



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы  
**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(бакалаврская работа)

На тему «Оценка климатических изменений температуры воздуха в Замбии»

**Исполнитель: Тембо Филип ГМ-Б17-1**

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА  
**Лобанов Владимир Алексеевич**

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
Подпись

Кандидат физико-математических наук, доцент  
**Сероухова Ольга Станиславовна**

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

Санкт-Петербург  
2021

## **Оглевление**

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географические особенности территории Замбии.....	6
1.1. Географическое положение .....	6
1.2. Топография Замбии .....	6
1.3. Климат Замбии .....	8
1.4. Распределения средних многолетних температуры воздуха во внутри Замбии .....	9
Глава 2. Формирование региональной базы данных многолетних рядов климатических характеристик .....	12
2.1. Выбор информации из стандартных архивов климатических данных	12
2.2. Расположение пунктов наблюдений по территории .....	13
2.3 Оценка однородности и стационарности рядов наблюдений температуры воздуха в Замбии.....	14
2.4. Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду.....	21
2.5 Расчет климатических характеристик в стационарных условиях. ....	24
Глава 3. Оценка климатических изменений холодного сезона .....	37
3.1. Климатические изменения температуры мая.....	38
3.2. Климатические изменения температуры июня.....	41
3.3. Климатические изменения температуры июля.....	45
3.4. Климатические изменения температуры августа .....	48
Глава 4. Оценка климатических изменений теплого сезона .....	51
4.1. Климатические изменения температуры октября .....	51
4.2. Климатические изменения температуры ноября.....	54
4.3. Климатические изменения температуры декабря .....	57
4.4. Климатические изменения температуры января .....	60
Заключение .....	63
Список использованной литературы.....	65

## Введение

Изменение климата стало широко распространенной темой в последние годы. Это проблема, которая вызвана выбросами парниковых газов, влияющих на нашу окружающую среду, экономику и безопасность, и в настоящее время она формирует современную эпоху. Постоянное бездействие делает эту ситуацию еще более сложной и необратимой.

Мир становится все теплее и теплее и это видно по показаниям термометров по всему миру, которые фиксировали рост температуры со времен промышленной революции.

Согласно текущему анализу температуры, проведенному учеными Института космических исследований имени Годдарда НАСА (GISS), средняя глобальная температура на Земле с 1880 года увеличилась чуть более чем на 1° по Цельсию. Две трети потепления произошло с 1975 года со скоростью примерно 0.15-0.20°C в десятилетие. Последствия этого небольшого изменения температуры многочисленны: от более длительных сезонов засухи и жары до более агрессивных ураганов. Кроме того, повышение средней температуры Земли создало целый ряд проблем, которые оставили неизгладимый след в нашей окружающей среде.

Климат - это средняя погода в данной местности за более длительный период времени. Описание климата включает в себя информацию, например, о средней температуре в разные сезоны, количестве осадков и солнечной радиации. Климат - это более стабильная характеристика, а погода меняется быстро относительно климата.

Погода является комплексом мгновенных состояний естественных процессов в атмосфере, таких как температура воздуха и осадки. Под климатом понимается долговременное состояние погоды, которое сохраняется не менее нескольких десятилетий. Изменение климата может быть вызвано естественными внешними воздействиями или оно может быть вызвано

человеком. Современный климат меняется и эти изменения климатического режима необходимо исследовать.

Для оценки климатических изменений температуры воздуха в Замбии выполнялась данная бакалаврская работа, связанная с исследованиями и статистическим моделированием для всей территории Замбии, которая характеризуется тропическими и субтропическими климатическими условиями.

В настоящее время Замбия, как и любая другая страна в мире, переживает неблагоприятные последствия современного изменения климата, включая увеличение частоты и интенсивность сезонных засух, периодические засухи, повышение температуры в долинах, внезапные наводнения и другие экстремальные явления. В результате большая часть населения страны, связанная с сельским хозяйством зависит от региональной изменчивости климата. Африка в целом считается очень уязвимой к изменению климата в основном потому, что многие социально-экономические мероприятия в Африке, особенно сельское хозяйство, зависят от климатических параметров, в особенности от количества осадков.

Температура и осадки являются наиболее важными элементами климата в Замбии. где несколько секторов экономики в основном зависят от водных ресурсов. Поэтому изменение и предсказуемость климата являются важными аспектом, который необходимо учитывать при изучении климата в регионе.

Для выполнения работы использовались многолетние данные разных станций в 10 различных провинциях Замбии: таких как Лусака, северная, восточная, центральная, южная, медный пояс. Луапула, северо-запад, запад и Мучинга.

Целью работы является оценка климатических изменений температуры воздуха в Замбии. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

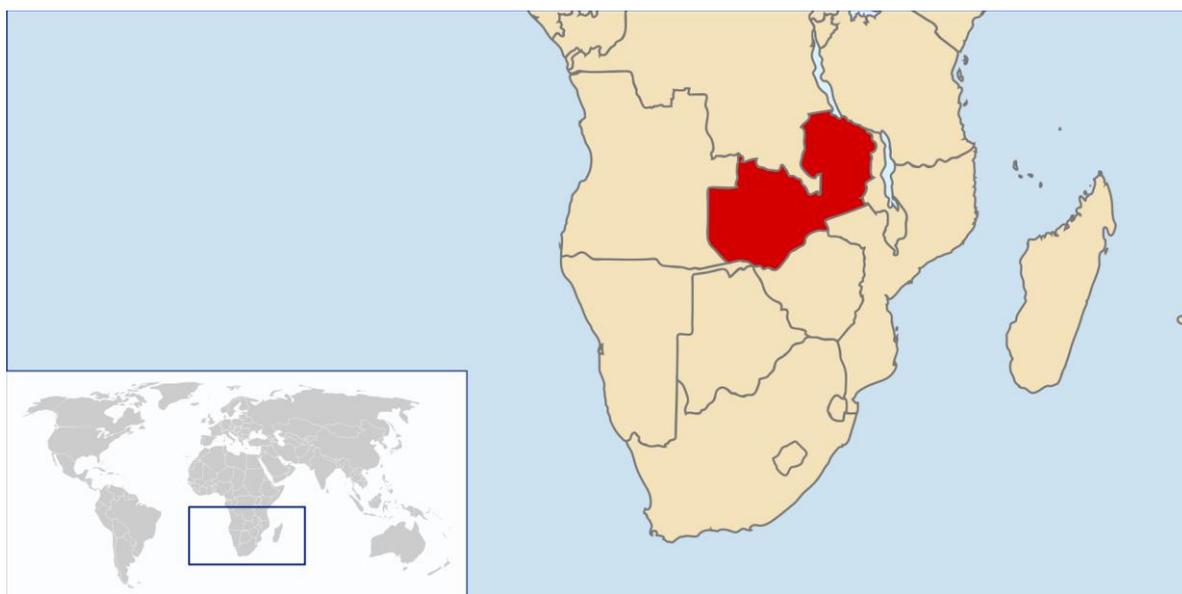
- Определение внутригодового климатического распределения температуры воздуха в Замбии.

- Определение средних многолетних значений и получение их пространственных распределений.
- Формирование базы данных среднемесячных многолетних температур воздуха по территории Замбии.
- Анализ однородности эмпирических распределений и стационарности параметров исходных рядов наблюдений по статистическим критериям.
- Восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду.
- Оценка климатических изменений температуры воздуха во время холодного и теплого сезона с использованием модели линейного тренда и модели ступенчатых изменений.

## Глава 1. Физико-географические особенности территории Замбии

### 1.1. Географическое положение

Замбия – это страна юге Африки не имеющая выхода к морю, с тропическим климатом и состоит в основном из высоких плато с некоторыми холмами и горами, расчлененными речными долинами. Страна расположена в основном между  $8^{\circ}$  и  $18^{\circ}$  южной широты и  $22^{\circ}$  и  $34^{\circ}$  восточной долготы с площадью 752 618 км<sup>2</sup>. Замбия граничит с Демократической Республикой Конго (ДРК) на севере, Танзанией на северо-востоке, Малави на востоке, Мозамбиком на юго-востоке, Зимбабве, Ботсваной на юге, с Намибией на юго-западе и с Анголой на западе. Столица Замбии Лусака, расположена в южной центральной части страны (рис.1.1.1).



*Рисунок.1.1.1. Географическое положение Замбии, отмеченное красным цветом на карте Центральной и Южной Африки.*

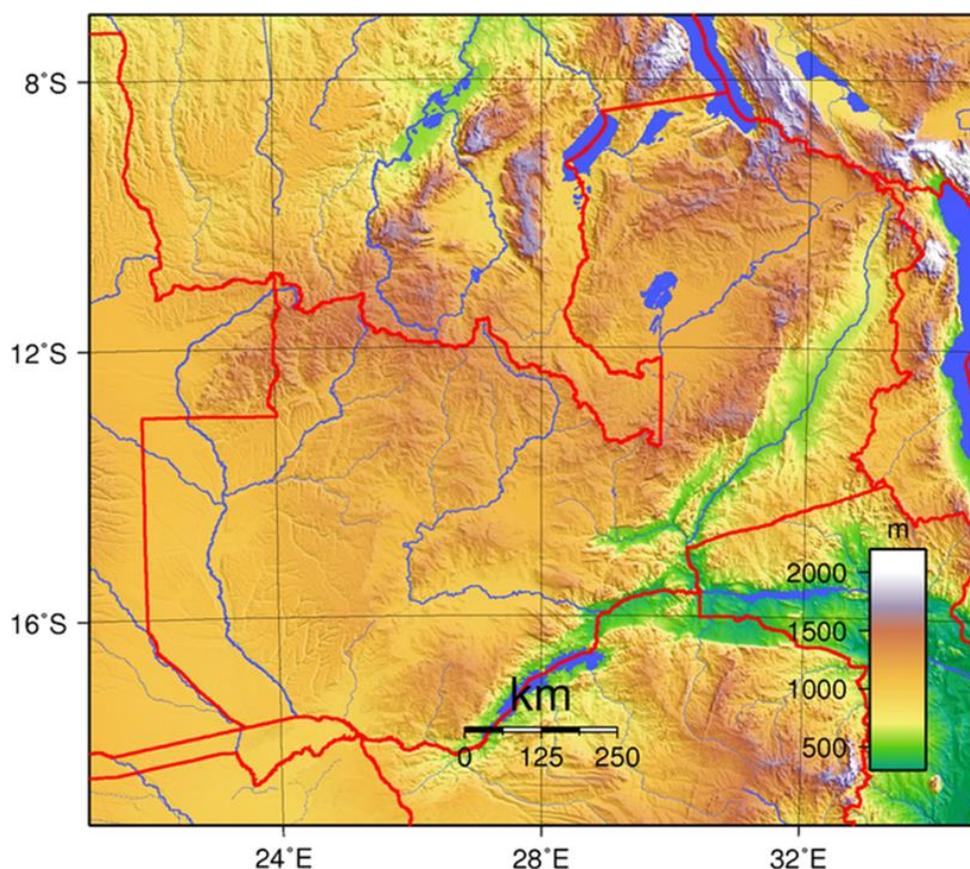
### 1.2. Топография Замбии

Замбия расположена на высоком плато в Центральной Африке. Большая часть ее суши представляет собой высокое плато со средней высотой от 910 до 1360 м над уровнем моря с несколькими холмами и горами. Самая низкая точка - река Замбези на высоте 329 м над уровнем моря, а самая высокая точка в центральном Мафинге на холмах Мафинга на высоте 2339 м вдоль притоков

реки Замбези. Территория понижается к югу. Большинство рек имеют водопады и пороги, уникальные для Замбии. Основная речная система образованная Замбези и ее притоками реками Луангва и Кафуэ, впадает в плато, образуя глубокие долины и водопады, такие как водопад Виктория на южной границе с Зимбабве. Практически вся территория страны расположена в бассейне реки Замбези. Север страны покрыт многочисленными озерами тектонического происхождения. Самые известные из них – Танганьика, Мверу и Бангвеулу во внутренних районах.

На территории страны по особенностям рельефа выделяют три орографических района:

- высокогорье высотой более 1500 метров;
- плато высотой от 900 до 1500 метров;
- возвышенные равнины высотой ниже 900 метров (рис.1.2.1).



*Рисунок.1.2.1. Топографическая карта Замбии*

### 1.3. Климат Замбии

Климат Замбии тропический, изменяющийся с высотой. В классификации климатов Кеппена большая часть страны классифицируется как влажный субтропический или тропический. влажный и сухой с небольшими участками полусухого степного климата на юго-западе и вдоль долины Замбези. В Замбии наблюдаются два основных сезона, а именно сезон дождей, который имеет место с ноября по апрель соответствует лету, и сухой сезон с мая по ноябрь, соответствующий зиме. Сухой сезон делится на прохладный сухой сезон с мая по август и жаркий сухой сезон с сентября по ноябрь. Сухой сезон самый продолжительный. В это время практически не бывает дождей.

Хотя Замбия находится в тропиках, большая часть ее имеет приятный не очень жаркий климат из-за высоты.

Существуют большие сезонные колебания температуры и осадков. Октябрь - самый жаркий месяц. Основной сезон дождей начинается в середине ноября, а сильные тропические штормы продолжаются до апреля. В северных и северо-западных провинциях годовое количество осадков составляет около 1250 мм, а в районах крайнего юга - всего 750 мм. С мая по середину августа - прохладный сезон, после которого температура быстро повышается. Сентябрь - очень сухой. Дневные температуры могут колебаться от 23° до 31°С, а ночью опускаются до 5°С как в июне и июле. Тем не менее, среднемесячные температуры остаются выше 20°С на большей части территории страны в течение восьми или более месяцев в году.

Климат в Замбии в большей степени контролируется перемещением Внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), а также влиянием Атлантики и Индийского океана, что всегда учитывается при анализе климата страны. Температура обычно выше в южной части, чем в северном регионе, где среднее сезонное количество осадков невелико.

Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) расположена к северу в сухой сезон. Она движется на север к концу лета и остается в северной части

Замбии в течение более длительного периода времени, чем в южных частях страны в результате чего южная часть остается менее влажной, что приводит к высоким температурам. Помимо Внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), наибольшее количество осадков выпадает на севере, особенно на северо-западе и северо-востоке, и уменьшается на юг. Самые сухие районы находятся на крайнем юго-западе и в долинах рек Луангва и среднего течения реки Замбези, части которых считаются полусасушливыми.

Температура воздуха в Замбии варьирует в зависимости от времени года, широты и высоты местности. Высота плато колеблется в основном от 900 до 1500 метров, но некоторые районы спускаются почти до 500 метров на крайнем юге вдоль реки Замбези, а также на востоке в Национальном парке Луангва, где протекает река Луангва. Напротив, на севере высота достигает 1800 метров. Самые высокие температуры наблюдаются в долинах Замбези, Луангвы и Кафуэ, а также на берегах озер Танганьика. Мверу и Бангвеулу.

Зимой на всей территории преобладает глубокий антициклон, препятствующий проникновению влажных тропических воздушных масс как из Индийского океана, так и из бассейна Конго. Летом в Замбию вторгаются влажные муссоны с северо-востока и юго-востока, пассаты. Западные ветры в Замбии редки, поэтому страна не страдает от жарких сухих ветров с Калахари. Основными причинами частых засух могут быть либо сильная задержка муссонов, либо их слабое насыщение влагой.

#### **1.4. Распределения средних многолетних температуры воздуха в Замбии**

Средние многолетние сезонные распределения температуры воздуха в Замбии для различных метеостанций, расположенных на разных высотах и широтах приведены в таблице 1.4.1, где на юге метеостанция Livingstone, на северо-западе – Solwezi, на западе – Mongu и востоке – Chipata.

Таблица 1.4.1

Внутригодовые климатические распределения температуры воздуха в разных частях Замбии

Станция	месяц											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Livingstone	24.9	24.7	24.4	22.9	19.8	17.0	16.5	19.4	23.8	26.7	26.4	25.2
Solwezi	21.7	21.9	21.7	20.6	18.2	16.1	15.8	18.4	21.3	23.2	22.6	21.9
Mongu	24.3	24.4	24.3	23.4	20.9	18.3	18.2	21.0	24.8	26.3	25.4	24.5
Chipata	22.5	22.5	22.5	21.6	20.0	18.0	17.7	19.3	22.7	24.7	24.7	23.4

Из табл.1.4.1. следует, что внутри Замбии максимум температуры имеет место в октябре. а минимум в июле.

На рисунках 1.4.1 – 1.4.4 приведены показаны климатических внутригодовых распределений температуры на разных метеостанциях Замбии. Из рисунков видно. что внутри года распределения температуры одинаковы и отличаются только по величине.

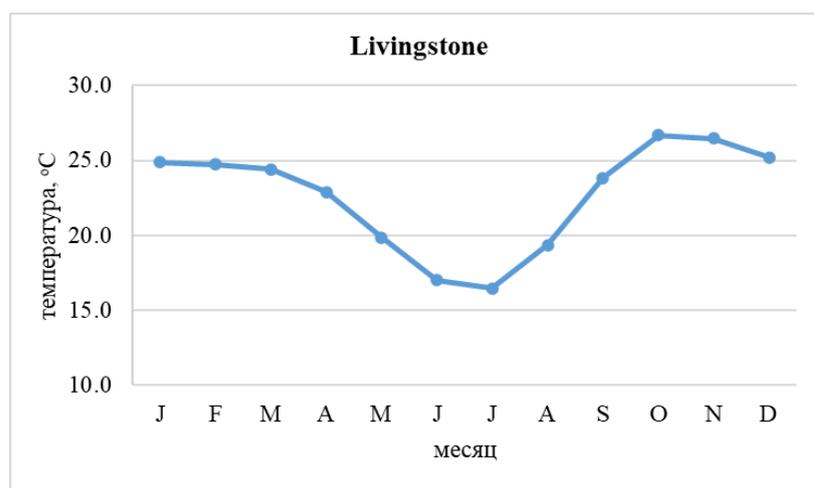


Рис. 1.4.1. Внутригодовое климатическое распределение температуры на юге (Livingstone) Замбии.

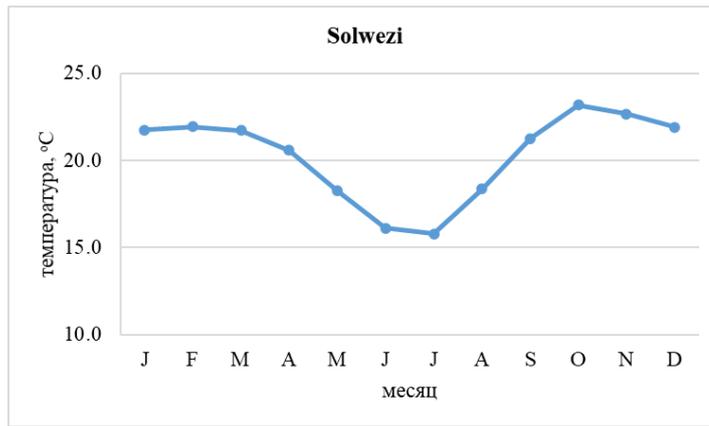


Рис. 1.4.2. Внутригодовое климатическое распределение температуры на северо-западе (Solwezi) Замбии.

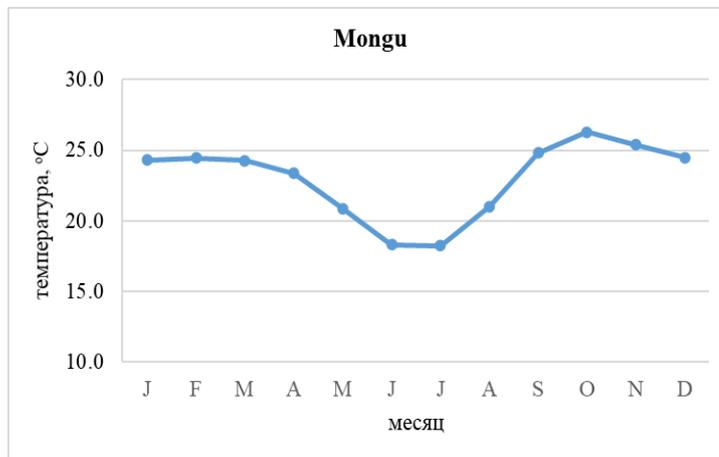


Рис. 1.4.3. Внутригодовое климатическое распределение температуры на западе (Mongu) Замбии.

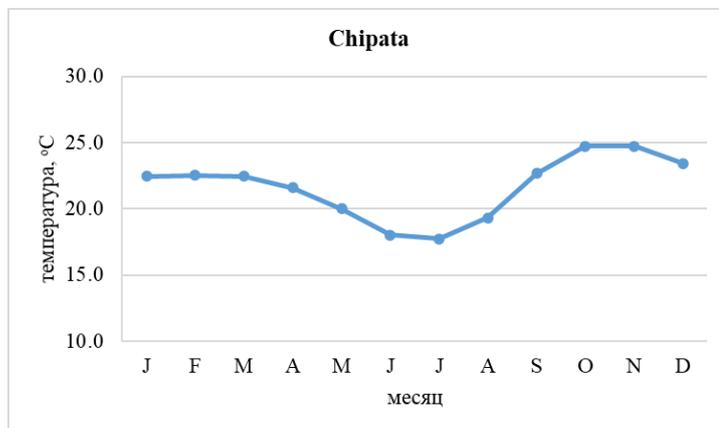


Рис. 1.4.4. Внутригодовое климатическое распределение температуры на востоке (Chipata) Замбии.

## Глава 2. Формирование региональной базы данных многолетних рядов климатических характеристик

### 2.1. Выбор информации из стандартных архивов климатических данных

Для проведения этого исследования была собрана информация по многолетним рядам наблюдений за среднемесячной температурой воздуха на 18 метеостанциях на территории Замбии, которая приведена в табл.2.1.1.

Таблица 2.1.1

Продолжительности и периоды наблюдений за температурой воздуха по 18 метеорологическим станциям на территории Замбии

Код поста	Наименование	Широта. град.	Долгота. град.	Период наблюдений	Количество. лет
67441	Mwinilunga	-11.75	24.43	1923 - 2020	98
67461	Mansa	-11.1	28.85	1956 - 2020	65
67475	Kasama	-10.22	31.13	1924 - 2020	97
67477	Mpika	-11.9	31.43	1933 - 2020	88
67481	Isoka	-10.1	32.6	1943 - 2020	78
67531	Zambezi	-13.53	23.12	1951 - 2020	70
67541	Kasempa	-13.53	25.85	1923 - 2020	98
67543	Kabompo	-13.25	24.17	1936 - 2020	85
67551	Solwezi	-12.17	26.37	1959 - 2020	62
67561	Ndola	-13	28.7	1923 - 2020	98
67571	Serenje	-13.2	30.2	1947 - 2020	74
67581	Chipata	-13.55	32.58	1923 - 2020	98
67633	Mongu	-15.25	23.15	1923 - 2020	98
67663	Kabwe	-14.45	28.47	1923 - 2020	98
67665	Lusaka	-15.31	28.45	1965 - 2020	56
67741	Sesheke	-17.47	24.3	1961 - 2019	60
67743	Livingstone	-17.82	25.82	1918 - 2020	103
67753	Choma	-16.83	27.07	1950 - 2020	71

Из результатов таблицы следует, что периоды наблюдений разные от 56 до 103 лет, также как и последний год наблюдений варьирует от 1986 г. до

2020 г. Поэтому есть необходимость привести непродолжительные наблюдения к многолетнему периоду по информации в более продолжительных пунктах-аналогах.

## 2.2. Расположение пунктов наблюдений по территории

Расположение различных метеостанций по территории Замбии, которые использовались в этой работе, показано на карте рис.2.2.1.



Рис.2.2.1. Схема расположения метеостанций с наблюдениями за температурами на территории Замбии.

## 2.3 Оценка однородности и стационарности рядов наблюдений температуры воздуха в Замбии.

Прежде всего был проведен анализ качества и однородности данных по статистическим критериям. При этом для оценки однородности экстремумов эмпирического распределения применялись критерии Диксона, а для оценки стационарности дисперсий – критерий Фишера, а для оценки стационарности средних значений – критерий Стьюдента. Результаты оценки однородности и стационарности всех 216 рядов температуры воздуха (18 метеостанций x 12 месяцев) приведены в табл.2.3.1– 2.3.3.

Таблица 2.3.1

Результаты оценки однородности и стационарности среднемесячных температур воздуха с января по апрель на метеостанциях Замбии по критериям Диксона(Д). Фишера(Ф) и Стьюдента (Ст.)

Код поста	Наименование	Январь			Февраль			Март			Апрель		
		Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
67441	Mwinilunga	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
67461	Mansa	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	(-)2.3
67475	Kasama	+	+	-	+	+	-	+	(+)3.8	-	+	(-)1.1	(-)2.8
67477	Mpika	+	+	-	+	+	-	+	(-)2.3	-	+	+	(-)1.5
67481	Isoka	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	(+)3.7	-
67531	Zambezi	+	+	-	+	(+)4.7	-	+	(+)4.9	-	+	(-)2.3	(-)2.6
67541	Kasempa	+	+	+	+	+	+	+	(+)3.6	-	+	(+)4.8	+
67543	Kabompo	+	+	-	+	+	-	+	(-)2.5	-	+	+	+
67551	Solwezi	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+
67561	Ndola	+	+	-	+	+	(+)3.1	+	(+)3.3	-	+	+	+
67571	Serenje	+	+	-	+	(+)3.9	-	+	(+)3.6	-	+	+	-
67581	Chipata	+	+	-	-	-	(-)2.2	+	(+)3.3	-	+	+	+
67633	Mongu	+	-	+	+	+	+	+	(+)4.0	(-)1.6	+	(+)4.9	+
67663	Kabwe	+	+	-	+	+	(+)3.6	+	(+)3.0	-	+	(+)3.1	+
67665	Lusaka	+	+	-	+	+	(-)2.8	+	(+)4.1	+	+	+	+

67741	Sesheke	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67743	Livingstone	+	+	+	+	+	+	+	+	(-)2.4	-	+	-
67753	Choma	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	(-)2.0

Таблица 2.3.2

Результаты оценки однородности и стационарности среднемесячных температур воздуха с мая по август на метеостанциях Замбии по критериям Диксона(Д). Фишера(Ф) и Стьюдента (Ст.)

Код поста	Наименование	Май			Июнь			Июль			Август		
		Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
67441	Mwinilunga	+	+	-	+	+	+	+	(+)3.7	(-)2.7	-	+	-
67461	Mansa	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67475	Kasama	+	+	-	+	-	-	+	(+)4.6	-	+	+	-
67477	Mpika	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67481	Isoka	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67531	Zambezi	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	(+)4.9	-
67541	Kasempa	+	+	-	+	+	(+)4.7	+	+	-	+	+	-
67543	Kabompo	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67551	Solwezi	+	(+)3.3	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67561	Ndola	+	+	-	+	+	(+)3.7	+	+	-	+	+	-
67571	Serenje	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67581	Chipata	+	+	-	+	+	(-)2.2	+	+	-	+	+	-
67633	Mongu	+	+	(+)3.8	+	+	+	+	+	-	+	+	-
67663	Kabwe	+	+	-	+	+	(+)3.4	+	+	-	+	+	-
67665	Lusaka	+	+	-	+	+	(-)1.2	+	+	(+)3.3	+	+	-
67741	Sesheke	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67743	Livingstone	+	+	-	+	+	(+)4.6	+	+	-	+	+	-
67753	Choma	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	(+)4.5	-

Таблица 2.3.3

Результаты оценки однородности и стационарности среднемесячных температур воздуха с сентября по декабрь на метеостанциях Замбии по критериям Диксона(Д). Фишера(Ф) и Стьюдента (Ст.)

Код поста	Наимен.	Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
		Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
67441	Mwinilunga	+	+	-	+	+	+	+	+	(-)2.8	+	+	-
67461	Mansa	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67475	Kasama	+	+	-	+	(-)2.6	+	+	+	-	+	+	-
67477	Mpika	+	+	-	+	(+)4.5	+	+	+	-	+	+	-
67481	Isoka	+	+	-	+	+	(+)4.6	+	+	-	+	+	-
67531	Zambezi	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	(+)3.4	-
67541	Kasempa	+	+	-	+	(+)4.6	+	+	+	-	+	+	-
67543	Kabompo	+	+	-	+	+	(+)3.1	+	+	-	+	+	-
67551	Solwezi	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67561	Ndola	+	+	-	+	(+)4.9	+	+	(+)3.3	-	+	+	+
67571	Serenje	+	+	-	+	+	(+)3.1	+	+	-	+	+	-
67581	Chipata	-	+	-	+	(+)3.9	+	+	+	-	+	+	(-)1,2
67633	Mongu	+	+	-	+	+	+	+	+	(-)1.7	+	+	(-)2,2
67663	Kabwe	+	+	-	+	(-)2.4	+	+	+	-	+	+	-
67665	Lusaka	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
67741	Sesheke	+	+	-	+	(+)4.4	-	+	+	-	+	+	-
67743	Livingstone	+	+	-	+	+	+	+	+	(+)3.3	+	+	+
67753	Choma	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-

В в таблицах 2.3.1- 2.3.3. знаком «+» представляется вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности, а знаком «-» об отклонении. Если

расчетное значение статистики критерия близко к критическому, но превышает его, то в таблице также приводится уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия. В этом случае вывод о принятии или отклонении гипотезы однородности и стационарности является сомнительным и заключается в скобки.

Знак «(+)» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия, меньше 5%, но больше или равно 3%. Знак «(-)» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия, меньше 3%, но больше или равно 1%. Знак «+» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия, равен или больше 5 %, а «-» если он равен или меньше 1% т.е. в этих случае нулевая гипотеза или достаточно надежно принимается или также надежно отклоняется.

В табл. 2.3.4 и 2.3.5 даны примеры оценки однородности и стационарности температуры за февраль по метеостанции Mongu.

Таблица 2.3.4

Результаты оценки однородности эмпирического распределения температуры за февраль по метеостанции Mongu по критериям Диксона.

Экстремум	Критерий	Расчетн. Знач	Критический знач.	уровень знач. расч.	Вывод
max	Диксон 1	0.0286	0.2681	11.0000	однороден
max	Диксон 2	0.0286	0.2807	11.0000	однороден
max	Диксон 3	0.1429	0.3366	11.0000	однороден
max	Диксон 4	0.1429	0.3428	11.0000	однороден
max	Диксон 5	0.0000	0.3309	11.0000	однороден
min	Диксон 1	0.0000	0.0833	11.0000	однороден
min	Диксон 2	0.0000	0.0956	11.0000	однороден
min	Диксон 3	0.0000	0.1239	11.0000	однороден
min	Диксон 4	0.0000	0.1268	11.0000	однороден
min	Диксон 5	0.0000	0.1139	11.0000	однороден

Из результатов оценки однородности в табл.2.3.4. следует, что максимальный экстремум является однородным при уровне значимости, соответствующему расчетному значению статистики более 10% и расчетные значения меньше критических. Можно сделать вывод, что температуры февраля являются однородным на метеостанции Mongu.

Таблица 2.3.5

Результаты оценки стационарности средних значений и дисперсий температуры февраля для метеостанции Mongu.

Критерий	Расчетн. Знач.	Критический знач.	Уровень знач. расч.	Вывод
Фишера	1.2440	1.6402	11.0000	однороден
Стьюдента	1.3338	2.5763	11.0000	однороден

Из данных табл.2.3.5 следует, что дисперсии и средние значения многолетних рядов температуры февраля являются стационарными при уровне значимости более 10%, т.е. вывод является надежным.

Многолетний временной ряд температуры февраля для метеостанции Mongu приведен на рис.2.3.1.

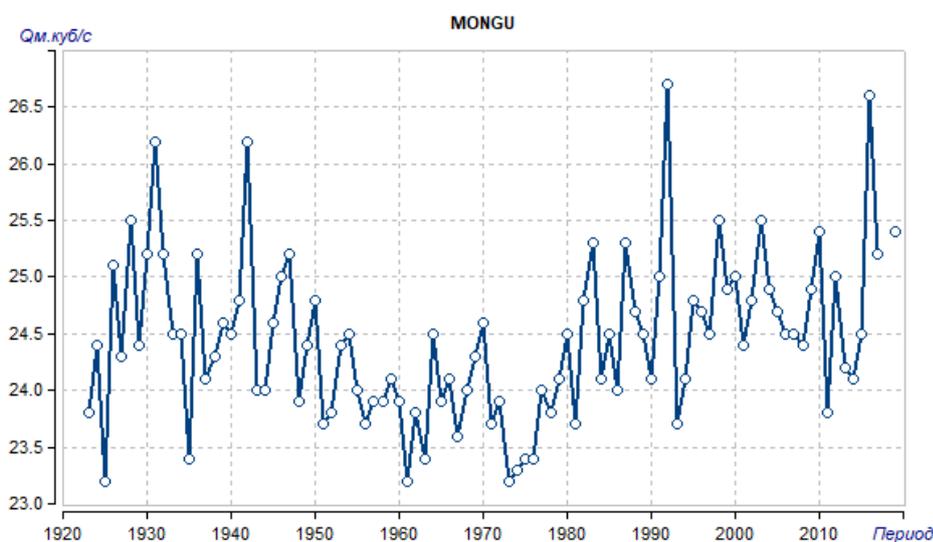


Рисунок.2.3.1. Многолетний ряд наблюдений температуры за февраль на метеостанции Mongu.

Еще один пример результатов полученной неоднородности и нестационарности в рядах температуры августа по метеостанции Choma приведен в табл.2.3.6 и 2.3.7 и на рис. 2.3.2.

Таблица 2.3.6

Результаты оценки однородности эмпирического распределения температуры за август по метеостанции Choma по критериям Диксона.

Экстремум	Критерий	Расч. Знач.	Критич.знач.	знач. Расч.	Вывод
max	Диксон 1	0.0400	0.1923	11.0000	однороден
max	Диксон 2	0.0500	0.2119	11.0000	однороден
max	Диксон 3	0.2000	0.2549	11.0000	однороден
max	Диксон 4	0.2000	0.2649	11.0000	однороден
max	Диксон 5	0.1600	0.2423	11.0000	однороден
max	Диксон 5	0.1600	0.2423	11.0000	однороден
min	Диксон 1	0.2000	0.1751	2.9983	неоднороден
min	Диксон 2	0.2083	0.1823	4.1854	неоднороден
min	Диксон 3	0.2083	0.2320	8.9805	однороден
min	Диксон 4	0.2381	0.2449	6.0379	однороден
min	Диксон 5	0.2000	0.2219	8.6962	однороден

Таблица 2.3.7

Результаты оценки стационарности средних значений и дисперсий температуры августа для метеостанции Choma.

Критерий	Расчетн. знач	Критический знач.	Уровень знач. расч.	Вывод
Фишера	1.5622	1.9066	11.0000	однороден
Стьюдента	5.2951	2.8193	0.9000	неоднороден

Из данных табл. 2.3.7 следует, что дисперсии и средние значения многолетнего ряда температур за август однородны по критерию Фишера и неоднородны по Стьюденту.

Многолетний временной ряд температуры августа для метеостанции Choma приведен на рис.2.3.2.

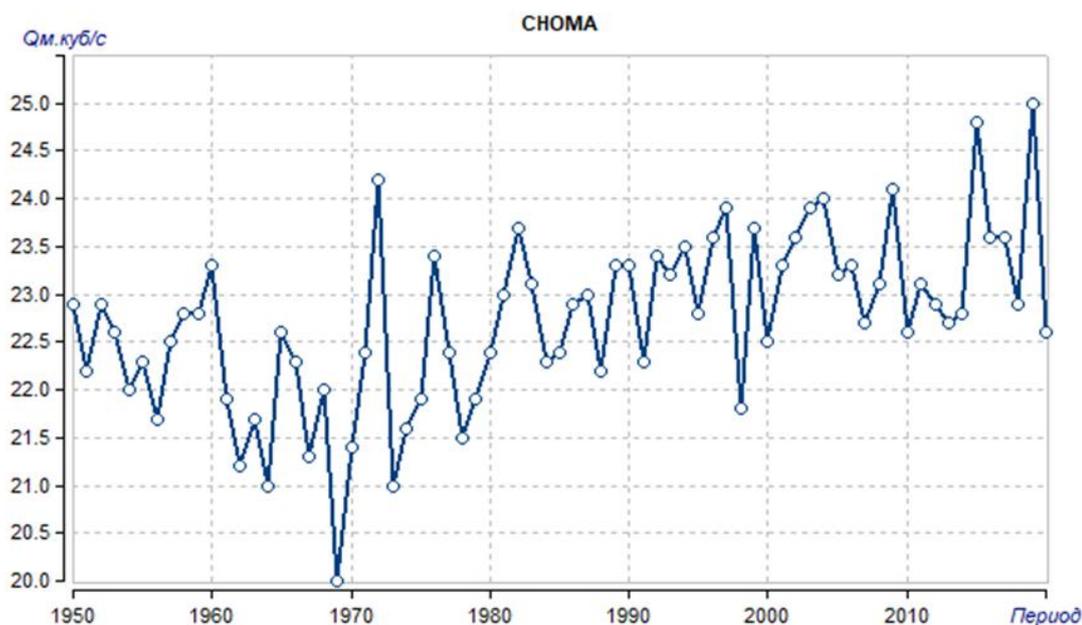


Рисунок.2.3.2. Многолетний ряд наблюдений температуры за август на метеостанции Choma.

#### 2.4. Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду

В многолетних данных были пробелы и информация была потеряна с некоторых выбранных метеостанций в течение определенных месяцев. В качестве предварительного условия для надлежащего анализа необходимо было заполнить пробелы и добавить общее количество лет, отведенных для этого исследования. В процессе восстановления пропущенных наблюдений использовалась программа восстановления, чтобы восстановить пропуски и удлинить ряды. Согласно многочисленным исследованиям, наилучшее минимальное значение коэффициента корреляции для температуры воздуха должно быть установлено не менее 0,8-0,85. В этом случае коэффициент корреляции 0,85 использовался для изучения данных с целью восстановления пробелов. Общие результаты восстановления приведены в таблице 2.4.1, где  $n$  - количество фактических лет наблюдения;  $N$  - количество лет после процедуры восстановления.

Таблица.2.4.1

Показатели наблюдаемых и восстановленных рядов температура декабря для метеостанций Замбии

Код поста	Наименование	n	N	Период факт.	Период восстановл.
67441	Mwinilunga	86	98	1923 - 2019	1923 - 2020
67461	Mansa	65	98	1956 - 2020	1923 - 2020
67475	Kasama	96	98	1924 - 2020	1923 - 2020
67477	Mpika	87	98	1933 - 2020	1923 - 2020
67481	Isoka	75	98	1943 - 2020	1923 - 2020
67531	Zambezi	66	103	1951 - 2020	1918 - 2020
67541	Kasempa	97	124	1923 - 2020	1897 - 2020
67543	Kabompo	83	124	1936 - 2020	1897 - 2020
67551	Solwezi	60	103	1959 - 2020	1918 - 2020
67561	Ndola	95	124	1923 - 2020	1897 - 2020
67571	Serenje	72	98	1947 - 2020	1923 - 2020
67581	Chipata	97	98	1923 - 2020	1923 - 2020
67633	Mongu	96	124	1923 - 2020	1897 - 2020
67663	Kabwe	96	124	1923 - 2020	1897 - 2020
67665	Lusaka				
67741	Sesheke	50	103	1961 - 2020	1918 - 2020
67743	Livingstone	102	124	1918 - 2020	1897 - 2020
67753	Choma	71	103	1950 - 2020	1918 - 2020

В таблице видно, что из 18 метеостанций восстановление было произведено для 17 станций в декабре. Периоды были увеличены до 98, 103 и 124 лет.

На рис.2.4.1 приведена матрица парных коэффициентов корреляции между многолетними рядами температур декабря.

63932	64348	64360	66285	66447	67261	67441	67461	67475	67477	67481	67485	67489	67531	67541	67543	67551	67561	67571	67581	67633	67663	67665	67741	67743	67753	
63932	1	0.169	0.098	0.200	0.500	0.182	0.345	0.503	0.570	0.538	0.619	0.549	0.768	0.324	0.316	0.285	0.402	0.413	0.469	0.484	0.218	0.338	0.159	0.154	0.179	0.231
64348	0.169	1	-0.220	0.206	0.462	0.440	0.361	0.427	0.401	0.390	0.393	-0.010	-0.345	0.389	0.431	0.426	0.434	0.417	0.434	0.405	0.424	0.420	0.604	0.282	0.403	0.432
64360	0.098	-0.220	1	-0.186	0.477	0.432	0.658	0.651	0.591	0.539	0.549	0.639	0.435	0.550	0.549	0.531	0.638	0.566	0.545	0.465	0.498	0.510	0.376	0.456	0.425	0.484
66285	0.200	0.206	-0.186	1	0.033	-0.225	-0.135	0.036	0.123	0.054	0.169	0.138	0.068	-0.333	-0.163	-0.205	-0.228	0.033	-0.051	0.050	-0.174	-0.065	-0.260	-0.403	-0.059	-0.054
66447	0.500	0.462	0.477	0.033	1	0.091	0.377	0.345	0.382	0.325	0.446	0.627	0.737	0.421	0.144	0.188	0.252	0.215	0.239	0.250	0.120	0.159	-0.221	-0.074	-0.028	0.031
67261	0.182	0.440	0.432	-0.225	0.091	1	0.503	0.515	0.431	0.478	0.479	0.378	0.111	0.481	0.459	0.477	0.518	0.487	0.585	0.525	0.415	0.515	0.718	0.513	0.459	0.526
67441	0.345	0.361	0.658	-0.135	0.377	0.503	1	0.867	0.719	0.786	0.650	0.468	0.383	0.983	0.874	0.947	0.959	0.825	0.953	0.708	0.864	0.836	0.621	0.906	0.805	0.884
67461	0.503	0.427	0.651	0.036	0.345	0.515	0.867	1	0.952	0.962	0.916	0.674	0.567	0.821	0.891	0.839	0.948	0.977	0.954	0.915	0.807	0.922	0.625	0.778	0.806	0.826
67475	0.570	0.401	0.591	0.123	0.382	0.431	0.719	0.952	1	0.955	0.983	0.721	0.649	0.689	0.757	0.708	0.841	0.891	0.934	0.907	0.649	0.819	0.600	0.630	0.663	0.734
67477	0.538	0.390	0.539	0.054	0.325	0.478	0.786	0.962	0.955	1	0.935	0.636	0.604	0.773	0.850	0.792	0.905	0.952	0.963	0.954	0.752	0.915	0.642	0.748	0.781	0.822
67481	0.619	0.393	0.549	0.169	0.446	0.479	0.650	0.916	0.983	0.935	1	0.725	0.713	0.621	0.694	0.618	0.732	0.860	0.910	0.915	0.567	0.780	0.568	0.565	0.595	0.715
67485	0.549	-0.010	0.639	0.138	0.627	0.378	0.468	0.674	0.721	0.636	0.725	1	0.762	0.359	0.437	0.384	0.532	0.591	0.647	0.669	0.308	0.495	0.326	0.249	0.258	0.403
67489	0.768	-0.345	0.495	0.068	0.737	0.111	0.383	0.567	0.649	0.604	0.713	0.762	1	0.258	0.355	0.289	0.445	0.512	0.576	0.601	0.209	0.396	0.279	0.138	0.172	0.307
67531	0.324	0.389	0.550	-0.333	0.421	0.481	0.983	0.821	0.689	0.773	0.621	0.359	0.258	1	0.981	0.996	0.946	0.871	0.826	0.725	0.991	0.914	0.562	0.947	0.926	0.917
67541	0.316	0.431	0.549	-0.163	0.144	0.459	0.874	0.891	0.757	0.850	0.694	0.437	0.355	0.981	1	0.991	0.984	0.944	0.901	0.836	0.980	0.971	0.664	0.955	0.953	0.930
67543	0.285	0.426	0.531	-0.205	0.188	0.477	0.947	0.839	0.708	0.732	0.618	0.384	0.289	0.996	0.991	1	0.959	0.902	0.853	0.770	0.993	0.940	0.635	0.964	0.951	0.916
67551	0.402	0.434	0.638	-0.228	0.252	0.518	0.959	0.948	0.841	0.905	0.792	0.532	0.445	0.946	0.984	0.959	1	0.973	0.939	0.873	0.939	0.974	0.663	0.913	0.917	0.923
67561	0.413	0.417	0.566	0.033	0.215	0.487	0.825	0.977	0.891	0.952	0.860	0.591	0.512	0.871	0.944	0.902	0.973	1	0.980	0.942	0.882	0.977	0.713	0.861	0.899	0.902
67571	0.469	0.434	0.545	-0.051	0.239	0.585	0.853	0.954	0.934	0.963	0.910	0.647	0.576	0.826	0.901	0.853	0.939	0.980	1	0.979	0.820	0.962	0.746	0.814	0.849	0.864
67581	0.484	0.405	0.465	0.050	0.250	0.525	0.708	0.915	0.907	0.954	0.915	0.669	0.601	0.725	0.836	0.770	0.873	0.942	0.979	1	0.746	0.924	0.702	0.749	0.810	0.835
67633	0.218	0.424	0.498	-0.174	0.120	0.415	0.864	0.807	0.649	0.752	0.567	0.308	0.209	0.991	0.980	0.993	0.939	0.882	0.820	0.746	1	0.927	0.638	0.973	0.959	0.917
67663	0.338	0.420	0.510	-0.065	0.159	0.515	0.836	0.922	0.819	0.915	0.780	0.495	0.396	0.914	0.971	0.940	0.974	0.977	0.962	0.924	0.927	1	0.730	0.934	0.950	0.944
67685	0.159	0.604	0.376	-0.260	-0.221	0.718	0.621	0.625	0.600	0.642	0.568	0.326	0.279	0.562	0.664	0.635	0.663	0.713	0.746	0.702	0.638	0.730	1	0.632	0.695	0.674
67741	0.154	0.282	0.456	-0.403	-0.074	0.513	0.906	0.778	0.630	0.748	0.585	0.249	0.138	0.947	0.955	0.964	0.913	0.861	0.814	0.749	0.973	0.934	0.692	1	0.997	0.948
67743	0.179	0.403	0.425	-0.059	-0.028	0.459	0.805	0.806	0.663	0.781	0.585	0.258	0.172	0.926	0.953	0.951	0.917	0.899	0.849	0.810	0.959	0.950	0.695	0.997	1	0.959
67753	0.231	0.432	0.484	-0.054	0.031	0.526	0.884	0.826	0.734	0.822	0.715	0.403	0.307	0.917	0.930	0.916	0.923	0.902	0.864	0.835	0.917	0.944	0.674	0.948	0.959	1

Рисунок 2.4.1. Матрица парных коэффициентов корреляции многолетних рядов температур декабря по метеостанциям Замбии

Из данных корреляционной матрицы рис.2.4.1 следует, что связность рядов температур очень высокая, а самые высокие значения коэффициентов парной корреляции за декабрь колеблются от 0.867 до 0.991.

Пример многолетних графиков наблюденного и восстановленного рядов по метеостанции Mwinilunga показан на рис.2.4.2 и 2.4.3.

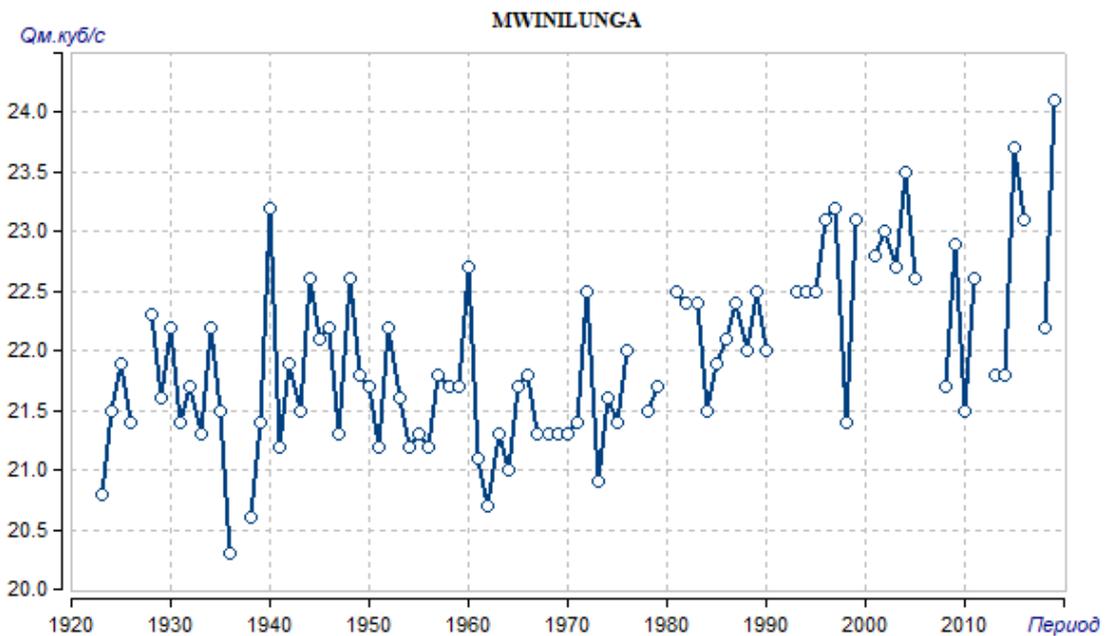


Рисунок.2.4.2. Многолетний ряд наблюденных температур декабря по метеостанции Mwinilunga.

На рис.2.4.2 приведен исходный многолетний ряд декабрьских температур на метеостанции Mwinilunga до восстановления с периодом наблюдений 86 лет с 1923 по 2019 гг

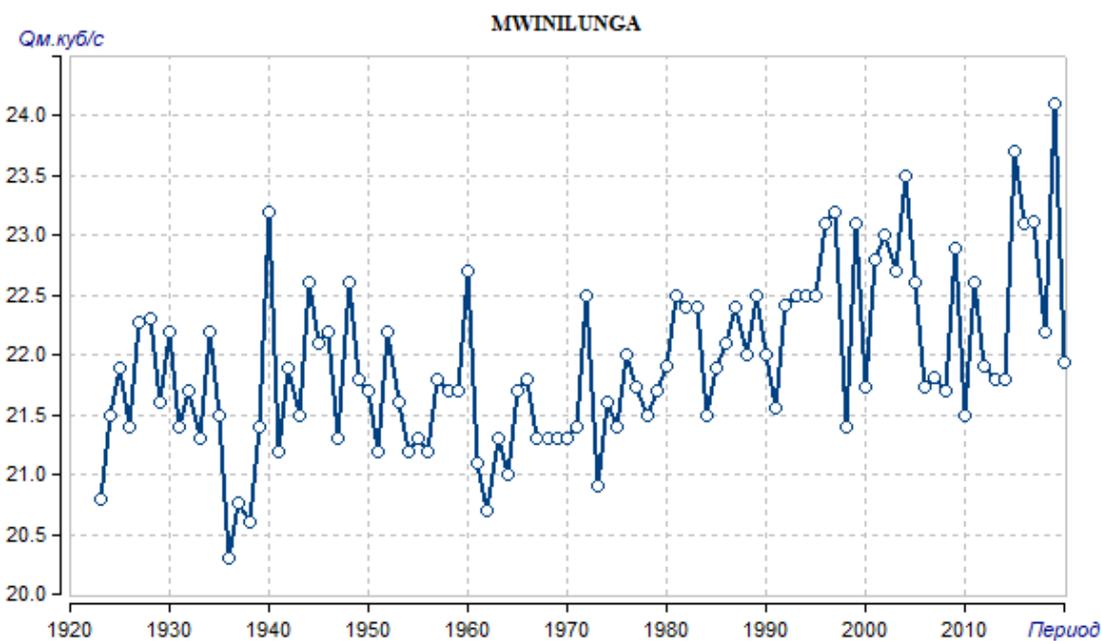


Рисунок.2.4.3. Многолетний ряд температуры декабря по метеостанции Mwinilunga после приведения к многолетнему периоду.

На рис.2.4.3 показан ряд температур декабря на метеостанции Mwinilunga после восстановления и период наблюдений стал с 1923 по 2020 год т.е. увеличен на 12 лет в последние годы и после восстановления продолжительность ряда стала 98 лет.

## 2.5 Расчет климатических характеристик в стационарных условиях

Расчеты по программе «Обеспеченность» были выполнены для рядов наблюдений в выбранном регионе за июль. Программа предназначена для расчета параметров функции распределения и аппроксимации эмпирического распределения аналитическим с целью определения расчетных климатических характеристик редкой повторяемости или обеспеченности 1% и 0,5%, что

соответствует редкой повторяемости экстремального события 1 раз в 100 и 200 лет. Для оценки пределов колебаний температуры в Замбии было выбрано несколько месяцев: июнь, июль как месяцы с самыми низкими температурами и октябрь, ноябрь как месяцы с самой высокой температурой [1]. Кроме того, были проанализированы средние значения для различных метеостанций, чтобы узнать текущие значения.

Средние многолетние и расчетные значения температуры обеспеченностью 1% и 0,5% приведены в табл.2.5.1 для июня месяца холодного сезона.

Таблица 2.5.1

Средние и расчетные значения обеспеченности 1% и 0,5% температур на территории Замбии за июнь.

Код	Наименование	Широта	Долгота	Среднее	1%	0,5%
67441	Mwinilunga	-11.75	24.43	17,3	21,6	22,3
67461	Mansa	-11.1	28.85	18,0	22,5	23,2
67475	Kasama	-10.22	31.13	18,2	22,7	23,4
67477	Mpika	-11.9	31.43	16,9	21,2	21,9
67481	Isoka	-10.1	32.6	18,0	22,5	23,2
67531	Zambezi	-13.53	23.12	17,9	22,4	23,1
67541	Kasempa	-13.53	25.85	16,7	20,9	21,5
67543	Kabompo	-13.25	24.17	17,7	22,1	22,8
67551	Solwezi	-12.17	26.37	16,1	20,1	20,7
67561	Ndola	-13	28.7	16,7	20,9	21,6
67571	Serenje	-13.2	30.2	16,0	20,0	20,7
67581	Chipata	-13.55	32.58	18,0	22,5	23,2
67633	Mongu	-15.25	23.15	18,3	22,9	23,6
67663	Kabwe	-14.45	28.47	17,2	21,6	22,2
67665	Lusaka	-15.31	28.45	16,0	20,1	20,7
67741	Sesheke	-17.47	24.3	17,2	21,5	22,2
67743	Livingstone	-17.82	25.82	17,0	21,2	21,9
67753	Choma	-16.83	27.07	15,1	18,8	19,4

Из данных табл.2.5.1 следует, что максимальные температуры редкой повторяемости (1 раз в 100 и 200 лет) больше средних многолетних на 4-5°C.

На рис.2.5.1 – 2.5.3 показаны пространственные распределения средних многолетних температур июня и наиболее возможных температур обеспеченности 1% и 0.5%, что соответствует повторяемости 1 раз в 100 и 200 лет.

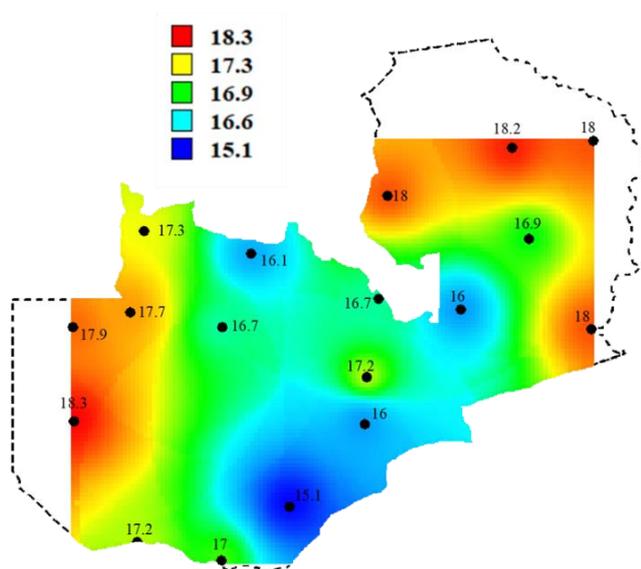


Рисунок 2.5.1. Пространственная модель средних многолетних температур  
ИЮНЯ

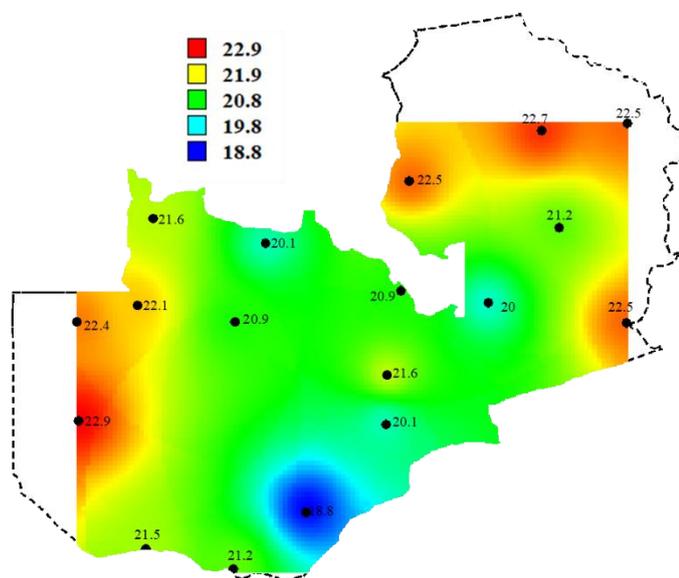


Рисунок 2.5.2. Пространственная модель температур июня повторяемостью 1  
раз в 100 лет

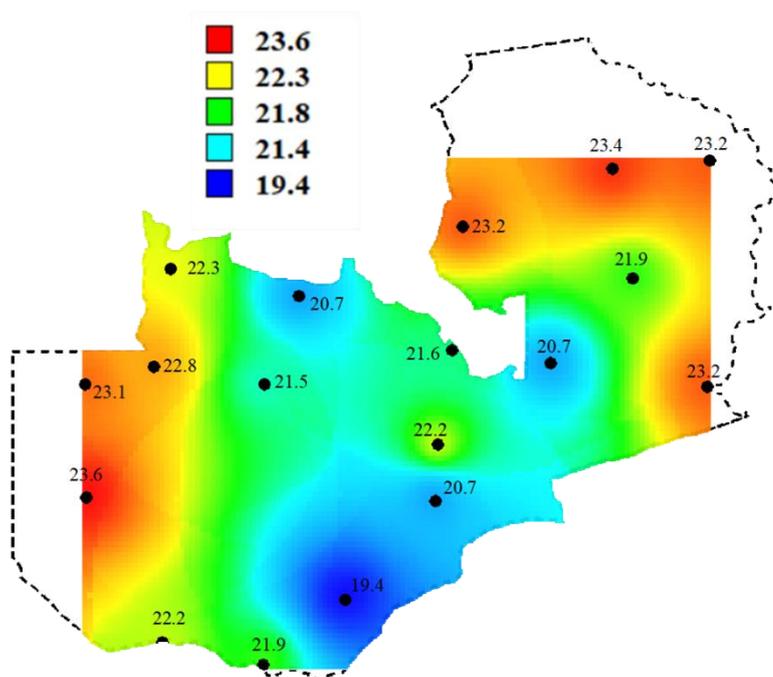


Рисунок 2.5.3. Пространственная модель температур июня повторяемостью 1 раз в 200 лет

Из пространственного распределения средних многолетних температур за июнь на территории Замбии, приведенного на рис.2.5.1. видно, что в июне многолетние средние температуры наибольшие на западе и в северной части Замбии. Температура июня изменяется по территории от 15,1 до 18,3°C. Самая низкая температура 15,1°C наблюдалась на метеостанции Choma в южной части страны, самая высокая - в западной части.

Из пространственного распределения температуры в июне с редкой повторяемостью 1 раз в 100 лет, приведенного на рис. 2.5.2, видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Mongu 22,9°C, расположенной на западе Замбии. Минимальное значение наблюдается у метеостанции Choma 18,8°C, расположенной на юге.

При повторяемости 1 раз в 200 лет пространственное распределение температуры в июне на территории Замбии показано на рисунке 2.5.3. из которого видно, что максимальное значение наблюдается на той же

метеостанции Mongu 23,6°C, а минимальное значение - у метеостанции Choma: 19,4°C, также расположенной на юге Замбии.

Средние многолетние и расчетные значения температуры обеспеченностью 1% и 0,5% приведены в табл.2.5.2 для июля как месяца теплого сезона.

Таблица 2.5.2

Средние и расчетные значения обеспеченности 1% и 0,5% температур на территории Замбии за июль.

Код	Наименование	Широта	Долгота	Среднее	1%	0,5%
67441	Mwinilunga	-11.75	24.43	17,3	21,6	22,3
67461	Mansa	-11.1	28.85	17,6	21,9	22,6
67475	Kasama	-10.22	31.13	17,6	22,3	23,0
67477	Мpика	-11.9	31.43	16,4	20,6	21,2
67481	Isoka	-10.1	32.6	17,6	22,0	22,7
67531	Zambezi	-13.53	23.12	17,7	22,1	22,8
67541	Kasempa	-13.53	25.85	16,5	20,6	21,3
67543	Kabompo	-13.25	24.17	17,6	22,0	22,7
67551	Solwezi	-12.17	26.37	15,8	19,7	20,4
67561	Ndola	-13	28.7	16,3	20,4	21,1
67571	Serenje	-13.2	30.2	15,6	19,6	20,2
67581	Chipata	-13.55	32.58	17,1	22,2	22,9
67633	Mongu	-15.25	23.15	18,2	22,8	23,5
67663	Kabwe	-14.45	28.47	16,3	20,3	21,0
67665	Lusaka	-15.31	28.45	15,7	19,7	20,3
67741	Sesheke	-17.47	24.3	16,8	21,0	21,6
67743	Livingstone	-17.82	25.82	16,5	20,6	21,3
67753	Choma	-16.83	27.07	14,5	18,0	18,3

Из данных табл. 2.5.2 следует, что температуры редкой повторяемости в июле (1 раз в 100 и 200 лет) выше средних многолетних температур также на 4-5°C.

На рисунках 2.5.4 - 2.5.6 показаны пространственные распределения средних многолетних температур июля и наиболее вероятной температуры 1% и 0,5%, что соответствует повторяемости 1 раз в 100 и 200 лет.

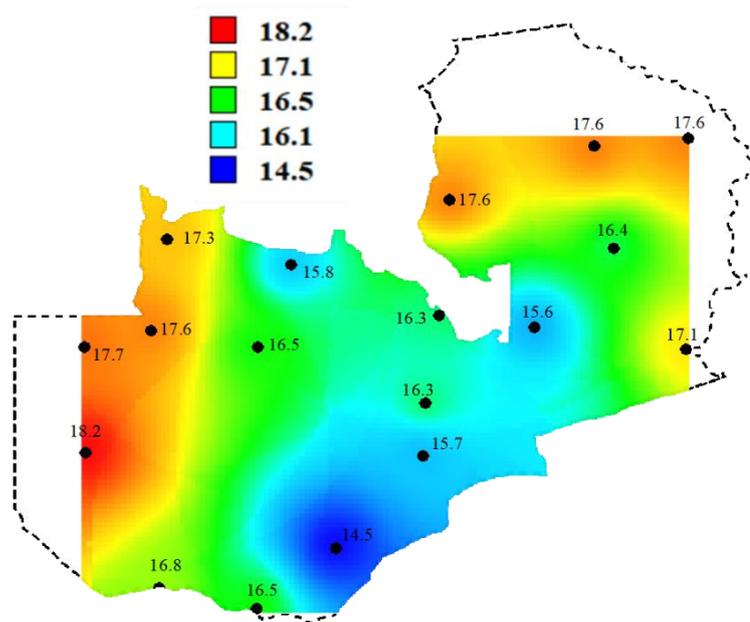


Рисунок 2.5.4. Пространственная модель средних многолетних температур  
июля

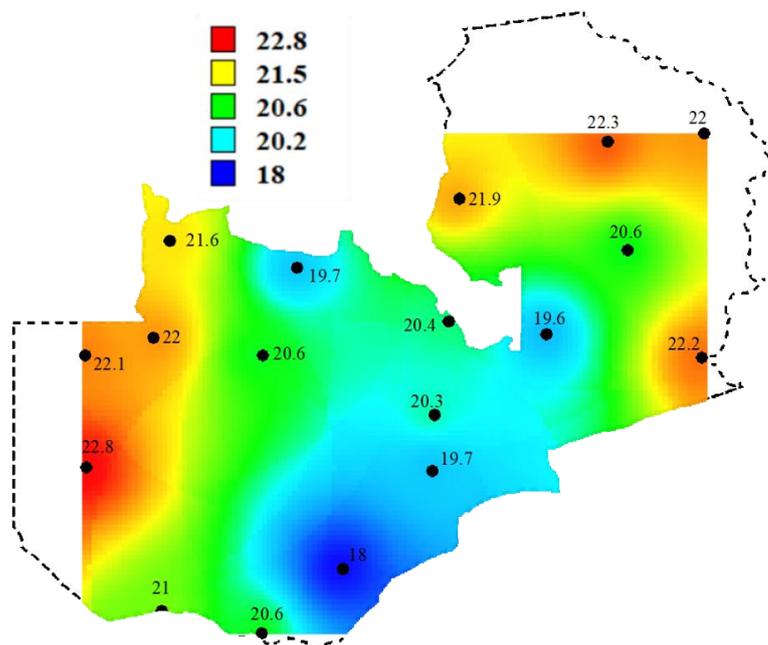


Рисунок 2.5.5. Пространственная модель температур июля повторяемостью 1  
раз в 100 лет

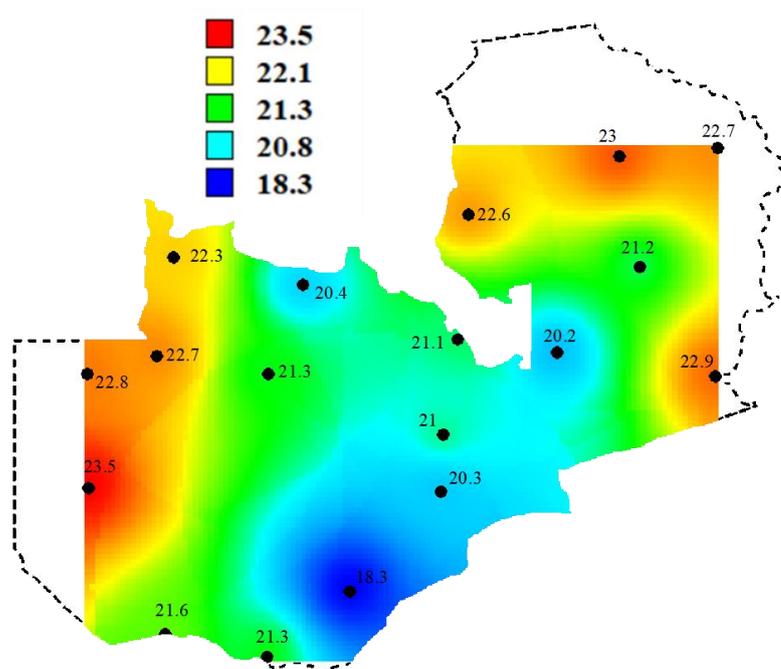


Рисунок 2.5.6. Пространственная модель температур июля повторяемостью 1 раз в 200 лет

Из пространственного распределения средних многолетних температур в июне в Замбии, показанного на Рисунке 2.5.4, видно, что в июле средние температуры самые высокие на западе и севере Замбии. Температура самого холодного месяца июля по территории колеблется от 14,5 до 18,2 °С. Самая низкая температура в 14,5 °С наблюдалась на метеостанции Choma в южной части страны, самая высокая - в западной части на метеостанции Mongu.

Из пространственного распределения температуры июля с редкой повторяемостью 1 раз в 100 лет, приведенного на рис. 2.5.5, видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Mongu 22,8°С, расположенной на западе Замбии. Минимальное значение наблюдается на метеостанции Choma 18,0°С, расположенной на юге. При повторяемости 1 раз в 200 лет пространственное распределение температур в июле на территории Замбии показано на Рисунке 2.5.6, из которого видно, что максимальное значение наблюдается на той же метеостанции Mongu 23,5°С, а минимальное значение - на метеостанции Choma: 18,3°С, также расположенной на юге.

Средние многолетние и расчетные значения температуры обеспеченностью 1% и 0,5% приведены в табл.2.5.3 для октября месяца теплого сезона.

Таблица 2.5.3

Средние и расчетные значения обеспеченности 1% и 0,5% температура на территории Замбии в октябре.

Код	Наименование	Широта	Долгота	Среднее	1%	0,5%
67441	Mwinilunga	-11.75	24.43	23,3	29,1	30,0
67461	Mansa	-11.1	28.85	24,5	30,6	31,6
67475	Kasama	-10.22	31.13	24,2	30,2	31,2
67477	Mpika	-11.9	31.43	23,6	29,5	30,4
67481	Isoka	-10.1	32.6	24,3	30,3	33,3
67531	Zambezi	-13.53	23.12	25,5	31,8	32,8
67541	Kasempa	-13.53	25.85	24,2	30,3	31,3
67543	Kabompo	-13.25	24.17	25,5	31,8	32,8
67551	Solwezi	-12.17	26.37	23,2	24,0	29,9
67561	Ndola	-13	28.7	24,1	30,2	31,1
67571	Serenje	-13.2	30.2	22,9	28,6	29,5
67581	Chipata	-13.55	32.58	24,7	30,9	31,9
67633	Mongu	-15.25	23.15	26,3	32,8	33,9
67663	Kabwe	-14.45	28.47	24,9	31,1	32,1
67665	Lusaka	-15.31	28.45	24,4	30,5	31,5
67741	Sesheke	-17.47	24.3	26,7	33,5	34,6
67743	Livingstone	-17.82	25.82	26,7	33,3	34,4
67753	Choma	-16.83	27.07	23,7	29,7	30,6

Из данных табл. 2.5.3 следует, что температуры редкой повторяемости в октябре (1 раз в 100 и 200 лет) выше средних многолетних температур на 6-7°C.

На рисунках 2.5.7 - 2.5.9 показаны пространственные распределения средних многолетних температур октября и наиболее вероятной температуры 1% и 0,5%, что соответствует повторяемости 1 раз в 100 и 200 лет

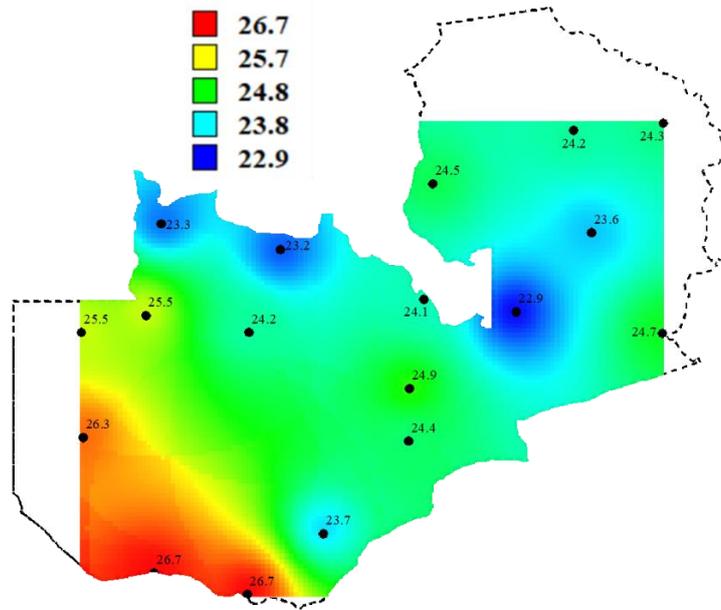


Рисунок 2.5.7. Пространственная модель средних многолетних температур октября

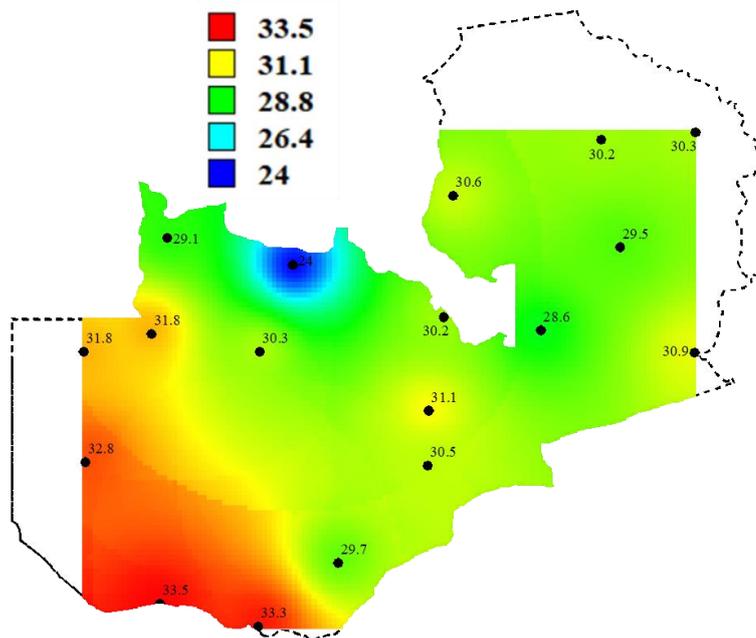


Рисунок 2.5.8. Пространственная модель температур октября повторяемостью 1 раз в 100 лет

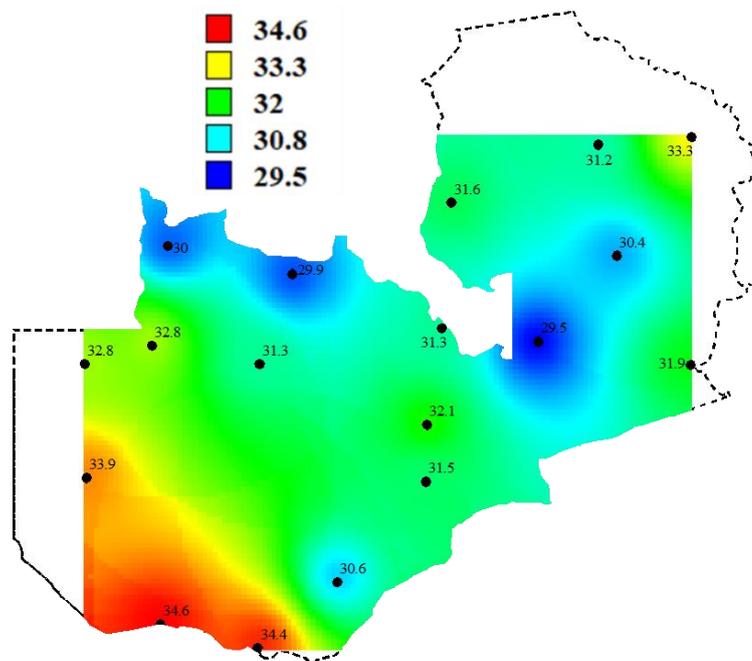


Рисунок 2.5.9. Пространственная модель температур октября повторяемостью 1 раз в 200 лет

Из пространственного распределения средних многолетних температур октября в Замбии, показанного на рисунке 2.5.7, видно, что в октябре долгосрочные средние температуры наибольшие на юго-западе, наименьшие на севере Замбии. Температура самого жаркого месяца октября изменяется по территории от 23,2 на севере до 26,7°C на юге.

Сравнивая средние температуры июля, как показано на рис. 2.5.4, и октября, можно увидеть, что в распределениях температуры октября наибольшие значения на юго-западе, наименьшие на севере, а в июле наоборот - наименьшие на юге, наибольшие на западе и севере Замбии.

Из пространственного распределения температуры в октябре редкой повторяемостью 1 раз в 100 лет, приведенного на рис. 2.5.8, видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Sesheke 33,5°C, расположенной на юго-западе Замбии. Минимальное значение наблюдается у метеостанции Solwezi 24,0°C, расположенной на севере. При повторяемости 1 раз в 200 лет пространственное распределение температуры в октябре на территории Замбии показано на рисунке 2.5.9. из которого видно, что

максимальное значение наблюдается на той же метеостанции Mongu 23,5°C, а минимальное значение - у метеостанции Serenje 29,5°C, расположенной на севере.

Средние многолетние и расчетные значения температуры обеспеченностью 1% и 0,5% приведены в табл.2.5.4 для ноября месяца теплого сезона.

Таблица 2.5.4

Средние и расчетные значения обеспеченности 1% и 0,5% температур на территории Замбии в ноябре

Код	Наименование	Широта	Долгота	Среднее	1%	0,5%
67441	Mwinilunga	-11.75	24.43	22,5	28,1	29,0
67461	Mansa	-11.1	28.85	24,0	30,0	31,0
67475	Kasama	-10.22	31.13	23,4	29,4	30,1
67477	Мpика	-11.9	31.43	23,2	29,2	30,1
67481	Isoka	-10.1	32.6	24,3	30,3	31,3
67531	Zambezi	-13.53	23.12	24,5	30,6	31,6
67541	Kasempa	-13.53	25.85	23,5	29,3	30,3
67543	Kabompo	-13.25	24.17	24,4	30,5	31,5
67551	Solwezi	-12.17	26.37	22,6	28,3	29,2
67561	Ndola	-13	28.7	23,8	29,8	30,1
67571	Serenje	-13.2	30.2	22,7	28,4	29,3
67581	Chipata	-13.55	32.58	24,7	30,9	31,9
67633	Mongu	-15.25	23.15	25,4	31,7	32,8
67663	Kabwe	-14.45	28.47	24,5	30,7	31,6
67665	Lusaka	-15.31	28.45	24,1	30,1	31,1
67741	Sesheke	-17.47	24.3	26,7	33,3	34,4
67743	Livingstone	-17.82	25.82	26,4	33,0	34,1
67753	Choma	-16.83	27.07	23,8	29,8	30,8

Из данных табл. 2.5.4 следует, что температуры редкой повторяемости в ноябре (1 раз в 100 и 200 лет) выше средних многолетних температур на 6-7°C.

На рисунках 2.5.10 - 2.5.12 показаны пространственные распределения средних многолетних температур ноября и наиболее вероятной температуры 1% и 0,5%, что соответствует повторяемости 1 раз в 100 и 200 лет.

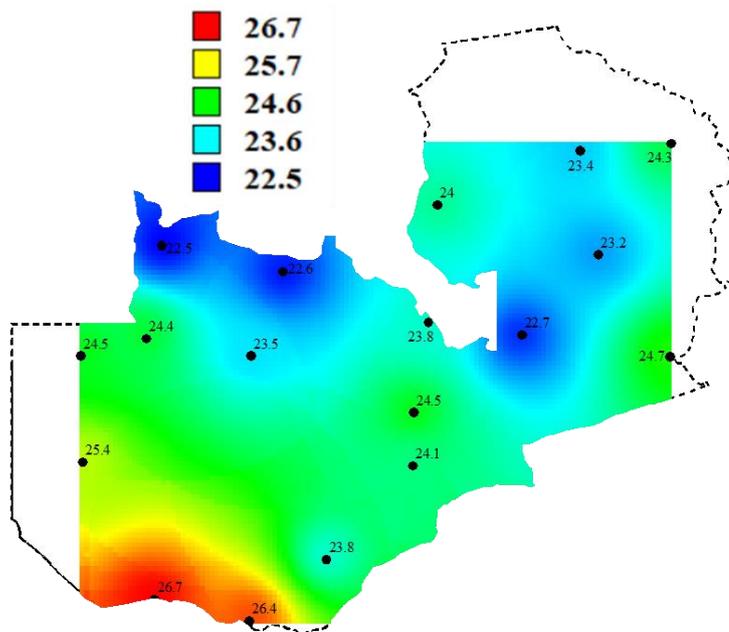


Рисунок 2.5.10. Пространственная модель средних многолетних температур ноября

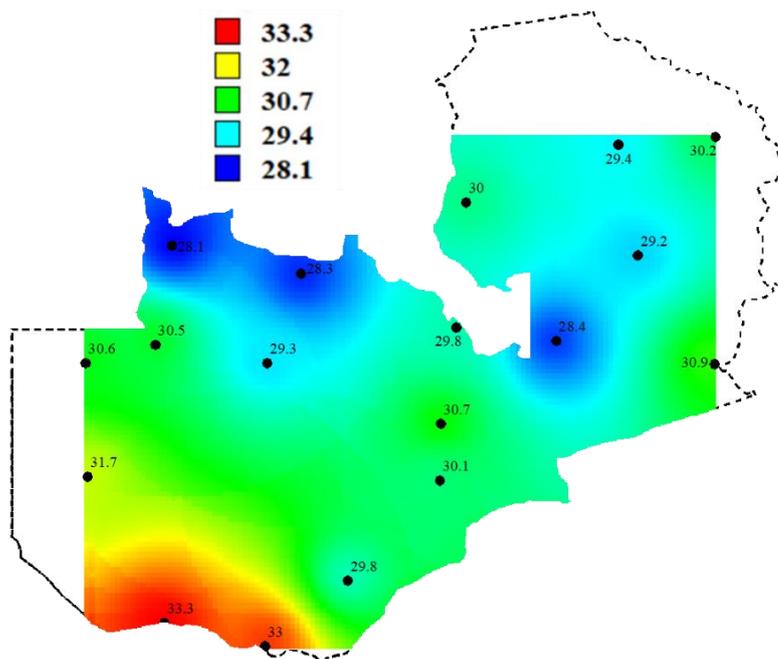


Рисунок 2.5.11. Пространственная модель температур ноября повторяемостью 1 раз в 100 лет

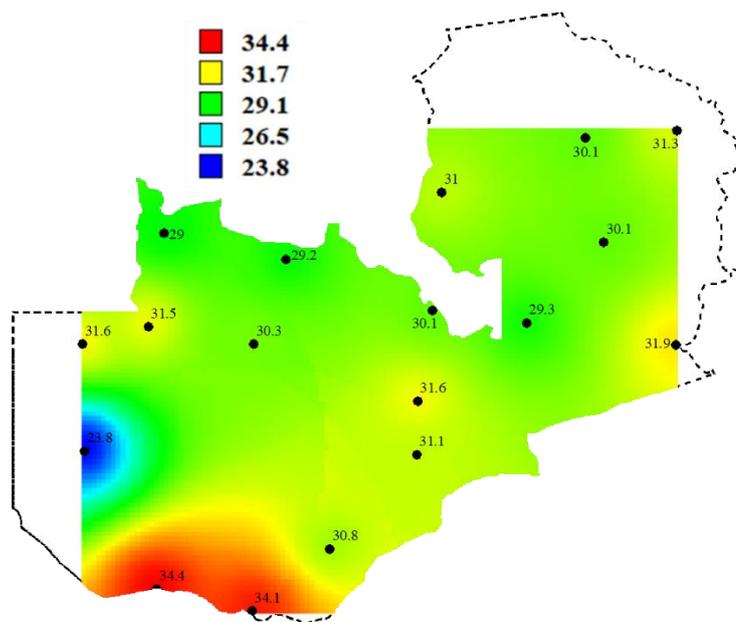


Рисунок 2.5.12. Пространственная модель температур ноября повторяемостью 1 раз в 200 лет

Из пространственного распределения средних многолетних температур ноября в Замбии, показанного на рисунке 2.5.10. видно, что в ноябре долгосрочные средние температуры наибольшие на юге, наименьшие севере Замбии. Температура ноября изменяется по территории от 22,5 на севере до 26,7°C на юге.

Из пространственного распределения температуры в ноябре с редкой повторяемостью 1 раз в 100 лет, приведенного на рис. 2.5.11. видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Sesheke 33,3°C, расположенной на юго-западе Замбии. Минимальное значение наблюдается у метеостанции Mwinilunga 28,1°C, расположенной на севере. При повторяемости 1 раз в 200 лет пространственное распределение температуры в ноябре на территории Замбии показано на рисунке 2.5.12. из которого видно, что максимальное значение наблюдается на той же метеостанции Sesheke 34,4°C, а минимальное значение - у метеостанции Mongu 23,8°C, расположенной на севере.

### Глава 3. Оценка климатических изменений холодного сезона

Цель настоящей главы - оценить климатические изменения температур воздуха с использованием моделей нестационарного среднего: линейного тренда и модели ступенчатых изменений.

Для оценки проявления современного изменения климата в многолетних рядах температуры была осуществлена их аппроксимация моделями линейного тренда и ступенчатых изменений среднего значения. Были рассчитаны такие показатели нестационарных моделей как:

-  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ст}$  – показатели эффективности нестационарной модели по отношению к модели стационарного среднего в %, которые характеризуют относительное отличие по средним квадратическим отклонениям остатков нестационарной модели от СКО исходного ряда (при  $\Delta > 10\%$  принимается, что модель нестационарного среднего эффективна);

- $F_{тр}$ ,  $F_{ст}$  – расчетные значения статистик критерия Фишера при сравнении остаточных дисперсий стационарной модели (СКО) и модели ступенчатых изменений (при  $F_{расчетном} > F$  критического при  $\alpha=5\%$  принимается, что нестационарная модель не только эффективна, но и статистически значима);
- $R_{тр}$  – коэффициент корреляции температуры со временем, соответствующий коэффициенту корреляции модели линейного тренда.

Кроме того, в итоговых таблицах приводятся:

- год начала временного ряда ( $T_{нач}$ );
- год ступенчатых изменений ( $T_{ст}$ );
- год окончания наблюдений ( $T_{к}$ ).

### 3.1. Климатические изменения температуры мая

В табл.3.1.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха мая.

Таблица 3.1.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур мая на территории Замбии.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
67441	2.9	8	1.06	1.18	1983	1960	2020	61	0.24
67461	<b>13.3</b>	<b>16.9</b>	<b>1.33</b>	<b>1.45</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.5</b>
67475	<b>11.1</b>	<b>16.1</b>	<b>1.26</b>	<b>1.42</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.46</b>
67477	<b>12.7</b>	<b>16.3</b>	<b>1.31</b>	<b>1.43</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.49</b>
67481	9.6	<b>12.2</b>	1.22	1.3	1983	1960	2020	61	<b>0.43</b>
67531	4.1	<b>11.2</b>	1.09	1.27	1983	1960	2020	61	<b>0.28</b>
67541	7.4	<b>15.4</b>	1.17	1.4	1983	1960	2020	61	<b>0.38</b>
67543	6.1	<b>13.9</b>	1.13	1.35	1983	1960	2020	61	<b>0.34</b>
67551	8	<b>15.4</b>	1.18	1.4	1983	1960	2020	61	<b>0.39</b>
67561	<b>13.9</b>	<b>18.9</b>	1.35	1.52	1983	1960	2020	61	<b>0.51</b>
67571	13	<b>16.3</b>	1.32	1.43	1983	1960	2020	61	<b>0.49</b>
67581	<b>15.4</b>	<b>16.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.43</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.53</b>
67633	2.3	9.7	1.05	1.23	1983	1960	2020	61	0.21
67663	<b>10.8</b>	<b>11.9</b>	<b>1.26</b>	<b>1.29</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.45</b>
67665	6	8.8	1.13	1.2	1983	1960	2020	61	<b>0.34</b>
67741	<b>16</b>	<b>18.9</b>	<b>1.42</b>	<b>1.52</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.54</b>
67743	<b>13.3</b>	<b>16.9</b>	<b>1.33</b>	<b>1.45</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.5</b>
67753	<b>25.1</b>	<b>23.3</b>	<b>1.78</b>	<b>1.7</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.66</b>

Как следует из табл. 3.1.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 9 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 16 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 15 случаях и  $\Delta_{ст}\%$  для всех случаев достаточно большие (12-23%). Год перехода от одних стационарных условий к другим 1983 во всех случаях.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.3.1.1.

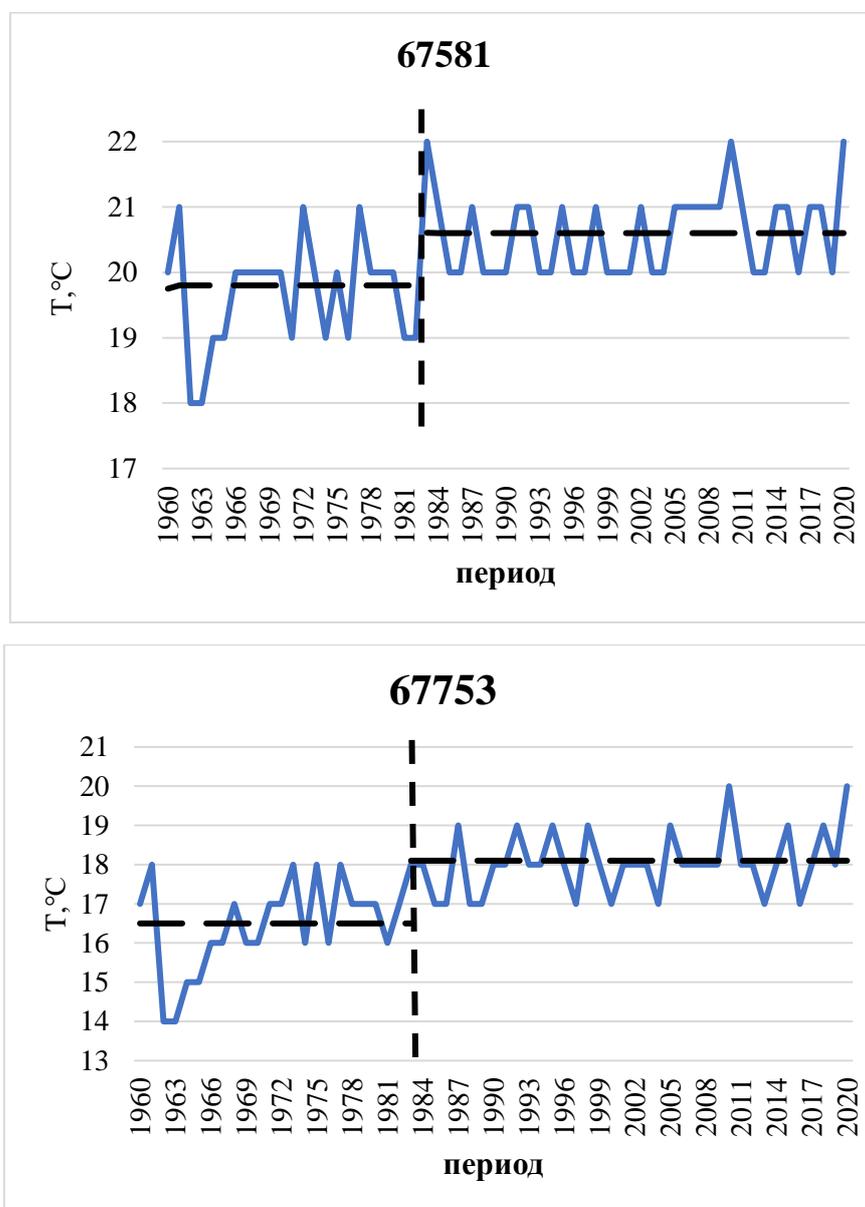


Рисунок 3.1.1. Нестационарные временные ряды температур мая и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.3.1.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в мае:

- график на метеостанции 67581 показывает среднее значение с 1960 по 1983 год равное  $19.8^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1984 по 2020 год равное  $20.6^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.8^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 67753 показывает среднее значение с 1960 по 1983 год равное 16.5 °С и среднее значение с 1984 по 2020 год равное 18.1 °С и разница между этими средними составляет 1.6 °С.

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta t_{tr}\%$ ,  $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$  приведены на рис.3.1.2.

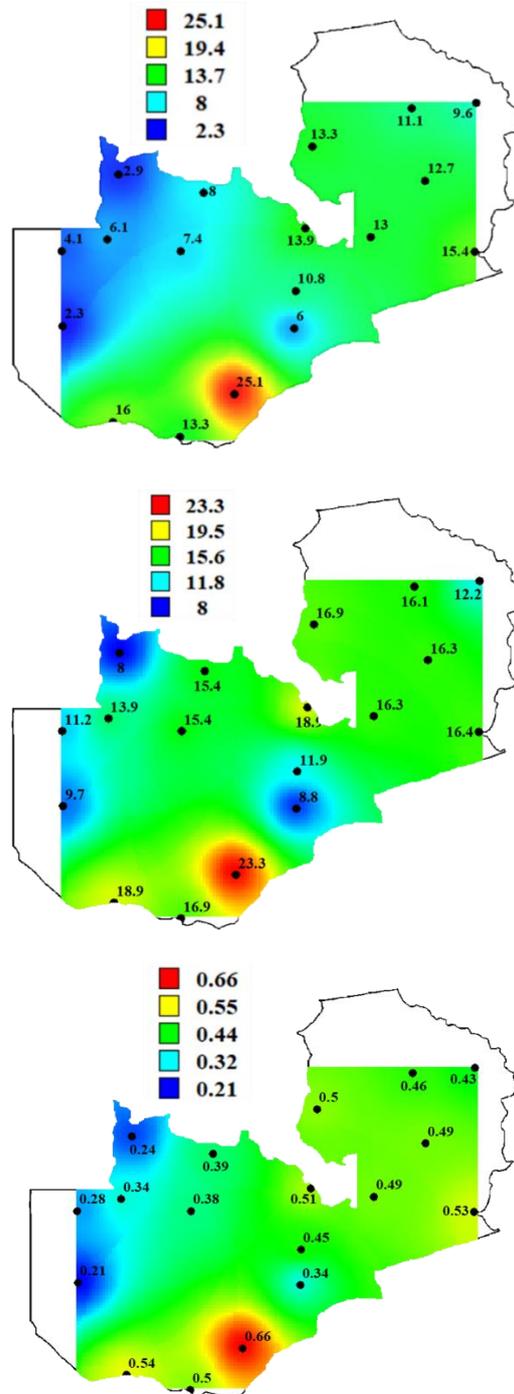


Рисунок 3.1.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур мая, где сверху вниз:  $\Delta t_{tr}\%$ ,  $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$ .

Рисунок 3.1.2 показывает, что наибольшие изменения температуры имеют место на юге, а наименьшие изменения наблюдаются на западе.

### 3.2. Климатические изменения температуры июня

В табл.3.2.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха июня.

Таблица 3.2.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июня на территории Замбии.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
67441	4.5	<b>11</b>	1.1	1.26	1982	1960	2020	61	<b>0.3</b>
67461	<b>12</b>	<b>21.6</b>	<b>1.29</b>	<b>1.63</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.47</b>
67475	<b>18.6</b>	<b>24</b>	1.51	1.73	1982	1960	2020	61	<b>0.58</b>
67477	<b>15.7</b>	<b>20.7</b>	<b>1.41</b>	<b>1.59</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.54</b>
67481	<b>14.5</b>	<b>19.9</b>	<b>1.37</b>	<b>1.56</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67531	<b>10.7</b>	<b>19.4</b>	<b>1.26</b>	<b>1.54</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.45</b>
67541	<b>11.3</b>	<b>18.8</b>	<b>1.27</b>	<b>1.52</b>	1988	1960	2020	61	<b>0.46</b>
67543	8.7	<b>16</b>	<b>1.2</b>	<b>1.42</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.41</b>
67551	9.1	<b>16.5</b>	1.21	1.44	1988	1960	2020	61	<b>0.42</b>
67561	<b>12.6</b>	<b>19.5</b>	<b>1.31</b>	<b>1.54</b>	1988	1960	2020	61	<b>0.49</b>
67571	<b>15</b>	<b>21.3</b>	<b>1.38</b>	<b>1.62</b>	1988	1960	2020	61	<b>0.53</b>
67581	<b>14</b>	<b>17.2</b>	<b>1.35</b>	<b>1.46</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.51</b>
67633	7.1	<b>14.9</b>	1.16	1.38	1982	1960	2020	61	<b>0.37</b>
67663	<b>14.6</b>	<b>18.6</b>	<b>1.37</b>	<b>1.51</b>	1988	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67665	8.6	<b>13.9</b>	1.2	1.35	1982	1960	2020	61	<b>0.41</b>
67741	<b>20.3</b>	<b>27.4</b>	<b>1.58</b>	<b>1.89</b>	1988	1960	2020	61	<b>0.6</b>
67743	<b>22</b>	<b>26.1</b>	<b>1.64</b>	<b>1.83</b>	1990	1960	2020	61	<b>0.63</b>
67753	<b>27.8</b>	<b>31</b>	<b>1.92</b>	<b>2.1</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.69</b>

Как следует из табл. 3.2.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 13 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 13 случаях и  $\Delta_{ст}\%$  для всех случаев достаточно

большие (11-31%) и всегда больше, чем  $\Delta T_r$ , Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1982, 1983, 1988 и 1990.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.3.2.1.

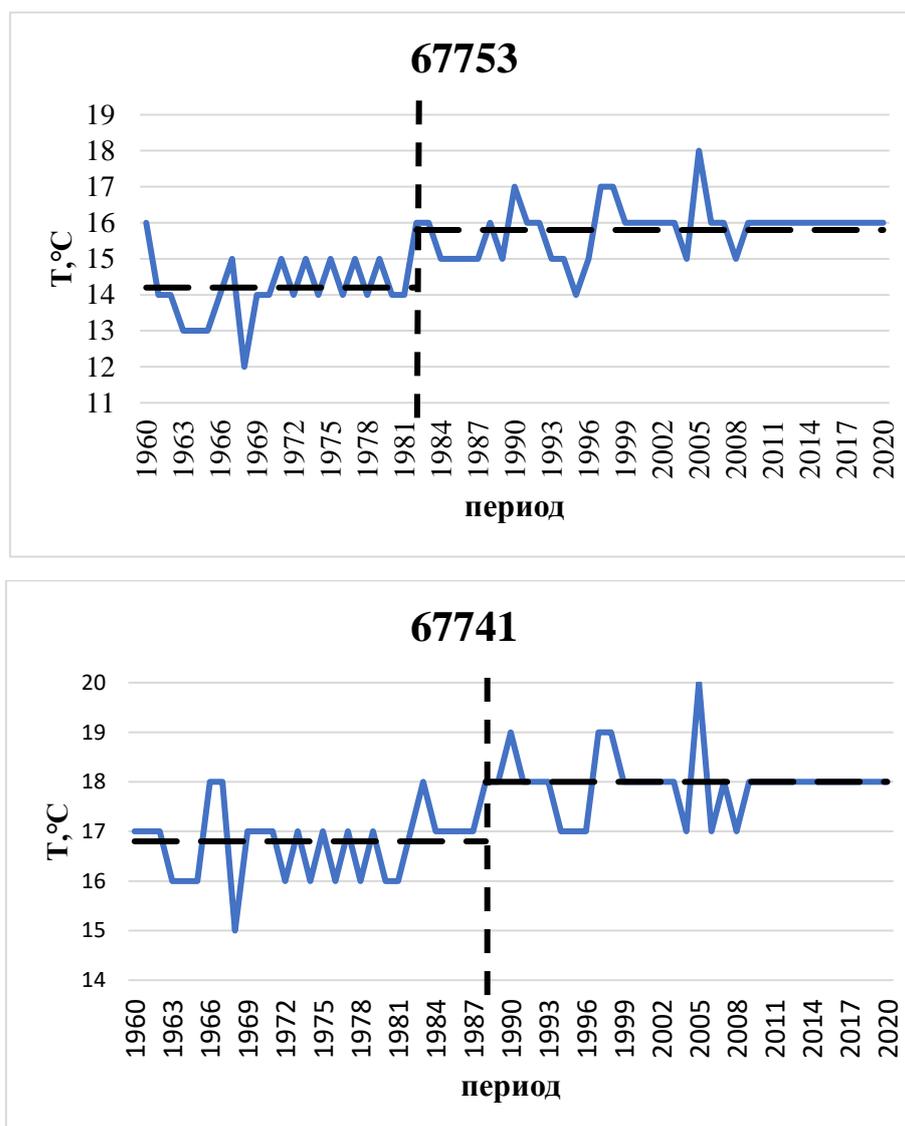


Рисунок 3.2.1. Нестационарные временные ряды температур июня и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.3.2.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в июне:

- график на метеостанции 67753 показывает среднее значение с 1960 по 1982 год равное 14.2 °С и среднее значение с 1983 по 2020 год равное 15.8 °С и разница между этими средними составляет 1.6°С;
- график на метеостанции 67741 показывает среднее значение с 1960 по 1988 год равное 16.8 °С и среднее значение с 1989 по 2020 год равное 18.0 °С и разница между этими средними составляет 1.2 °С.

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta t_r\%$   $\Delta c_t\%$  и  $R_{tr}$  приведены на рис.3.1.2.

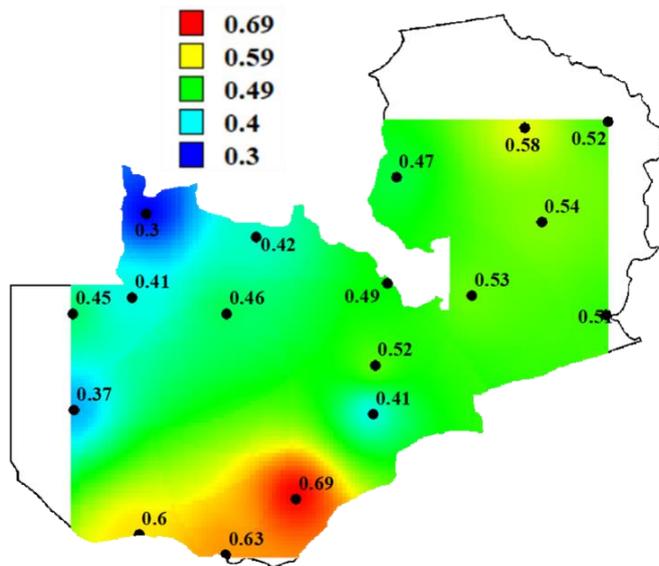
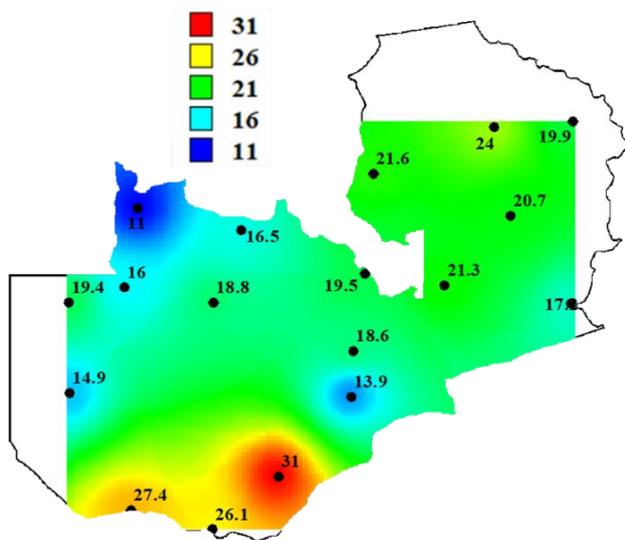
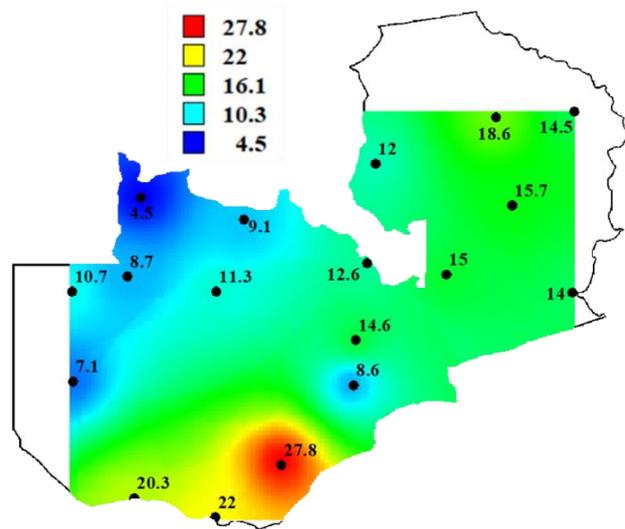


Рисунок 3.2.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур октября, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta st\%$  и  $Rtr$ .

Рисунок 3.2.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют юге, а наименьшие изменения наблюдаются в центре и на северо-западе.

### 3.3. Климатические изменения температуры июля

В табл.3.3.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха июля.

Таблица 3.3.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июля на территории Замбии

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
67441	8.8	<b>13.4</b>	1.2	1.33	1983	1960	2020	61	<b>0.41</b>
67461	<b>15.5</b>	<b>19.6</b>	<b>1.4</b>	<b>1.55</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.53</b>
67475	<b>11.9</b>	<b>14.5</b>	<b>1.29</b>	<b>1.37</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.47</b>
67477	<b>10.2</b>	<b>14.5</b>	<b>1.24</b>	<b>1.37</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.44</b>
67481	<b>10.7</b>	<b>15.2</b>	<b>1.25</b>	<b>1.39</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.45</b>
67531	<b>13.5</b>	<b>15</b>	<b>1.34</b>	<b>1.38</b>	1990	1960	2020	61	<b>0.5</b>
67541	<b>12.9</b>	<b>13.1</b>	<b>1.32</b>	<b>1.32</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.49</b>
67543	9.6	<b>11.4</b>	1.22	1.27	1982	1960	2020	61	<b>0.43</b>
67551	<b>13</b>	<b>13.5</b>	<b>1.32</b>	<b>1.34</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.49</b>
67561	<b>16.5</b>	<b>20</b>	<b>1.44</b>	<b>1.56</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.55</b>
67571	<b>12.5</b>	<b>13.9</b>	<b>1.31</b>	<b>1.35</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67581	<b>13.5</b>	<b>13.9</b>	<b>1.34</b>	<b>1.35</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.5</b>
67633	<b>12.1</b>	<b>14.4</b>	<b>1.29</b>	<b>1.36</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67663	<b>20.4</b>	<b>20.1</b>	<b>1.58</b>	<b>1.57</b>	1983	1960	2020	61	<b>0.6</b>
67665	6.9	<b>12.5</b>	1.15	1.31	1982	1965	2020	55	<b>0.36</b>
67741	<b>19.2</b>	<b>17.6</b>	<b>1.53</b>	<b>1.47</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.59</b>
67743	<b>17.6</b>	<b>17.9</b>	<b>1.47</b>	<b>1.48</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.57</b>
67753	<b>31.2</b>	<b>35.7</b>	<b>2.11</b>	<b>2.42</b>	1970	1960	2020	61	<b>0.73</b>

Как следует из табл. 3.3.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 15 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых

изменений также эффективна в 18 случаях и  $\Delta\text{ст}\%$  для всех случаев достаточно большие (14-36%) и всегда больше, чем  $\Delta\text{Тр}$ , Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1970, 1982, 1983, 1988 и 1990, но в основном преобладает 1982 г.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.3.3.1.

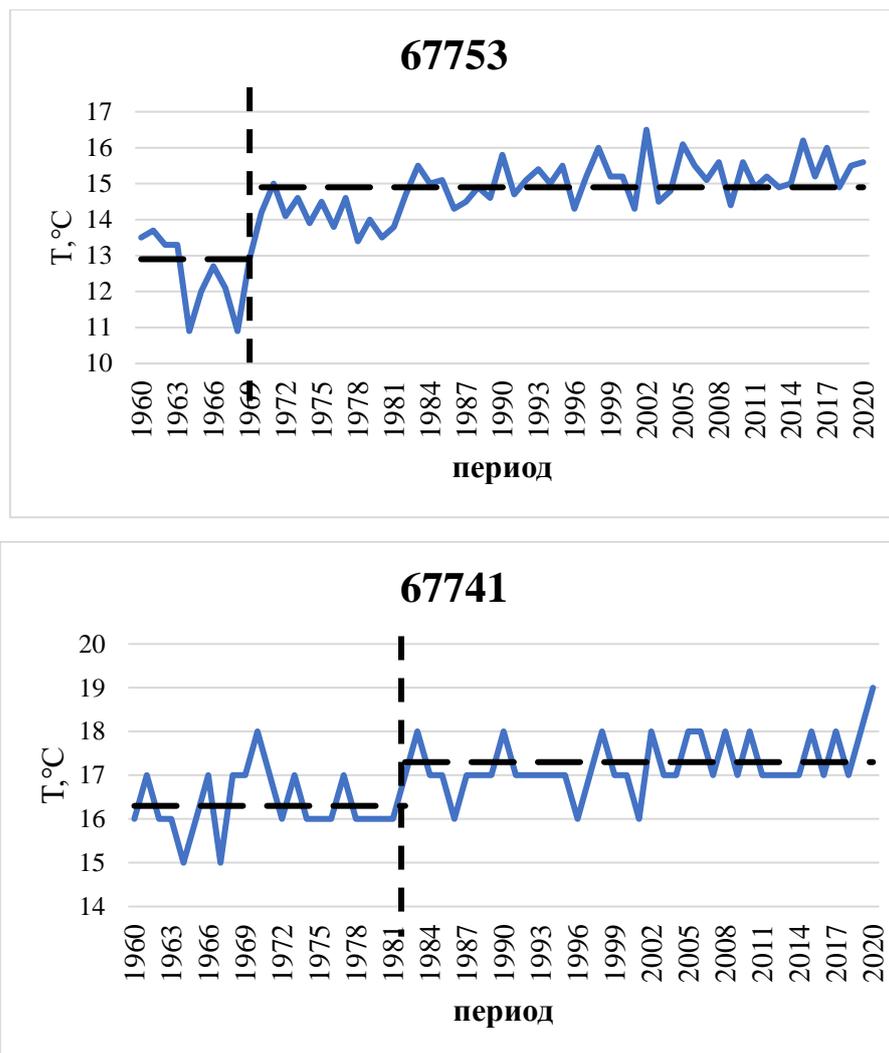


Рисунок 3.3.1. Нестационарные временные ряды температур июля и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.3.3.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в июле:

- график на метеостанции 67753 показывает среднее значение с 1960 по 1970 год равное 12.9 °С и среднее значение с 1971 по 2020 год равное 14.9 °С и разница между этими средними составляет 2.0°С;
- график на метеостанции 67741 показывает среднее значение с 1960 по 1982 год равное 16.3 °С и среднее значение с 1983 по 2020 год равное 17.3 °С и разница между этими средними составляет 1.0 °С.

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta t_{tr}\%$   $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$  приведены на рис.3.3.2.

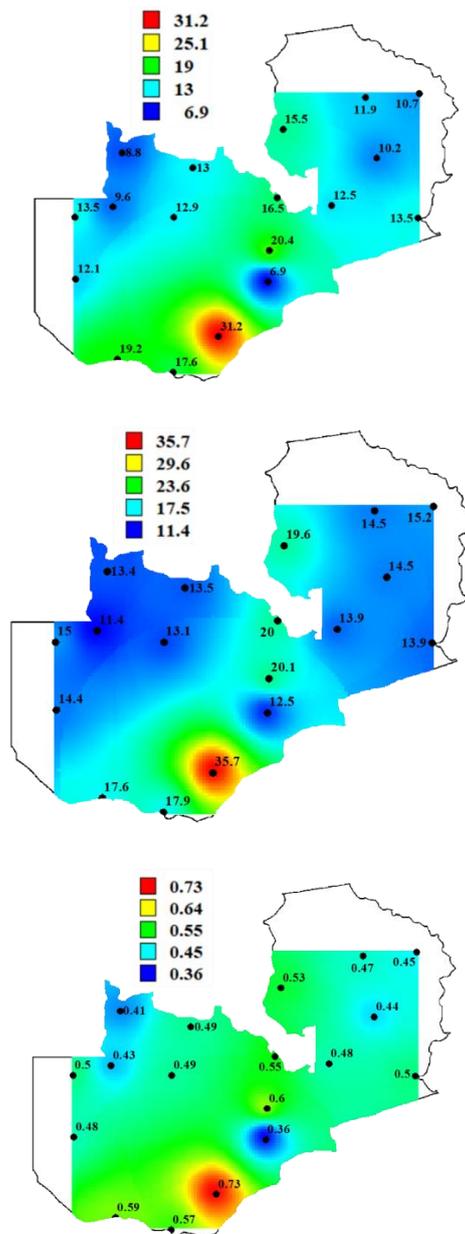


Рисунок 3.3.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур июля, где сверху вниз:  $\Delta t_{tr}\%$   $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$

Рисунок 3.3.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на юге, а наименьшие изменения наблюдаются в центре и на западе.

### 3.4. Климатические изменения температуры августа

В табл.3.4.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха августа.

Таблица 3.4.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур августа на территории Замбии.

Код	$\Delta_{tr}$	$\Delta_{st}$	$F_{tr}$	$F_{st}$	$T_{st}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{tr}$
67441	<b>13.2</b>	<b>15.2</b>	<b>1.33</b>	<b>1.39</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.5</b>
67461	<b>10.7</b>	<b>13.7</b>	<b>1.25</b>	<b>1.34</b>	1986	1960	2020	61	<b>0.45</b>
67475	8	<b>10.9</b>	1.18	1.26	1995	1960	2020	61	<b>0.39</b>
67477	<b>10</b>	<b>13.3</b>	<b>1.23</b>	<b>1.33</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.44</b>
67481	<b>11</b>	<b>16.6</b>	<b>1.26</b>	<b>1.44</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.46</b>
67531	<b>12.2</b>	<b>15.6</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	1986	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67541	<b>13.7</b>	<b>16.6</b>	<b>1.34</b>	<b>1.44</b>	1986	1960	2019	60	<b>0.5</b>
67543	<b>10.2</b>	<b>13.3</b>	<b>1.24</b>	<b>1.33</b>	1986	1960	2020	61	<b>0.44</b>
67551	<b>11.2</b>	<b>14.6</b>	<b>1.27</b>	<b>1.37</b>	1977	1960	2020	61	<b>0.46</b>
67561	<b>14.6</b>	<b>17.3</b>	<b>1.37</b>	<b>1.46</b>	1986	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67571	7.9	<b>13.7</b>	1.18	1.34	1994	1960	2020	61	<b>0.39</b>
67581	6.7	<b>11.4</b>	1.15	1.27	1994	1960	2020	61	<b>0.36</b>
67633	<b>10.7</b>	<b>12.6</b>	<b>1.25</b>	<b>1.31</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.45</b>
67663	<b>18.8</b>	<b>24.8</b>	<b>1.52</b>	<b>1.77</b>	1995	1960	2020	61	<b>0.58</b>
67665	<b>15.5</b>	<b>21.1</b>	<b>1.4</b>	<b>1.61</b>	1995	1965	2020	56	<b>0.53</b>
67741	<b>12.1</b>	<b>14.1</b>	<b>1.29</b>	<b>1.36</b>	1995	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67743	<b>14.5</b>	<b>17</b>	<b>1.37</b>	<b>1.45</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67753	<b>24.5</b>	<b>26.4</b>	<b>1.76</b>	<b>1.84</b>	1971	1960	2020	61	<b>0.66</b>

Как следует из табл. 3.4.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 15 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 18 случаях и  $\Delta_{st}\%$  для всех случаев достаточно

большие (13-26%) и всегда больше, чем  $\Delta T_r$ . Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1971, 1977, 1986, 1994 и 1995, но преобладают 1994 – 1995 гг.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.3.4.1.

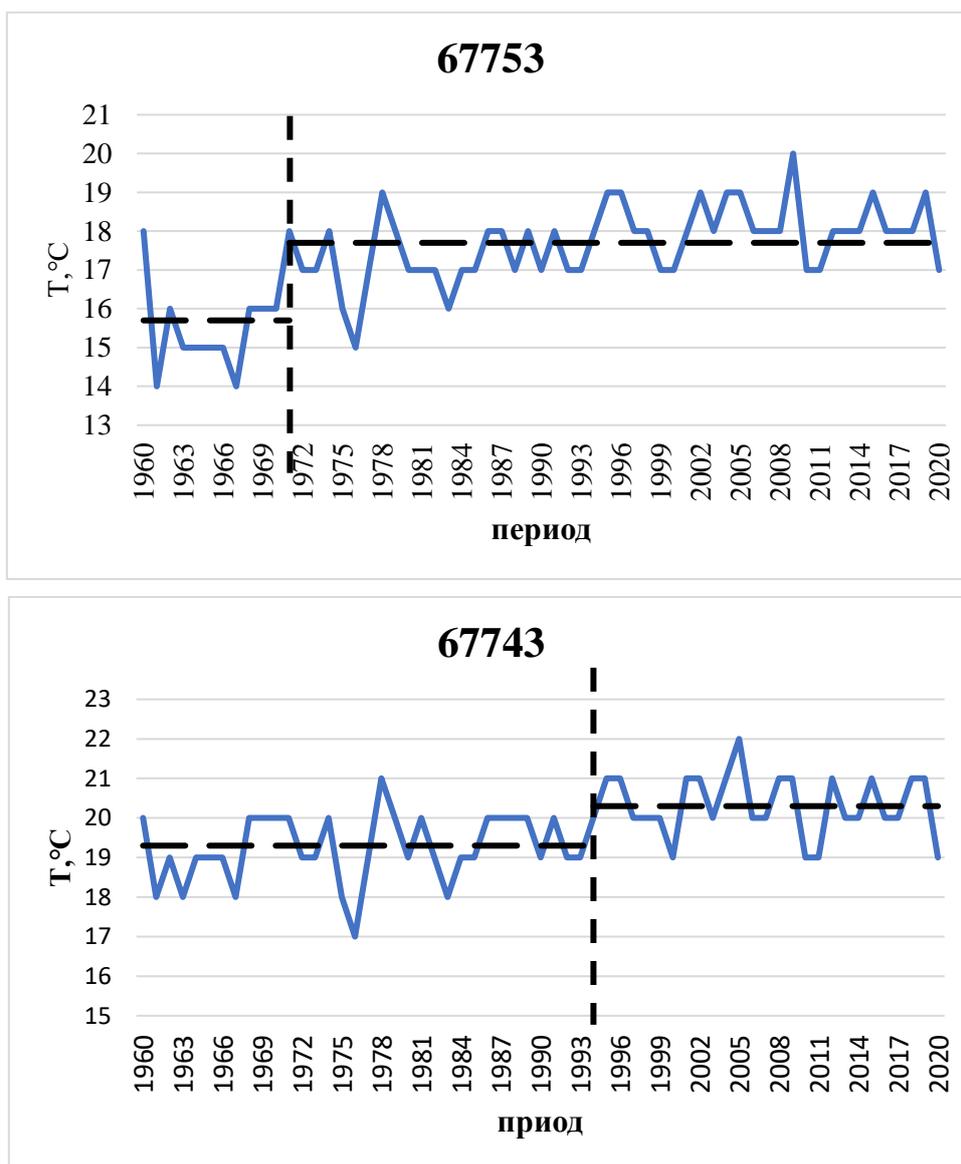


Рисунок 3.4.1. Нестационарные временные ряды температур августа и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.3.4.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в августе:



Рисунок 3.4.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют юге, а наименьшие изменения наблюдаются в севере и на востоке.

## Глава 4. Оценка климатических изменений теплого сезона

### 4.1. Климатические изменения температуры октября

В табл.4.1.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха октября.

Таблица 4.1.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур октября на территории Замбии.

Код	Δтр	Δст	Фтр	Фст	Тст	Тнач	Тк	n	Rтр
67441	6.6	<b>11.8</b>	1.15	1.29	1990	1960	2020	61	<b>0.36</b>
67461	6.8	<b>14.6</b>	1.15	1.37	1992	1960	2020	61	<b>0.36</b>
67475	7.4	<b>10.8</b>	1.17	1.26	2002	1960	2020	61	<b>0.38</b>
67477	5	9.1	1.11	1.21	1992	1960	2020	61	<b>0.31</b>
67481	7.5	<b>11.6</b>	1.17	1.28	2001	1960	2020	61	<b>0.38</b>
67531	7.2	<b>11.8</b>	1.16	1.29	1992	1960	2019	60	<b>0.37</b>
67541	7.8	<b>13.7</b>	1.18	1.34	1990	1960	2020	61	<b>0.39</b>
67543	8.8	<b>14.7</b>	1.2	1.38	1992	1960	2020	61	<b>0.41</b>
67551	6	<b>11.7</b>	1.13	1.28	1992	1960	2020	61	<b>0.34</b>
67561	5.2	<b>10.5</b>	1.11	1.25	1992	1960	2020	61	<b>0.32</b>
67571	6.1	<b>10.6</b>	1.13	1.25	1992	1960	2020	61	<b>0.34</b>
67581	4	8.4	1.08	1.19	1992	1960	2020	61	<b>0.28</b>
67633	4.5	9.6	1.1	1.22	1990	1960	2019	60	<b>0.3</b>
67663	5.9	<b>11.6</b>	1.13	1.28	1992	1960	2020	61	<b>0.34</b>
67665	7.8	<b>14.8</b>	1.18	1.38	1992	1960	2020	61	<b>0.39</b>
67741	6.2	<b>11.9</b>	1.14	1.29	1990	1960	2020	61	<b>0.35</b>
67743	9.7	<b>16.2</b>	1.23	1.43	1992	1960	2020	61	<b>0.43</b>
67753	<b>22.3</b>	<b>22.1</b>	<b>1.66</b>	<b>1.65</b>	1990	1960	2020	61	<b>0.63</b>

Как следует из табл. 4.1.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 1 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного

тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 18 случаях. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1990, 1992, 2001 и 2002, но преобладают 1990 и 1992 гг.

Многолетний ряд температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений приведены на рис.4.1.1.

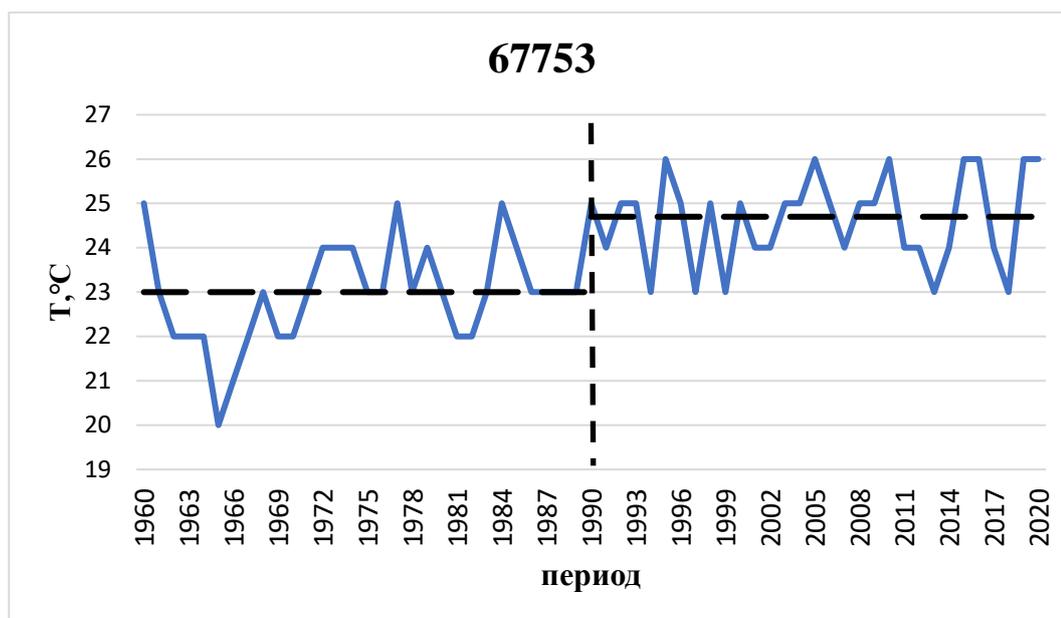


Рисунок 4.1.1. Нестационарный временной ряд температур октября и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графика рис.4.1.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в октябре:

- график на метеостанции 67753 показывает среднее значение с 1960 по 1990 год равное 23.0 °С и среднее значение с 1991 по 2020 год равное 24.7 °С и разница между этими средними составляет 1.7°С.

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta t_{тр\%}$ ,  $\Delta c_{ст\%}$  и  $R_{тр}$  приведены на рис.4.1.2.

Рисунок 4.1.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют юге, а наименьшие изменения наблюдаются в севере, востоке и западе.

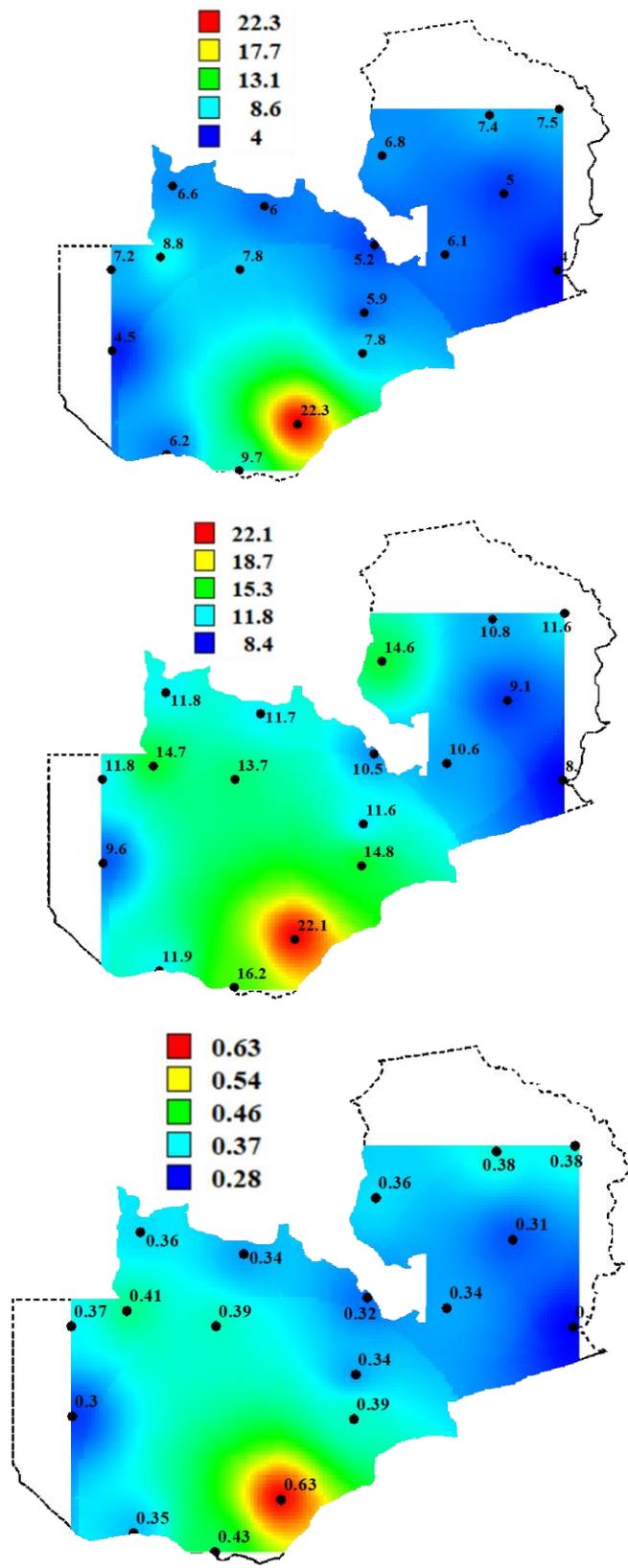


Рисунок 4.1.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур октября, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta st\%$  и  $Rtr$ .

## 4.2. Климатические изменения температуры ноября

В табл.4.2.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха ноября.

Таблица 4.2.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур ноября на территории Замбии.

Код	$\Delta Tr$	$\Delta St$	$F_{Tr}$	$F_{St}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
67441	9.1	<b>14.2</b>	1.21	1.36	1981	1960	2020	61	<b>0.42</b>
67461	9.3	<b>13.6</b>	1.21	1.34	1987	1960	2020	61	<b>0.42</b>
67475	9.7	<b>12.4</b>	1.23	1.3	1987	1960	2020	61	<b>0.43</b>
67477	9.9	<b>14.3</b>	1.23	1.36	1994	1960	2020	61	<b>0.43</b>
67481	<b>11</b>	<b>14.5</b>	<b>1.26</b>	<b>1.37</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.46</b>
67531	<b>12.1</b>	<b>16.4</b>	<b>1.29</b>	<b>1.43</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67541	<b>15.9</b>	<b>20</b>	<b>1.41</b>	<b>1.56</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.54</b>
67543	<b>15.1</b>	<b>19.2</b>	<b>1.39</b>	<b>1.53</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.53</b>
67551	<b>15.8</b>	<b>20.5</b>	<b>1.41</b>	<b>1.58</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.54</b>
67561	<b>11.6</b>	<b>16.5</b>	<b>1.28</b>	<b>1.44</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.47</b>
67571	<b>13.3</b>	<b>15.4</b>	<b>1.33</b>	<b>1.4</b>	1975	1960	2020	61	<b>0.5</b>
67581	<b>14.3</b>	<b>17.4</b>	<b>1.36</b>	<b>1.47</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67633	<b>15.5</b>	<b>21</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	1985	1960	2020	61	<b>0.53</b>
67663	<b>14.6</b>	<b>17.6</b>	<b>1.37</b>	<b>1.47</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67665	<b>15.8</b>	<b>14.8</b>	<b>1.41</b>	<b>1.38</b>	1987	1962	2020	59	<b>0.54</b>
67741	<b>16.2</b>	<b>17.9</b>	<b>1.42</b>	<b>1.49</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.55</b>
67743	<b>15.5</b>	<b>16.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.45</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.54</b>
67753	<b>27.1</b>	<b>33</b>	<b>1.88</b>	<b>2.23</b>	1975	1960	2020	61	<b>0.68</b>

Как следует из табл. 4.2.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 14 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 18 случаях и  $\Delta St\%$  для всех случаев достаточно большие (15-33%) и всегда больше, чем  $\Delta Tr$ . Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода

от одних стационарных условий к другим разным: 1975, 1981, 1985, 1987 и 1994, но преобладает 1987 г.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.4.2.1.

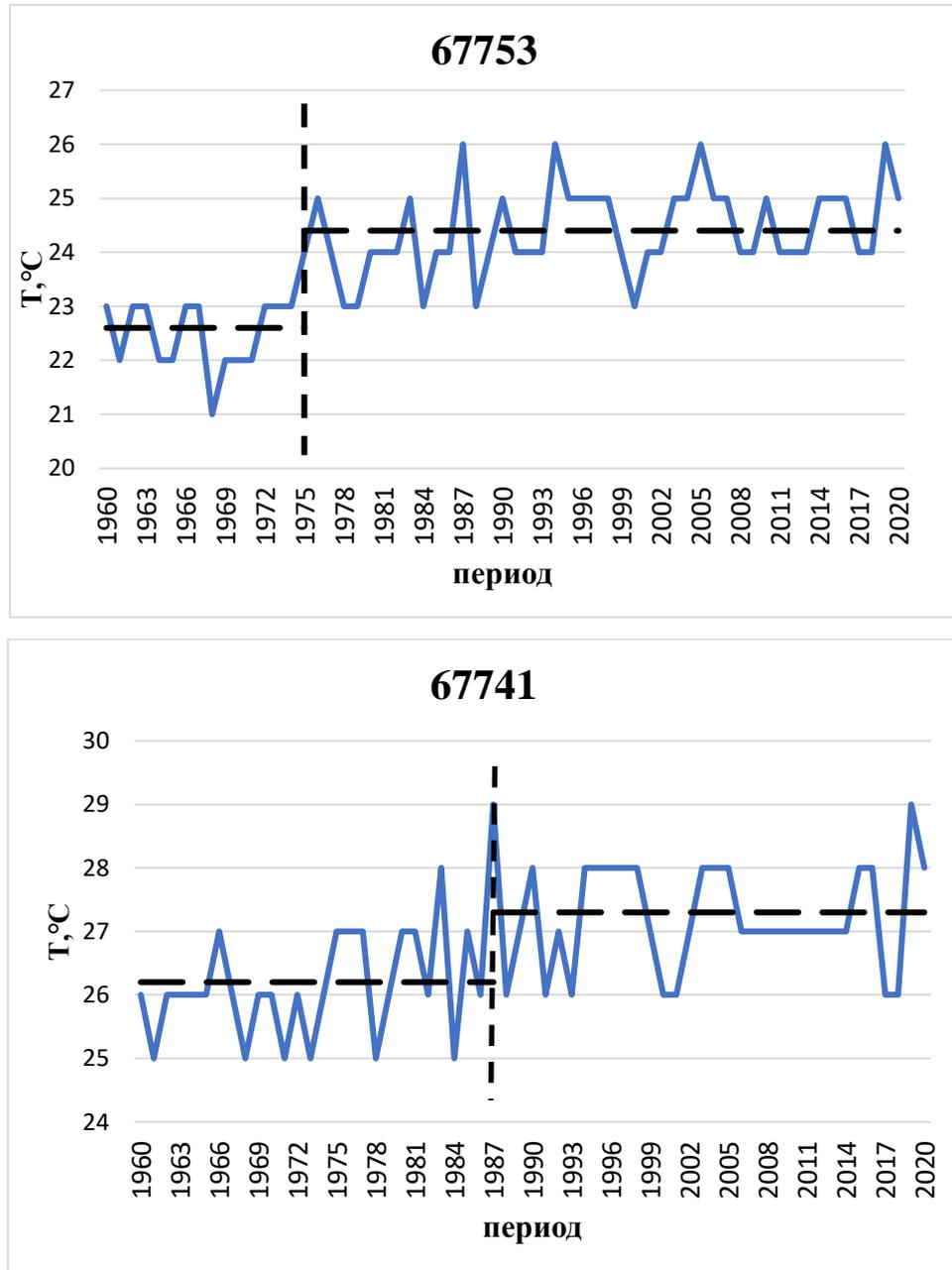


Рисунок 4.2.1. Нестационарные временные ряды температур ноября и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.4.2.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в ноябре:

- график на метеостанции 67753 показывает среднее значение с 1960 по 1975 год равное 22.6 °С и среднее значение с 1976 по 2020 год равное 24.4 °С и разница между этими средними составляет 1.8°С;
- график на метеостанции 67741 показывает среднее значение с 1960 по 1987 год равное 26.2 °С и среднее значение с 1988 по 2020 год равное 27.3 °С и разница между этими средними составляет 1.1 °С.

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta T_{tr}\%$   $\Delta C_{st}\%$  и  $R_{tr}$  приведены на рис.4.2.2.

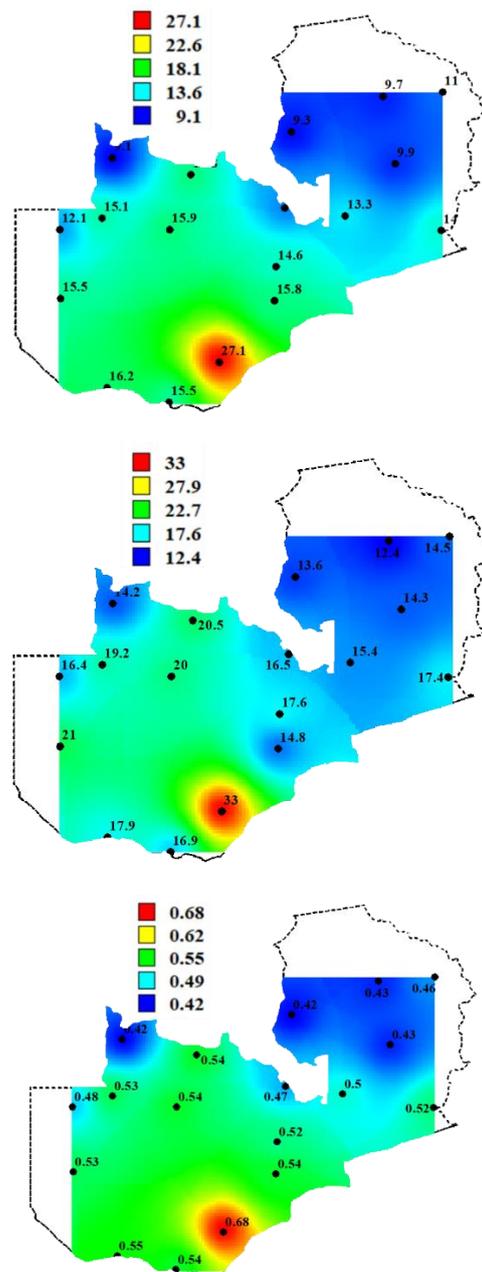


Рисунок 4.2.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур ноября, где сверху вниз:  $\Delta T_{tr}\%$   $\Delta C_{st}\%$  и  $R_{tr}$ .

Рисунок 4.2.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют юге, а наименьшие изменения наблюдаются в севере.

### 4.3. Климатические изменения температуры декабря

В табл.4.3.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха декабря.

Таблица 4.3.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур декабря на территории Замбии.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
67441	<b>18</b>	<b>17.3</b>	<b>1.49</b>	<b>1.46</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.57</b>
67461	<b>12.2</b>	<b>20.6</b>	<b>1.3</b>	<b>1.58</b>	1980	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67475	7.6	<b>11.9</b>	1.17	1.29	1992	1960	2020	61	<b>0.38</b>
67477	<b>14.5</b>	<b>19.3</b>	<b>1.37</b>	<b>1.54</b>	1987	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67481	<b>19.3</b>	<b>23.1</b>	<b>1.54</b>	<b>1.69</b>	1986	1960	2020	61	<b>0.59</b>
67531	<b>12.4</b>	<b>11.4</b>	<b>1.3</b>	<b>1.27</b>	1980	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67541	<b>15.4</b>	<b>16.2</b>	<b>1.4</b>	<b>1.42</b>	1994	1960	2020	61	<b>0.53</b>
67543	<b>15.5</b>	<b>13.8</b>	<b>1.4</b>	<b>1.35</b>	1980	1960	2020	61	<b>0.54</b>
67551	<b>20.3</b>	<b>22</b>	<b>1.57</b>	<b>1.64</b>	1993	1960	2020	61	<b>0.6</b>
67561	<b>14.8</b>	<b>16.9</b>	<b>1.38</b>	<b>1.45</b>	1992	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67571	<b>20</b>	<b>20.9</b>	<b>1.56</b>	<b>1.6</b>	1992	1960	2020	61	<b>0.6</b>
67581	<b>20.3</b>	<b>24.7</b>	<b>1.58</b>	<b>1.76</b>	1992	1960	2020	61	<b>0.6</b>
67633	<b>12.5</b>	<b>12</b>	<b>1.31</b>	<b>1.29</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.48</b>
67663	<b>21.8</b>	<b>24</b>	<b>1.64</b>	<b>1.73</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.62</b>
67665	9	<b>11.5</b>	1.21	1.28	1981	1965	2020	54	<b>0.42</b>
67741	<b>18.7</b>	<b>15.5</b>	<b>1.51</b>	<b>1.4</b>	1992	1960	2020	61	<b>0.58</b>
67743	<b>14</b>	<b>14.4</b>	<b>1.35</b>	<b>1.37</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.51</b>
67753	<b>24.6</b>	<b>22.6</b>	<b>1.76</b>	<b>1.67</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.66</b>

Как следует из табл. 4.3.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 16 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 18 случаях и  $\Delta_{ст}\%$  для всех случаев достаточно

большие (11-25%) и всегда больше, чем  $\Delta T_p$ , Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1980, 1981, 1986, 1987, 1992, 1993 и 1994.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.4.3.1.

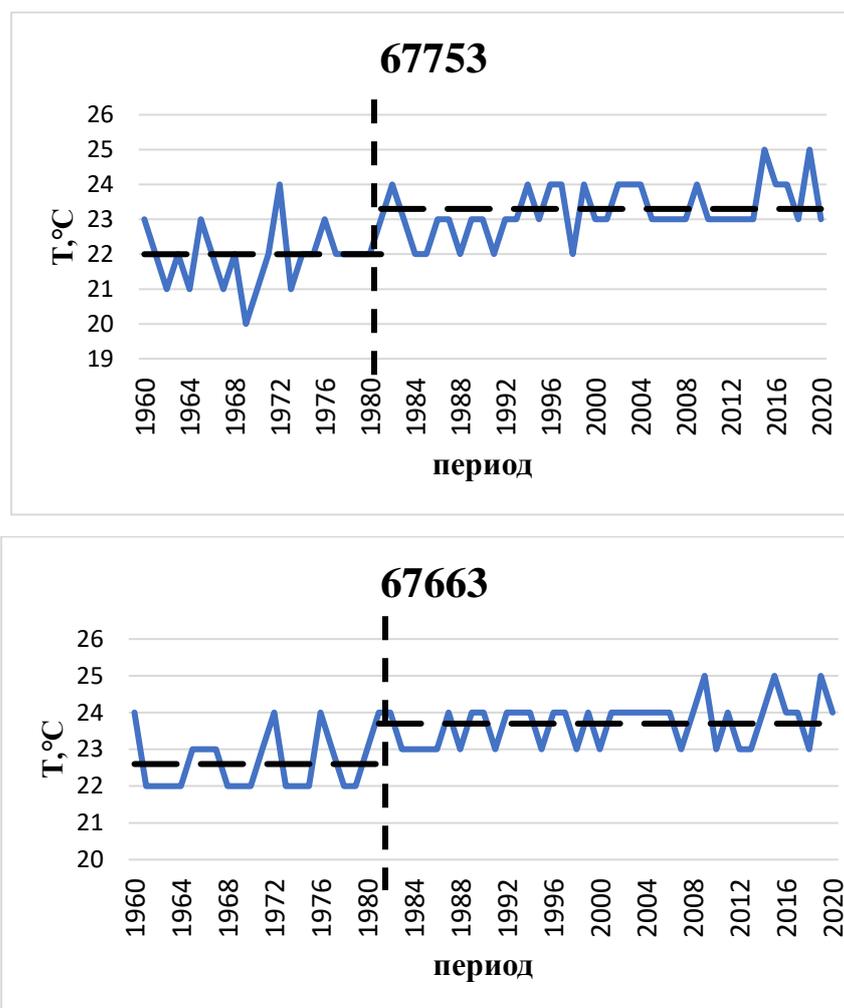


Рисунок 4.3.1. Нестационарные временные ряды температуры декабря и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.4.3.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в декабре:

- график на метеостанции 67753 показывает среднее значение с 1960 по 1981 год равное 22.0 °C и среднее значение с 1982 по 2020 год равное 23.3 °C и разница между этими средними составляет 1.3°C;

- график на метеостанции 67663 показывает среднее значение с 1960 по 1981 год равное 22.6 °С и среднее значение с 1982 по 2020 год равное 23.7 °С и разница между этими средними составляет 1.1 °С.

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta t_{tr}\%$ ,  $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$  приведены на рис.4.3.2.

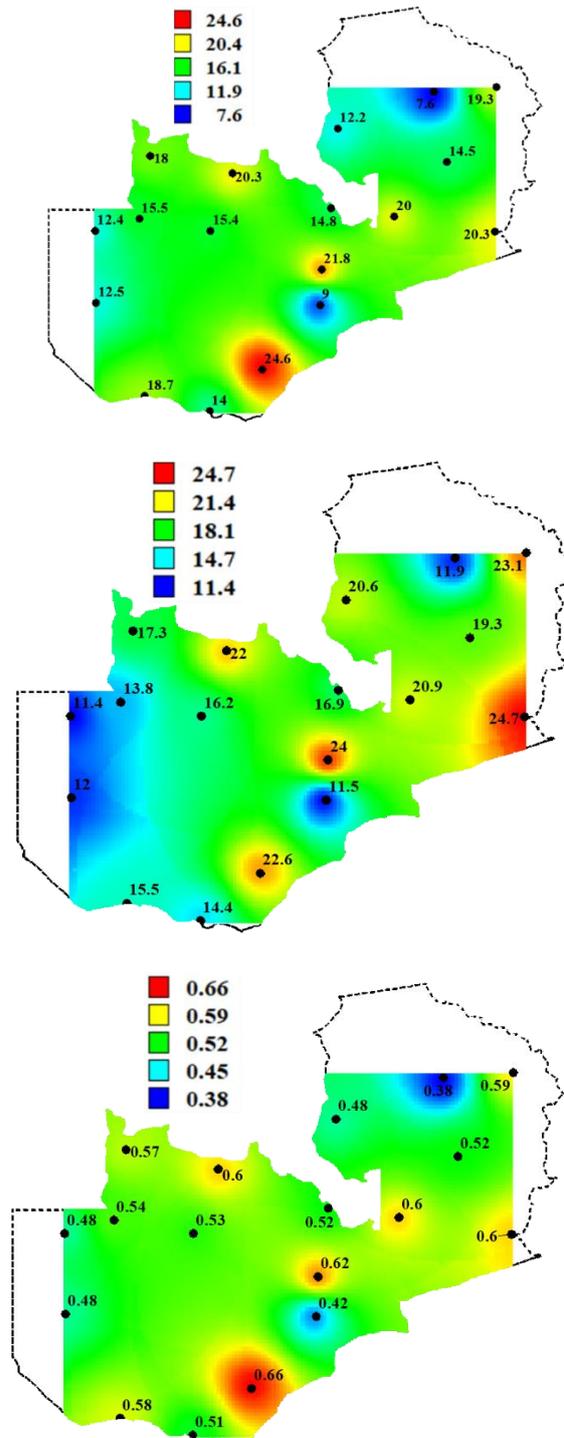


Рисунок 4.3.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур декабря, где сверху вниз:  $\Delta t_{tr}\%$ ,  $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$ .

Рисунок 4.3.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют юге, а наименьшие изменения наблюдаются в севере.

#### 4.4. Климатические изменения температуры января

В табл.4.4.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха января.

Таблица 4.4.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур января на территории Замбии.

Код	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
67441	<b>14.5</b>	<b>16.4</b>	<b>1.37</b>	<b>1.43</b>	1980	1960	2020	61	<b>0.52</b>
67461	9,1	<b>13,2</b>	1.21	1.33	1980	1960	2020	61	<b>0.42</b>
67475	<b>11.9</b>	<b>16.6</b>	<b>1.29</b>	<b>1.44</b>	1976	1960	2020	61	<b>0.47</b>
67477	6.9	<b>11.6</b>	1.15	1.28	1980	1960	2020	61	<b>0.36</b>
67481	<b>11.7</b>	<b>18.2</b>	<b>1.28</b>	<b>1.5</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.47</b>
67531	4.8	8.7	1.1	1.2	1982	1960	2020	61	<b>0.31</b>
67541	5.4	9.8	1.12	1.23	1980	1960	2020	61	<b>0.32</b>
67543	5.4	8.8	1.12	1.2	1983	1960	2020	61	<b>0.32</b>
67551	6.8	<b>13.8</b>	1.15	1.35	1980	1960	2020	61	<b>0.36</b>
67561	8.5	<b>13.6</b>	1.2	1.34	1980	1960	2020	61	<b>0.4</b>
67571	<b>13.9</b>	<b>17.9</b>	1.35	1.48	1977	1960	2020	61	<b>0.51</b>
67581	8.4	<b>14.8</b>	1.19	1.38	1980	1960	2020	61	<b>0.4</b>
67633	6.6	<b>11.6</b>	1.15	1.28	1983	1960	2020	61	<b>0.36</b>
67663	8.5	<b>11.9</b>	1.2	1.29	1980	1960	2020	61	<b>0.4</b>
67665	5	7	1.11	1.16	1980	1965	2020	56	<b>0.31</b>
67741	9	<b>11</b>	1.21	1.26	1982	1960	2020	61	<b>0.41</b>
67743	<b>10.8</b>	<b>15.3</b>	<b>1.26</b>	<b>1.39</b>	1981	1960	2020	61	<b>0.45</b>
67753	<b>10</b>	<b>16.5</b>	<b>1.23</b>	<b>1.43</b>	1982	1960	2020	61	<b>0.44</b>

Как следует из табл. 4.4.1 из 18 рядов модель линейного тренда эффективна в 6 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 18 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 18 случаях и  $\Delta_{ст}\%$  для всех случаев достаточно

большие (15-18%) и всегда больше, чем  $\Delta T_p$ , Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1976, 1977, 1980, 1981, 1982, и 1983, но в основном относится к началу 1980х годов.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированные моделью ступенчатых изменений приведены на рис.4.4.1.

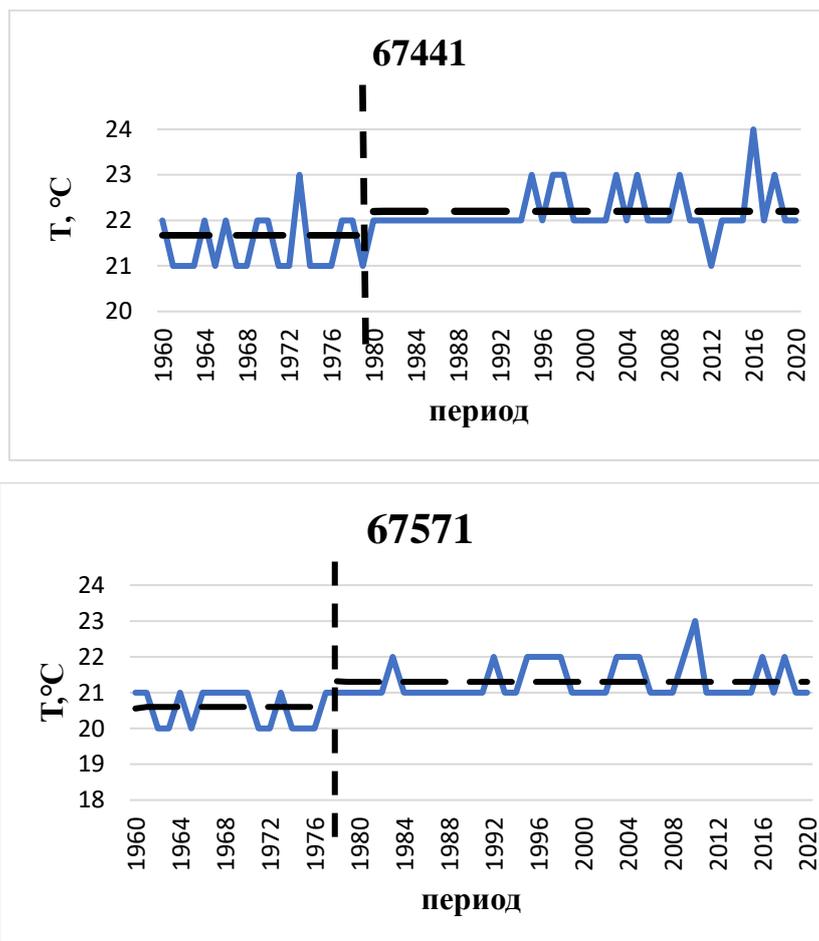


Рисунок 4.4.1. Нестационарные временные ряды температуры января и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графиков рис.4.4.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в январе:

- график на метеостанции 67441 показывает среднее значение с 1960 по 1980 год равное 21.7 °C и среднее значение с 1981 по 2020 год равное 22.2 °C и разница между этими средними составляет 0.5°C;



Рисунок 4.4.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют юге, а наименьшие изменения наблюдаются в севере.

### **Заключение**

В результате выполненной работы по оценке климатических изменений температуры в Замбии можно сделать следующие выводы:

1. Внутригодовые климатические распределения температуры в Замбии практически одинаковы в разных частях страны с максимумом в октябре и минимумом в июле и с амплитудой внутригодовых колебаний от  $7^{\circ}\text{C}$  на всей территории до  $10^{\circ}\text{C}$  на отдельных станциях юга.
2. Пространственные распределения температуры самого жаркого месяца октября изменяется по территории от  $23,2^{\circ}\text{C}$  на севере до  $26,7^{\circ}\text{C}$  на юге и самого холодного месяца июля изменяется по территории от  $14,5^{\circ}\text{C}$  на юге до  $18,2^{\circ}\text{C}$  на западе. Также важно отметить, что на температуру влияет рельеф. В результате повышения температуры наибольшие на юге по сравнению с севером, потому что южная часть находится в долине.
3. Из анализа однородности эмпирических распределений и стационарности дисперсий и средних значений, можно сделать выводы, что температуры практически стационарны. Было осуществлено восстановление пропусков и приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду, что позволило увеличить длительность рядов температур в декабре с 82 до 108 лет в среднем.
4. Установлено, что средние температуры увеличились во все месяцы года в 1980-1990х годах, при этом более эффективной оказалась модель ступенчатых изменений среднего, а не линейного тренда и по территории наиболее эффективные нестационарные модели всегда имеют место в южной части страны, а наиболее стационарные на севере и северо-востоке.
5. Наибольший прирост средних температур имеет место в холодный период года и достигает в июле – августе в южной части страны  $1,5-2,0^{\circ}\text{C}$ .

6. В теплое время года, особенно в октябре, практически не установлено эффективных моделей нестационарного среднего в рядах температур, а максимальный прирост на отдельных станциях составил около  $1,0^{\circ}\text{C}$ , с некоторыми аномалиями до  $1,7-1,8^{\circ}\text{C}$  на южной метеостанции Choma.

## Список использованной литературы

1. Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик», Санкт-Петербург 2018г., 90с.
2. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии Часть 1, 2011г. – 144с.
3. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии Часть 2, 2012г.- с. 178, Санкт-Петербург.
4. Л68 Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология: Книга 2.: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 378 с
5. Lectures on climatology. Part 2: Climate Dynamics. Book 2. Textbook in 2 Books. –St. Petersburg: ed. RSHU, 2018. – 377 pp.
6. <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (данных наблюдении)
7. <http://www.pogodaiklimat.ru/ю>. (данных наблюдении)
8. Google Планета Земля (данных реаланализа)
9. <https://www.encyclopedia.com/places/africa/zambia-political-geography/zambia>
10. <https://www.zambia.climatemps.com>