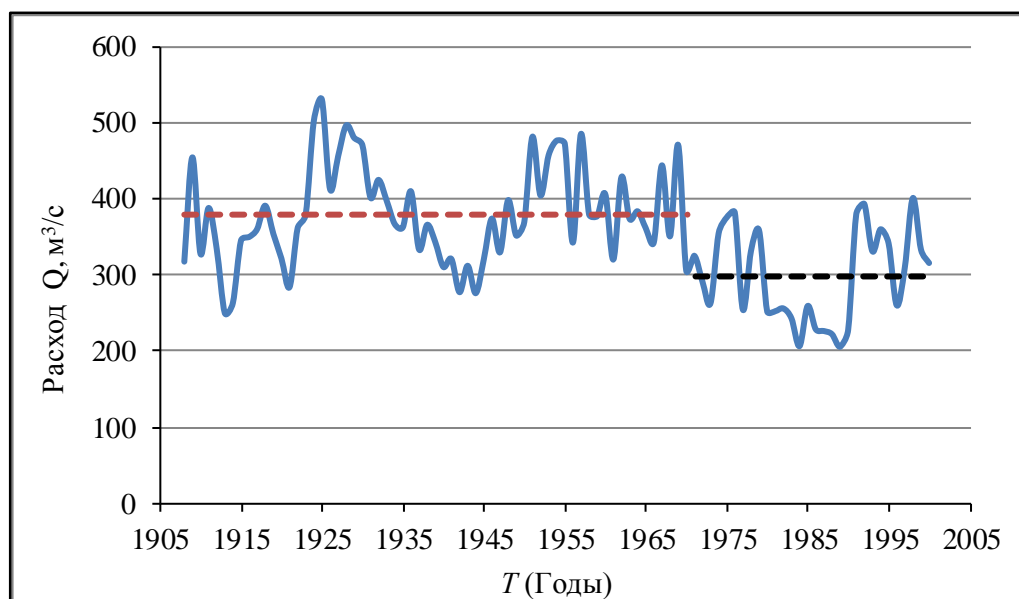


Рисунок 3.7 – Хронологический график среднегодовых расходов воды и средние линии по делению ряд на однородности, станция Гувуала (Санкарани)

Результаты проверки рядов на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента представлены в таблицах 3.3, 3.4.

Таблица 3.3 – Результаты проверки рядов на однородность по критериям Фишера и Стьюдента для среднегодовых расходов воды по гидростанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

№ п/п	Станция, пункт	n	Ряд делился пополам						Ряд делился по точке перелома на РИК					
			t*	t <sub>2α</sub>	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	F*	F <sub>2α</sub>	D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>	t*	t <sub>2α</sub>	H <sub>1</sub> =H <sub>2</sub>	F*	F <sub>2α</sub>	D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>
1	Куликоро	93	3,34	1,99	-	1,09	1,8	+	6,19	1,99	-	1,29	1,94	+
2	Киранго	93	3,6	1,99	-	1,11	1,8	+	6,69	1,99	-	1,37	1,94	+
3	Мопти	93	4,61	1,99	-	1,37	1,8	+	8,16	1,99	-	3,72	1,94	-
4	Дире	93	3,8	1,99	-	1,33	1,8	+	8,51	1,99	-	2,27	1,95	+
5	Ансонго	92	3,24	1,99	-	1,53	1,81	+	8,31	1,99	-	2,25	1,98	+
6	Гувуала	93	3,16	1,99	-	1,18	1,8	+	5,8	1,99	-	1,12	1,95	+
7	Дуна	93	5,52	1,99	-	1,13	1,8	+	9,87	1,99	-	2,00	1,94	+

« + » - нулевая гипотеза не опровергается; « - » - нулевая гипотеза опровергается

Таблица 3.4 – Сводная таблица проверки на однородность рядов среднегодовых расходов воды по гидростанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

Вид деления	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы об однородности			
		По критерию Фишера		По критерию Стьюдента	
		Абсолютное	Относительное, %	Абсолютное	Относительное, %
Ряд делился пополам	7	0	0	7	100%
Ряд делился по точке перелома на РИК	7	1	14%	7	100%

Анализ показал, что по критерию Стьюдента гипотеза об однородности ряда опровергается для всех рядов по ряду делился пополам и по точке перелома.

По критерию Фишера гипотеза об однородности не опровергается по ряду делился пополам, а по точке перелома опровергается для одного ряда.

### 3.5 Оценка линейных трендов в рядах среднегодовых расходов воды

Для проверки линейных трендов в рядах среднегодовых расходов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции ( $R$ ) для зависимости  $H = f(t)$ .

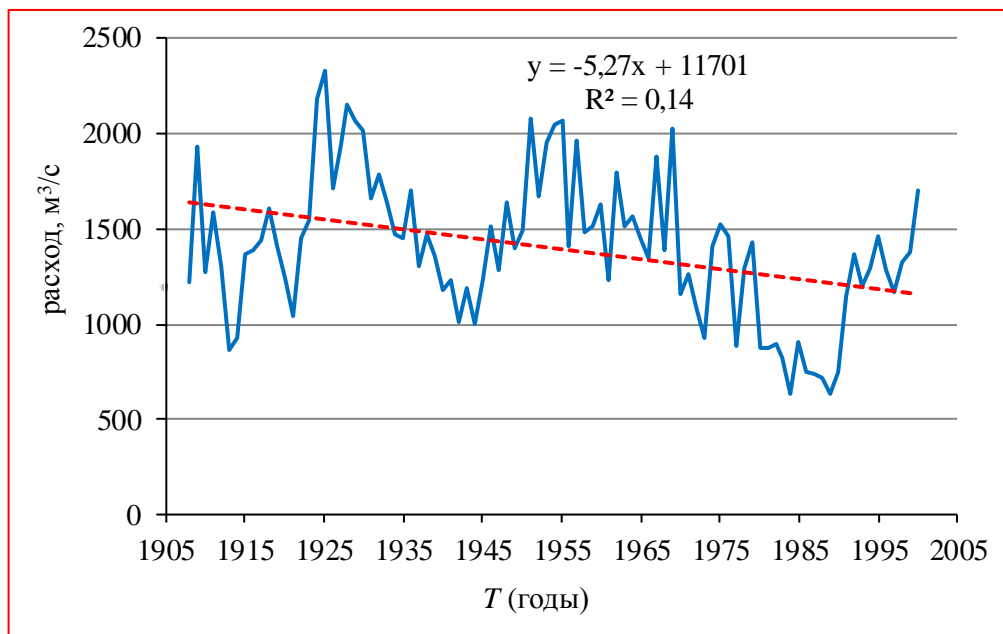


Рисунок 3.8 – Хронологический график среднегодовых расходов воды и трендовая линия, станция Куликоро.

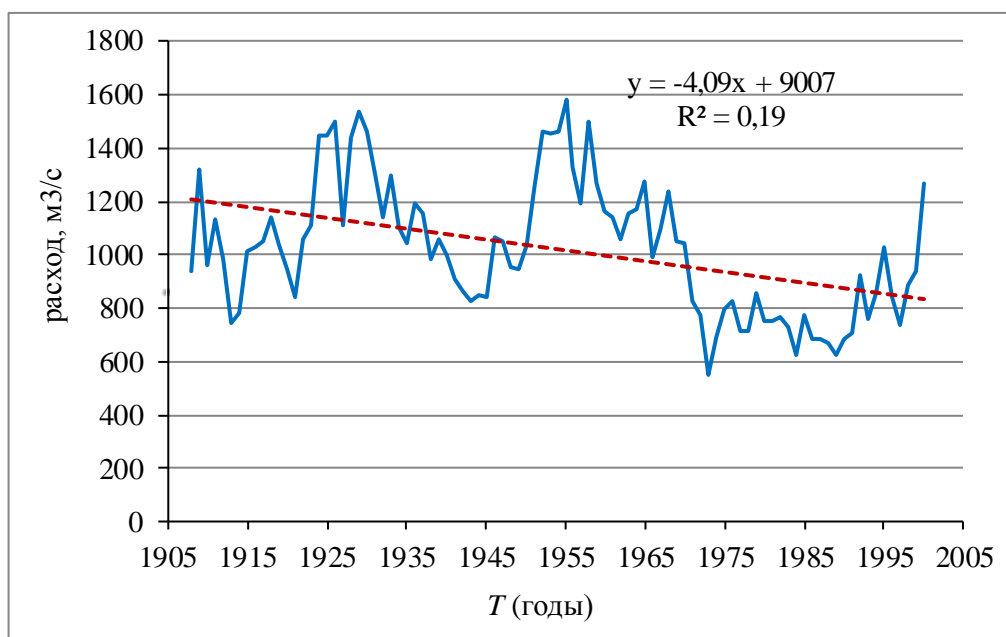


Рисунок 3.9 – Хронологический график среднегодовых расходов воды и трендовая линия, станция Дире.

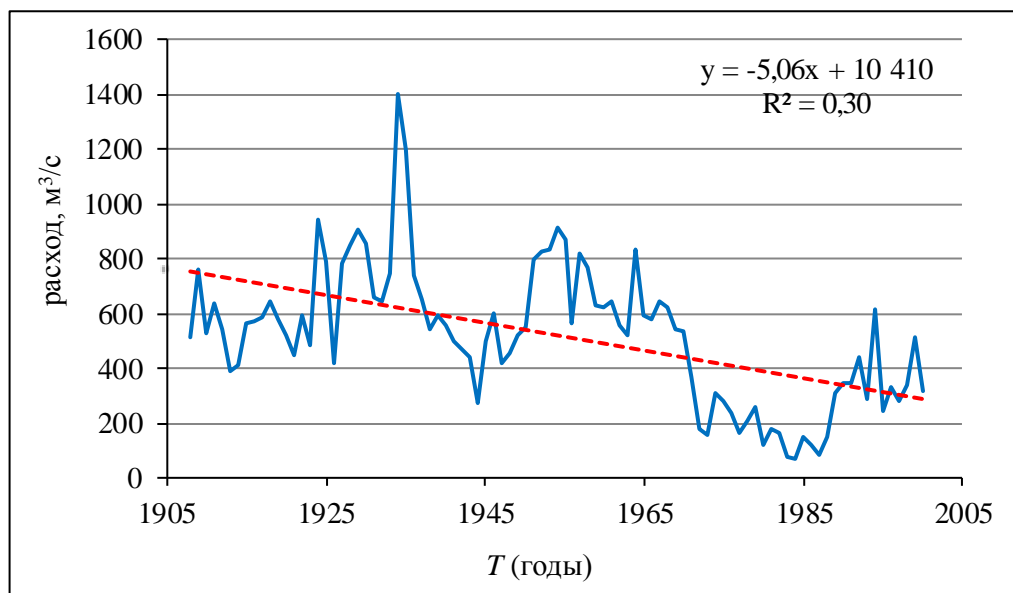


Рисунок 3.10 – Хронологический график среднегодовых расходов воды и трендовая линия, станция Дуна (Бани).

Результаты оценки представлены в таблицах 3.5, 3.6.

Таблица 3.5 – Проверка значимости линейных трендов на рядах среднегодовых расходов воды по гидростанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

№ п/п	Станция	$R$	$R^2$	$\sigma_R$	$t_{2\alpha}^* \sigma_R$	$H_0:R=0$
1	Куликоро	0,37	0,137	0,09	0,179	-
2	Киранго	0,39	0,156	0,088	0,175	-
3	Мопти	0,49	0,245	0,079	0,157	-
4	Дире	0,44	0,194	0,084	0,167	-
5	Ансонго	0,44	0,192	0,085	0,169	-
6	Гувуала	0,36	0,129	0,091	0,181	-
7	Дуна	0,54	0,297	0,073	0,146	-
« + » - нулевая гипотеза не опровергается; « - » - нулевая гипотеза опровергается						

Таблица 3.6 – Сводная таблица результатов оценки значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов по гидростанциям в бассейне реки Нигер (на территории Мали)

Вид стока	Общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы значимость	
		Абсолютное	Относительное, %
Годовой суммы осадки	7	7	100%

Анализ результатов оценки значимости линейных трендов для рядов средних годовых расходов воды рек по станциям в бассейне реки Нигер показал, что нулевая гипотеза опровергается для всех станции.

### 3.6 Анализ интегральных и разностных интегральных кривых среднегодовых расходов воды

Анализ разностных интегральных кривых среднегодовых расходов воды показал, что маловодный период в бассейне реки Нигер начался в начале 70-х годов XX века и продолжался до начала 2000-х. Это связано с повышением температуры воздуха и понижение осадков.

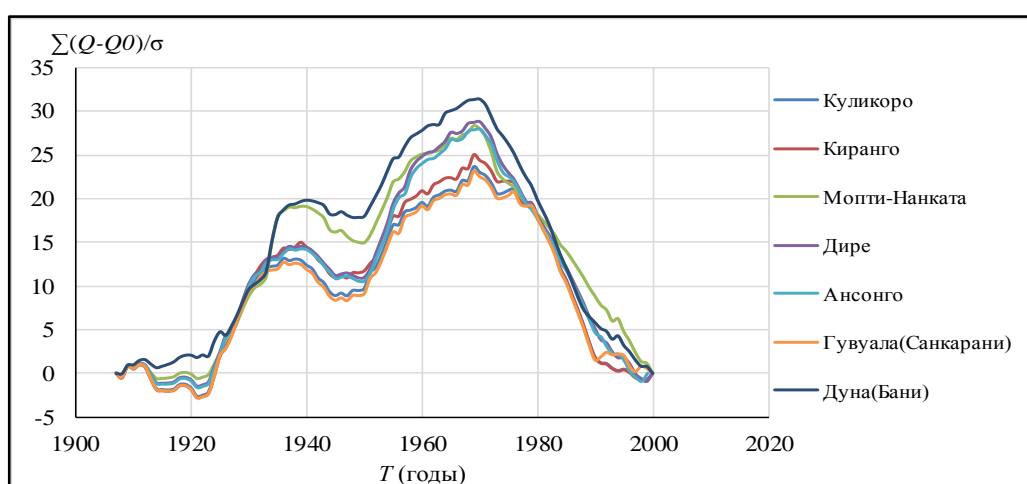


Рисунок 3.11 – Совмещенные разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды для 7-и гидрологических станций бассейна реки Нигер (Мали).



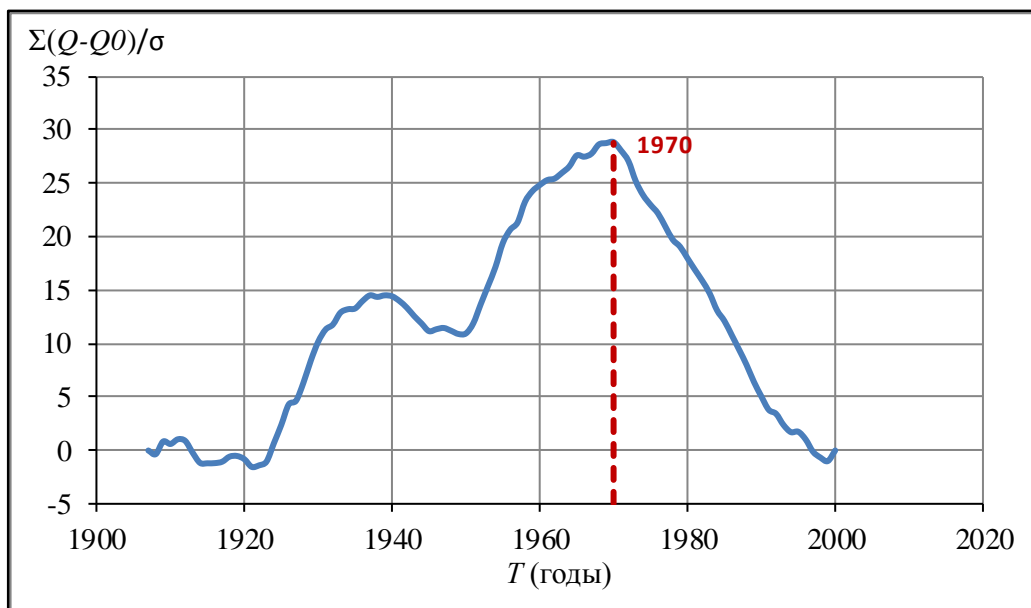


Рисунок 3.12 – Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды, станция Дире.

Для уточнения даты нарушения условий формирования стока на реке Нигер, строились также суммарные кривые среднегодовых расходов воды. Примеры таких кривых приведены на рисунках 3.13-3.15.

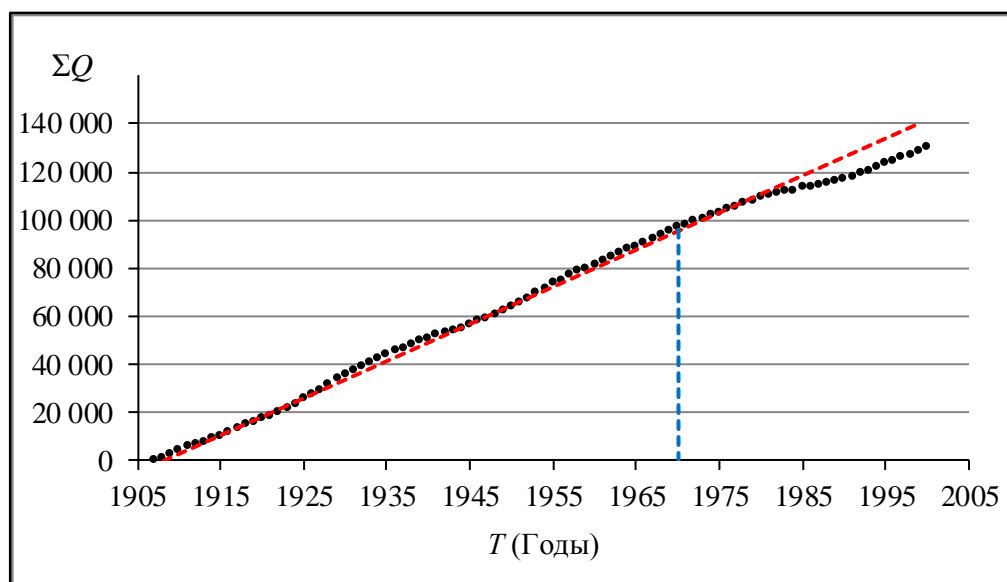


Рисунок 3.13 – Суммарная кривая среднегодовых расходов воды; р. Нигер – Куликоро.

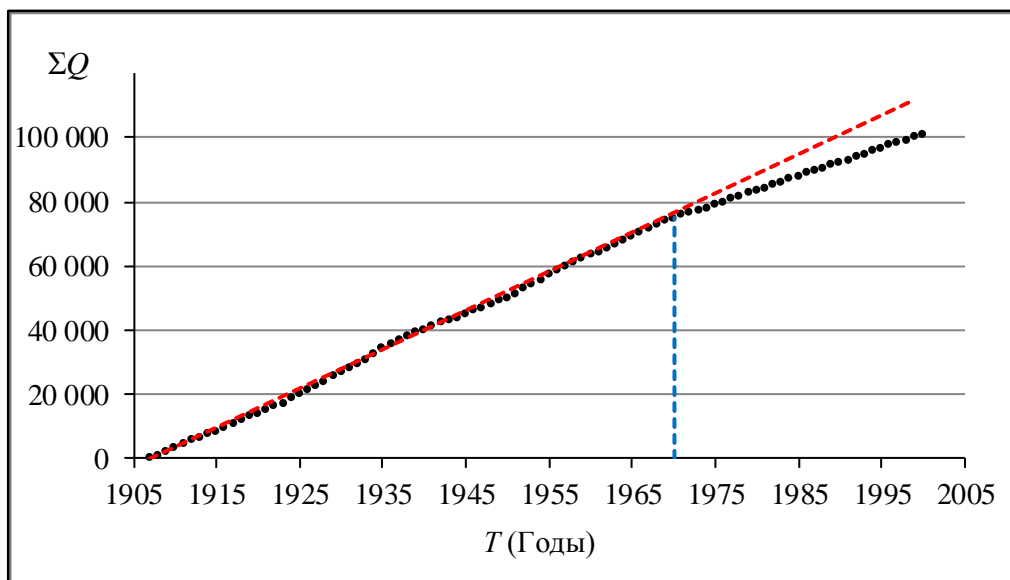


Рисунок 3.14 – Суммарная кривая среднегодовых расходов воды;  
р. Нигер – Мопти-Нанката.

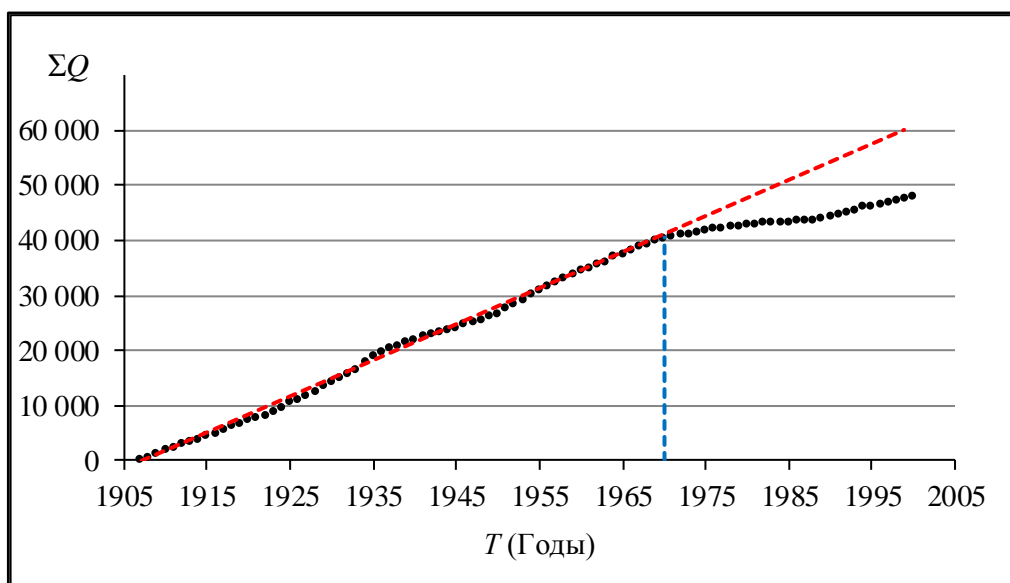


Рисунок 3.15 – Суммарная кривая среднегодовых расходов воды;  
Бани – Дуна.

Представленные графики подтверждают, что в 1970 году начался новый квазистационарный период с более низкой водностью. Снижение стока составило 20-25%.

### 3.7 Расчет основных статистических характеристик рядов среднегодовых расходов воды

При статистической обработке гидрологических данных используются несколько методов расчета оценок параметров распределения. Эти методы можно условно разделить на три группы: аналитические, графоаналитические и графические. Графические и графоаналитические методы, как видно из названия, сочетают в себе элементы аналитического расчета и графические построения. В аналитических методах оценки параметров распределения представляют собой числа, полученные путем подстановки выборочных значений  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , СВ  $X$  в теоретическую формулу оцениваемого параметра. При этом желательно, чтобы оценка удовлетворяла требованиям состоятельности, несмещенности и эффективности.

К числу аналитических методов относятся метод моментов и метод наибольшего правдоподобия. Расчет проводился методом моментов. Метод основан на использовании моментов эмпирического распределения, которые являются состоятельными оценками соответствующих теоретических моментов.

Для оценки ряда распределения найдем следующие характеристики;

Оценка математического ожидания является среднее арифметическое значение:

$$m_Q \approx \bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (3.3)$$

Коэффициент вариации  $C_v$  характеризует отклонение членов ряда от величины его среднеарифметического значения. Зная  $C_v$ , мы в состоянии определить диапазон отклонения от средней многолетней величины расхода  $\bar{Q}$  средних годовых расходов различной обеспеченности  $Q_p$  и, объемы водных ресурсов в годы соответствующей обеспеченности. При этом по годам высокой обеспеченности ( $p = 80 \dots 90\%$ ) определяют, как правило, нижний предел (или гарантии) объема водных ресурсов, на которые можно рассчитывать при планировании развития производительных сил данного региона.

Коэффициент вариации  $C_v$  по методу моментов определяется из выражения:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}} \quad (3.4)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение членов ряда от среднего значения;  $\bar{Q}$  – средний расход.

Среднее квадратическое отклонение равно

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

Из выражения (3.5) видно, что  $\sigma$  имеет размерность расходов и поэтому не может использоваться для сопоставления изменчивости разных рядов.

Разделив  $\sigma$ , на  $\bar{Q}$ , получаем безразмерную характеристику – коэффициент вариации  $C_v$ .

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}} = \frac{1}{\bar{Q}} \sqrt{\frac{\sum(Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (3.6)$$

Вводя в выражение (3.5) модульный коэффициент  $k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$

$$\text{Получим окончательно } C_v = \sqrt{\frac{\sum(k_i - 1)^2}{n-1}} \quad (3.7)$$

где  $Q_i$  – значения стока каждого года.

Коэффициент асимметрии  $C_s$  характеризует несимметричность ряда исследуемых величин относительно их среднего значения или центра распределения. Как и  $C_v$ , значение  $C_s$  выражают в относительных единицах, что позволяет сравнивать степень несимметричности рядов отдельных рек или рядов различных характеристик, а также соответственно обобщать сами значения  $C_s$ .

Коэффициент асимметрии определяется по формулам СНиП2.01.14-83:

$$C_s = \frac{n \sum(k_i - 1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^2} \quad (3.8)$$

Расчет абсолютных и относительных погрешностей среднего значения, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии.

Абсолютные погрешности рассчитываются по формулам:

- для среднего значения

$$\varepsilon_Q = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \quad (3.9)$$

- для коэффициента вариации

$$\varepsilon_{Cv} = \frac{C_v}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}} \quad (3.10)$$

- Для коэффициента асимметрии

$$\varepsilon_{Cs} = \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} \quad (3.11)$$

Относительные погрешности рассчитываются по формулам:

- для среднего значения

$$\varepsilon_Q = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} 100\% \quad (3.12)$$

- для коэффициента вариации

$$\varepsilon_{Cv} = \frac{C_v}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}} 100\% \quad (3.13)$$

- для коэффициента асимметрии

$$\varepsilon_{Cs} = \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} 100\% \quad (3.14)$$

Расчеты показали, что на рассматриваемой бассейна величина коэффициента вариации меняются от 0,2 до 0,5. Погрешности расчетов среднего значения и коэффициента вариации во всех случаях не превышают 10%.

В соответствии с СП 33-101-2003 ряд считается длинным, если погрешность расчета среднего значения и коэффициента вариации не превышают: 5 – 10 % - для среднегодового стока

Результаты расчета представлены в приложении.3 таблица ПЗ-3

### 3.8 Расчет среднегодовых расходов воды различной обеспеченности

Расчет среднегодовых расходов воды различной вероятности ежегодного превышения был выполнен для двух вариантов. В первом случае строилась кривая обеспеченностей за весь период наблюдений, во втором – использовались данные за период с 1970 по 2000 год (т. е. за последний квазистационарный период). В качестве аналитической кривой использовалась кривая обеспеченностей Пирсона III типа. Результаты расчетов приведены на рисунках 3.1-3.14 и в таблицах 3.16-3.29.

Таблица 3.7 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Нигер на станции Куликоро;  $F = 120\,000 \text{ км}^2$ .

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	1400	1110	0,01	2940	2219
			0,1	2658	2031
			0,5	2433	1877
			1	2326	1802
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	11,7	9,25	2	2211	1721
			3	2138	1669
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	44,1	35,0	5	2041	1599
			10	1893	1490
Коэффициент вариации (C <sub>v</sub> )	0,27	0,27	20	1717	1359
			25	1651	1309
Коэффициент асимметрии (C <sub>s</sub> )	0,16	0,0	30	1592	1264
			40	1488	1183
Отношение C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>	0,58	0,0	50	1392	1107
			60	1296	1031
Относительная ошибка среднего, %	2,8	4,8	70	1196	950
			75	1141	905
Относительная ошибка C <sub>v</sub> , %	7,6	13	80	1081	855
			90	924	724
Длина ряда, лет	93	31	95	797	615
			97	716	545
			98	657	493
			99	566	412
			99,5	484	337
			99,9	318	183

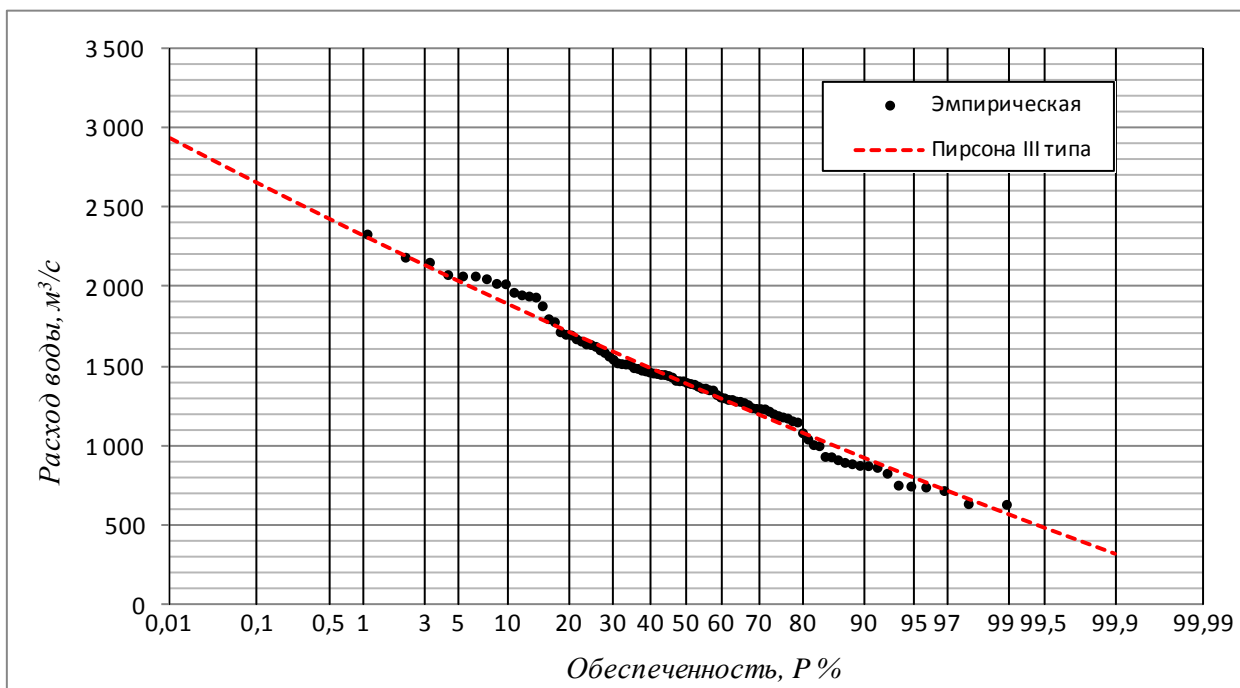


Рисунок 3.16 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Куликоро (1908-2000 гг.).

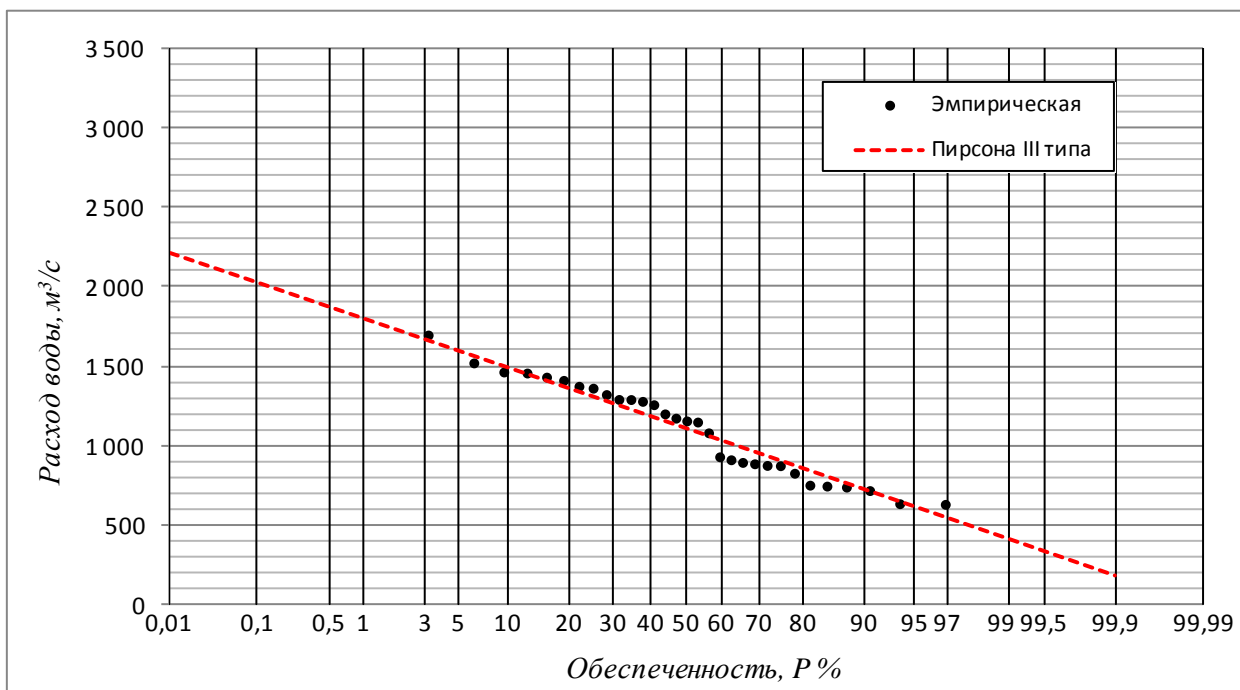


Рисунок 3.17 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Куликоро (1970-2000 гг.).

Таблица 3.8 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Нигер на станции Киранго - Нижний бьеф; F = 137000 км<sup>2</sup>.

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	1400	997	0,01	2940	2120
			0,1	2658	1916
			0,5	2433	1753
			1	2326	1675
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	10,2	7,27	2	2211	1591
			3	2138	1539
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	44,1	31,4	5	2041	1467
			10	1893	1359
			20	1717	1230
Коэффициент вариации (C <sub>v</sub> )	0,27	0,27	25	1651	1182
			30	1592	1139
Коэффициент асимметрии (C <sub>s</sub> )	0,16	0,05	40	1488	1062
			50	1392	991
			60	1296	920
Отношение C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>	0,58	0,18	70	1196	846
			75	1141	805
Относительная ошибка среднего, %	2,8	4,8	80	1081	761
			90	924	644
			95	797	549
Относительная ошибка C <sub>v</sub> , %	7,6	13	97	716	489
			98	657	445
			99	566	377
			99,5	484	315
Длина ряда, лет	93	31	99,9	318	190



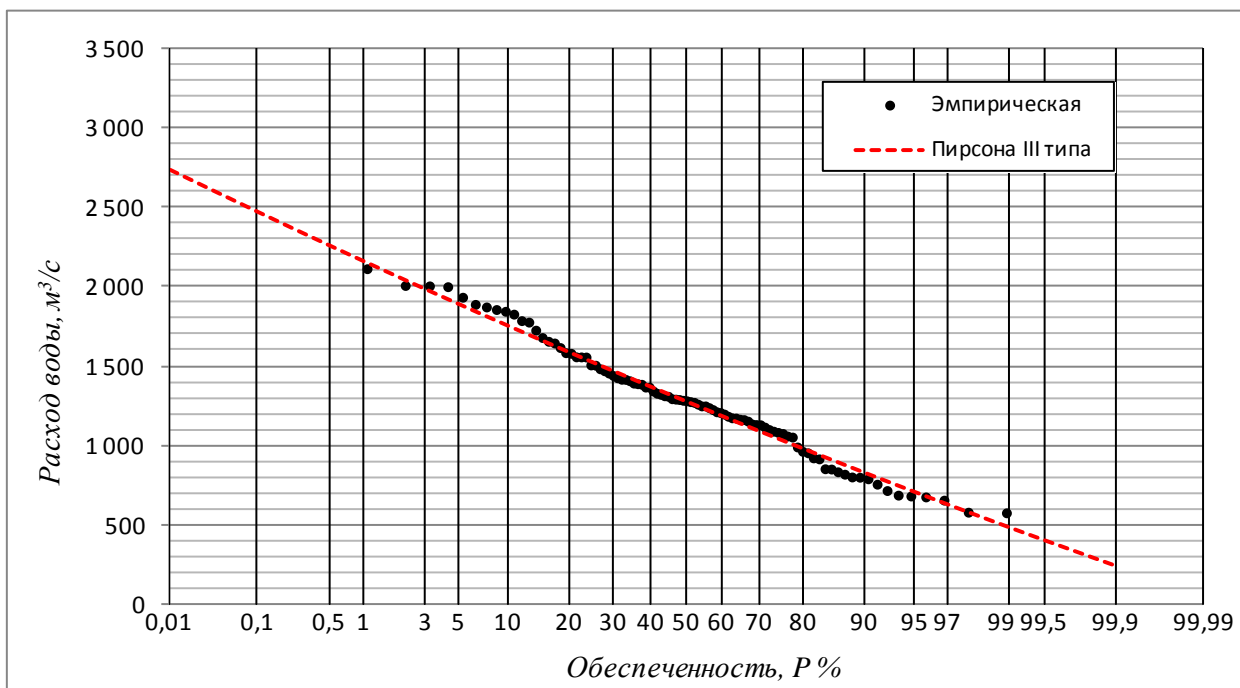


Рисунок 3.18 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Киранго - Нижний бьеф (1908-2000 гг.).

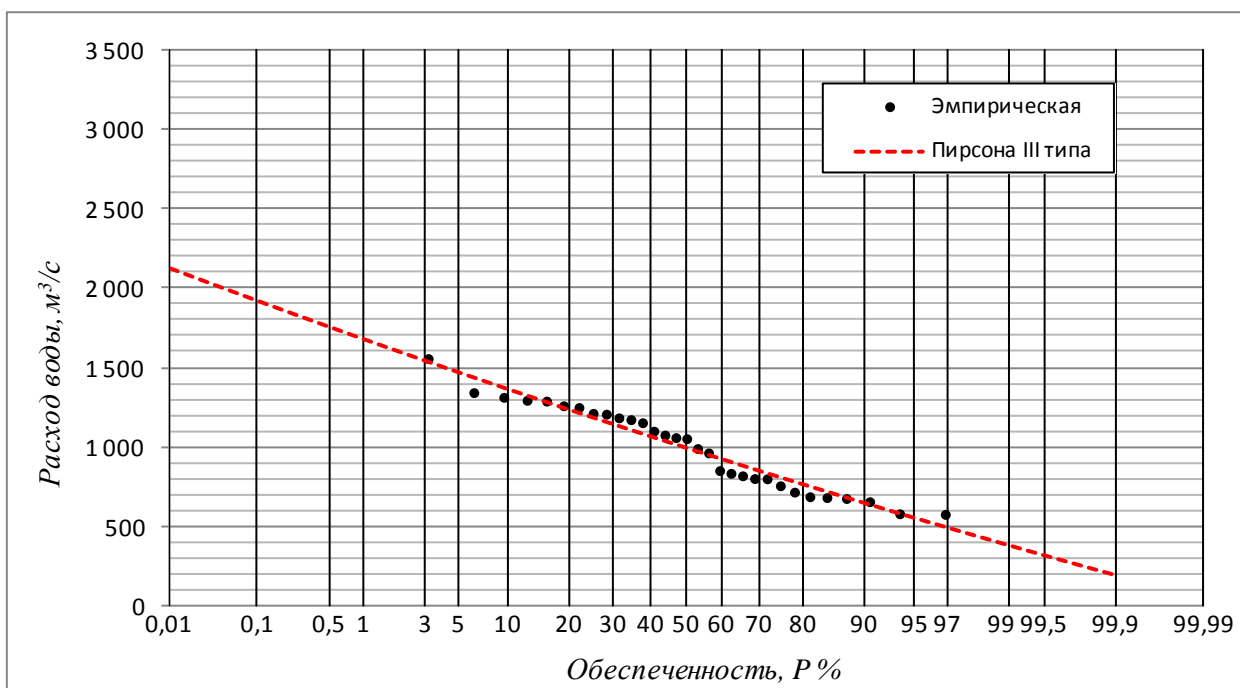


Рисунок 3.19 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Киранго - Нижний бьеф (1970-2000 гг.).

Таблица 3.9 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Нигер на станции Нанката - Мопти; F = 281600 км<sup>2</sup>.

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	1086	872	0,01	2478	
			0,1	2145	1160
			0,5	1905	1119
			1	1792	1098
			2	1678	1075
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	3,86	3,1	5	1526	1038
			10	1400	1005
			20	1264	963
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	34,2	27,5	25	1215	946
			30	1175	932
			40	1107	903
Коэффициент вариации (C <sub>v</sub> )	0,22	0,12	50	1049	877
			60	995	850
			70	941	820
Коэффициент асимметрии (C <sub>s</sub> )	0,93	-0,28	75	915	804
			80	887	784
			90	821	733
Отношение C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>	4,24	-2,28	95	776	638
			98	734	638
			99	713	603
Относительная ошибка среднего, %	2,24	0,2	99,5	696	570
			99,9	665	500
Относительная ошибка C <sub>v</sub> , %	7,50	0,0			
Длина ряда, лет	93	31			

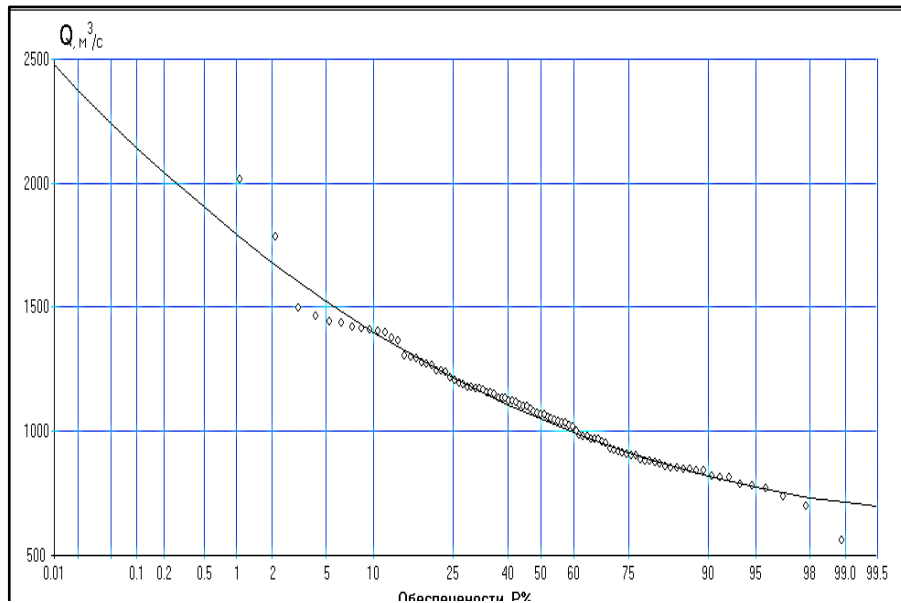


Рисунок 3.20 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Нанката - Мопти (1908-2000 гг.).

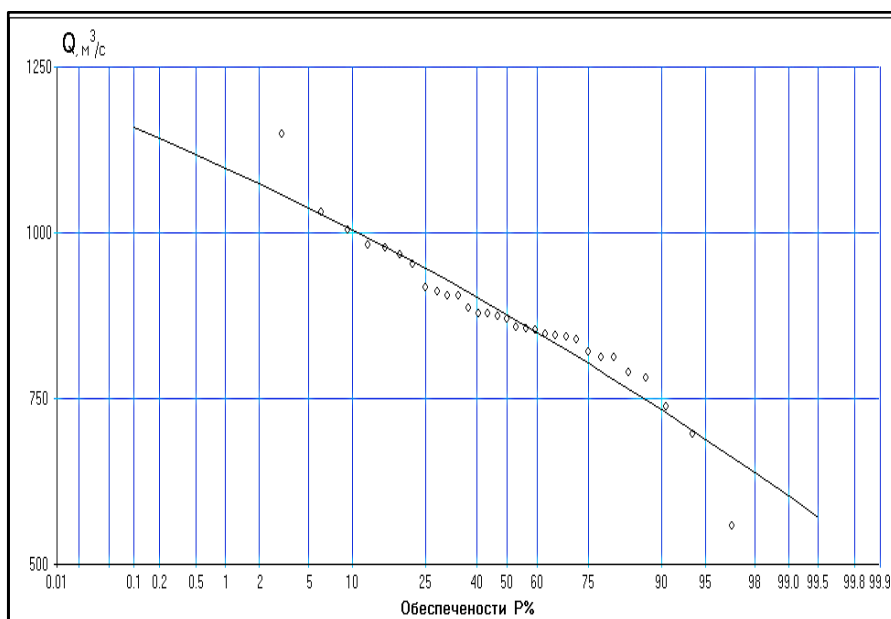


Рисунок 3.21 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Нанката - Мопти (1970-2000 гг.).

Таблица 3.10 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Нигер на станции Дире;  $F = 340000 \text{ км}^2$ .

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	1021	790	0,01	2100	1957
			0,1	1940	1631
			0,5	1760	1407
			1	1676	1304
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	3,0	2,32	2	1586	1204
			5	1459	1076
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	32,2	24,9	10	1351	977
			20	1226	878
			25	1178	846
Коэффициент вариации ( $C_v$ )	0,24	0,18	30	1138	819
			40	1068	779
Коэффициент асимметрии ( $C_s$ )	0,37	1,97	50	1003	746
			60	943	720
			70	878	698
Отношение $C_s/C_v$	1,52	10,08	75	843	688
			80	809	678
Относительная ошибка среднего, %	2,54	0,42	90	714	660
			95	642	653
			98	564	647
Относительная ошибка $C_v$ , %	7,55	0,0	99	546	646
			99,5	474	646
			99,9	390	645
Длина ряда, лет	93	31	98	564	647
			99	546	646

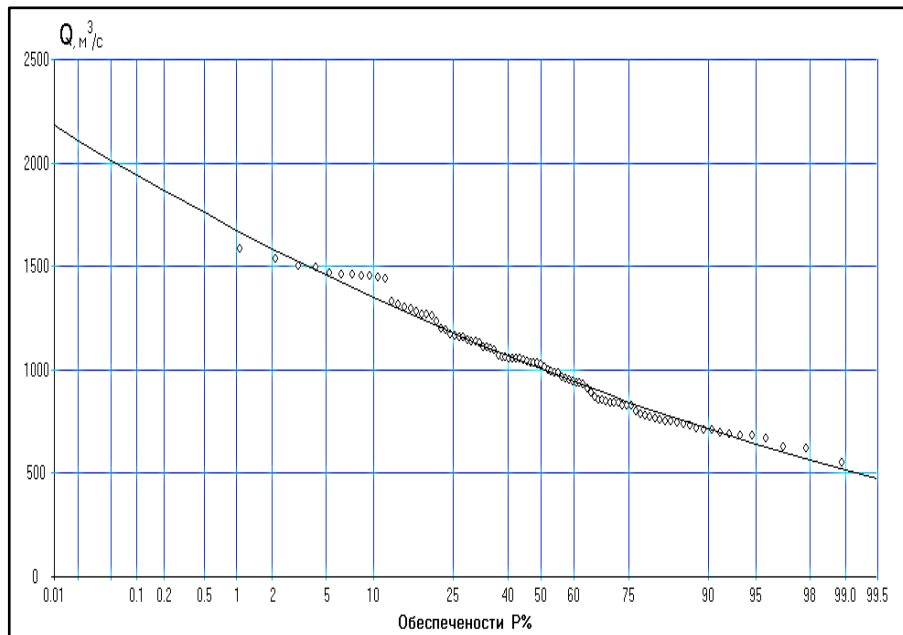


Рисунок 3.22 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Дире (1908-2000 гг.).

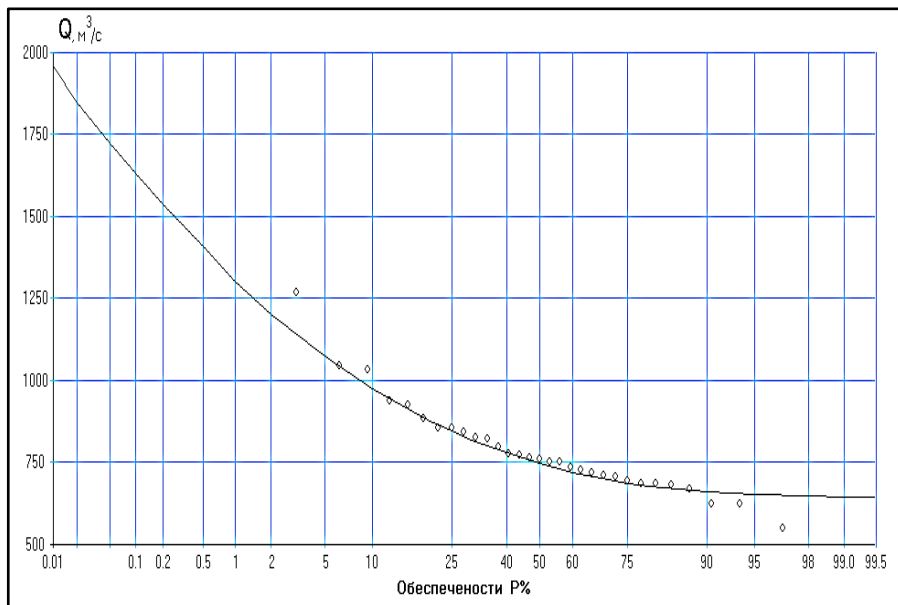


Рисунок 3.23 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Дире (1970-2000 гг.).

Таблица 3.11 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Нигер на станции Ансонго;  $F = 566000 \text{ км}^2$ .

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 1999 г.	1970 г. - 1999 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	991	815	0,01	1868	1647
			0,1	1686	1421
			0,5	1550	1266
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	1,75	1,44	1	1486	1193
			2	1418	1121
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	31,2	25,7	5	1322	1032
			10	1241	953
			20	1146	886
Коэффициент вариации ( $C_v$ )	0,19	0,13	25	1110	862
			30	1079	842
Коэффициент асимметрии ( $C_s$ )	0,37	1,74	40	1026	810
			50	977	785
			60	932	763
Отношение $C_s/C_v$	1,97	13	70	883	745
			75	856	736
Относительная ошибка среднего, %	1,99	0,3	80	830	727
			90	759	711
Относительная ошибка $C_v$ , %	7,51	0,0	95	704	701
			98	645	634
			99	609	632
Длина ряда, лет	92	30	99,5	577	631
			99,9	514	630

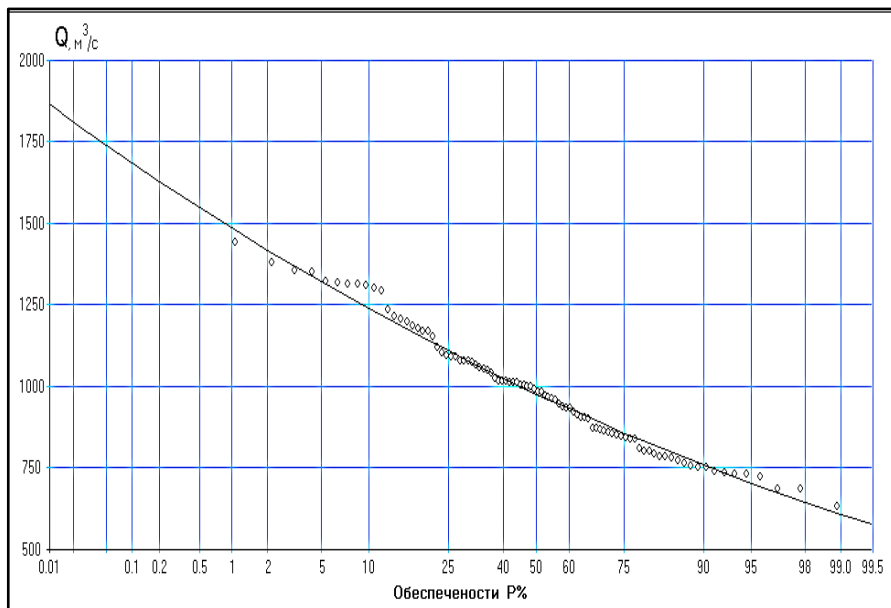


Рисунок 3.24 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Ансонго (1908-1999 гг.).

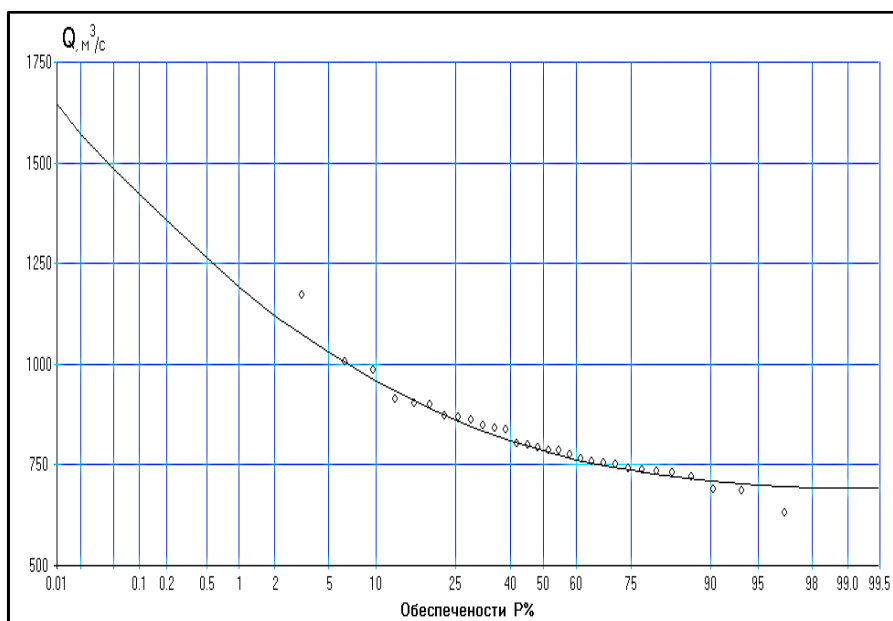


Рисунок 3.25 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Нигер – ст. Ансонго (1970-1999 гг.).

Таблица 3.12 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Бани на станции Дуна; F = 101600 км<sup>2</sup>.

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	518	264	0,01	1741	1097
			0,1	1483	899
			0,5	1287	756
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	5,10	2,60	1	1194	689
			2	1101	620
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	16,3	8,32	5	965	529
			10	850	454
			20	720	372
Коэффициент вариации (C <sub>v</sub> )	0,48	0,54	25	673	343
			30	631	319
Коэффициент асимметрии (C <sub>s</sub> )	0,48	0,96	40	561	278
			50	495	242
			60	435	209
Отношение C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>	0,99	1,79	70	371	176
			75	338	160
Относительная ошибка среднего, %	5,03	0,44	80	304	143
			90	214	102
Относительная ошибка C <sub>v</sub> , %	8,2	0,01	95	147	74,7
			98	74,2	47,8
			99	31,9	34,5
Длина ряда, лет	93	31	99,5	2,77	23,8



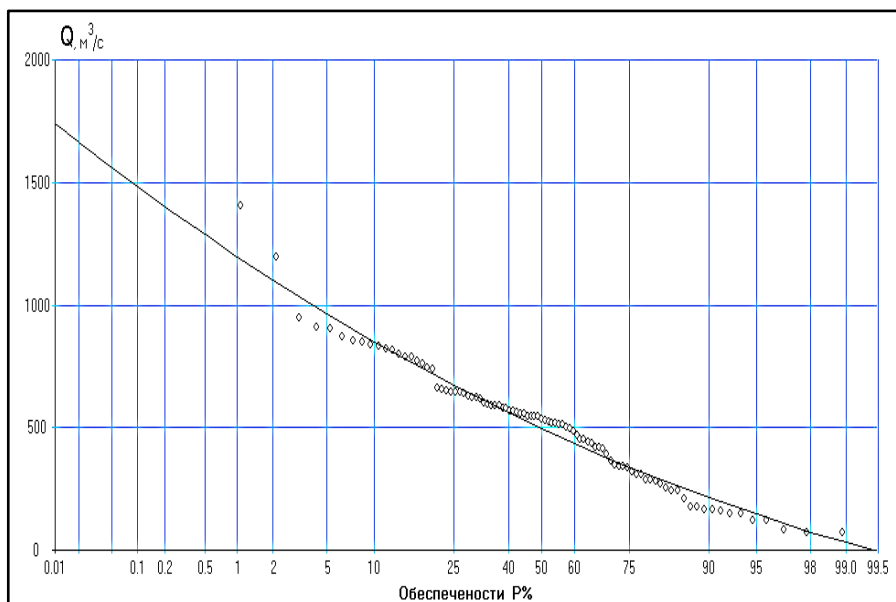


Рисунок 3.26 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Бани – ст. Дуна (1908-2000 гг.).

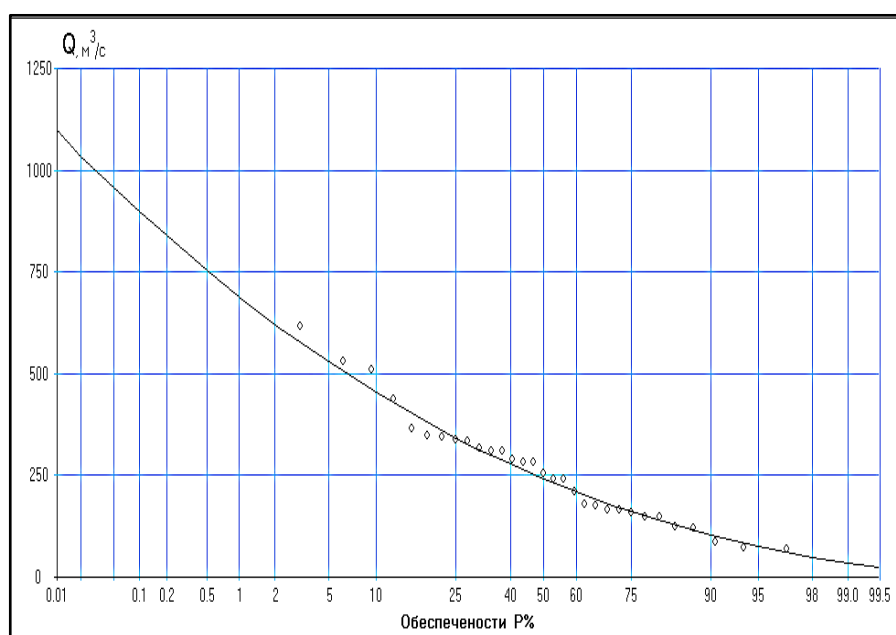


Рисунок 3.27 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Бани – ст. Дуна (1970-2000 гг.).

Таблица 3.13 – Основные статистические характеристики и расчетные среднегодовые расходы реки Санкарани на станции Гувуала;  $F = 35300 \text{ км}^2$ .

Характеристика стока	Период наблюдений		P%	Q, м <sup>3</sup> /с	
	1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.		1908 г. - 2000 г.	1970 г. - 2000 г.
Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	369	303	0,01	1179	546
			0,1	955	471
			0,5	800	444
			1	728	431
Ср. многолетний модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	10,5	8,58	2	659	417
			5	570	394
Ср. многолетний объем годового стока, км <sup>3</sup>	11,6	9,54	10	201	375
			20	432	351
Коэффициент вариации ( $C_v$ )	0,21	0,19	25	410	341
			30	391	333
Коэффициент асимметрии ( $C_s$ )	0,12	-0,09	40	362	318
			50	339	303
			60	320	289
Отношение $C_s/C_v$	0,58	-0,46	70	304	273
			75	297	265
Относительная ошибка среднего, %	2,17	0,18	80	289	255
			90	276	229
Относительная ошибка $C_v$ , %	7,5	0,0	95	270	208
			98	266	184
Длина ряда, лет	93	31	99	265	167
			99,5	265	152
			99,9	264	120

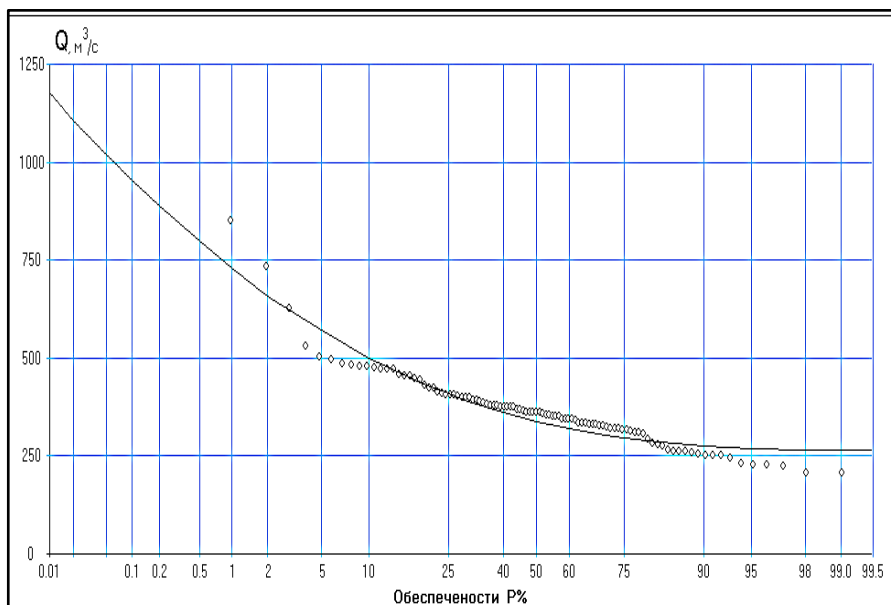


Рисунок 3.28 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Санкарани – ст. Гувуала (1908-2000 гг.).

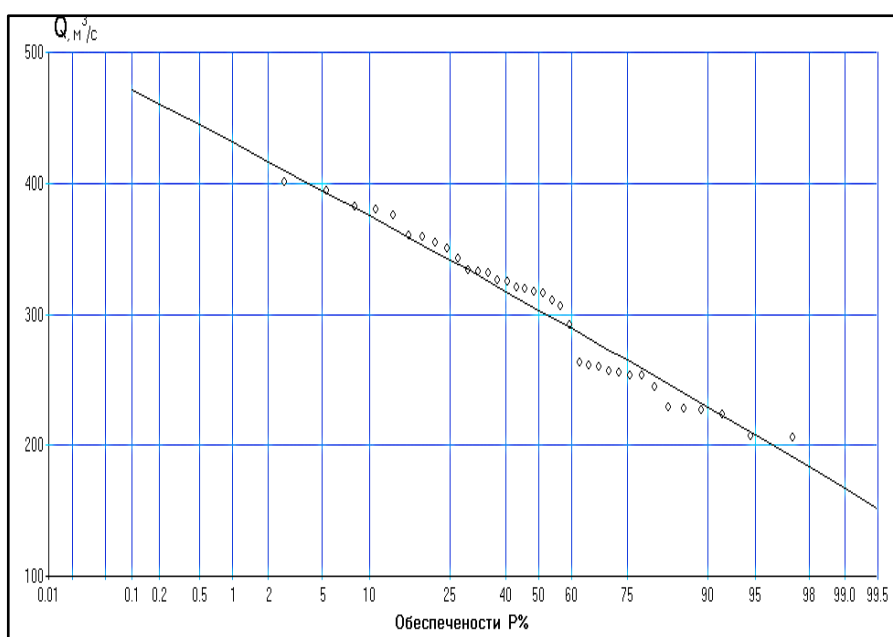


Рисунок 3.29 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Санкарани – ст. Гувуала (1970-2000 гг.).

### 3.9 Влияние антропогенных факторов на водный режим реки Нигер

Антропогенные факторы проявляются в снижении водности реки Нигер за счет изъятия части воды на нужды энергетики, сельского хозяйства и водоснабжение.

Мали имеет четыре основных водохранилища на верхнем Нигере и внутренней дельте: водохранилище Селинге на Санкарани, Сочибанга и Маркала на Нигер, Тало на Бани.

Маркала является сельскохозяйственным районом. Водоохранилище Маркала обеспечивает орошение под действием силы тяжести. Оно является основным ирригационным проектом в Западной Африке и имеет важное значение для производства риса в Мали.

Расширение орошаемой площади Нигера, возможно и может быть обеспечено за счет новых мер, направленных на повышение эффективности использования водных ресурсов системы. Тем не менее, увеличение потребления воды в реке Нигер окажет значительное негативное влияние на режим внутренней дельты реки Нигера.

Водоохранилище Селинге (1980г.г) было построено для производства электроэнергии, в основном для Бамако (столица Мали). В качестве водохранилища используется озеро Селинге 430 км<sup>2</sup> (объем 2,2 км<sup>3</sup>). Водоохранилище используется для орошения. После его строительства 13 500 людей, живущих в долине Санкарани, потеряли свои дома, пастбища, сады и другие сельскохозяйственные угодья.

Из-за водохранилища Селинге и орошения, уровень воды во внутренней дельте Нигера снизился на 20-25 см. С учетом падения уровня воды, затопленная площадь внутренней дельты Нигера уменьшилась на 900 км<sup>2</sup>. Ожидается также, что снижение уровня воды во внутренней дельте приведет к снижению на 62% площади полей плавающего растения « *bourgou* ». Помимо сельскохозяйственного значения растение « *bourgou* » имеет важное экологи-

ческое значение, так как является зоной роста для мальков рыбы и пастбищем для скота.



Годовые потери стока, вызванные существующими и планируемыми водохранилищами, составят 11,6 %. В сухой сезон потери значительно выше и составляют до 70% от общего стока за сухой период.

В настоящее время, количество воды, забираемой через водохранилища Маркала и Селинге может составлять от 6% до 30%

Уменьшение количества воды во внутренней дельте Нигера, вызывает уменьшение зоны затопления. В свою очередь, это оказывает прямое влияние на животноводство, выращивание риса и рыболовство, которые зависят от них.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы выявлено влияние климата:

- на пространственное распределение водных ресурсов Мали;
- на внутригодовое распределение стока;
- на многолетние колебания водности реки Нигер.

На основе анализа разностных интегральных кривых установлено, что маловодный период в бассейне р. Нигер начался в начале 70-х годов XX века и продолжался до начала 2000-х. Этот период характеризовался снижением сумм годовых осадков и повышением среднегодовых температур воздуха.

С 2004 года по настоящее время в бассейне реки Нигер наметился «перелом». Слой годовых осадков за этот период примерно на 10% выше нормы.

Показано, что внутригодовой ход стока реки Нигер повторяет ход осадков, со сдвигом во времени на 1,5-2 месяца. Многоводный период приходится на период с июля по декабрь, межень – с января по июнь, наиболее маловодный период – с февраля по май.

Рассчитаны среднегодовые расходов воды реки Нигер различной обеспеченности для двух вариантов. В первом случае строилась кривая обеспеченностей за весь период наблюдений, во втором – использовались данные за период с 1970 по настоящее время. Установлено, что за последние 30 лет сток реки Нигер снизился на 20-25%.

Установлено, что антропогенные факторы проявляются в снижении водности реки Нигер за счет изъятия части воды на нужды энергетики, сельского хозяйства и водоснабжение.

Результаты исследований могут быть полезными для решения проблемы охраны и рационального использования водных ресурсов Республики Мали.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Г.А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации Л.: Гидрометеоиздат, 1975. - 96с.
2. Annuaire hydrologique de l'office de la recherche scientifique et technique Outremer. Année 1964 - 65. Paris 1969.
3. Annuaire hydrologique du Mali. Année 1993. DNHE Bamako 1995.
4. Atlas du Mali. Paris 1980.
5. Atlas of world water balance СССР, 1974 г.
6. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 365 с.
7. Владимиров А.М., Дружинин В.С. Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 208 с.
8. Восстановление рядов речного стока. Пособие КИВИ. Дрозд В.В., Аресто-Бич И.И. М.: Гидрометеоиздат, 1990 г..
9. Гаврилов И.И. Республики Мали Справочник М. Изд-во «Наука», 1977 г. гидрометеорологической информации.– СПб.: Изд. РГГМУ, 2001.– 168с.
10. Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 431с.
11. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки
12. Методические указания по дисциплине гидрологические расчёты часть 1, под ред. Сикан А.В. – СПб. : Изд. РГГМУ, 2012 – 52 с.
13. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор – ТиС. 2007. – 134с.
14. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 444с.
15. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 276 с.
16. Рождественский А.В., Чеботарёв А.И. Статистические методы в гидро-

- логии. – Л.: Гидрометеиздат,1974. – 424с.
17. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик. – М.:Стройиздат,2004. – 72с.
  18. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд.РГГМУ,2007. – 279с.
  19. Сикан А.В. Оптимизация параметров распределения при построении кривых обеспеченностей экстремальных расходов воды // Уч. Зап. РГГМУ, 2012, №24, с.26-33.
  20. Сикан А.В., Малышева Н.Г., Винокуров И.О. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Лабораторный практикум. – СПб.: РГГМУ, 2014. – 76 с.
  21. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. М. : Госстрой России, 2004.
  22. Jérôme Marie, Pierre Moran, Hamady N'Djim. The Niger River's Future, IRD éditions 2007. – 748p.
  23. Rodier J. Bibliographie hydrologique africaine. Paris 1963.
  24. Système d'information hydrologique au service d'une gestion intégrée des ressources en eau pour le bassin du Niger.  
Composante régionale du Système mondial d'observation du cycle hydrologique (WHYCOS). Juillet 2006.
  25. Direction Nationale de l'hydraulique du Mali. Bulletins hydrologiques. URL : <http://www.dnhmali.org> (Дата обращения : 18/03/2017).
  26. Источник данных. URL: <http://climexp.knmi.nl/> (Дата обращения: 05/08/2016).



## ПРИЛОЖЕНИЯ