



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 осадков в Замбии»

Исполнитель: Пири Энос 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

« 28 » мая 2021г.

Санкт-Петербург
2021

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Физико-географические особенности территории.....	5
1.1. Область исследования	5
1.2. Топография Замбии.....	6
1.3 Климат Замбии	7
1.4 Осадки в Замбии.....	8
1.5 Распределения средних многолетних осадков во внутри Замбии	9
Глава 2. Формирование региональной базы данных многолетних рядов климатических характеристик	13
2.1. Выбор информации из стандартных архивов	13
2.2 Расположение пунктов наблюдений по территории	15
2.3 Оценка однородности и стационарности рядов наблюдений осадков в Замбии.	16
2.4 Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду	23
2.5 Расчет климатических характеристик в стационарных условиях.....	26
Глава 3. Определение связи между данными наблюдений и реанализа.....	35
3.1. Корреляционная матрица	35
3.2. Пространственное распределение коэффициентов парной корреляции..	39
Глава 4. Оценка климатических изменений влажного сезона	40
4.1. Климатические изменения осадков ноября.....	40
4.2. Климатические изменения осадков декабря	44
4.3. Климатические изменения осадков января	48
4.4. Климатические изменения осадков февраля.....	50
4.5. Климатические изменения осадков марта.....	54
4.6. Климатические изменения осадков апреля	58
4.7. Оценка эффективности применения модели гармонических колебаний.	62
Глава 5. Оценка климатических изменений сухого сезона	67
5.1. Оценка климатических изменений осадков мая	67
5.2. Оценка климатических изменений осадков сентября	69
5.3. Оценка климатических изменений осадков октября.....	70
Заключение(выводы).....	72
Список использованной литературы	73

Введение

Данная выпускная квалификационная работа в области метеорологии посвящена изучению климатических изменений осадков в Замбии. Климат - это совокупность погодных (атмосферных) условий в течение многолетнего периода, типичных для данной местности. Это более стабильная характеристика погоды. Погода меняется быстро относительно климата.

Погода является комплексом мгновенных состояний естественных процессов в атмосфере, как температура воздуха и осадки. Под климатом понимается долговременное состояние погоды, которое сохраняется не менее нескольких десятилетий. Современный климат меняется и эти изменения климатического режима необходимо исследовать.

Чтобы оценить климатические осадки в Замбии и их изменения в этой бакалаврской работе, необходимо провести исследования и статистическое моделирование по всей территории Замбии, которая характеризуется тропическими или субтропическими климатическими условиями и обильными дождями. Наличие влажного и сухого сезонов во внутригодовом распределении осадков обусловлено Африканским муссоном и движением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК).

Осадки - самая важная климатическая переменная в Замбии. Поэтому их изменчивость и предсказуемость являются важными аспектами экономики страны. Африка в целом считается очень уязвимой к изменению климата, главным образом потому, что многие виды социально-экономической деятельности Замбии, особенно сельское хозяйство, находятся под влиянием климатических параметров, особенно осадков. Осадки и температура являются наиболее важными метеорологическими характеристиками в Замбии и испытывают наибольшую восприимчивость к изменениям климата. Следовательно, изменчивость и изменение климата влияют на продуктивность многих социально-экономических видов деятельности. Сельскохозяйственная

засуха, возможно, является самой серьезной климатической проблемой и оказывает серьезное влияние на уровень жизни в сельских районах.

Для выполнения работы использовались многолетние данные разных станций в 10 различных провинциях Замбии: провинциях, таких как Лусака, северная, восточная, центральная, южная, медный пояс, Луапула, северо-запад, запад и Мучинга. Для оценки современного изменения климата по полученным данным с метеостанций, которые были указаны ранее, были решены следующие задачи.

- Определение внутригодовых климатических распределения осадков в Замбии.

- Определение средних многолетних значений и получение их пространственных распределений.

- Формирование базы данных среднемесячных многолетних осадков по всей 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.

- Определение средних многолетних значений пространственных распределений.

- Определение связи между данными наблюдений и реанализа.

- Оценка климатических изменений осадков влажного периода с использованием модели тренда, модели ступенчатых изменений, модели линейного тренда и гармонической модели.

- Оценка климатических изменений осадков сухого периода.

Глава 1. Физико-географические особенности территории

1.1. Область исследования

Замбия, не имеющая выхода к морю страна, расположенная в центральной и южной части Африки, с тропическим влажным и сухим климатом и состоящая в основном из высокого плато с несколькими холмами и горами, пересеченными речными долинами. Страна расположена в основном между 8° и 18° южной широты и 22° и 34° восточной долготы. Площадь составляет 752614 км^2 Замбия разделена на десять провинций; каждая провинция разделена на несколько районов, всего 73 района (рис.1.1).



Рисунок.1.1 Исследуемая территория (Замбия)

1.2 Топография Замбии

Замбия расположена на плато в Центральной Африке (рис.1.2). Большая часть суши в Замбии представляет собой высокое плато, расположенное между 910м и 1370 м, со средней высотой 1200 метров. Самая низкая точка - река Замбези, на высоте 329 м над уровнем моря, а самая высокая - Мафинга-Централ на холмах Мафинга, на высоте 2339 м над уровнем моря. Территория понижается к югу. Район плато разрезается притоками реки Замбези. Большинство рек имеют водопады и пороги, которые являются уникальной особенностью страны Замбия. Замбия имеет четыре основных долины: Замбези, Кафуэ, Луангва и Лупула. В Замбии есть несколько больших озер: искусственное Карибу на юге, озера Танганьика и Мверу на севере и озеро Бангвеулу во внутренних районах.

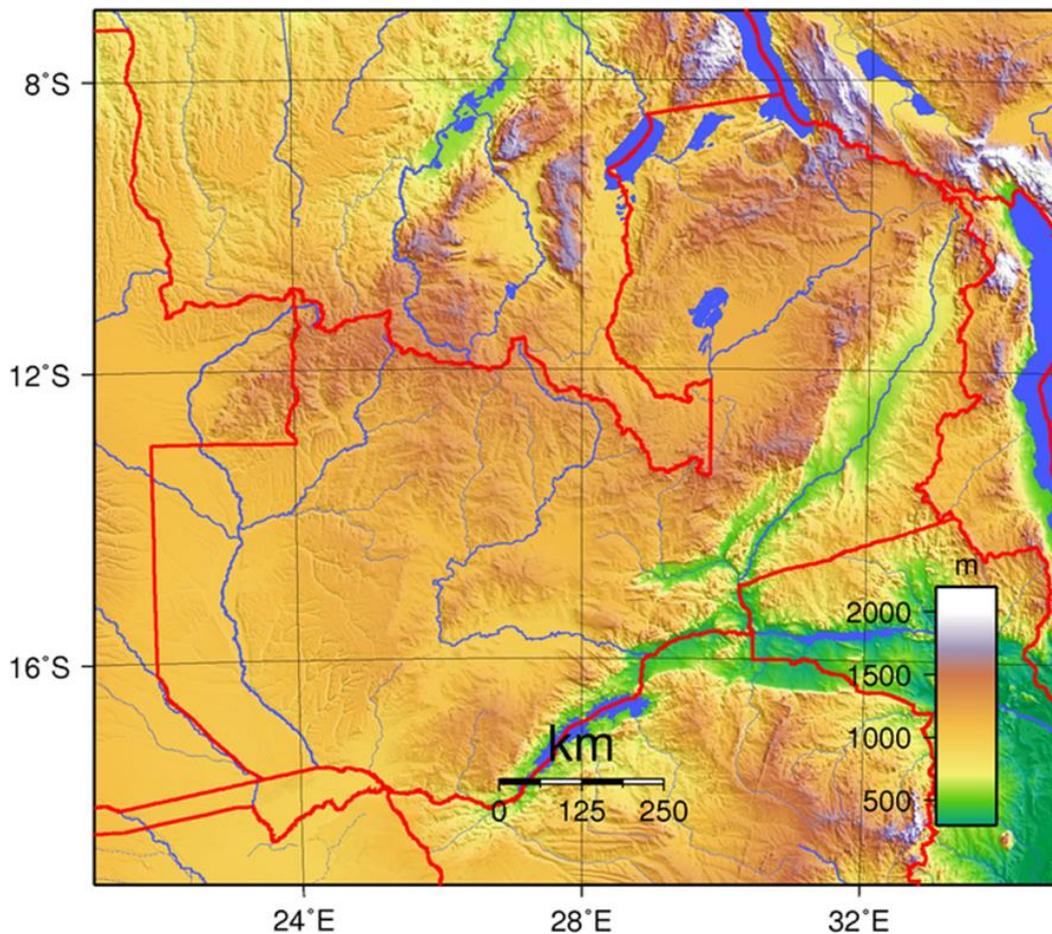


Рисунок.1.2 Топографическая карт Замбии

1.3 Климат Замбии

Климат Замбии тропический с изменением по высоте. На большей части страны климат 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 с ноября по апрель соответствует лету, и сухой сезон с мая по октябрь, соответствующий зиме. Сухой сезон делится на прохладный сухой сезон с мая по август и жаркий сухой сезон с сентября по ноябрь. Модифицирующее влияние высоты дает стране приятную субтропическую погоду, а не тропические условия с мая по август. Количество осадков колеблется от 500 до 1400 мм в год, в некоторых местах выпадает от 700 до 1200 мм. Наблюдается различие между дождливым и сухим сезонами, в июне, июле и августе дождей не бывает.

Средняя температура в Замбии летом (с сентября по ноябрь) составляет 30°C, а зимой (с мая по август) может опускаться до 5°C в горах. Дожди приносятся в основном из Внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) и характеризуются грозами, иногда сильными, с большим количеством молний. ВЗК расположена к северу от Замбии в сухой сезон. Она движется на юг во второй половине года и на север в первой половине года. Помимо ВЗК, наибольшее количество осадков выпадает на севере, особенно на северо-западе и северо-востоке, с уменьшением к югу; самые засушливые районы находятся на крайнем юго-западе и в долинах реки Луангва и среднего течения реки Замбези, части которых считаются полусухими. Ни одна область страны не считается засушливой или пустынной.

1.4 Осадки в Замбии

Климат в Замбии в значительной степени контролируется перемещением Внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), а также влияние Атлантики и Индийского океана всегда учитывается при анализе климата страны.

В Замбии осадки в основном выпадают с ноября по апрель (сезон дождей) и редко выпадают в месяцах с мая по октябрь (сухой сезон). Большая часть осадков (около 90%) связана с движением Внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) — это полоса облаков, которая окружает земной шар на экваторе и приносит большие осадки, смещается к северу и югу в зависимости от сезона и находится над Западной Африкой зимой в южном полушарии и над юго-востоком Замбии летом (Reason, Landman and Tennant, 2006).[9]

Воздушные массы, связанные с ВЗК, сохраняются дольше и количество осадков значительно больше на севере и северо-западе Замбии, чем на юге и юго-западе Замбии. В свою очередь рельеф также влияет на количество осадков.

Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК), расположена в среднем около центра ячеек Хэдли примерно на 6° с.ш. Внутритропическая зона конвергенции совпадает с регионами с самыми сильными дождями на планете, потому что сходящиеся низкоуровневые ветры приносят водяной пар со всех тропических широт, что способствует сходимости потоков влаги. Поднимающийся вверх насыщенный воздух за счет конвекции вызывает конденсацию, которая в конечном итоге попадает на поверхность в виде дождя.

На характер осадков в Замбии влияют три воздушные массы: а именно (1) тропический морской воздух из северного полушария, северо-восточного муссона к северу от ВЗК, содержание влаги которого зависит от его недавнего прохождения над морем;

(2) тропический морской воздух из южного полушария, юго-восточного пассата к югу от Внутритропической зоны конвергенции, обычно сухой и стабильный и

(3) Заирский воздух с запада и севера, как правило, очень влажный и условно неустойчивый.

Влияние Заирского воздуха и Внутритропической зоны конвергенции колеблется в соответствии с прохождением циклонических систем на средних широтах дальше на юг. Схождение и последующий подъем воздушных масс приводит к образованию облаков и может привести к продолжительным и сильным дождям.

Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) движется на юг и входит в Замбию в начале декабря с севера. Воздушная граница воздуха Заира не позволяет Внутритропической зоне конвергенции придерживаться прямой линии восток-запад: движение на юг не заменяет воздух Заира а, скорее, огибает его. Совмещение Заирского воздуха и Внутритропической зоны конвергенции определяют погоду в Замбии в сезон дождей. Сочетание высоких температур поверхности и влажного, условно нестабильного воздуха приводит к развитию конвективных гроз, которые объявляют начала сезон дождей.

1.5 Распределения средних многолетних осадков во внутри Замбии

Средние многолетние сезонные распределения осадков внутри Замбии для 5 метеостанций, расположенных на востоке [Chinsali], юге [Livingstone], севере [Nchanga], западе [Kalabo] и в центральной части [Kabwe] Замбии приведены в таблице 1.5.1.

Таблица.1.5.1

Внутригодовые распределения осадков в разных частях Замбии

Станция	месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Livingstone	176.3	157.7	94.4	23.3	4.5	0.5	0.1	0.4	2.4	19.3	77.3	166.4
Nchanga	301	256.1	219.9	57.9	6.5	0.4	0.06	0.4	1.8	29.8	147.1	295.1
Kalabo	209.7	187.7	158.6	29.8	2.3	0.2	0	0.3	2.3	26.5	100	189.5
Chinsali	257.5	222.8	217.4	45.5	4.1	0.7	0.02	0.2	1.1	12.4	100.7	232.4
Kabwe	234.1	187.1	118.7	22.8	2.7	0.05	0.09	0.6	1.5	16.5	98.2	233.3

Из табл.1.5.1. следует, что внутри Замбии наибольшие осадки выпадают в январе, а в мае, июне, июле и августе выпадает мало осадков или осадки совсем не выпадают.

На рисунках 1.5.1 – 1.5.4 показаны зависимости между климатическими внутригодовыми распределениями осадков на разных метеостанциях Замбии.

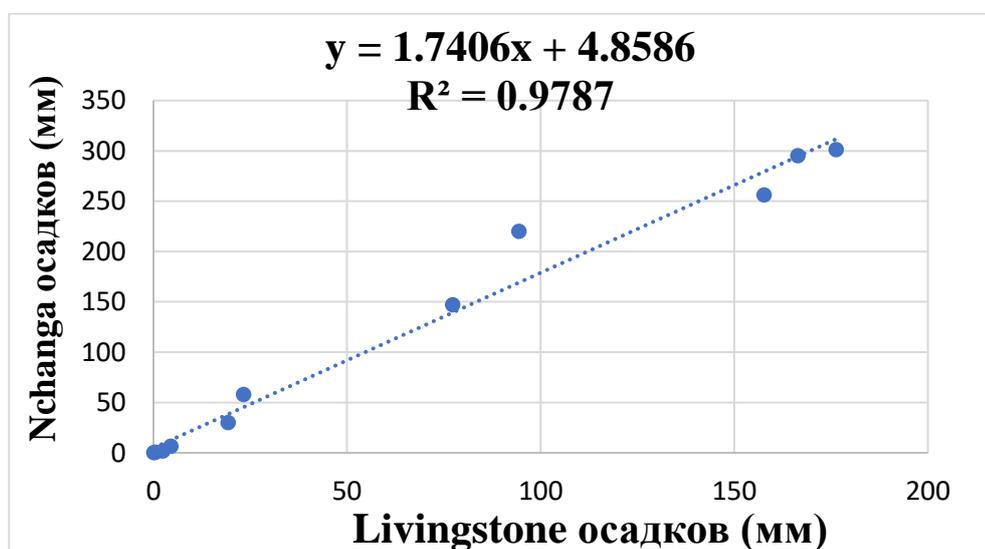


Рисунок.1.5.1. Зависимость между внутригодовыми распределениями осадков в Nchanga (север) и Livingstone (юг)

Как следует и рис.1.5.1, зависимость между климатическими сезонными распределениями осадков на севере и юге очень тесная с коэффициентом детерминации $R^2=0,98$.

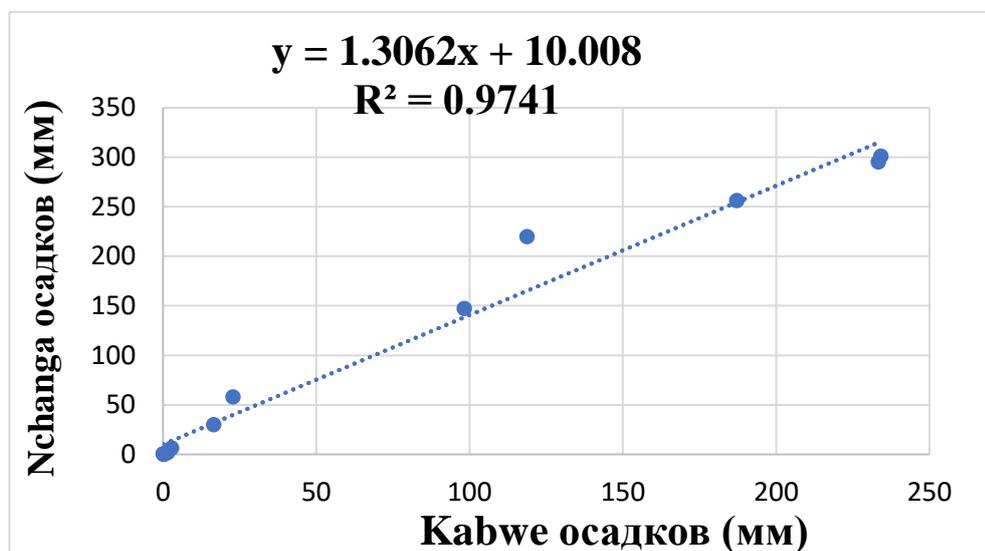


Рисунок.1.5.2. Зависимость между внутригодовыми распределениями осадков в Nchanga (север) и Kabwe (центр)

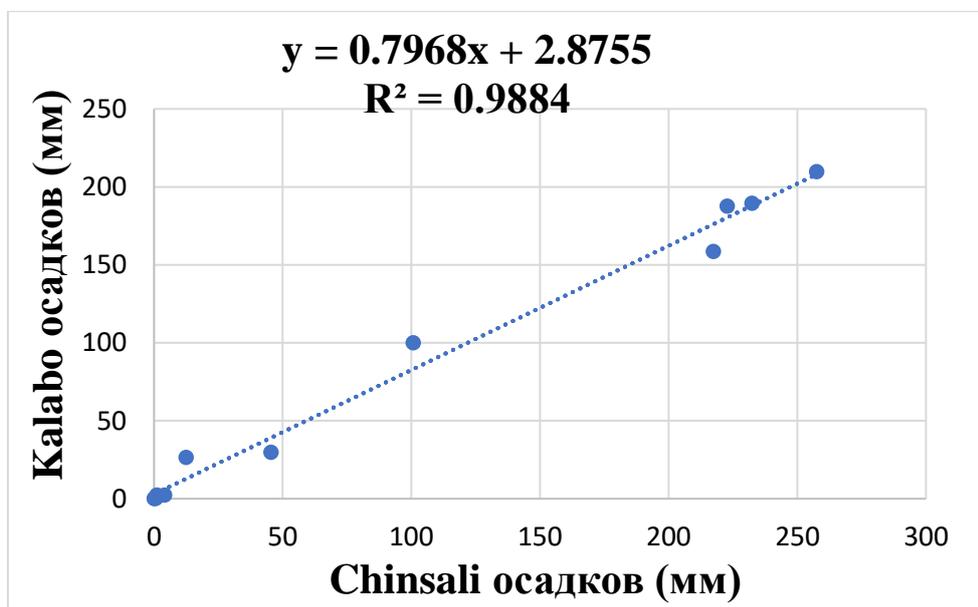


Рисунок.1.5.3. Зависимость между внутригодовыми распределениями осадков в Kalabo (юго-запад) и Chinsali (север)

Аналогичные тесные зависимости показаны и на рис.1.5.2 и 1.5.3 между метеостанциями Kabwe расположенной в центре и метеостанцией Nchanga, которая расположена на севере, а также между станциями Kalabo которая расположена на юго-запад и Chinsali которая расположена на севере. Поэтому можно сделать вывод, что внутригодовые распределения в разных частях страны имеют одинаковый вид, но отличаются только количеством осадков.

В качестве примера на 1.5.4 и 1.5.5 приведены климатические сезонные распределения осадков на юге и севере Замбии. Из рисунков видно, что внутри года распределение осадков одинаковы и отличаются только по величине (на севере больше, чем на юге).

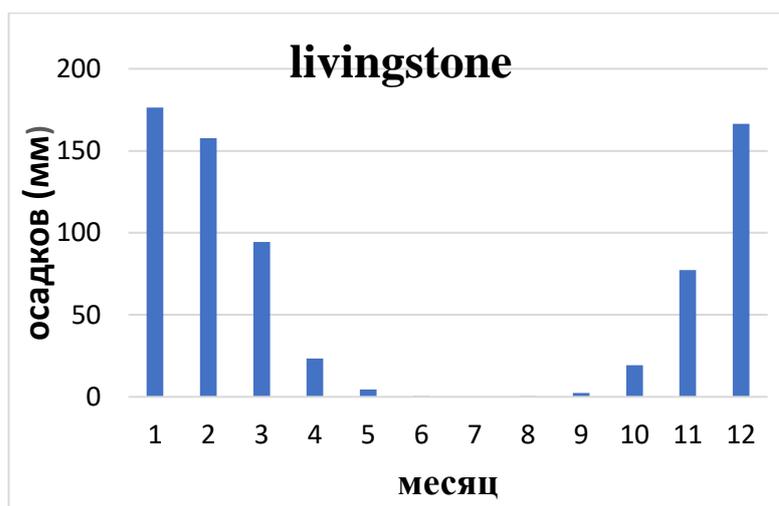


Рисунок 1.5.4. Сезонное распределение средних многолетних осадков на метеостанции Livingstone (юг Замбии)

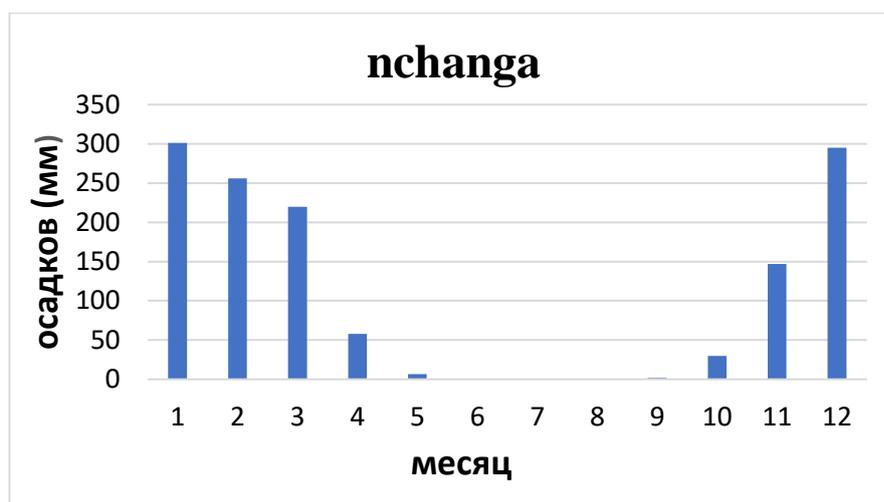


Рисунок 1.5.5. Сезонное распределение средних многолетних осадков на метеостанции Nchanga (север Замбии)

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 сумм месячных осадков по 60 метеостанциям на территории Замбии, которая приведена в табл.2.1.1.

Таблица 2.1.1

Продолжительности и периоды наблюдения за осадками по 60 метеорологическим станциям на территории Замбии

Код поста	Наименование	Среднемесячные расходы воды	кол-во лет	Широта, град	Долгота, град
67402	Kalungwishi	1958 - 1988	31	-9.8	29.3
67403	Kawambwa	1910 - 1998	89	-9.7	29
67404	Luwingu	1924 - 1992	69	-10	30
67411	SHIWA	1921 - 1992	72	-11.1	31.7
67413	Mbala	1905 - 1998	94	-8.8	31.3
67441	Mwinilunga	1909 - 1998	90	-11.7	24.4
67442	Kamapanda	1926 - 1986	61	-12.1	24.1

67461	Mansa	1910 - 1997	88	-11.1	28.9
67462	samfya	1957 - 1985	29	-11.4	29.5
67463	Sant	1925 - 1991	67	-11.1	30
67471	Misamfu	1973 - 1997	25	-10.1	31.2
67475	Kasama	1925 - 2016	92	-10.2	31.2
67476	Mulobola	1939 - 1986	48	-10.9	30.9
67477	Rosa	1926 - 1988	63	-10.2	31.7
67478	kaputu	1913 - 1990	78	-9.7	30.7
67481	Mbesuma	1923 - 1986	64	-10	32.1
67485	Chinsali	1926 - 1992	67	-10.5	32
67489	mzuzu	1946 - 2020	57	-11.5	34
67531	Chavuma	1917 - 1998	82	-13	22.7
67541	Kasempa	1903 - 1998	96	-13.5	25.9
67543	Kabompo	1949 - 1998	50	-13.6	24.2
67561	Ndola	1912 - 1998	87	-13.1	28.7
67562	Kafulafuta	1906 - 1992	87	-13.2	28.3
67563	Nchanga	1926 - 1991	66	-12.5	27.8
67564	mpongwe	1931 - 1992	62	-13.5	28.2
67565	chingola	1951 - 1988	38	-12.5	27.9
67569	kafironda	1966 - 1998	33	-12.6	28.2
67571	Serenje	1912 - 1998	87	-13.2	30.2
67572	Chitambo	1910 - 1986	77	-12.9	30.6
67576	Chingombe	1925 - 1992	68	-14.4	29.9
67581	Chipata	1903 - 1998	96	-13.6	32.6
67583	Lundazi	1919 - 1998	80	-12.3	32
67584	Chasefu	1926 - 1992	67	-11.9	33.1
67586	kamuzu	1981 - 2020	39	-14	34
67591	Mfuwe	1979 - 1998	20	-13.3	31.9
67599	Msoro	1920 - 1984	65	-13.6	31.9
67623	Kalabo	1918 - 1998	81	-14.9	22.7
67625	Lukulu	1946 - 1988	43	-14.4	23.3
67632	mongu	1904 - 2017	114	-15.3	23.2
67641	Kaoma	1917 - 1998	82	-14.8	24.8
67654	Mumbwa	1904 - 1998	95	-14.7	27
67655	Keembe	1957 - 1988	32	-14.9	27.8
67656	Namwala	1919 - 1992	74	-15.8	26.5
67659	Kafue	1957 - 1998	42	-15.8	29.6
67660	Mazabuka	1916 - 1992	77	-15.8	27.7
67661	mkusi	1913 - 1997	85	-14.3	29.3
67663	Kabwe	1910 - 2016	107	-14.5	28.5
67666	lusaka	1917 - 1998	82	-15.4	28.3
67667	Mukulu	1951 - 1998	48	-15.6	28.3
67669	Mulungushi	1926 - 1991	66	-14.7	28.8

67673	petauke	1919 - 1998	80	-14.2	31.2
67731	Senanga	1931 - 1998	68	-16.2	23.3
67741	sesheke	1908 - 1998	91	-17.5	24.3
67743	Livingstone	1904 - 2018	115	-17.8	25.8
67751	Magoye	1946 - 1998	53	-16.1	27.6
67752	chikuni	1905 - 1990	86	-16.4	27.5
67753	chomo	1916 - 1998	83	-16.8	26.9
67755	Kalomo	1903 - 1992	90	-17	26.5
67767	Atondwe	1920 - 1992	73	-15.3	30.3
67843	victoria	1904 - 1996	93	-18.1	25.8

Из результатов таблицы следует, что периоды наблюдений разные от 25 до 115 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.



Рисунок 2.2.1. Схема расположения метеостанций с наблюдениями за осадками на территории Замбии.

2.3 Оценка однородности и стационарности рядов наблюдений осадков 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 720 рядов осадков (60 метеостанций x 12 месяцев) приведены в табл.2.3.1. При этом в табл.2.3.1 приведены только случаи выявленных неоднородных и нестационарных ситуаций.

Таблица 2.3.1

Результаты оценки однородности и стационарности месячных сумм осадков с января по декабрь на метеостанциях Замбии по критериям Диксона(Д), Фишера(Ф) и Стьюдента (Ст.).

Mbesuma (67481)														
Январь			Апрель			Июль			Август			Ноябрь		
Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Ф
-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Mukulu (67667)														
Февраль			Апрель			май			Июнь			Июль		
Д	Д	Ф	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	(-)2.2	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
Август			сентябрь			Октябрь								
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.						
-	-	-	+	-	+	+	-	+						
Mazabuka (67660)														
МАРТ			Апрель			Июнь			Июль			Август		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Август			сентябрь			Октябрь								
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.						
-	-	-	+	-	+	+	-	+						
Mkusi (67663)														
Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	(-)2.4	+	+	-	+
Kasama (67475)														
май			июнь			июль			Август			сентябрь		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	(-)1.9	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+
Msoro (67599)														
Апрель			май			июнь			июль			Август		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	-	+	+	(-)1.0	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+
Livingstone (67743)														
июнь			июль			Август			сентябрь			Октябрь		

Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	
+	(-) 1.8	+	-	-	+	+	(-) 1.3	+	+	-	+	+	(-) 2.0	
Chingombe (67576)														
Апрель			май			июнь			Июль			Август		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	-	+	+	(-) 2.1	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+
Lundazi (67583)														
Апрель			май			июнь			Июль			Август		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	-	+	+	(-) 1.4	+	+	-	+	+	-	(-) 2.9	+	-	+
сентябрь			Октябрь			Декабрь								
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.						
-	-	+	+	-	+	+	-	+						
petauke (67673)														
Января			Апрель			май			Июнь			июль		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	(-)2.9	+	+	(-) 1.7	(-) 2.0	+	-	+	-	-	+	-	-	+
Август			Октябрь			Mfuwe (67591)								
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.				Апрель					
+	-	(+) 3.9	+	(-) 1.5	+				Д	Ф	Ст.			
									+	-	-			
Kafulafuta (67562)														
апрель			май			июнь			июль			сентябрь		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Lusaka (67666)														
май			июль			август			Октябрь					
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.			
+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+			
Senanga (67731)														
май			июнь			август			Декабрь					
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.			
+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+			
Kalomo (67755)														
Январь			сентябрь			Октябрь			Декабрь					
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.			
+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	(-)2.7	+			
Sesheke (67741)														

Февраль			апрель			май			июнь			сентябрь		
Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.	Д	Ф	Ст.
+	+	(-)1.7	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+
Октябрь														
Д	Ф	Ст.												
+	(-)2.1	+												

В табл.2.3.1. 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.[1]

Как видно из табл.2.3.1 особенно много случаев неоднородности и нестационарности для осадков в месяцы в сухой сезон года, так как в одни годы в эти месяцы могут совсем отсутствовать осадки, а в другие годы осадки наблюдаются, что делит временной ряд на две разные категории осадков.

В табл. 2.3.2 и 2.3.3 даны примеры оценки однородности и стационарности осадков для осадков января по метеостанции Livingstone.

Таблица.2.3.2.

Результаты оценки однородности эмпирического распределения сумм осадков за январь по метеостанции Livingstone по критериям Диксона.

Экстремум	Критерий	Расч. Знач	Критич.знач.	уровень значи. Расч.	Вывод
max	Диксон 1	0.0281	0.3145	11.0000	однороден
max	Диксон 2	0.0285	0.3238	11.0000	однороден
max	Диксон 3	0.0285	0.3845	11.0000	однороден
max	Диксон 4	0.0286	0.3945	11.0000	однороден
max	Диксон 5	0.0281	0.3845	11.0000	однороден
min	Диксон 1	0.0143	0.0570	11.0000	однороден
min	Диксон 2	0.0147	0.0670	11.0000	однороден
min	Диксон 3	0.0209	0.0862	11.0000	однороден
min	Диксон 4	0.0209	0.0862	11.0000	однороден
min	Диксон 5	0.0203	0.0762	11.0000	однороден

Из результатов оценки однородности в табл.2.3.2. следует, что максимальный экстремум является однородным при уровне значимости, соответствующему расчетному значению статистики, более 10% и расчетные значения меньше критических. Можно сделать вывод, осадки января являются однородным на метеостанции Livingstone.

Таблица.2.3.3.

Результаты оценки стационарности средних значений и дисперсий осадков января для метеостанции Livingstone.

Критерий	Расч. Знач.	Критич.знач.	уровень значи. Расч.	Вывод
Фишера	1.2301	1.6059	11.0000	однороден
Стьюдента	0.1185	1.9846	11.0000	однороден

Из данных табл.2.3.3 следует, что дисперсии и средние значения многолетних рядов осадков января являются стационарными при уровне значимости более 10%, т.е. вывод является надежным.

Многолетний временной ряд осадков января для метеостанции Livingstone приведен на рис.2.3.1.

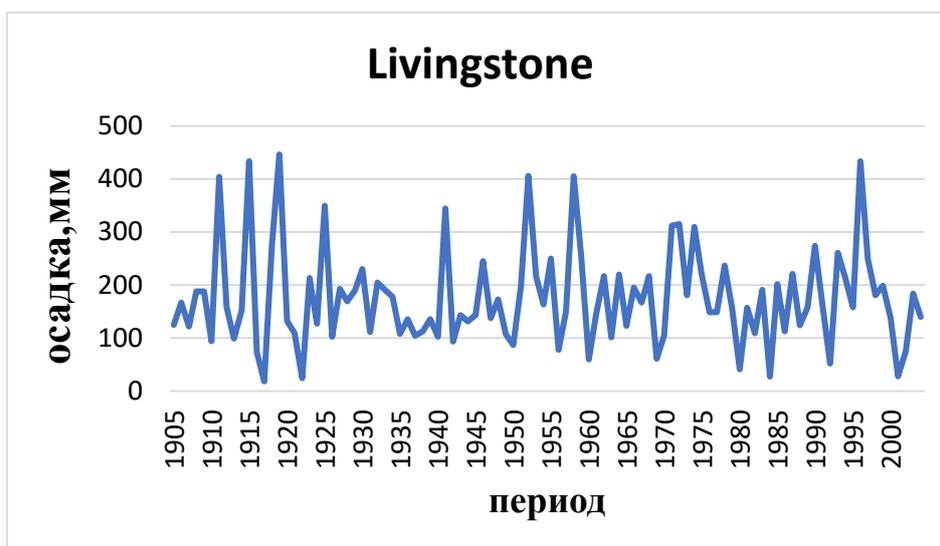


Рисунок.2.3.1. Многолетний ряд наблюдений осадков за январь на метеостанции Livingstone.

Еще один пример результатов полученной неоднородности и нестационарности в рядах сумм осадков августа по метеостанции Senanga приведен в табл.2.3.3 и 2.3.4 и на рис. 2.3.2.

Таблица.2.3.3

Результаты оценки однородности эмпирического распределения сумм осадков за август по метеостанции Senanga по критериям Диксона.

Экстремум	Критерий	Расч. Знач.	Критич.знач.	знач. Расч.	Вывод
max	Диксон 1	0.9459	0.5560	0.9000	неоднороден
max	Диксон 2	0.9459	0.5560	0.9000	неоднороден
max	Диксон 3	0.9498	0.6380	0.9000	неоднороден
max	Диксон 4	0.9498	0.6380	0.9000	неоднороден
max	Диксон 5	0.9498	0.6380	0.9000	неоднороден

Из табл.2.3.2. следует, что максимальный экстремум не является однородным при уровне значимости, соответствующему расчетному значению статистики, менее 1% и расчетные значения больше критических. Можно сделать вывод, что распределение сумм осадков за август является неоднородным.

Таблица.2.1.4.

Результаты оценки стационарности средних значений и дисперсий осадков август для метеостанции Senanga.

Критерий	Расч. знач	Критич.знач.	Уровень знач. расч.	Вывод
Фишера	341.4575	1.7926	0.9000	неоднороден
Стьюдента	1.0460	2.0367	11.0000	однороден

Как следует из таблицы.2.1.4. имеет место нестационарность дисперсий по критерию Фишера при уровне значимости менее 1%.

Нестационарный по дисперсиям ряд осадков за август приведен на рис.2.3.2, из которого следует, что нестационарность обусловлена одним экстремумом в первую половину ряда, в то время как в остальные годы осадки или отсутствуют или близки к нулю.

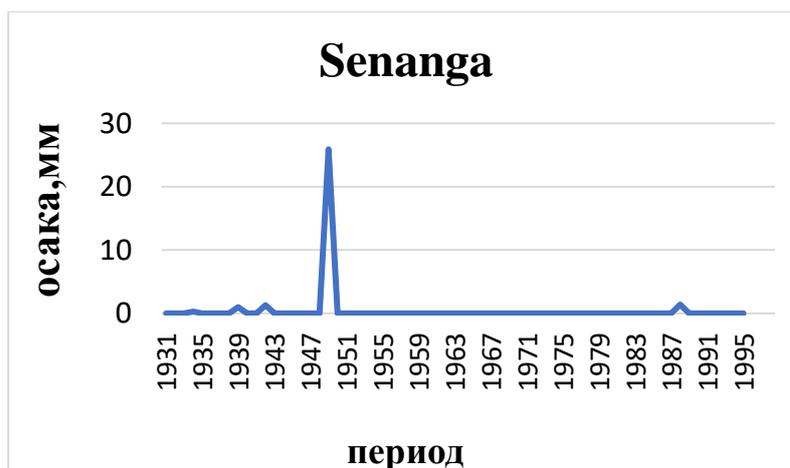


Рисунок 2.3.2. Многолетний ряд наблюдений осадков за август на метеостанции Senanga

2.4 Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду

Восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов осадков к многолетнему периоду основано на построении регрессионных уравнений с одним или несколькими предполагаемыми аналогами, которые имеют как более продолжительный период наблюдений, так и данные наблюдений в те годы, которые были пропущены на рассматриваемой станции. В частном случае такие регрессионные зависимости могут быть построены и между разными метеорологическими характеристиками на одной станции, например, между температурой воздуха и осадкам [1].

В таблице 2.4.1 приведены результаты приведения к многолетнему периоду осадков декабря, где n – продолжительность ряда наблюдений, N – продолжительность ряда после приведения к многолетнему периоду, а также период фактических наблюдений и период данных после восстановления. Минимальный коэффициент корреляции, который был задан при восстановлении, равен $R=0,7$.

Таблица.2.4.1

Показатели наблюдаемых и восстановленных рядов осадков декабря для метеостанций Замбии.

Код	станции	n	N	период факт	Период Восстановл.
67462	Samfya	28	84	1957-1985	1912-1995
67476	Mulobola	43	62	1939-1986	1925-1986
67478	Kaputu	74	81	1913-1990	1913-1996
67481	Mbesuma	59	67	1923-1986	1924-1991
67485	Chinsali	60	65	1926-1992	1924-1992
67562	Kafulafuta	83	90	1907-1992	1906-1997

67563	Nchanga	64	70	1926-1991	1926-1997
67564	mpongwe	60	88	1931-1992	1906-1992
67571	Serenje	84	86	1912-1998	1912-1998
67572	Chitambo	70	81	1910-1986	1910-1997
67591	Mfuwe	18	87	1979-1998	1910-1998
67625	Lukulu	42	80	1946-1988	1917-1997
67654	Mumbwa	92	94	1904-1998	1904-1998
67655	Keembe	31	54	1957-1988	1957-2019
67659	Kafue	40	94	1957-1997	1904-1997
67660	Mazabuka	75	82	1916-1992	1916-1997
67666	Lusaka	80	94	1917-1998	1904-1998
67667	Mukulu	44	80	1951-1998	1915-1998
67741	Sesheke	89	103	1908-1998	1904-2017
67751	Magoye	51	87	1946-1998	1904-1998
67753	Chomo	81	86	1916-1998	1904-1998
67755	Kalomo	75	86	1903-1992	1904-1997
67767	Atondwe	71	78	1920-1992	1920-1997
67843	Victoria	91	103	1904-1996	1904-2017

Как следует из результатов табл.2.4.1, из 60 станций внутри Замбии только для 24х были восстановлены осадки декабря, т.е. восстановление осуществлено для 40% всех станций. Это обусловлено тем, что их связности очень низкие и наибольшие значения коэффициентов парной корреляции равны 0,6 и 0,7 (рис.2.4.1), а минимальное критическое значение коэффициента парной корреляции не следует задавать меньше 0,6.

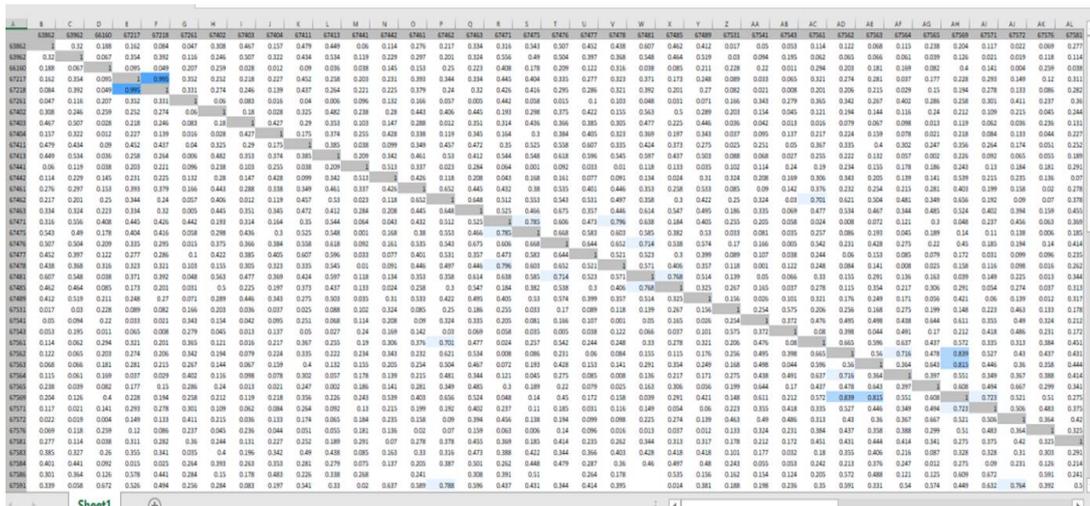


Рисунок 2.4.1. Матрица парных коэффициентов корреляции многолетних рядов осадков декабря по метеостанциям Замбии

Из данных корреляционной матрицы рис.2.4.1 следует, что связность рядов осадков очень низкая, а самые высокие значения коэффициентов парной корреляции за декабрь колеблются от 0.750 до 0.995.

Также можно отметить, что сумма исходных среднемесячных осадков за декабрь на 24 станциях равна 1505 мм, а после восстановления сумма среднемесячных осадков за декабрь стала 1982 мм, т.е. 477 мм были добавлены к исходным среднемесячным осадкам за декабрь на 24 станциях.

Пример многолетних графиков наблюдаемого и восстановленного рядов по метеостанции Victoria (67843) показан на рис.2.4.2 и 2.4.3.

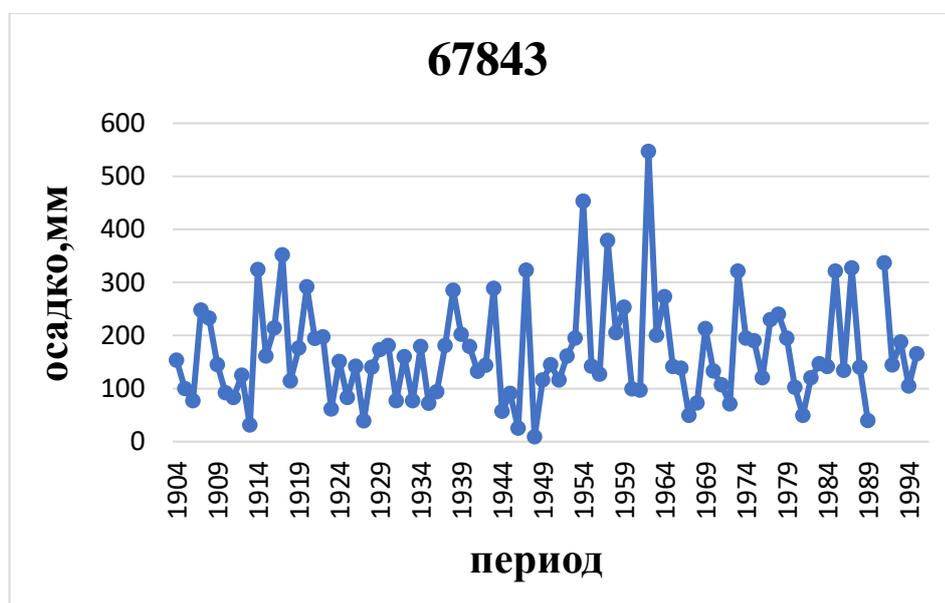


Рисунок.2.4.2 Многолетний ряд наблюдаемых осадков декабря по метеостанции 67843

На рис.2.4.2 приведен исходный многолетний ряд декабрьских осадков на метеостанции victoria до восстановления с периодом наблюдений с 1904 по 1996 гг. Среднее многолетнее значение для этого ряда равно 91 мм.

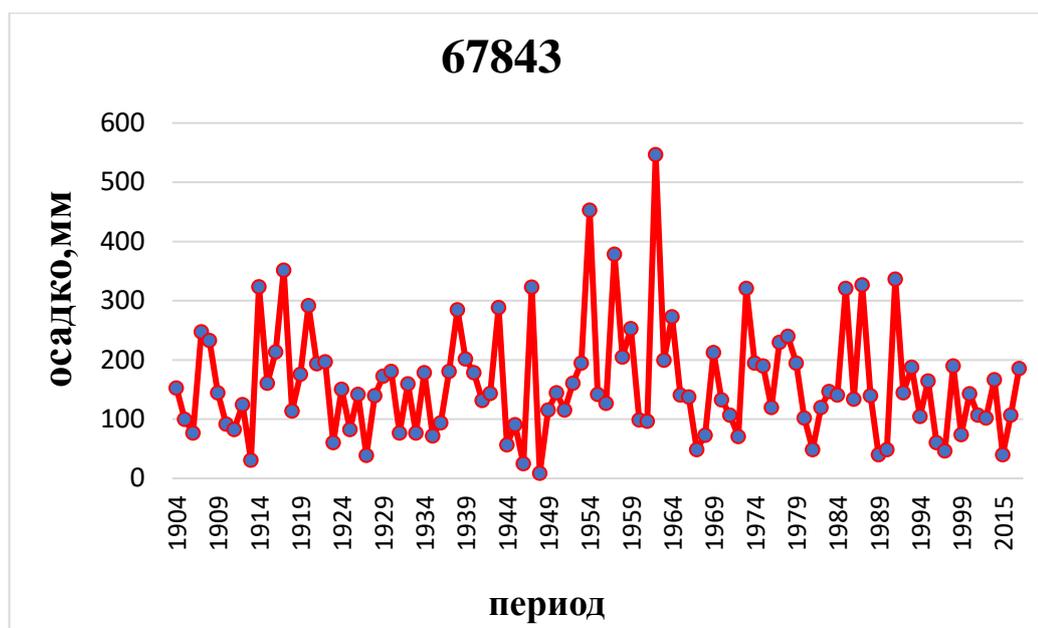


Рисунок.2.4.3 Многолетний ряд осадков декабря по метеостанции 67843 после приведения к многолетнему периоду

На рис.2.4.3 показан ряд осадков декабря на метеостанции victoria после восстановления и период наблюдений стал с 1904 по 2017 год т.е. увеличен на 12 лет в последние годы и после восстановления средние осадки за декабрь стали 103 мм.

2.5 Расчет климатических характеристик в стационарных условиях.

Расчеты по программе «Обеспеченность» были выполнены для рядов наблюдений в выбранном регионе за январь. 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 степени засушливости и наводнений были выбраны два месяца: январь как месяц с наибольшим количеством осадков и май месяц с меньшим количеством осадков как начало сухого сезона [1].

Таблица 2.5.1

Средние и расчетные значения обеспеченности 1% и 0,5% осадков на территории Замбии за январь (мм)

Код	Станция	Широта	долгота	Среднее	1%	0.5%
67402	Kalungwishi	-9.8	29.3	176.6	594	673
67411	Shiwa	-11.1	31.7	201.6	442	447
67413	Mbala	-8.8	31.3	218.1	437	469
67441	Mwinilunga	-11.7	24.4	235.5	433	458
67442	Kamapanda	-12.1	24.1	220.4	416	442
67461	Mansa	-11.1	28.9	226.6	431	459
67462	samfya	-11.4	29.5	268.4	641	692
67463	Sant	-11.1	30	294.5	562	589
67475	Kasama	-10.2	31.2	271	484	513
67478	kaputu	-9.7	30.7	232.9	551	602
67481	Mbesuma	-10	32.1	232.6	558	601
67485	Chinsali	-10.5	32.1	242.7	431	450
67531	Chavuma	-13	22.7	227.9	422	469
67541	Kasempa	-13.5	25.9	248.3	486	518
67543	Kabompo	-13.6	24.2	213.1	442	474
67561	Ndola	-13.1	28.7	281.1	565	603
67562	Kafulafuta	-13.2	28.3	271.1	487	507
67563	Nchanga	-12.5	27.8	287.5	582	625
67564	mpongwe	-13.5	28.2	253.4	454	474
67565	chingola	-12.5	27.9	268.5	543	593
67569	kafironda	-12.6	28.2	281.6	569	606
67571	Serenje	-13.2	30.2	269.2	480	501
67572	Chitambo	-12.9	30.6	263.1	454	473
67576	Chingombe	-14.4	29.9	228.9	588	641
67581	Chipata	-13.6	32.6	235.5	487	521
67583	Lundazi	-12.3	32.2	214.9	463	497
67584	Chasefu	-11.9	33.1	213.1	442	466
67591	Mfuwe	-13.27	31.9	214.4	415	436
67599	Msoro	-13.6	31.9	218.5	551	595
67623	Kalabo	-14.9	22.7	202.9	434	461
67625	Lukulu	-14.4	23.3	203.7	450	482
67632	mongu	-15.3	23.2	213.9	428	452
67641	Kaoma	-14.8	24.8	209.7	390	408

67654	Mumbwa	-14.7	27.1	212.8	435	462
67655	Keembe	-14.9	27.8	217.3	492	523
67656	Namwala	-15.8	26.5	177.1	459	505
67659	Kafue	-15.8	29.6	198.1	498	546
67660	Mazabuka	-15.8	27.7	167.3	489	538
67661	mkusi	-14.3	29.3	244.1	506	535
67663	Kabwe	-14.5	28.5	222.7	515	552
67666	Iusaka	-15.4	28.3	204.4	470	501
67667	Mukulu	-15.6	28.3	208.7	390	407
67669	Mulungushi	-14.7	28.8	232.2	567	613
67673	petauke	-14.2	31.2	243.2	492	520
67731	Senanga	-16	23.3	159.1	485	543
67741	sesheke	-17.5	24.3	145.3	388	421
67743	Livingstone	-17.8	25.8	160.5	458	502
67751	Magoye	-16	27.6	177.4	454	493
67752	chikuni	-16.4	27.5	202.2	419	442
67753	chomo	-16.8	26.9	193.6	399	420
67755	Kalomo	-17.1	26.5	160.2	525	595
67767	Atondwe	-15.3	30.3	175.5	491	531
67843	victoria	-18.1	25.8	165.9	420	448

Из данных табл.2.5.1 следует, что максимальные осадки редкой повторяемости (1 раз в 100 и 200 лет) могут быть больше средних многолетних в 2-3 раза.

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

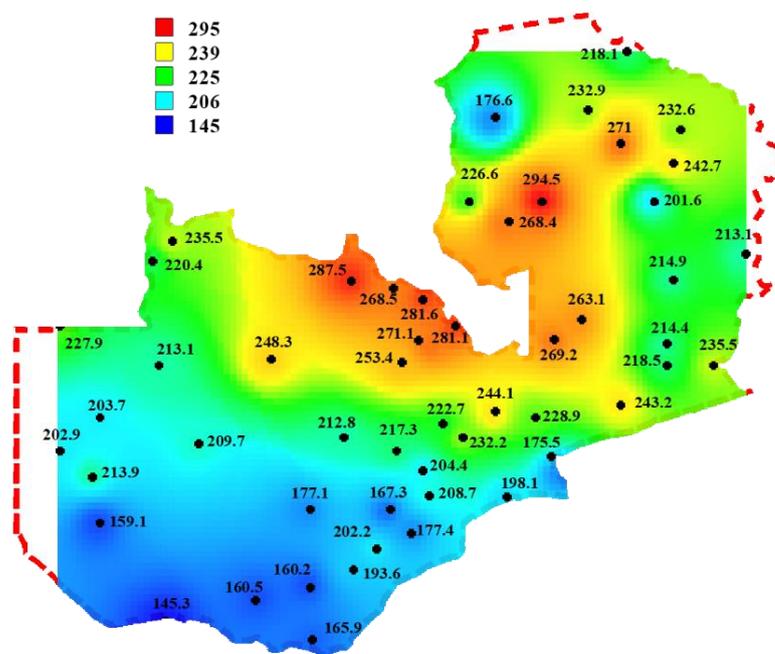


Рисунок 2.5.1. Пространственная модель средних многолетних осадков января (мм)

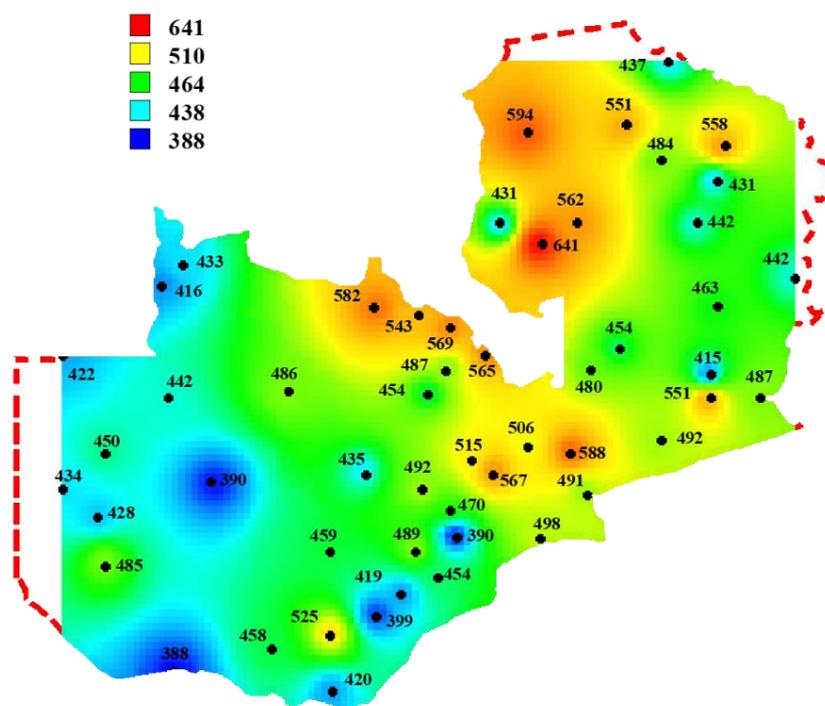


Рисунок 2.5.2. Пространственная модель осадков в январе повторяемостью 1 раз в 100 лет (мм)

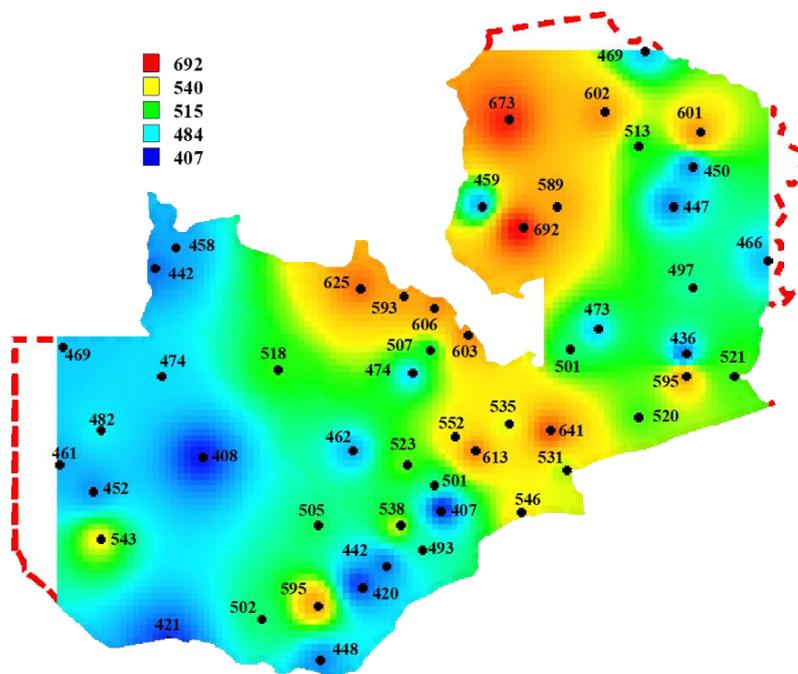


Рисунок 2.5.3 Пространственная модель осадков в январе повторяемостью 1 раз в 200 лет (мм)

Из пространственного распределения средних многолетних осадков за январь на территории Замбии, приведенного на рис.2.5.1. видно, что самое большое количество осадков наблюдается в январе в северной части Замбии - 294,5 мм, зарегистрированное на метеостанции Sant. Наименьшее количество осадков имеет место в южной части Замбии, на метеостанции Sesheke – 145,3 мм. Также видно, что в южной и юго-западной части Замбии выпадает меньше осадков по сравнению с северной и северо-восточной частью. Это связано с тем, что высота над уровнем моря влияет на количество осадков, Самая низкая точка находится в южной части и самая высокая точка находится в северной части, также ВКЗ больше влияет на Замбию в основном в северной и северо-восточной части Замбии.

Из пространственного распределения сумм осадков января редкой повторяемости 1 раз в 100 лет, проведенного на рис 2.5.2. видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Samfya (641 мм),

расположенной на севере Замбии. Минимальное значение наблюдается на метеостанции Sesheke (388 мм), расположенной на юге. Для повторяемости 1 раз в 200 лет пространственное распределение осадков января на территории Замбии приведено на рис 2.5.3, из которого видно, что максимальное значение наблюдается на той же метеостанции Samfya (692 мм) и минимальное значение на метеостанции Mukulu: (407 мм), также расположенной на юге Замбии.

Средние многолетние и расчетные значения сумм осадков обеспеченностью 1% и 0,5% приведены в табл.2.5.2 для мая как месяца начала сухого сезона.

Таблица 2.5.2

Средние и расчетные значения осадков на территории Замбии за май (мм)

Код	Станция	Широта	долгота	Среднее	1%	0.50%
67413	Mbala	-8.8	31.3	7.4	113	132
67441	Mwinilunga	-11.7	24.4	1.9	93	107
67442	Kamapanda	-12	24.1	2.6	55	63
67461	Mansa	-11.1	28.9	1.6	60	70
67463	Sant	-11.1	30	0.9	43	50
67475	Kasama	-10.2	31.2	1.5	53	62
67478	kaputu	-9.7	30.7	2.9	86	99
67481	Mbesuma	-10	32.1	1.7	32	35
67485	Chinsali	-10.5	32	0.8	41	47
67531	Chavuma	-13	22.7	0.5	24	28
67541	Kasempa	-13.5	25.9	0.6	29	34
67543	Kabompo	-13.6	24.2	0.8	39	45
67561	Ndola	-13	28.7	0.7	36	42
67562	Kafulafuta	-13.2	28.3	0.6	31	36
67563	Nchanga	-12.5	27.8	1.3	64	74
67564	mpongwe	-13.5	28.2	0.7	36	42
67565	chingola	-12.5	27.9	1.4	58	72
67571	Serenje	-13.2	30.2	0.9	40	49
67572	Chitambo	-12.9	30.6	0.8	26	29
67576	Chingombe	-14.4	29.9	0.5	22	25

67581	Chipata	-13.6	32.6	0.7	35	41
67583	Lundazi	-12.3	32	1.4	32	34
67584	Chasefu	-11.9	33.1	1.6	68	80
67599	Msoro	-13.6	31.9	1	50	58
67623	Kalabo	-14.9	22.7	0.5	22	25
67625	Lukulu	-14.4	23.3	0.6	32	37
67632	mongu	-15.3	23.2	1	49	57
67641	Kaoma	-14.8	24.8	0.7	32	37
67654	Mumbwa	-14.7	27	0.6	30	35
67655	Keembe	-14.9	27.8	0.8	41	48
67656	Namwala	-15.8	26.5	0.3	13	16
67659	Kafue	-15.8	29.6	0.6	27	32
67660	Mazabuka	-15.8	27.7	0.1	4	5
67661	mkusi	-14.3	29.3	0.9	43	50
67663	Kabwe	-14.5	28.5	0.8	42	50
67666	lusaka	-15.4	28.3	0.5	25	29
67667	Mukulu	-15.6	28.3	1	50	58
67669	Mulungushi	-14.7	28.8	0.5	26	30
67673	petauke	-14.2	31.2	1.1	55	65
67731	Senanga	-16	23.3	0.4	18	24
67741	sesheke	-17.5	24.3	0.6	30	35
67743	Livingstone	-17.8	25.8	1.1	43	54
67751	Magoye	-16	27.6	0.1	3	4
67752	chikuni	-16.4	27.5	0.5	26	30
67753	chomo	-16.8	26.9	0.9	44	52
67755	Kalomo	-17	26.5	0.7	35	40
67767	Atondwe	-15.3	30.3	0.5	23	27
67843	victoria	-18.1	25.8	1.1	53	62

Из данных табл.2.5.2 следует, что максимальные осадки редкой повторяемости в мае (1 раз в 100 и 200 лет) могут быть больше средних многолетних в десятки раз, что и фиксирует их как неоднородные экстремумы по критериям Диксона на фоне средних многолетних осадков равных максимум 1-2 мм. Такие экстремумы могут составлять даже более 100 мм.

На рис.2.5.4 – 2.5.6 показаны пространственные распределения средних многолетних осадков мая и наиболее возможных осадков обеспеченности 1% и 0.5%, что соответствует повторяемости 1 раз в 100 и 200 лет.

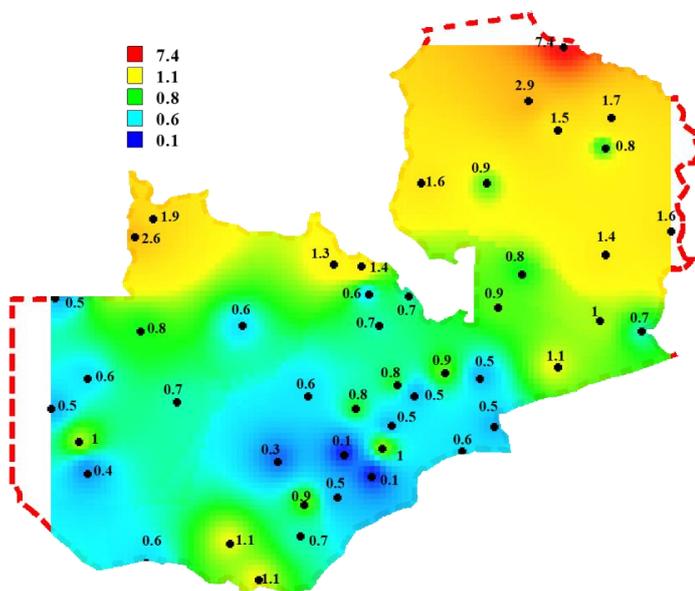


Рисунок 2.5.4. Пространственная модель средних многолетних осадков мая (мм)

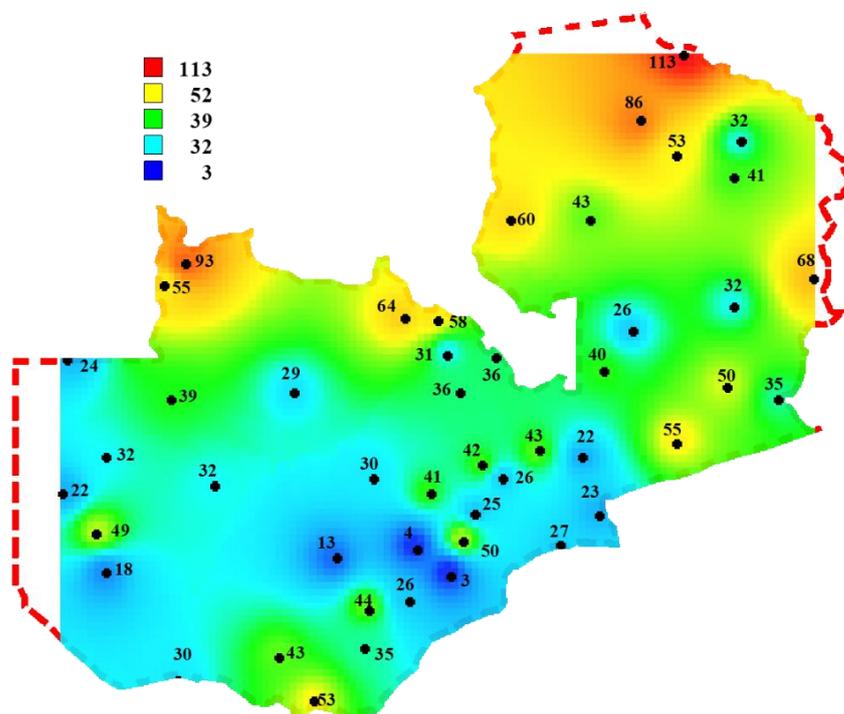


Рисунок 2.5.5. Пространственная модель осадков мая повторяемостью 1 раз в 100 лет (мм)

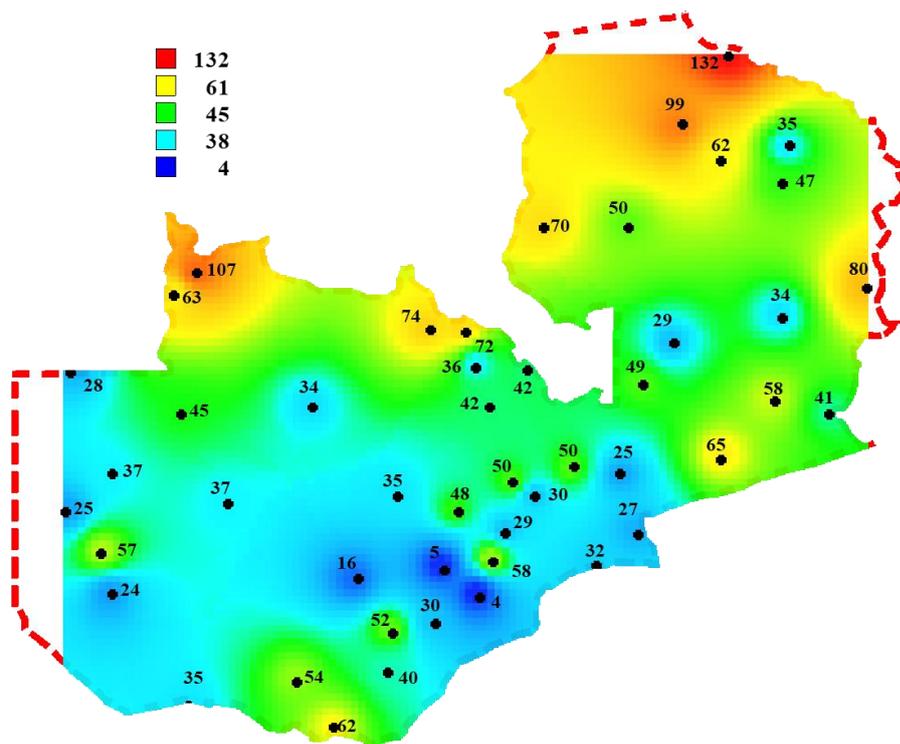


Рисунок 2.5.6. Пространственная модель осадков мая повторяемостью 1 раз в 200 лет

Из пространственного распределения средних многолетних осадков за май на территории Замбии, приведенного на рис.2.5.4, следует, что в мае в начале сухого сезона самое большое значение средних многолетних осадков равно 7,4 мм и зарегистрировано на метеостанции Mbala, расположенной в северной части Замбии. Наименьшее количество осадков наблюдается в южной части Замбии на метеостанции Magoye и равно 0,1 мм.

Сравнивая среднее количество осадков в январе, как показано на Рис 2.5.1, и мае, как показано на Рис 2.5.4, видно, что в северной части всегда выпадает много осадков по сравнению с южной частью Замбии и это связано с рельефом, который играет большую роль при выпадении осадков.

Пространственное распределение осадков редкой повторяемости 1 раз в 100 лет за май проведено на рис 2.5.5, из которого видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Mbala (113 мм), расположенной в северной части Замбии. Минимальное значение имеет место на метеостанции Magoye (3.0 мм), расположенной в южной части Замбии.

Пространственное распределение осадков редкой повторяемости 1 раз в 200 лет за май проведено на рис 2.5.6, из которого видно, что максимальное значение наблюдается на метеостанции Mbala (132 мм), расположенной в северной части Замбии. Минимальное значение имеет место на метеостанции Magoye (4.0 мм), расположенной в южной части Замбии.

Глава 3. Определение связи между данными наблюдений и реанализа

3.1. Корреляционная матрица

В связи с тем, что осадки имеют низкую связанность по пространству, не удалось осуществить приведение большинства рядов к многолетнему периоду. Однако же в Интернете имеются многолетние непрерывные ряды наблюдений за осадками в узлах регулярной сетки или данные реанализа. Поэтому была оценена возможность использования многолетних непрерывных рядов данных реанализа осадков для исследования влияния современного изменения климата. Для оценки надежности данных реанализа было проведено их сравнение с данными наблюдений на метеостанциях. В этом случае рассматривались те данные реанализа, которые были проинтерполированы в точки с координатами метеостанций.

Была выбрана 21 метеостанция с многолетними рядами фактических наблюдений за осадками за каждый месяц и столько же многолетних рядов данных реанализа проинтерполированных в координаты этих метеостанций (таблица 3.1.1.).

Таблица 3.1.1

Продолжительности и периоды данных реанализа за осадками по 21 метеорологической станции на территории Замбии.

Код поста	Наименование	Период наблюдений	кол-во лет	Широта, град	Долгота, град
77563	station 11	1901 - 2019	119	-12.5	27.8
77565	station 16	1901 - 2019	119	-12.5	27.9
77571	station 21	1901 - 2019	119	-13.2	30.2
77461	station 22	1901 - 2019	119	-13	22.7
77403	station 8	1901 - 2019	119	-9.7	29

77413	station 14	1901 - 2019	119	-8.8	31.3
77441	station 18	1902 - 2019	118	-11.7	24.4
77442	station 6	1901 - 2019	119	-12	24.1
77475	station 7	1901 - 2019	119	-10.2	31.2
77485	station 1	1901 - 2019	119	-10.5	32.1
77561	station 19	1901 - 2019	119	-13.1	28.7
77581	station 2	1901 - 2019	119	-13.6	32.6
77632	station 15	1901 - 2019	119	-15.3	23.2
77654	station 17	1901 - 2019	119	-14.7	27
77659	station 5	1901 - 2019	119	-15.8	29.6
77660	station 13	1901 - 2019	119	-15.8	27.7
77663	station 4	1901 - 2019	119	-14.5	28.5
77666	station 12	1901 - 2019	119	-15.4	28.3
77673	station 20	1901 - 2019	119	-14.3	31.2
77743	station 10	1901 - 2019	119	-17.8	25.8
77753	station 3	1901 - 2019	119	-16.8	26.9

Как следует из таблицы 3.1.1, продолжительность всех рядов данных реанализа одинакова и составляет 119 лет с 1901 по 2019 гг. с отсутствием пропусков.

Для каждой пары многолетних рядов были рассчитаны коэффициенты парной корреляции за совместный период и результаты расчетов приведены в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2.

Коэффициенты парной корреляции между данными наблюдений
и реанализа

код	месяцы												средний за года
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
77403	0.61	0.51	0.71	0.81	0.91	0.81	-	-	0.75	0.8	0.85	0.77	0.75
77413	0.72	0.57	0.64	0.81	0.78	0.8	-	-	0.72	0.71	0.84	0.81	0.74
77441	0.64	0.61	0.52	0.31	0.21	0.5	-	0.3	0.56	0.68	0.71	0.78	0.53
77442	0.73	0.78	0.84	0.85	0.85	0.8	-	0.78	0.72	0.61	0.73	0.82	0.77
77461	0.76	0.51	0.63	0.62	0.61	-	-	0.61	0.68	0.67	0.71	0.7	0.65
77475	0.72	0.51	0.78	0.81	0.91	-	-	-	0.75	0.81	0.91	0.83	0.78
77485	0.71	0.67	0.71	0.79	0.71	-	-	-	0.81	0.75	0.83	0.82	0.76
77561	0.74	0.73	0.72	0.69	0.61	-	-	-	0.65	0.62	0.68	0.55	0.67

77563	0.73	0.7	0.71	0.83	0.87	-	-	-	0.71	0.85	0.94	0.9	0.80
77565	0.71	0.61	0.63	0.74	0.82	-	-	-	0.81	0.71	0.85	0.81	0.74
77571	0.63	0.64	0.71	0.78	0.75	0.7	-	-	0.72	0.51	0.62	0.67	0.67
77581	0.77	0.78	0.76	0.77	0.91	0.7	-	-	0.78	0.71	0.75	0.75	0.77
77632	0.81	0.81	0.81	0.81	0.72	0.91	-	0.82	0.72	0.85	0.78	0.76	0.80
77654	0.86	0.91	0.85	0.91	0.79	-	-	-	0.77	0.91	0.81	0.9	0.86
77659	0.91	0.92	0.91	0.91	0.51	-	-	-	0.74	0.75	0.85	0.91	0.82
77660	0.9	0.91	0.91	0.93	0.81	-	-	-	0.72	0.91	0.82	0.92	0.87
77663	0.83	0.89	0.9	0.85	0.9	-	-	-	0.72	0.92	0.79	0.85	0.85
77666	0.91	0.89	0.95	0.91	0.84	-	-	-	0.75	0.9	0.75	0.93	0.87
77673	0.81	0.75	0.71	0.78	0.68	0.65	-	-	0.5	0.85	0.52	0.78	0.70
77743	0.81	0.8	0.91	0.77	0.73	-	-	-	0.62	0.83	0.75	0.9	0.79
77753	0.77	0.83	0.91	0.81	0.71	-	-	-	0.71	0.91	0.79	0.91	0.82

В табл.3.1.2 жирным цветом выделены ситуации с коэффициентами парной корреляции $R \geq 0,75$ при которых можно считать, что применение данных реанализа надежно и допустимо.

Также видно, что наиболее тесные взаимосвязи имеют место в месяцы сезона дождей с октября по февраль. Так в октябре таких случаев надежной взаимосвязи 62%, в ноябре уже 71%, в декабре – 86% (максимальное значение), в январе резко падает до 48%, в феврале 52%. В переходный сезон в марте 52%, в апреле – 81%. В мае в начале сухого сезона снова падает до 57% и в сухой сезон в связи с тем, что было много нулевых значений коэффициенты корреляции не рассчитывались. В сентябре как завершающем месяце сухого сезона эффективных взаимосвязей было 33%. Поэтому наибольшая связанность наблюдений с данными реанализа имела место в ноябре, декабре и в апреле и составляла более 70% случаев.

Если рассчитать коэффициенты корреляции между годовыми суммами осадков, то эффективных случаев будет 67%, т.е. для 2/3 метеостанций в среднем эффективно можно использовать данные реанализа. При этом есть метеостанции (77663 и 77667), где применение данных реанализа эффективно во все месяцы года. В тоже время есть метеостанции, где связанность между данными наблюдений и реанализа низкая также во все месяцы года: это метеостанции 77561, 77441, 77461.

Примеры внутригодичного распределения коэффициентов парной корреляции между данными наблюдений и реанализа для двух разных случаев связанности приведены на рис.3.1.1 и 3.1.2.

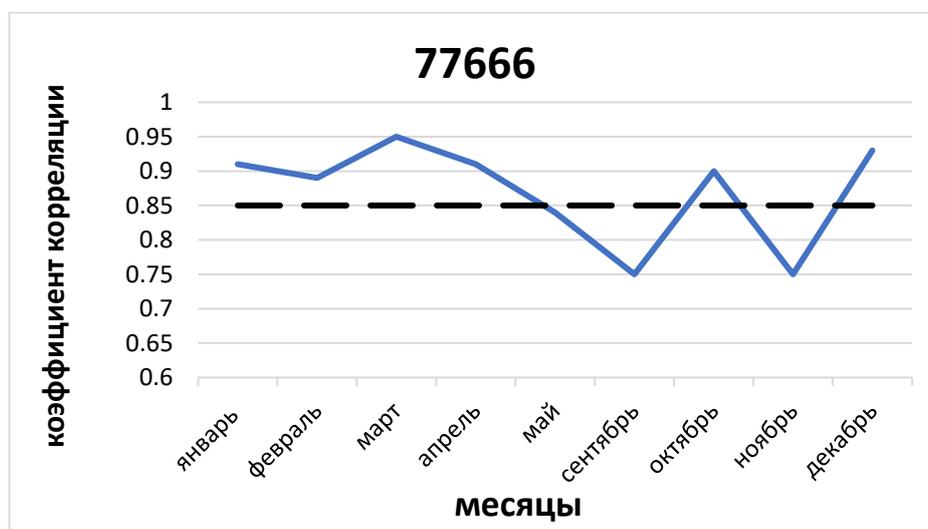


Рисунок 3.1.1. Внутригодичное распределение коэффициентов парной корреляции между данными наблюдений и реанализа (станция 77666)

Метеостанция 77666 расположена в центральной части Замбии и значения коэффициентов корреляции ниже 0,85 имеют место в сентябре и ноябре



Рисунок 3.1.2. Внутригодовое распределение коэффициентов парной корреляции между данными наблюдений и реанализа (станция 77441)

На 3.1.2 показано сезонное распределение коэффициентов парной корреляции на метеостанции 77441, расположенной в северо-восточной части Замбии. Из рисунка следует, что во все месяцы значения коэффициента корреляции были меньше $R=0.85$ и это значит, что эффективная связь между данными наблюдений и реанализа отсутствует.

3.2. Пространственное распределение коэффициентов парной корреляции

Для того, чтобы понять в какой части Замбии имеет место лучшая связанность данных наблюдений и реанализа, были построены пространственные распределения коэффициентов парной корреляции за отдельные месяцы. На рис.3.2.1 представлено пространственное распределение коэффициентов парной корреляции между годовыми суммами наблюдаемых осадков и осадков реанализа. Из рисунка следует, что наибольшая связанность с коэффициентами корреляции $R=0,87$ наблюдается в центральной части Замбии. Примерно такие же высокие значения с минимальным $R=0,79$ имеют место и во всей южной части страны. Наименьшая связанность наблюдается на севере страны и на северо-востоке, где как раз и выпадают наибольшие по абсолютной величине осадки (рис. 2.5.1). Здесь коэффициенты парной корреляции варьируют от совсем малых значений $R=0,53$ (метеостанция 77441)

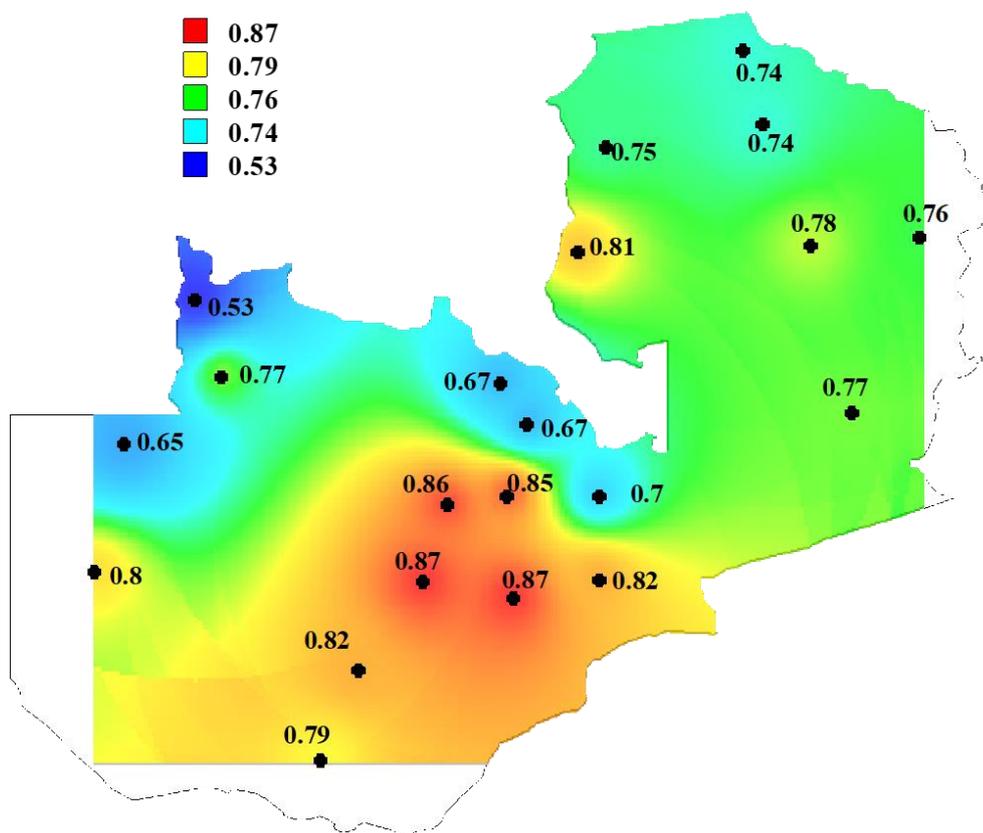


Рисунок 3.2.1. Распределение парных коэффициентов корреляции между наблюдаемыми осадками за год и данными реанализа

Глава 4. Оценка климатических изменений влажного сезона

4.1. Климатические изменения осадков ноября

Для оценки климатических изменений осадков влажного сезона применялась методика статистического моделирования и аппроксимации многолетних рядов моделями нестационарного среднего значения: моделью линейного тренда и ступенчатых изменений. Также была применена модель гармонических колебаний при нахождении периода колебаний по автокорреляционной функции. Оценка эффективности моделей нестационарного среднего осуществлялась путем сравнения стандартных отклонений остатков от этих моделей со средним квадратическим отклонением ряда наблюдений (СКО). При этом принималась, что если

относительная разность СКО и стандарта остатков модели нестационарного среднего $\Delta > 10\%$, то нестационарная модель уже может считаться эффективной.

Расчет параметров основных моделей временных рядов осуществлялся по программе TIMOD, ее модификации TIMOD1, а также по программе расчета автокорреляционной функции и аппроксимации ряда наблюдений гармоникой [3].

Результаты аппроксимации многолетних временных рядов как наблюдений, так и реанализа моделями линейного тренда и ступенчатых изменений приведены в табл.4.1.1 для осадков ноября. В качестве показателей эффективности приведены Δ в % для модели линейного тренда ($\Delta_{тр}$, %) и модели ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$, %). Кроме этого, в табл.4.1.1 приведены начальный год наблюдений ($T_{нач}$) и коэффициент корреляции между осадками и временем для модели тренда ($R_{тр}$). Для оценки устойчивости показателей нестационарности начальный год временного ряда задавался разным: с самого начала наблюдений или начала ряда реанализа, с 1920 г. и с 1960 г. При задании года начала наблюдений 1960 г. рассматривались климатические наблюдения за последние 60 лет. Жирным цветом в табл.4.1.1 выделены ситуации $\Delta > 10\%$, т.е. эффективных нестационарных моделей.

Таблица 4.1.1

Показатели эффективности моделей линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$) для осадков ноября

Данные наблюдений					Данные реанализа				
КОД	$T_{нач}$	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст}$	$R_{тр}$	КОД	$T_{нач}$.	.	$R_{тр}$
67403	весь	0.2	0.8	0.06	77403	весь	0.2	1.8	0.1
	1920	0.2	0.8	0.06		1920	0.2	2.3	-0.1
	1960	0.5	0.7	-0.1		1960	1	4.5	-0.1
67413	весь	2.5	4.3	0.22	77413	весь	0.5	1.4	0.1
	1920	2.5	4.3	0.22		1920	0	0.8	0.02
	1960	0.4	3.5	0.09		1960	1.5	3.4	-0.2
67441	весь	3.7	3.9	-0.27	77441	весь	0.2	3.3	0.1

	1920	2.1	2.9	-0.21		1920	0.2	1.7	-0.1
	1960	6	7.3	-0.34		1960	1.1	5.6	-0.2
67442	весь	0.1	1.9	-0.04	77442	весь	0.6	3.4	0.11
	1920	0	2	-0.03		1920	0	0.7	-0.1
	1960	6.2	8.1	-0.35		1960	0.7	3.6	-0.1
67461	весь	3.7	3.9	-0.27	77461	весь	0.4	1.4	0.1
	1920	2.1	2.9	-0.21		1920	0	1.2	0.1
	1960	6	7.3	-0.34		1960	0.3	4	-0.1
67475	весь	0.2	0.8	0.06	77475	весь	0.3	1.3	0.2
	1920	0.2	0.8	0.06		1920	0	0.9	-0.03
	1960	0.5	0.7	-0.1		1960	2	5	-0.02
67477	весь	0.2	0.8	0.06	77477	весь	0	0.6	-0.02
	1920	0.2	0.8	0.06		1920	0	0.9	0.01
	1960	0.5	0.7	-0.1		1960	0.6	2.6	-0.02
67485	весь	2.5	4.3	0.22	77485	весь	0.3	1.8	-0.01
	1920	2.5	4.3	0.22		1920	0	1.3	-0.1
	1960	0.4	3.5	0.09		1960	0.8	2.6	-0.1
67561	весь	0.3	1.8	-0.07	77561	весь	0.9	1.8	-0.02
	1920	0.1	1.7	-0.05		1920	0.4	1.3	1.01
	1960	1.7	6.2	-0.19		1960	0	3.4	-0.1
67563	весь	0.1	1.1	0.03	77563	весь	0.4	3	0.09
	1920	0.1	1.1	0.03		1920	0	1.2	-0.02
	1960	2.1	4.7	-0.2		1960	0.1	3.2	-0.04
67565	весь	0.8	1.8	-0.13	77565	весь	0.9	0.8	0.13
	1920	0.8	1.8	-0.13		1920	0.4	1.3	0.08
	1960	3.8	4.2	-0.27		1960	0	3.4	-0.03
67571	весь	0	0.7	0.02	77571	весь	0.1	0.8	0.04
	1920	0	1.2	0.03		1920	0.2	1.1	0.06
	1960	3.9	4.2	-0.28		1960	0.2	3.1	-0.1
67581	весь	0.2	0.8	0.07	77581	весь	0.2	3.1	-0.1
	1920	0.2	0.8	0.07		1920	0.1	0.4	-0.1
	1960	0	0.7	-0.01		1960	0	1.1	-0.01
67632	Весь	0.6	2.4	0.11	77632	Весь	0.3	3.6	0.07
	1920	0	0.8	0.03		1920	0.1	1.2	-0.1
	1960	0	1.2	0.02		1960	1.2	5.9	-0.2
67654	Весь	0.5	6.2	-0.1	77654	Весь	0.3	3.6	0.07
	1920	1.5	8.7	-0.17		1920	0.2	1.1	0.06
	1960	8.7	14.6	-0.41		1960	0	1.5	0.01
67659	Весь	0.3	2.5	-0.07	77659	Весь	0.5	1.2	0.1
	1920	0.3	2.5	-0.07		1920	0.2	1.1	0.06
	1960	0.9	3.2	-0.13		1960	0	1.3	-0.02
67660	Весь	0.2	2.7	-0.06	77660	Весь	0.4	1.2	0.09
	1920	0.1	2.6	-0.03		1920	0.1	1	0.04

	1960	10.4	11.5	-0.44		1960	0.1	1.7	-0.03
67663	Весь	0.3	1.6	0.07	77663	Весь	0.5	1.6	0.1
	1920	0.5	1.9	0.1		1920	0.1	1.2	0.04
	1960	1.1	3.3	0.15		1960	0.2	2.7	-0.1
67666	Весь	0.3	3	-0.08	77666	Весь	0.5	1.7	0.1
	1920	0.2	2.9	-0.06		1920	0.1	1.2	0.03
	1960	2.5	6.7	-0.22		1960	0.1	1.7	-0.04
67673	Весь	0.3	1.8	-0.05	77673	Весь	0.1	0.7	-0.01
	1920	0.1	1.7	-0.07		1920	0	1.8	0.03
	1960	1.7	6.2	-0.04		1960	0.1	2.6	-0.05
67743	Весь	0.2	1.2	-0.05	77743	Весь	0	1.3	-0.01
	1920	0.2	1.4	-0.07		1920	0.8	1.8	-0.13
	1960	0.1	2.1	-0.04		1960	0.2	1.6	-0.1
67753	Весь	2.5	3.4	0.22	77753	Весь	0	1.5	0.03
	1920	0.4	0.9	0.09		1920	0.3	1.1	-0.1
	1960	1.5	1	0.17		1960	0.3	2.1	-0.1

Результаты табл. 4.1.1 показывают, что эффективные нестационарные модели имеют место всего на 2 метеостанциях и при рассмотрении рядов осадков с 1960 г. и на основе данных наблюдений. Показатели нестационарности были невелики и составляли $\Delta = 10,4 - 14,6\%$. Коэффициенты корреляции со временем были статистически значимы в 8 случаях и показывают, что осадки уменьшаются, т.к. R_{tr} был отрицательным. При этом такое уменьшение наиболее существенно именно для последней половины ряда с 1960 г.

На рис 4.1.1 показано пространственное распределение коэффициентов корреляции R_{tr} для осадков ноября, из которого следует, что наибольшие уменьшения осадков имеют место в центральной части Замбии.

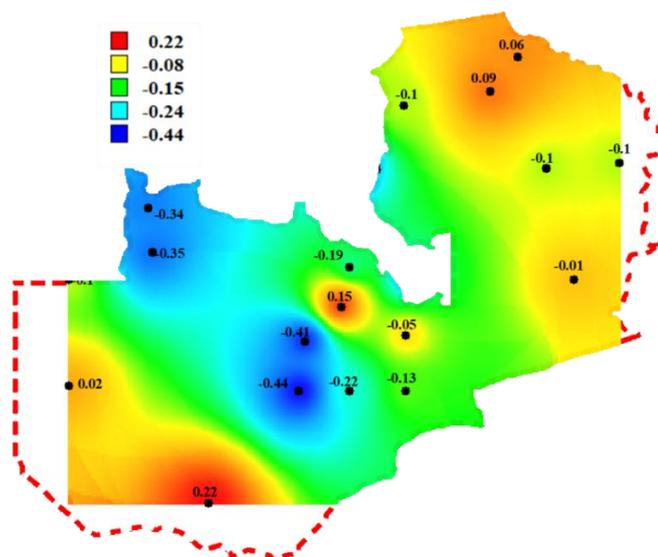


Рисунок 4.1.1 Пространственное распределение коэффициентов корреляции между осадками ноября и временем

4.2. Климатические изменения осадков декабря

Результаты аппроксимации многолетних временных рядов как наблюдений, так и реанализа моделями линейного тренда и ступенчатых изменений для осадков декабря приведены в табл.4.2.1.

Таблица 4.2.1

Показатели эффективности моделей линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст.}$) для осадков декабря в Замбии

Данные наблюдений					Данные реанализа				
КОД	Тнач	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст.}$	$R_{тр}$	КОД	Тнач			$R_{тр}$
67403	весь	0.1	2.3	0.05	77403	весь	0.3	2.7	0.08
	1920	0.1	2.3	0.05		1920	0	2.6	0.03
	1960	2.1	4.5	-0.2		1960	0.2	3.3	-0.06
67413	весь	0	1.3	0.03	77413	весь	1.1	1.9	0.15
	1920	0.1	2.7	-0.05		1920	0.3	1.2	0.08
	1960	4.9	4.1	-0.31		1960	0.3	1.9	-0.07
67441	весь	0.1	2.3	0.05	77441	весь	0	1	-0.01
	1920	0.1	2.3	0.05		1920	0.7	2.8	-0.12
	1960	2.1	4.5	-0.2		1960	0	2.3	-0.02

67442	весь	1.6	2.4	-0.18	77442	весь	0	1.1	-0.01
	1920	1.6	2.4	-0.18		1920	0.8	2.8	-0.13
	1960	0.2	1.9	-0.07		1960	0.1	3.4	-0.04
67461	весь	2.9	8.4	-0.24	77461	весь	0.2	1.7	0.06
	1920	2.5	8.3	-0.22		1920	0	1.7	0.02
	1960	7	17.4	-0.37		1960	0.3	3.2	-0.08
67475	весь	0.1	2.3	0.05	77475	весь	0.7	1.7	0.12
	1920	0.1	2.3	0.05		1920	0.1	0.9	0.04
	1960	2.1	4.5	-0.2		1960	0.6	2.9	-0.11
67477	весь	0	1.3	0.03	77477	весь	0.1	1.1	0.05
	1920	0.1	2.7	-0.05		1920	0	1.2	0.03
	1960	4.9	4.1	-0.31		1960	0.5	3.4	-0.1
67485	весь	0	1.4	-0.01	77485	весь	0.3	0.9	0.07
	1920	0	1.4	-0.01		1920	0	0.7	-0.01
	1960	0.3	1.7	-0.08		1960	0.3	2.4	-0.07
67561	весь	0.8	2.7	0.12	77561	весь	0	0.8	0.01
	1920	0.8	2.8	0.13		1920	0.2	1.6	-0.06
	1960	0.2	3.1	-0.06		1960	1.2	5.2	-0.16
67563	весь	0.1	0.8	-0.03	77563	весь	0.1	1.9	0.04
	1920	0.1	0.8	-0.03		1920	0.5	1.9	-0.1
	1960	2.2	1.9	-0.21		1960	0.1	2.9	-0.04
67565	весь	0.2	2	-0.06	77565	весь	0	0.8	0.01
	1920	0.2	2	-0.06		1920	0.2	1.6	-0.06
	1960	2.1	6.5	-0.2		1960	1.2	5.2	-0.16
67571	весь	0.1	2.4	-0.04	77571	весь	0	1.3	-0.03
	1920	0.4	2.9	-0.09		1920	0.5	2.2	-0.1
	1960	7.3	9	-0.37		1960	0.9	4.7	-0.14
67581	весь	0	2.2	0.03	77581	весь	0.1	0.7	0.04
	1920	0	2.1	0.02		1920	0	0.9	0
	1960	3	6.1	-0.24		1960	0.1	2.6	-0.05
67632	Весь	0	2.7	0	77632	Весь	0	2.6	-0.01
	1920	1.3	2.5	-0.16		1920	1.3	3.3	-0.16
	1960	0.4	2.7	-0.09		1960	0.1	2.8	-0.05
67654	Весь	0.2	1.6	0.07	77654	Весь	0.1	1.9	-0.05
	1920	0	2.5	0		1920	0.6	2.8	-0.11
	1960	2.1	6.4	-0.21		1960	1.7	4.9	-0.18
67659	Весь	4.3	5	-0.29	77659	Весь	0.1	2.3	-0.05
	1920	1	1	-0.14		1920	0.7	3.3	-0.11
	1960	0.1	1.3	0.03		1960	2.2	6.3	-0.21
67660	Весь	0.1	2.8	-0.05	77660	Весь	0.1	2	-0.05
	1920	0.1	2.8	-0.04		1920	0.5	2.9	-0.1
	1960	1.1	3.8	-0.15		1960	2.2	5.6	-0.21
67663	Весь	0.7	2.3	-0.12	77663	Весь	0	1	-0.02

	1920	0.8	2.6	-0.12		1920	0.2	1.6	-0.07
	1960	2.1	4.8	-0.25		1960	1.5	4.1	-0.17
67666	Весь	0.3	2.9	-0.07	77666	Весь	0.1	2.1	-0.05
	1920	0.1	2.9	-0.05		1920	0.5	3	-0.1
	1960	4.6	7.3	-0.33		1960	1.9	5.3	-0.19
67673	Весь	1.6	3	-0.18	77673	Весь	0	1.4	0.02
	1920	0.9	3.1	-0.13		1920	0.3	1.6	-0.08
	1960	4.3	5.8	-0.29		1960	0.5	3.1	-0.1
67743	Весь	2.5	3.4	0.22	77743	Весь	1.1	3.8	-0.15
	1920	0.5	2.3	0.1		1920	2	4.9	-0.2
	1960	0.1	0.4	-0.05		1960	2.1	5.4	-0.2

Результаты табл. 4.2.1 показывают, что эффективные нестационарные модели из 21 метеостанции имеют место всего на 1 метеостанции и при рассмотрении рядов осадков с 1960 г. и на основе данных наблюдений и только для модели ступенчатых изменений. Показатель нестационарности $\Delta_{ст} = 17,4\%$ Коэффициенты корреляции со временем были статистически значимы в 8 случаях (причем в 7 случаях для данных наблюдений и в 1 случае для данных реанализа) и показывают, что осадки уменьшаются, т.к. R_{tr} был отрицательным. При этом такое уменьшение наиболее существенно именно для последней половины ряда с 1960 г.

На рис 4.2.1 показано пространственное распределение коэффициентов корреляции R_{tr} для осадков декабря, из которого следует, что наибольшие уменьшения осадков имеют место в северной и центральной частях Замбии.

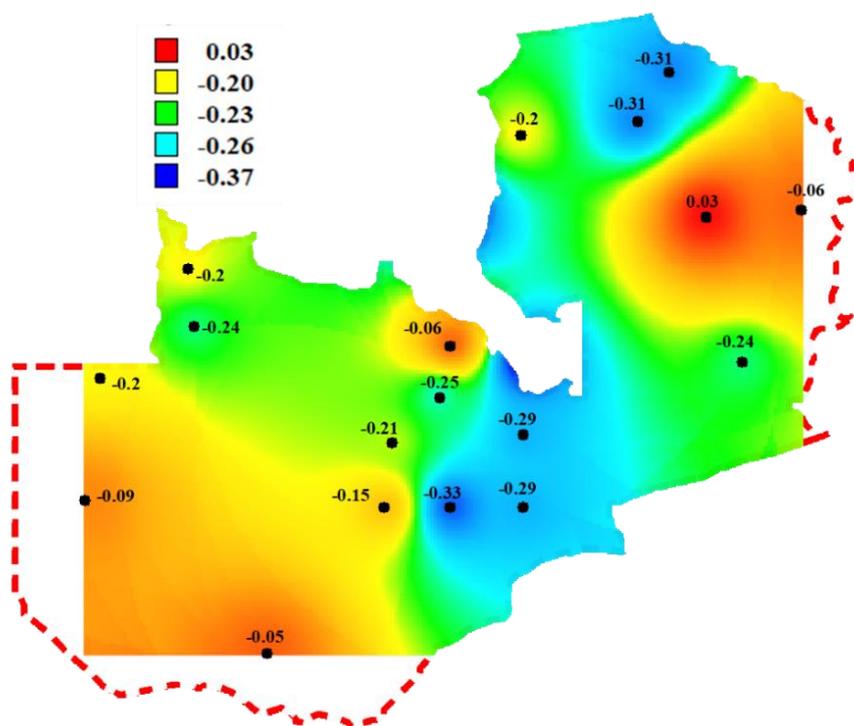
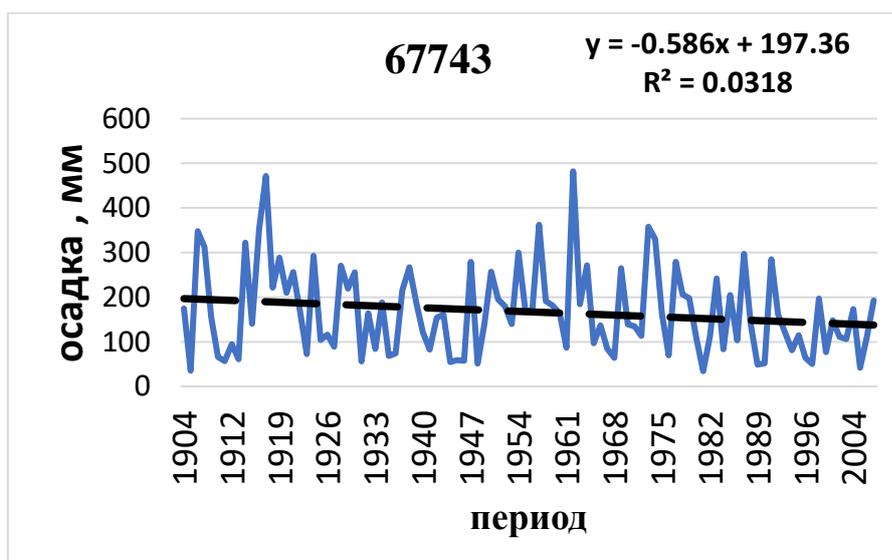


Рисунок 4.2.1 Пространственное распределение коэффициентов корреляции между осадками декабря и временем

Примеры временных графиков нестационарных рядов осадков декабря и их аппроксимация моделью линейного тренда показаны на рис.4.2.2 для метеостанций, расположенных в центральной (67663 и 77659) и южной (67743) частях Замбии.



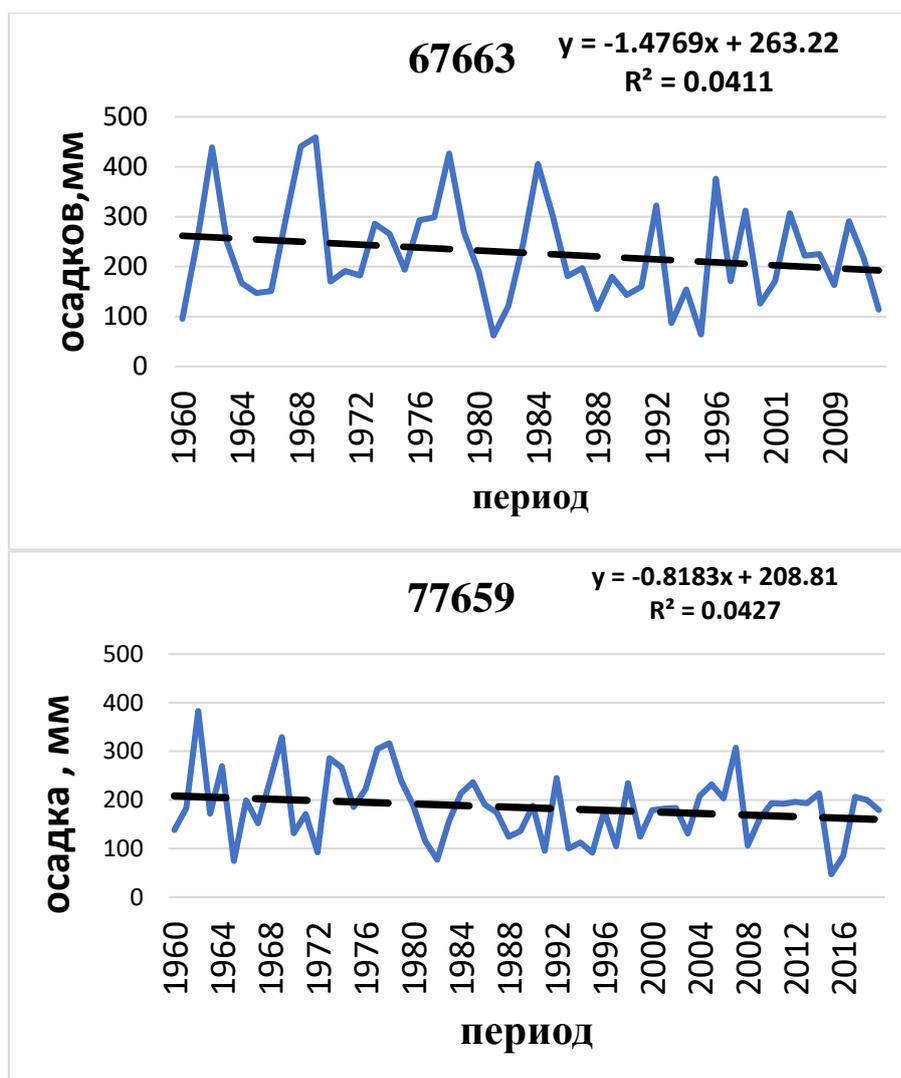


Рисунок 4.2.2 Современные тенденции уменьшения осадков декабря и их аппроксимация линейным трендом

4.3. Климатические изменения осадков января

Результаты аппроксимации многолетних временных рядов как наблюдений, так и реанализа моделями линейного тренда и ступенчатых изменений для осадков января приведены в табл.4.3.1.

Таблица 4.3.1

Показатели эффективности моделей линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст.}$) для осадков января в Замбии.

Данные наблюдений					Данные реанализа				
КОД	Тнач	Δтр	Δст.	Rтр	КОД	Тнач	Δтр	Δст.	Rтр
67403	весь	0	1.2	0.03	77403	весь	1.1	2.8	0.15
	1920	0	1	0.02		1920	0.5	2.1	0.1
	1960	0.3	1.9	-0.07		1960	0.1	1.5	-0.05
67413	весь	1.6	5.2	0.18	77413	весь	0.2	1.4	0.06
	1920	0.1	1.3	0.05		1920	0.3	1.9	0.08
	1960	0.4	3	-0.09		1960	0.2	0.9	-0.06
67441	весь	0.1	2	0.05	77441	весь	0	0.8	0.03
	1920	0	2.1	0.03		1920	0.1	0.6	-0.04
	1960	0.4	4.6	0.09		1960	0	0.6	0.02
67442	весь	0.2	2.8	0.07	77442	весь	0.1	0.9	0.03
	1920	0.2	2.8	0.07		1920	0.1	0.7	-0.03
	1960	2	4.4	0.2		1960	0.3	1.4	0.08
67461	весь	0.2	1.2	0.06	77461	весь	1.4	4	0.17
	1920	0	0.8	0.02		1920	0.2	1.2	0.07
	1960	0.1	1.4	0.05		1960	0	1.5	-0.01
67475	весь	0.2	0.7	0.06	77475	весь	0.4	2.2	0.09
	1920	0.2	0.7	0.06		1920	0.3	2.7	0.07
	1960	0.3	1	-0.07		1960	0	1.1	-0.03
67477	весь	0.2	1.2	0.07	77477	весь	0.4	4.1	0.09
	1920	0.1	1.2	0.05		1920	0	2.7	0.02
	1960	2.3	2.8	-0.21		1960	0.1	1.2	-0.05
67485	весь	0.3	2.9	-0.08	77485	весь	0	1.8	-0.01
	1920	0.3	2.9	-0.08		1920	0	0.4	0.03
	1960	1	5	-0.14		1960	0.2	0.9	-0.06
67561	весь	0.4	6.1	0.09	77561	весь	0.6	2.5	0.11
	1920	0.2	1.3	-0.06		1920	0.1	0.5	0.03
	1960	0	1.7	0.02		1960	0	1.3	0.02
67563	весь	0.1	2.5	0.05	77563	весь	0.3	1.5	0.08
	1920	0.1	2.5	0.05		1920	0	0.4	0
	1960	1.7	7.6	-0.18		1960	0	0.8	0.01
67565	весь	0	0.5	0.02	77565	весь	0.6	2.5	0.11
	1920	0	0.5	0.02		1920	0.1	0.5	0.03
	1960	0	1.3	0.01		1960	0	1.3	0.02
67571	весь	0.2	2.3	0.06	77571	весь	0.4	3.2	0.09
	1920	0	0.7	0.01		1920	0	0.4	-0.01
	1960	0.3	1.3	-0.08		1960	0.3	2.5	0.08
67581	весь	0.5	2.4	0.1	77581	весь	1	2.1	0.14
	1920	0.5	2.4	0.1		1920	0.9	1.6	0.13
	1960	1	5.9	0.14		1960	1.1	2.1	0.14
67632	Весь	0	0.8	0.01	77632	Весь	0	0.4	0.02

	1920	0	0.8	-0.01		1920	0	0.5	-0.01
	1960	0.5	3.1	0.1		1960	0.3	2	0.08
67654	Весь	0	0.2	-0.01	77654	Весь	0.1	0.6	0.03
	1920	0	0.2	0		1920	0	0.3	0.01
	1960	0	0.5	0.02		1960	0.1	0.9	0.05
67659	Весь	0.5	2.2	0.1	77659	Весь	0	0.6	0.01
	1920	0.5	2.2	0.1		1920	0	0.3	0
	1960	0.7	2.3	0.12		1960	0.5	1.4	0.1
67660	Весь	1.9	3.3	-0.2	77660	Весь	0	0.6	0.02
	1920	1.9	3.3	-0.19		1920	0	0.4	0.01
	1960	0	0.9	-0.03		1960	0.4	1.5	0.09
67663	Весь	0.4	1.4	0.08	77663	Весь	0.3	1.1	0.07
	1920	0.2	0.9	0.06		1920	0.1	0.5	0.04
	1960	0.2	2.5	0.06		1960	0	0.9	0.03
67666	Весь	0.1	1	-0.05	77666	Весь	0	0.7	0.02
	1920	0	0.5	-0.01		1920	0	0.2	0
	1960	0.2	1.4	-0.06		1960	0.2	1.1	0.07
67673	Весь	0	0.4	-0.02	77673	Весь	0.3	1.8	0.08
	1920	0.1	1.2	0.05		1920	0.1	0.6	0.04
	1960	0	1.5	0.01		1960	0.7	2.6	0.12
67743	Весь	0.1	2.3	-0.04	77743	Весь	0.1	1	-0.04
	1920	0.6	3	-0.11		1920	0.3	1.6	-0.08
	1960	4.6	6.5	-0.3		1960	0.2	1.9	0.07
67753	Весь	0	0.5	0	77753	Весь	0.2	1	-0.06
	1920	0.2	1.2	0.07		1920	0.5	1.5	-0.1
	1960	0.2	1.2	0.07		1960	0	1.5	0.02

Результаты табл. 4.3.1 показывают, что нет ни одного случая эффективной нестационарные модели и статистически значимых коэффициентов корреляции со временем.

4.4. Климатические изменения осадков февраля

Результаты аппроксимации многолетних временных рядов как наблюдений, так и реанализа моделями линейного тренда и ступенчатых изменений для осадков февраля приведены в табл.4.4.1.

Таблица 4.4.1

Показатели эффективности моделей линейного тренда($\Delta\text{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta\text{ст.}$) для осадков февраля в Замбии

Данные наблюдений					Данные реанализа				
КОД	Тнач	$\Delta\text{тр}$	$\Delta\text{ст.}$	Rтр	КОД	Тнач	$\Delta\text{тр}$	$\Delta\text{ст.}$	Rтр
67403	весь	0.2	1.3	0.07	77403	весь	0	0.6	0.01
	1920	0	1.1	-0.03		1920	0	1	0.03
	1960	0.1	1.7	-0.04		1960	1.6	8.6	-0.18
67413	весь	1.5	4.6	0.17	77413	весь	0	0.6	0.02
	1920	1.5	4.6	0.17		1920	0	1.1	0.02
	1960	4.9	9.5	-0.31		1960	1.5	3.9	-0.17
67441	весь	2.3	5.6	-0.21	77441	весь	2.3	3.6	-0.21
	1920	2.3	5.6	-0.21		1920	1.1	2.9	-0.15
	1960	0.1	1	-0.05		1960	2.7	7.9	-0.23
67442	весь	0.9	3.2	-0.14	77442	весь	0.9	2.5	-0.13
	1920	0.1	0.6	-0.04		1920	0.1	1.7	-0.04
	1960	0	1.4	0.02		1960	1.1	8.5	-0.15
67461	весь	0	1.5	0.02	77461	весь	0.2	1.6	-0.07
	1920	0	1.4	-0.02		1920	1.1	2.5	-0.15
	1960	1.3	2.6	-0.16		1960	3.3	6.1	-0.26
67475	весь	0.4	3.7	-0.09	77475	весь	0.1	0.8	0.04
	1920	0.4	3.7	-0.08		1920	0.1	1	0.04
	1960	0.4	3.2	0.09		1960	0.8	2.5	-0.12
67477	весь	0.3	3.7	-0.08	77477	весь	0	0.6	-0.03
	1920	0.4	3.7	-0.09		1920	0.1	0.8	-0.05
	1960	0.4	3.1	0.08		1960	0.7	2	-0.12
67485	весь	0	2.7	0	77485	весь	0.1	1.6	-0.05
	1920	0	2.7	0		1920	0.1	1.7	-0.04
	1960	0.1	1.5	0.05		1960	0.7	3.9	-0.12
67561	весь	0.7	2.5	0.12	77561	весь	0.6	2.2	-0.11
	1920	0.1	1.7	0.04		1920	1.2	3	-0.15
	1960	2.9	4.6	-0.25		1960	2.7	6.4	-0.23
67563	весь	4.9	7.4	-0.26	77563	весь	3.7	7	-0.27
	1920	4.9	7.4	-0.27		1920	4.4	7.9	-0.29
	1960	2.9	6.2	-0.31		1960	4.9	9.9	-0.31
67565	весь	1.9	3.5	-0.19	77565	весь	0.6	2.2	-0.11
	1920	1.9	3.5	-0.19		1920	1.2	3	-0.15
	1960	0.1	1.2	-0.05		1960	2.7	6.4	-0.23

67571	весь	0.2	3.1	0.05	77571	весь	0	1.3	0
	1920	0	1.9	-0.03		1920	0.1	1.9	0.04
	1960	8	9.4	-0.39		1960	0.4	1.5	-0.09
67581	весь	0.1	1.1	0.04	77581	весь	0	1	0
	1920	0.1	1.1	0.04		1920	0	1.4	0.03
	1960	0.5	3.6	0.1		1960	0.1	1.1	0.04
67632	Весь	0.1	1	-0.04	77632	Весь	0.1	1.6	-0.05
	1920	0.1	0.6	0.03		1920	0	1.5	0
	1960	1.1	1.6	0.15		1960	0	1.3	0.01
67654	Весь	0	1.6	-0.03	77654	Весь	0.1	0.9	-0.05
	1920	0.1	1.9	0.05		1920	0.3	1.1	-0.07
	1960	0.3	0.9	-0.08		1960	0.4	1.2	-0.09
67659	Весь	0.8	2.3	-0.12	77659	Весь	0.2	1.2	-0.06
	1920	0.8	2.3	-0.12		1920	0.3	1.4	-0.08
	1960	0.1	0.8	0.05		1960	0.4	1.6	-0.09
67660	Весь	0	1.1	-0.02	77660	Весь	0.2	1.2	-0.07
	1920	0.1	0.6	-0.03		1920	0.2	1.2	-0.07
	1960	0.1	1	0.04		1960	0.3	1.4	-0.08
67663	Весь	0	1.1	0.01	77663	Весь	0.1	0.7	-0.05
	1920	0.1	0.9	-0.05		1920	0.2	0.9	-0.06
	1960	0	0.5	-0.02		1960	0.9	1.5	-0.13
67666	Весь	0	0.9	0.01	77666	Весь	0.2	0.9	-0.06
	1920	0.2	2.4	0.06		1920	0.2	1	-0.07
	1960	0	1.1	-0.01		1960	0.3	1	-0.08
67673	Весь	0.9	3.2	1.02	77673	Весь	0.1	1.3	0.04
	1920	0.1	0.6	0.01		1920	0.1	2.8	0.05
	1960	0	1.4	-0.05		1960	0	0.8	-0.01
67743	Весь	1	3.3	-0.14	77743	Весь	1.4	2.5	-0.16
	1920	0.4	2.6	-0.04		1920	1.8	2.8	-0.19
	1960	0.3	2.5	0.02		1960	0.3	2.8	-0.08

Результаты табл. 4.4.1 показывают, что нет ни одного случая эффективных нестационарных моделей для всех вариантов анализа: 21 метеостанция x 2 набора данных (наблюдения и реанализа) x 3 вида временных рядов (за весь период наблюдений, с 1920 г. и с 1960 г.) = 126 вариантов. Коэффициенты корреляции со временем были статистически значимы в 6 случаях и только для рядов с 1960 г. (причем в 4 случаях для данных наблюдений и в 2 случаях для данных реанализа) и показывают, что осадки уменьшаются, т.к. R_{tr} был отрицательным.

На рис 4.4.1 показано пространственное распределение коэффициентов корреляции R_{tr} для осадков февраля, из которого следует, что наибольшие уменьшения осадков имеют место в северной и центральной частях Замбии.

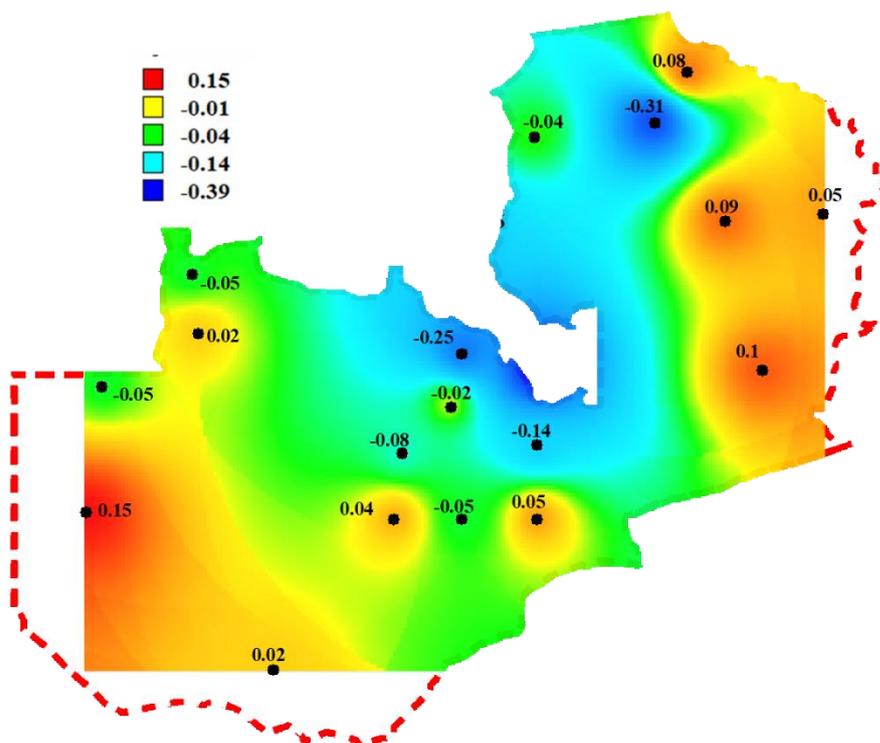


Рисунок 4.4.1 Пространственное распределение коэффициентов корреляции между осадками февраля и временем

Пример временного графика нестационарных рядов осадков февраля и его аппроксимация моделью линейного тренда показаны на рис.4.4.2 для метеостанции 77563.

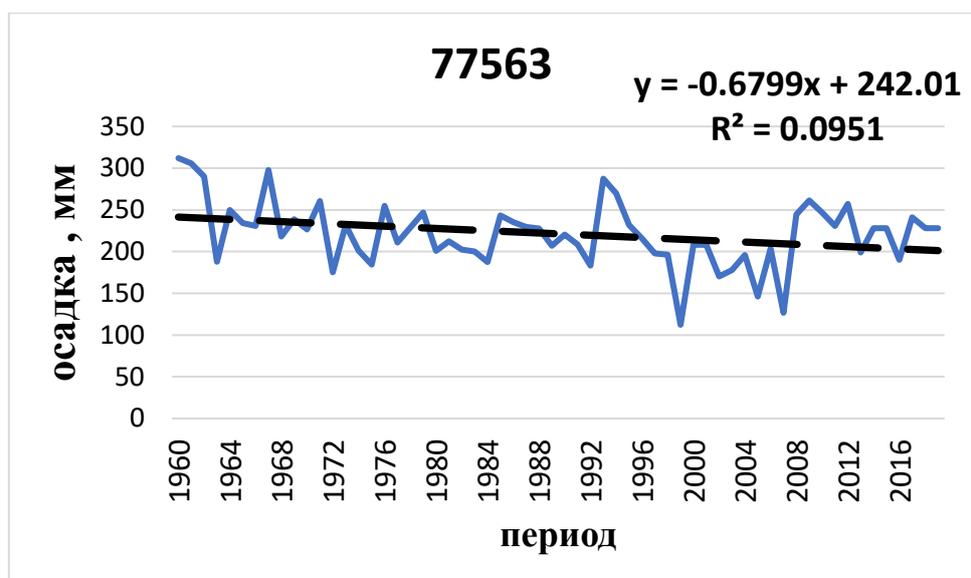


Рисунок 4.4.2 Современные тенденции уменьшения осадков февраля и их аппроксимация линейным трендом

4.5. Климатические изменения осадков марта

Результаты аппроксимации многолетних временных рядов как наблюдений, так и реанализа моделями линейного тренда и ступенчатых изменений для осадков марта приведены в табл.4.5.1.

Таблица 4.5.1

Показатели эффективности моделей линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст.}$) для осадков марта в Замбии

Данные наблюдений				Данные реанализа					
КОД	Тнач	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст.}$	КОД	Тнач	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст.}$	$R_{тр}$	
67403	весь	0.4	2.5	-0.09	77403	весь	0.2	1.6	-0.07
	1920	1.5	3.2	-0.18		1920	0.3	2	-0.08
	1960	2.1	6.3	-0.2		1960	2.4	8.2	-0.22
67413	весь	2.7	4.8	-0.23	77413	весь	0.1	2.1	-0.03
	1920	2.1	3.4	-0.21		1920	2.4	4.9	-0.22
	1960	0	1.3	-0.02		1960	1.3	4.3	-0.16
67441	весь	0	2.5	-0.02	77441	весь	0	1.8	0.01
	1920	0	3	0.02		1920	0.7	4.6	-0.12
	1960	1.3	5.7	0.16		1960	1.2	7.6	-0.16

67442	весь	0.7	4.2	0.12	77442	весь	0	1.7	0.03
	1920	0.7	4.2	0.12		1920	0.3	4.5	-0.08
	1960	0.3	2.5	0.07		1960	0.6	7.7	-0.11
67461	весь	0.7	1.7	-0.12	77461	весь	0.1	1.2	-0.05
	1920	1.2	2.1	-0.15		1920	0.6	2.7	-0.11
	1960	0.2	1.9	0.06		1960	0.1	2.8	-0.05
67475	весь	0.6	3.6	-0.11	77475	весь	0	1.7	-0.02
	1920	0.6	3.6	-0.11		1920	1	3.2	-0.14
	1960	0.4	3.4	0.08		1960	1.9	7.5	-0.19
67477	весь	0.2	1.2	0.06	77477	весь	0.5	2	-0.1
	1920	0.1	3.6	-0.04		1920	1.8	3.8	-0.19
	1960	0.4	2.8	0.09		1960	0.2	3.1	-0.06
67485	весь	1.3	4.1	-0.16	77485	весь	1	3	-0.14
	1920	1.3	4.1	-0.16		1920	3.9	5.1	-0.28
	1960	3.5	7.4	-0.26		1960	1.9	5.2	-0.19
67561	весь	1.8	3.2	-0.19	77561	весь	0	0.9	-0.01
	1920	1.4	3	-0.17		1920	0.2	1.8	-0.06
	1960	0.1	1.9	-0.04		1960	0.1	1.9	0.05
67563	весь	0.1	2.3	-0.05	77563	весь	0	1.6	0
	1920	0.1	2.3	-0.05		1920	0.7	2.8	-0.12
	1960	0	3.3	0.01		1960	0.4	2.6	-0.09
67565	весь	3.2	4.1	0.25	77565	весь	0.6	2.2	-0.11
	1920	3.2	4.1	0.25		1920	1.2	3	-0.15
	1960	0.2	2.4	0.07		1960	2.7	6.4	-0.23
67571	весь	5.5	6.4	-0.33	77571	весь	0	0.9	-0.02
	1920	7.7	7.8	-0.38		1920	0.3	2.2	-0.08
	1960	5.5	8.1	-0.33		1960	0.5	2.6	0.09
67581	весь	1.7	3.7	-0.19	77581	весь	0.1	1.1	-0.05
	1920	1.7	3.7	-0.19		1920	1.3	2.6	-0.16
	1960	2.3	4.8	-0.25		1960	0.1	1.6	-0.04
67632	Весь	0.1	1	-0.04	77632	Весь	0	0.7	-0.02
	1920	0.3	1.8	-0.08		1920	0.5	1.6	-0.1
	1960	0.5	1.7	0.1		1960	0.4	2	0.09
67654	Весь	0.1	1	-0.04	77654	Весь	0	1	0
	1920	1.2	2.1	-0.16		1920	0.2	2	-0.07
	1960	0	3.2	-0.03		1960	1.2	3.3	0.16
67659	Весь	0	2.7	0	77659	Весь	0	1.1	-0.01
	1920	0	2.7	0		1920	0.3	2.5	-0.07
	1960	0.1	2.3	-0.05		1960	1.7	5	0.19
67660	Весь	3.9	9	-0.28	77660	Весь	0	1.1	-0.01
	1920	5.5	10.8	-0.33		1920	0.4	3	-0.09
	1960	0.7	4.5	0.12		1960	1.9	4.8	0.19
67663	Весь	0	2.5	-0.02	77663	Весь	0	0.9	0.03

	1920	0	3	0.02		1920	0.1	1.4	-0.04
	1960	1.3	5.7	0.16		1960	0.5	2	0.1
67666	Весь	2.9	4.5	-0.25	77666	Весь	0	1	0
	1920	2.8	4.5	-0.24		1920	0.5	2.8	-0.1
	1960	0.1	3	-0.05		1960	1.6	3.7	0.18
67673	Весь	0.3	1.2	-0.08	77673	Весь	0.1	1.2	-0.05
	1920	1	2.8	-0.14		1920	0.6	2.5	-0.11
	1960	0.9	2.4	0.14		1960	0.1	1.7	0.03
67743	Весь	0.6	1.7	-0.11	77743	Весь	0.5	2.2	-0.1
	1920	1.7	3	-0.19		1920	2.2	4.3	-0.21
	1960	0.3	1.6	0.08		1960	0.9	1.9	0.13

Результаты табл. 4.5.1 показывают, что эффективные нестационарные модели из 21 метеостанции имеют место всего на 1 метеостанции и при рассмотрении рядов осадков с 1960 г. и на основе данных наблюдений и только для модели ступенчатых изменений. Показатель нестационарности $\Delta_{ст} = 10,8\%$ Коэффициенты корреляции со временем были статистически значимы в 6 случаях (причем в 5 случаях для данных наблюдений и в 1 случае для данных реанализа) и показывают, что осадки уменьшаются, т.к. $R_{тр}$ был отрицательным. При этом такое уменьшение наиболее существенно именно для последней половины ряда с 1960 г.

На рис 4.5.1 показано пространственное распределение коэффициентов корреляции $R_{тр}$ для осадков марта, из которого следует, что наибольшие уменьшения осадков имеют место в центральной и северо-восточной частях Замбии.

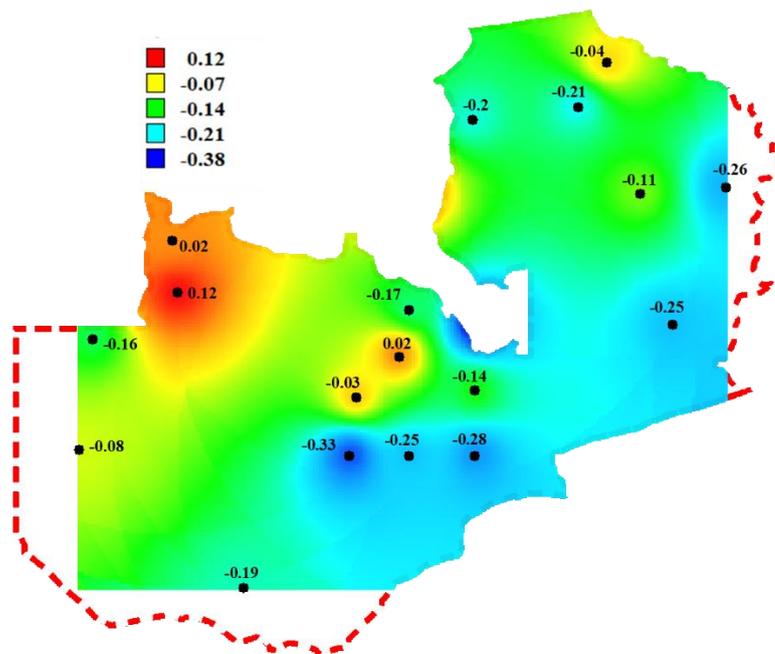


Рисунок 4.5.1 Пространственное распределение коэффициентов корреляции между осадками марта и временем

Пример временного графика нестационарных рядов осадков марта и его аппроксимация моделью линейного тренда показаны на рис.4.5.2 для метеостанции 77485.

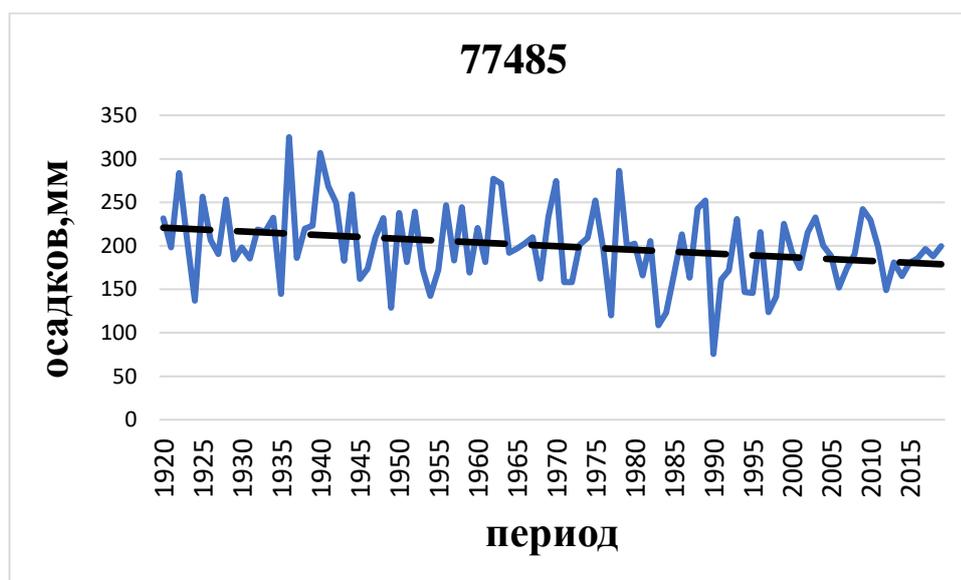


Рисунок 4.5.2 Современные тенденции уменьшения осадков марта и их аппроксимация линейным трендом

4.6. Климатические изменения осадков апреля

Результаты аппроксимации многолетних временных рядов как наблюдений, так и реанализа моделями линейного тренда и ступенчатых изменений для осадков апреля приведены в табл.4.6.1.

Таблица 4.6.1

Показатели эффективности моделей линейного тренда($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ст.}$) для осадков апреля в Замбии

Данные наблюдений					Данные реанализа				
КОД	Тнач	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст.}$	Rтр	КОД	Тнач	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ст.}$	Rтр
67403	весь	2.8	4.9	0.24	77403	весь	0	1.2	0
	1920	1.8	4.1	0.19		1920	0.1	2.2	-0.03
	1960	0.7	5.7	-0.12		1960	2.6	6.9	-0.25
67413	весь	0.7	1.6	0.12	77413	весь	0.1	1	0.05
	1920	0.3	1.4	0.08		1920	0.1	1	0.05
	1960	0.2	1.8	-0.06		1960	0.7	2.3	-0.12
67441	весь	0	1.3	0.03	77441	весь	0	0.9	-0.03
	1920	0	1.7	-0.01		1920	0	1	-0.01
	1960	3.4	5.4	-0.26		1960	0.6	4.6	-0.11
67442	весь	1.4	3.4	0.16	77442	весь	0	0.5	0.02
	1920	1.4	3.4	0.17		1920	0.1	0.6	0.04
	1960	0.6	3.4	0.11		1960	0.1	3.8	-0.05
67461	весь	0	0.7	-0.01	77461	весь	0.1	1	0.05
	1920	0	0.7	-0.01		1920	0.2	1.6	0.06
	1960	0.2	2.4	-0.07		1960	1.4	4.1	-0.16
67475	весь	2.4	5.1	0.22	77475	весь	0.6	2	0.11
	1920	2.4	5.1	0.22		1920	1	2.6	0.14
	1960	0	2.1	0.03		1960	0.5	2.8	-0.1
67477	весь	0.2	1.6	0.06	77477	весь	0.6	2.5	0.11
	1920	0.3	3.2	0.08		1920	1.9	3.8	0.19
	1960	1.2	5.9	-0.16		1960	0	1.2	0.01
67485	весь	0.2	1.1	0.05	77485	весь	0	1.3	0
	1920	0.2	1.1	0.05		1920	0.5	2.7	0.1
	1960	1.3	2	0.16		1960	0.2	2.2	-0.07
67561	весь	0.7	2.2	0.12	77561	весь	0.3	1.4	0.07
	1920	0.7	2.2	0.12		1920	0.5	2.1	0.1
	1960	0.5	6.7	-0.1		1960	0.9	3.7	-0.13
67563	весь	1.2	3.7	0.15	77563	весь	0	0.8	0.02

	1920	1.2	3.7	0.15		1920	0	1.3	-0.01
	1960	1.3	2.6	-0.16		1960	1.3	4.1	-0.16
67565	весь	3.3	6.6	0.25	77565	весь	0.3	1.4	0.07
	1920	3.3	6.6	0.25		1920	0.5	2.1	0.1
	1960	0	1.9	0.02		1960	0.9	3.7	-0.13
67571	весь	0.1	1.6	-0.05	77571	весь	1.2	3.2	0.16
	1920	0.4	1.4	0.09		1920	2	4	0.2
	1960	0	2.1	-0.01		1960	0	1.5	-0.03
67581	весь	3.1	5.2	0.25	77581	весь	0.1	0.7	0.04
	1920	3.1	5.2	0.25		1920	0.3	1.4	0.08
	1960	0.2	3.5	-0.06		1960	0.2	3	-0.06
67632	Весь	0.6	1.5	0.11	77632	Весь	0.4	1.4	0.09
	1920	0.2	0.9	0.06		1920	0.2	1.4	0.07
	1960	0.1	2.4	-0.04		1960	0.1	2.9	0.05
67654	Весь	0.7	1.6	0.12	77654	Весь	1.6	2.5	0.18
	1920	0.3	1.4	0.08		1920	1.2	2.2	0.16
	1960	0.2	1.8	-0.06		1960	0.1	1.3	-0.04
67659	Весь	0.2	1.9	0.06	77659	Весь	1.3	2.5	0.16
	1920	0.2	1.9	0.06		1920	0.8	2	0.13
	1960	0	1.4	0.01		1960	0.4	1.7	-0.08
67660	Весь	2.6	4.4	0.23	77660	Весь	1.4	2.3	0.17
	1920	2.3	4.2	0.21		1920	1	1.9	0.14
	1960	0.3	2.9	0.07		1960	0.1	1.3	-0.05
67663	Весь	1.9	2.5	0.19	77663	Весь	2.5	4.7	0.22
	1920	2.2	2.7	0.21		1920	2.5	4.6	0.22
	1960	0.1	1.2	0.04		1960	0.3	2.2	-0.07
67666	Весь	5.3	6.1	0.32	77666	Весь	1.5	2.6	0.18
	1920	4.5	5.6	0.3		1920	0.9	2	0.13
	1960	1.1	2.4	0.15		1960	0.2	1.5	-0.06
67673	Весь	2.1	5.1	0.21	77673	Весь	2.3	4.9	0.21
	1920	0.4	2.3	0.09		1920	3.4	5.9	0.26
	1960	0	4.1	-0.02		1960	0	1.2	0.02
67743	Весь	0	1.9	-0.03	77743	Весь	0.9	2.5	0.14
	1920	0.3	2.4	-0.08		1920	0.2	1.9	0.07
	1960	0.9	5.2	-0.13		1960	0	0.7	-0.02

Результаты табл. 4.6.1 показывают, что эффективные нестационарные модели отсутствуют. Коэффициенты корреляции со временем были статистически значимы в 7 случаях (причем в 5 случаях для данных наблюдений и в 2 случаях для данных реанализа), причем R_{tr} был

отрицательным только в 2х случаях, а в 5ти положителен, хотя значения его были очень небольшие.

На рис 4.6.1 показано пространственное распределение коэффициентов корреляции R_{tr} для осадков апреля, из которого следует, что наибольшие изменения осадков имеют место в центральной и северо-восточной частях Замбии.

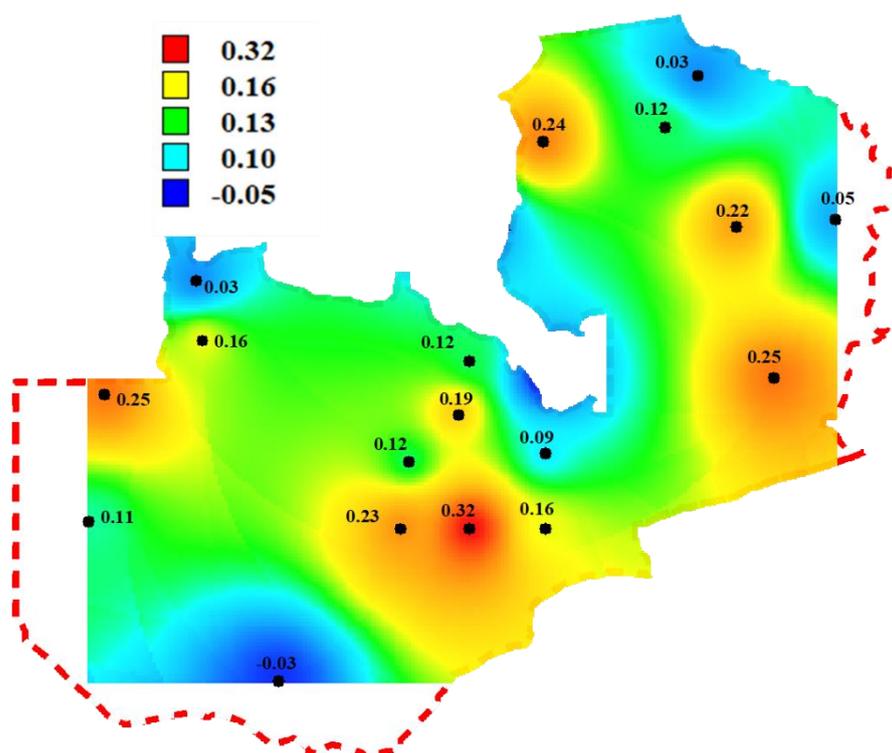


Рисунок 4.6.1 Пространственное распределение коэффициентов корреляции между осадками марта и временем

Пример временного графика нестационарных рядов осадков марта и его аппроксимация моделью линейного тренда показан на рис.4.6.2 для метеостанций 77403, 67475 и 67666.

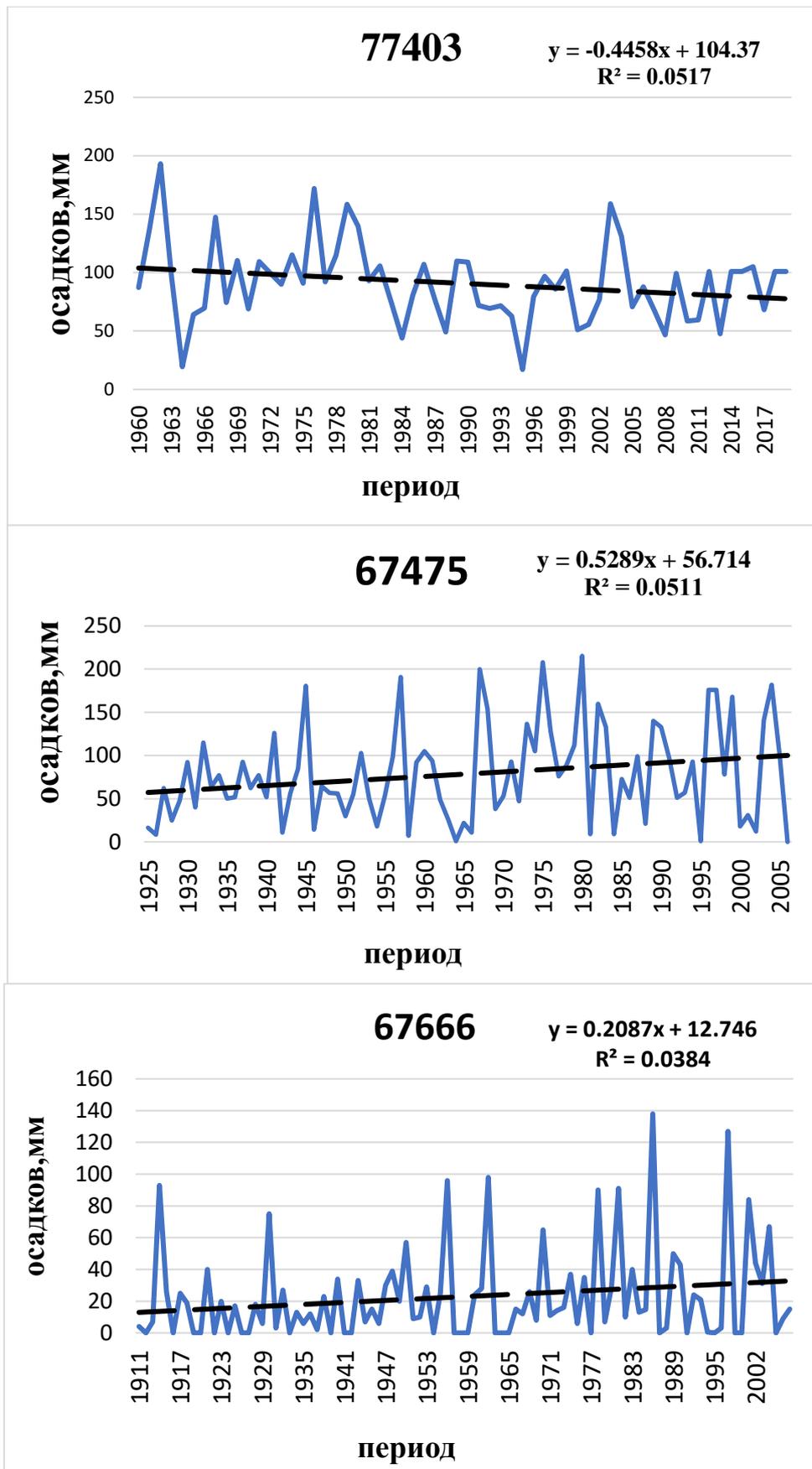


Рисунок 4.6.2 Современные тенденции изменения осадков апреля и их аппроксимация линейным трендом.

4.7. Оценка эффективности применения модели гармонических колебаний

В связи с тем, что модели нестационарного среднего практически во всех случаях были неэффективны, временные ряды были аппроксимированы моделями гармонических колебаний.

Для выбора периода цикла аппроксимирующей гармонике прежде всего были построены автокорреляционные функции, представленные в виде примеров для ноября, декабря и января и для разных метеостанций на рис.4.7.1.

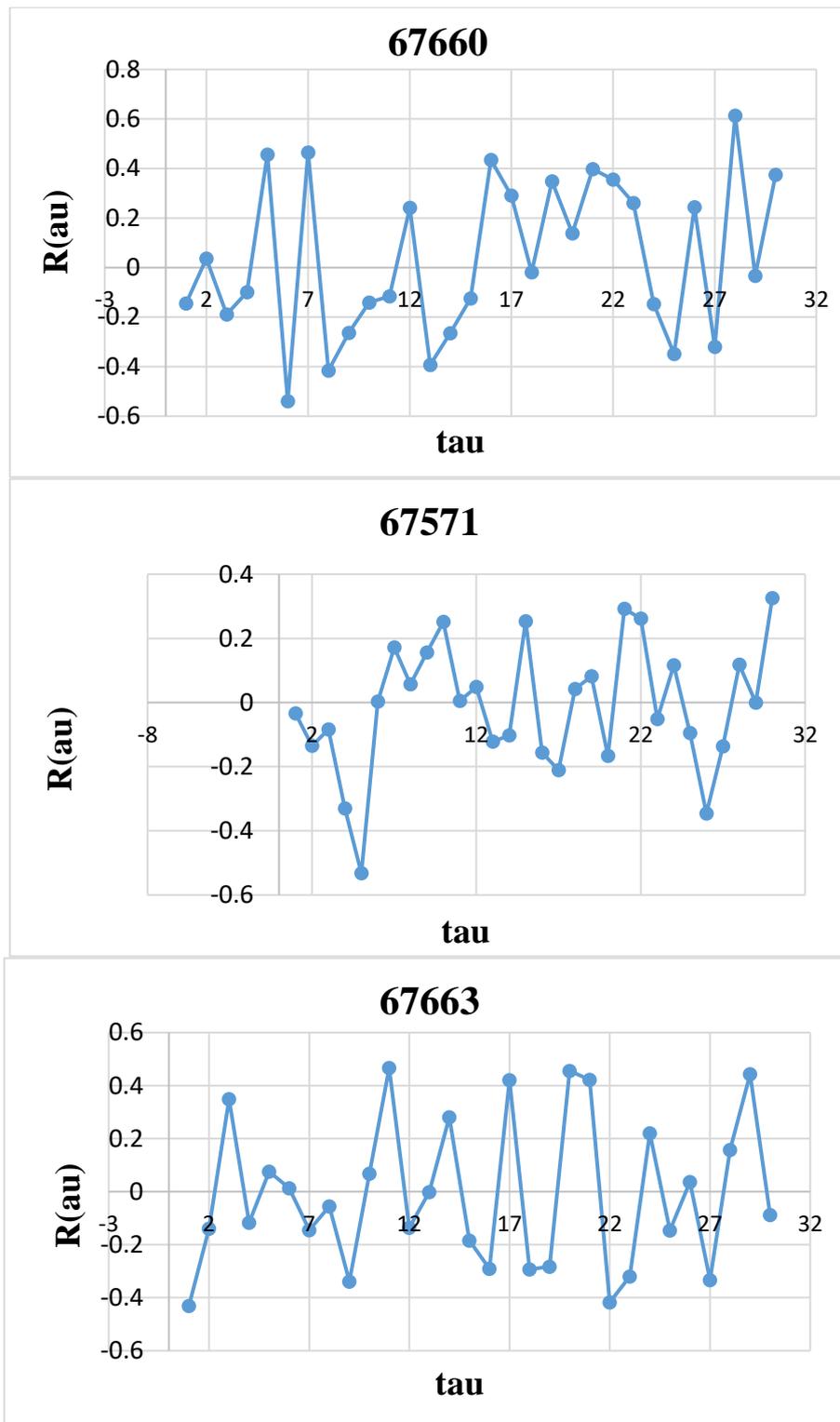


Рисунок.4.7.1. Автокорреляционные функции многолетних рядов осадков с ноября по январь для метеостанций 67663 67660 и 67571.

Аналогичные автокорреляционные функции, представленные в виде примеров для и для разных метеостанций на рис.4.7.2.

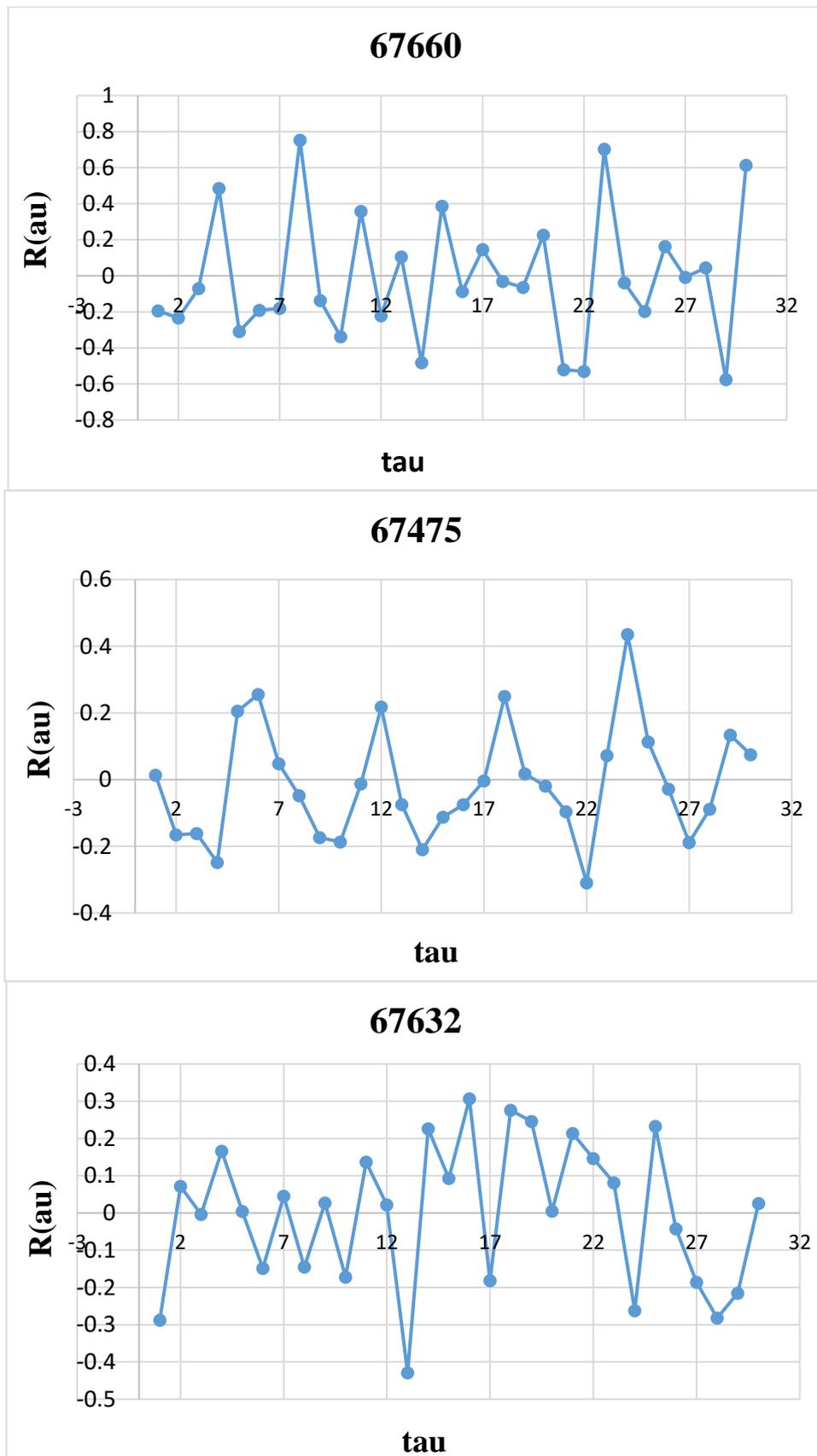


Рисунок.4.7.2. Автокорреляционные функции многолетних рядов осадков с февраля по апрель для метеостанций 67660 67475 и 67632.

На основе автокорреляционных функций был выбран период гармонических колебаний равный сдвигу τ при максимальном и статистически значимом коэффициенте автокорреляции. Выбранные периоды были использованы для аппроксимации временных рядов осадков моделью гармонических колебаний.

Результаты расчетов в виде показателей эффективности гармонической модели приведены в табл.4.7.1, где $\Delta_{\text{гар}}$ – показатель относительного отклонения от стационарной модели в % и R - коэффициент корреляции гармонической модели.

Таблица 4.7.1

Показатели эффективности аппроксимации временных рядов осадков гармонической моделью

код	ноябрь		декабрь		январь	
	$\Delta_{\text{гар}}$ %	R	$\Delta_{\text{гар}}$ %	R	σ_y	$\Delta_{\text{гар}}$ %
67461	0.1	-0.04	3.4	-0.26	3.3	-0.25
67462	0.6	0.11	0.5	0.1	0.1	0.03
67475	0.1	-0.03	0.4	-0.09	0.2	0.07
67485	0.4	0.09	0.6	-0.11	1.3	-0.16
67531	1.4	0.17	0.8	0.12	0.5	0.1
67541	0	0.01	0.1	0.03	0	0.01
67561	0.1	-0.03	1.2	0.15	3.9	0.28
67562	0.7	-0.12	0	0	2.4	-0.22
67563	1.6	0.18	2.4	-0.22	0.4	0.09
67564	0.4	-0.08	2	-0.2	0.8	-0.12
67571	0.3	0.08	0.5	-0.1	0.1	0.04
67581	0.8	0.13	3.5	-0.26	0.8	0.13
67586	0.8	-0.12	1	0.14	0	-0.03
67623	1	0.14	0.1	0.04	1.8	-0.19
67632	0.4	0.09	0.5	0.1	0.1	0.05
67654	1.7	0.18	0.1	0.04	0	0
67659	0.1	0.04	2	-0.2	0.5	-0.1
67660	0.2	0.07	0.1	-0.05	0.4	0.09
67663	0	0.02	0.4	0.09	0.2	0.06
67666	0	0.01	1.6	0.18	0.7	0.11
67743	0.3	0.08	1.1	-0.15	0.6	-0.11
	февраль		март		апрель	

код	$\Delta_{\text{гар}} \%$	R	$\Delta_{\text{гар}} \%$	R	$\Delta_{\text{гар}} \%$	R
67461	1.5	-0.2	1	0.14	0.1	-0.03
67462	0.7	-0.1	2.5	0.22	0.1	-0.05
67475	2.3	-0.2	0	0.01	0.1	0.05
67485	0.4	0.09	1.4	0.17	0.6	-0.11
67531	0	-0	1.1	-0.15	0	-0.02
67541	0.6	0.11	0	-0.03	2.2	0.21
67561	2.2	0.21	0.5	-0.1	0.3	-0.08
67562	0.9	-0.1	0	-0.03	0.1	0.03
67563	1.3	-0.2	6.2	0.35	0	-0.02
67564	0.9	0.13	1.5	-0.17	0.5	-0.1
67571	0.5	-0.1	0.7	-0.12	0.3	-0.08
67581	0.1	-0	0.4	-0.09	0	-0.02
67586	5.4	0.32	0.5	-0.1	0.1	0.04
67623	0.2	-0.1	0.6	0.11	1.4	0.17
67632	0.3	-0.1	0	0.03	0.1	0.03
67654	1	-0.1	0.1	0.05	0.4	-0.09
67659	0.2	-0.1	4	0.28	0.1	0.04
67660	0.1	0.05	2.6	0.23	0.6	-0.11
67663	0.4	-0.1	0.3	-0.07	0	-0.01
67666	0	0.01	0.3	0.08	0.7	0.12
67743	0.2	-0.1	0.4	-0.09	1.2	0.16

Результаты табл.4.7.1. показывают, что эффективные нестационарные модели гармонических колебаний отсутствуют, а статистически значимых коэффициентов корреляции имеется по 2 в декабре, январе и марте и 1 в феврале.

Поэтому, как и модели тренда и ступенчатых изменений, модели гармонических колебаний являются неэффективными по сравнению с доминирующей моделью стационарного среднего значения для многолетних рядов осадков дождливого периода с ноября по апрель в Замбии.

Глава 5. Оценка климатических изменений сухого сезона

Для оценки климатических изменений в осадках сухого сезона методы моделирования и аппроксимации временных рядов моделями нестационарного среднего не подходят, т.к. в отдельные годы осадки в рассматриваемый месяц сухого сезона могут совсем не выпадать. Таких лет может быть достаточно много, особенно в июне, июле и августе, а выпадение осадков является редким событием. Поэтому эти месяцы даже не исследовались, а для исследований выбраны только крайние месяцы сухого сезона: май, сентябрь и октябрь, когда процент лет с осадками составлял не менее трети от общего числа лет. Даже для осадков мая, сентября и октября аппроксимация моделями нестационарного среднего не осуществлялась, а просто находилась разность средних значений двух половин ряда.

Для оценки климатических изменений осадков в сухой сезон (май, сентябрь и октябрь) было выбраны 10 станций с продолжительными рядами наблюдений и их период наблюдения разделен на две части: первый период Q1 (с 1910 по 1970 гг.) и второй период Q2 (с 1970 по 2018 гг.), чтобы сравнить средние значения два периода и оценить изменение количества осадков сухого сезона.

5.1. Оценка климатических изменений осадков мая

Результаты расчета средних значений осадков мая за два полупериода и разностей между ними приведены в табл.5.1.1.

Таблица 5.1.1.

Результаты расчета средних осадков Q1 и Q2 и их разностей ΔQ для мая

Код Станции	Среднее Q1, мм	Среднее Q2, мм	ΔQ (Q2- Q1) мм, (%)
67475	11.3	10.7	-0.6 (5)
67663	10.2	11.4	1.2 (12)
67743	10.6	12.6	2 (19)
77485	10.3	7.9	2.4 (23)
77581	5.6	6.5	0.9 (16)

77666	1.8	2.6	0.8 (44)
77660	1.3	1.7	0.4 (31)
77442	7.7	9.0	1.3 (17)
77563	3.6	5.8	2.2 (60)
77403	11.1	13.2	2.1 (19)

Из данных табл.5.1.1. следует, что из 10 метеостанций на 9 имеет место рост осадков и на одной станции уменьшение. Причем рост средних осадков составил до 2,4 мм. В процентах, которые приведены в скобках, в связи с малой абсолютной величиной осадков на отдельных станциях, рост составляет от 12% до 30-40% и даже 60%.

Пространственное распределение разностей осадков в мм показано на рис.5.1.1.

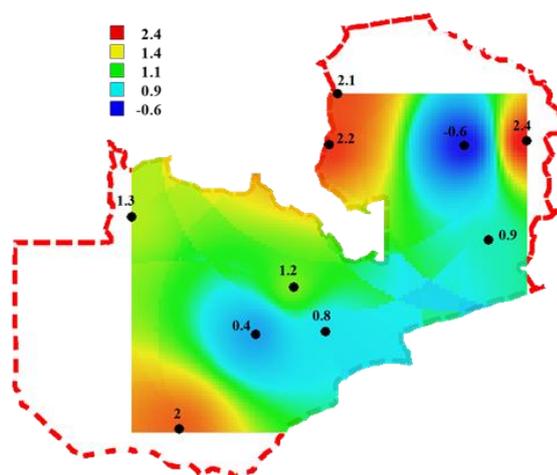


Рисунок .5.2.1. Пространственное распределение (ΔQ) осадков в мае (сухой сезон)

Как следует из пространственного распределения, в мае в северной части имеет место уменьшение осадков на 0.6 мм. Остальные метеостанции показывают увеличение количества осадков с наибольшим значением 2.4 мм на северо-востоке.

5.2. Оценка климатических изменений осадков сентября

Результаты расчета средних значений осадков сентября за два полупериода и разностей между ними приведены в табл.5.2.1.

Таблица 5.2.1.

Результаты расчета средних осадков Q1 и Q2 и их разностей ΔQ для сентября

Код Станции	Среднее Q1, мм	Среднее Q2, мм	ΔQ (Q2- Q1), мм (%)
67475	5.7	10.6	4.9 (86)
67663	10.2	10.9	0.7 (7)
67743	7.9	9.3	1.4 (18)
77485	0.6	0.7	0.1 (17)
77581	0.8	0.7	-0.1 (12)
77666	0.5	0.8	0.3 (60)
77660	0.4	0.8	0.4 (100)
77442	16.9	18.5	1.6 (9)
77563	0.6	0.8	0.2 (33)
77403	7.3	10.4	3.1 (42)

Из данных табл.5.2.1. следует, что из 10 метеостанциях на 9 имеет место рост осадков и на одной станции уменьшение. Причем рост средних осадков составил до 4,9 мм. В процентах, которые приведены в скобках, в связи с малой абсолютной величиной осадков на отдельных станциях, рост составляет от 9% до 40-46% и даже 100%.

Пространственное распределение разностей осадков в мм показано на рис.5.2.1.

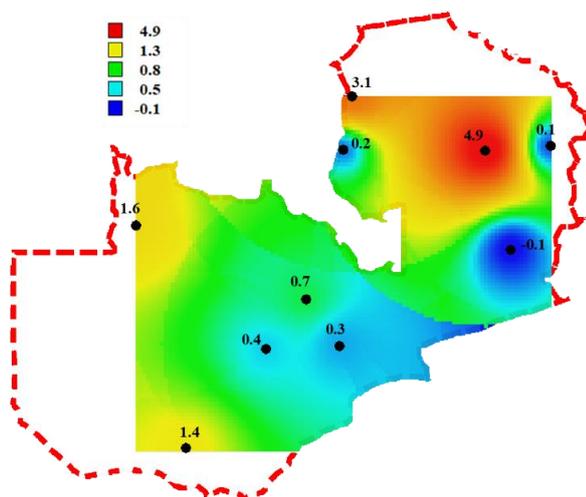


Рисунок .5.2.1. Пространственное распределение (ΔQ) осадков в сентябре (сухой сезон)

Как следует из пространственного распределения, в сентябре в центральной части имеет место уменьшение осадков всего на 0.1 мм. Остальные метеостанции показывают увеличение количества осадков с наибольшим значением 4.9 мм на севере.

5.3. Оценка климатических изменений осадков октября

Результаты расчета средних значений осадков октября за два полупериода и разностей между ними приведены в табл.5.3.1.

Таблица 5.3.1.

Результаты расчета средних осадков Q1 и Q2 и их разностей ΔQ для сентября

Код Станции	Среднее Q1, мм	Среднее Q2, мм	ΔQ (Q2- Q1), мм (%)
67475	20.6	27.2	6.6 (32)
67663	23.8	24.8	1 (4)
67743	14.3	25.2	10.9 (76)
77485	8.4	10.4	2 (24)
77581	14.3	19.6	5.3 (37)
77666	14.7	16.5	1.8 (12)
77660	17.2	19.1	1.9 (11)
77442	85.6	87.6	2 (2)
77563	17.1	20.9	3.8 (22)
77403	50.3	59.6	9.3 (18)

Из данных табл.5.3.1. следует, что все 10 метеостанций дают рост осадков. Причем рост средних осадков составил до 10,9 мм. В процентах, которые приведены в скобках, в связи с малой абсолютной величиной осадков на отдельных станциях, рост составляет от 2-4% до 30-40% и даже 76%.

Пространственное распределение разностей осадков в мм показано на рис.5.3.1.

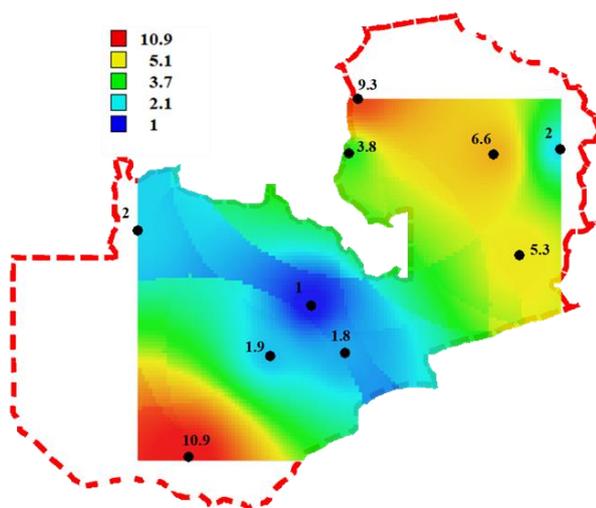


Рисунок .5.3.1. Пространственное распределение (ΔQ) осадков в октябре (сухой сезон)

Как следует из пространственного распределения, в октябре наибольший рост осадков имеет место на юге (на 10,9 мм) и северо-востоке (до 9,3 мм), а наименьший - в центральной части страны (до 1 мм).

Заключение(выводы)

В результате выполненной работы по оценке климатических изменений осадков в Замбии были сделаны следующие выводы:

1. Осадки внутри года по месяцам распределяются неравномерно и выделяются два основных периода: влажный (с октября по март) и сухой (с мая по сентябрь) и внутригодовые климатические распределения осадков практически одинаковы по всей территории Замбии. Наличие влажного и сухого сезонов во внутригодовом распределении осадков обусловлено Африканским муссоном и движением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК).
2. Полученные пространственные распределения осадков влажного и сухого сезонов показывают, что осадки увеличиваются с юга на север. Это связано с Африканским муссоном и движением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), которая в большей степени проявляется на севере. Также большее количество осадков на севере с рельефом: в северной части Замбии гористая местность, а на юге и юго-западе Замбии находятся долины.
3. Из анализа однородности эмпирических распределений и стационарности дисперсий и средних значений, можно сделать выводы, что осадки влажного периода практически стационарны. Было осуществлено восстановление пропусков и приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду, что позволило увеличить длительность рядов осадков в декабре и январе на 20-30%, что позволяет выполнять эффективное статистическое моделирование.
4. Выявлены взаимосвязи между данными наблюдений и данными реанализа и отмечено на каких станциях и в какие месяцы можно использовать для исследований столетние непрерывные ряда данных реанализа.
5. Для влажного сезона практически не установлено эффективных моделей нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения) в рядах осадков с ноября по апрель. Можно отметить только некоторую тенденцию

уменьшения осадков практически во все месяцы влажного сезона за исключением апреля.

- б. Средние многолетние осадки в сухой сезон (май, сентябрь, октябрь) наоборот показывают небольшой рост осадков при сравнении средних значений до 1970 г. и после практически на всей территории Замбии и больше всего в южной части страны.

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 реанализа)
9. https://www.researchgate.net/publication/277621684_Rainfall_Variability_over_Northern_Zambia.
10. <https://www.zambia.climatemps.com/>
11. <https://www.mapsof.net/zambia/zambia-topography>
12. https://www.researchgate.net/publication/277621684_Rainfall_Variability_over_Northern_Zambia