



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 «Климат и его изменение в Кабо-Верде»

Исполнитель Рамалью Тимаш Эрикссон ПМ-Б17-2-3  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА  
(ученая степень, ученое звание)

**Лобанов Владимир Алексеевич**

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

**Кандидат физико-математических наук, доцент**

(ученая степень, ученое звание)

**Сероухова Ольга Станиславовна**

(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

## Оглавление

Введение.....	3
<b>Глава 1. Физико-географические особенности территории.....</b>	<b>5</b>
1.1. Физико-географическая характеристика Кабо-Верде.....	5
1.2. Рельеф Кабо-Верде. ....	6
1.3. Климат Кабо-Верде.....	7
1.4. Распределения средних многолетних температур в Кабо-Верде.....	8
<b>Глава 2. Анализ исходных данных.....</b>	<b>9</b>
2.1. Выбор информации из стандартных архивов климатических данных .....	9
2.2. Расположение пунктов наблюдений по территории.....	10
2.3. Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду с оценкой эффективности приведения и качества восстановленных данных .....	11
2.4. Оценка однородности и стационарности рядов наблюдений .....	20
2.5. Расчет климатических характеристик в стационарных условиях.....	22
2.6. Пространственные закономерности норм и изменчивости температуры.....	30
<b>Глава 3. Оценка изменения температуры в холодный сезон.....</b>	<b>32</b>
3.1. Оценка изменения температуры в ноябре .....	33
3.2. Оценка изменения температуры в декабре .....	36
3.3. Оценка изменения температуры в январе .....	39
3.4. Оценка изменения температуры в феврале .....	41
3.5. Оценка изменения температуры в марте.....	45
3.6. Оценка изменения температуры в апреле .....	48
<b>Глава 4. Оценка изменения температуры в теплый сезон.....</b>	<b>51</b>
4.1. Оценка изменения температуры в мае.....	51
4.2. Оценка изменения температуры в июне.....	54
4.3. Оценка изменения температуры в июле.....	57
4.4. Оценка изменения температуры в августе .....	60
4.5. Оценка изменения температуры в сентябре.....	63
4.6. Оценка изменения температуры в октябре.....	67
Заключение.....	71
Список использованной литературы .....	72

## Введение

Данная работа посвящена анализу среднемесячного температурного режима за последние 50 лет (с 1970 по 2020 гг.) на островах Кабо-Верде.

Прежде всего будет дана оценка пространственному распределению средних многолетних температур отдельных месяцев холодного и теплого полугодий как функции географических координат (широта, долгота и высота) для островных территорий. С помощью карт высот и уклонов будет проанализировано, как рельеф влияет на климатические особенности каждого острова.

Детальное знание различных климатических и микроклиматических особенностей на островах архипелага Кабо-Верде имеет большое значение для планирования политики поддержки сельского хозяйства, сохранения окружающей среды и управления водными ресурсами. Однако разработать такую классификацию по климатическим типам каждого острова архипелага можно только на основе обработки и анализа данных наблюдений на метеорологических станциях. В целом же страна находится в климатическом поясе Сахель с засушливым и полузасушливым климатом, который пересекает Африку от Атлантики до Красного моря и простирается через Аравию до пустынь Евразии в зоне умеренного климата.

Главная же задача, поставленная в данной работе, состоит в оценке влияния современного изменения климата на температуру всех месяцев года на островной территории Кабо-Верде. Для этой цели будут применены модели нестационарного среднего такие как линейный тренд и ступенчатые изменения среднего значения, расчет показателей нестационарности и определение их пространственного распределения с целью выявления областей с наибольшими климатическими изменениями.

Для выполнения работы использовались многолетние данные разных станций в 7 различных провинциях на островах Кабо-Верде 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 температур .

- Определение средних многолетних значений и получение их пространственных распределений.

- Формирование базы данных среднемесячных многолетних температур.

- 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.

- Оценка климатических изменений температур теплых и холодных периодов с использованием модели тренда, модели ступенчатых изменений, модели линейного тренда.

# Глава 1. Физико-географические особенности территории

## 1.1 Физико-географическая характеристика Кабо-Верде

Архипелаг расположен у побережья Западной Африки и составляющие его вулканические острова небольшие и гористые (рис.1.1.1). Действующий вулкан находится на острове Фого, который также является самой высокой точкой архипелага на высоте 2829 м. Страна состоит из 10 островов, 9 из которых обитаемые, и нескольких необитаемых островков, разделенных на две группы:

Северная группа островов являются наветренными островами. С запада на восток это: Санту-Антао, Сан-Висенте, Санта-Лузия (необитаемый), Сан-Николау, Сал и Боа-Виста. К группе Барлаvento также принадлежат необитаемые островки Бранко и Расо, расположенные между Санта-Лузия и Сан-Николау, остров Птиц, напротив города Минделу на острове Сан-Висенте и островки Рабо-де-Жунко у побережья острова Сал и островки Сал-Рей и Балуарте у побережья острова Боа-Виста.

Южная группа островов включает острова Сотавенто. С востока на запад это: Майо, Сантьяго, Фого и Брава. Островок Санта-Мария находится напротив города Прая на острове Сантьяго; острова Гранде, Ромбо, Байшу, де Сима, ду Рей, Луис Карнейру и островок Сападо, расположенный примерно в 8 км от острова Брава и островок Арейя. вдоль побережья этого же острова.

Самые большие острова - это Сантьяго на юго-востоке, где расположена столица страны Прая, и остров Санту-Антао на крайнем северо-западе. Прая также является основным населенным пунктом архипелага, за ним следует Минделу на острове Сан-Висенте.

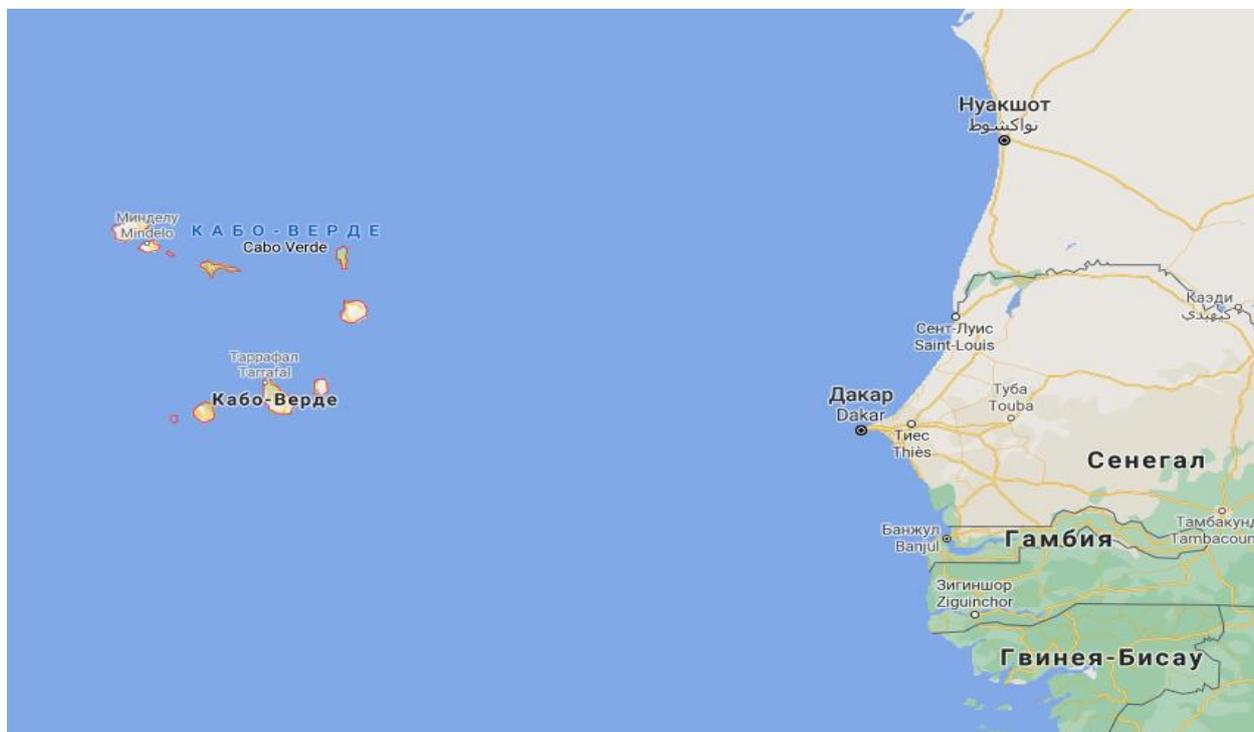


Рисунок.1.1.1 Исследуемая территория островов Кабо-Верде

## 1.2 Рельеф в Кабо-Верде

Архипелаг Кабо-Верде имеет очень разнообразные формы рельефа и каждый остров имеет свою специфику. Поскольку острова вулканические, рельеф обычно очень изрезанный.

На островах Сантьяго, Фога, Брава, Сан-Николау и Санту-Антао рельеф довольно неровный, с высокими горами, узкими и глубокими долинами, большими плато.

Однако на восточных островах Сал, Боавишта и Майо поверхность относительно плоская с небольшими возвышениями и окружена обширными морскими пляжами.

Самая высокая точка страны - вулкан Фога высота которого составляет 2829 метров. Другие известные точки в стране расположены на острове Санту-Антао - Топо-де-Короа, высота которого составляет 1 979 метров, и на острове Сантьяго - Пико-де-Антония, высота которого составляет 1 373 метра.

### 1.3 Климат в Кабо-Верде

Кабо-Верде расположен в тропической зоне Северной Атлантики и является частью обширной территории Сахеля. Здесь жаркий, засушливый и полузасушливый климат.

Температуры мало меняются в течение года. Максимальная температура составляет от 25°C до 30°C, а минимальная от 19°C до 25°C. Самые жаркие месяцы: август, сентябрь и октябрь со средней температурой 29 градусов, а самые холодные - январь и февраль со средней температурой около 23 градусов. В высокогорных районах климат несколько умеренный.

Как и во всех регионах Сахеля, на архипелаге есть два контрастирующих сезона: сезон дождей и сезон засухи или ветреной погоды.

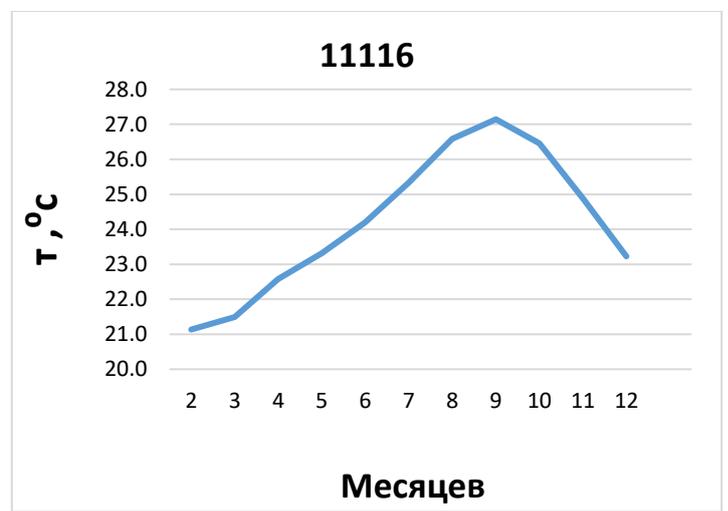
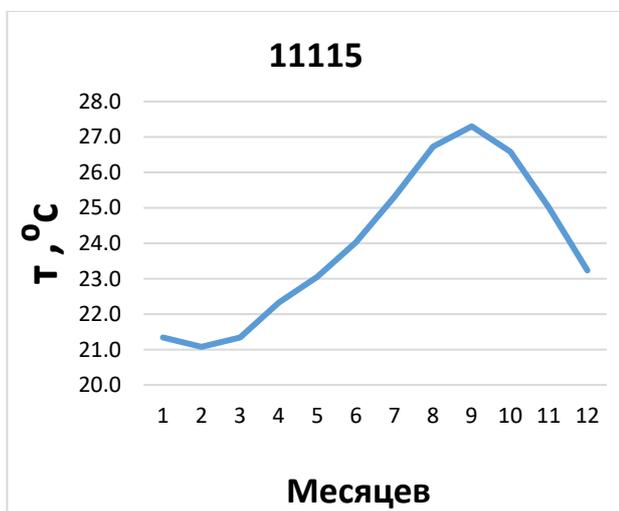
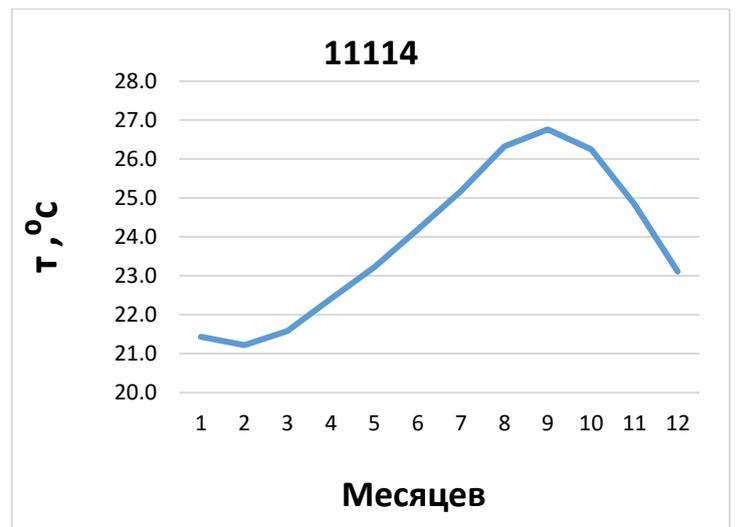
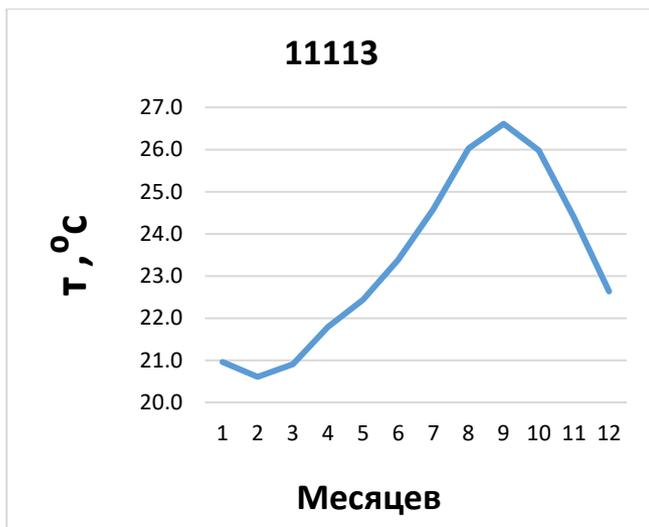
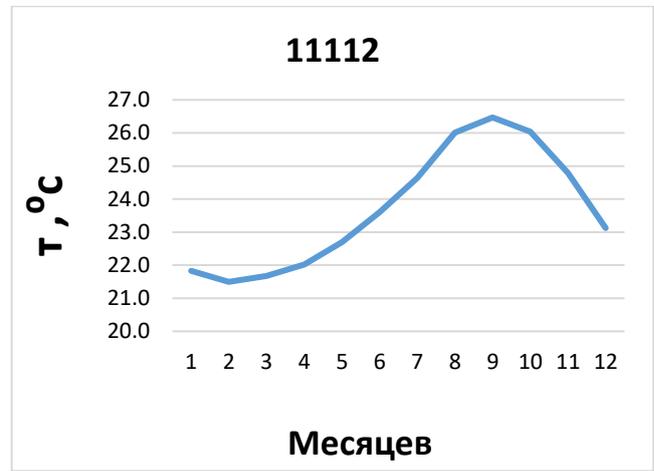
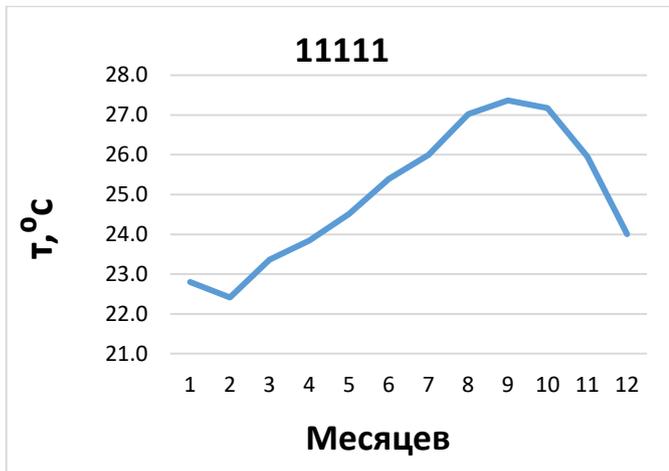
Сезон дождей длится с августа по октябрь, когда на самых северных островах, таких как Санто-Антао, Сантьяго и Фого выпадает больше осадков. Сухой сезон длится с декабря по июль.

Дожди идут нерегулярно и архипелаг периодически страдает от засухи. Среднегодовое количество осадков не превышает 300 мм на малой высоте и 700 мм на большой высоте.

На островах дует постоянный ветер. С октября по июнь дует Харматтан, сухой и пыльный ветер из Сахары, который приносит сухой туман, иногда окутывающий небо

## 1.4. Распределения средних многолетних температур в Кабо-Верде

Внутригодовые климатические распределения температур воздуха на разных метеостанциях Кабо-Верде показаны на рис. 1.4.1.



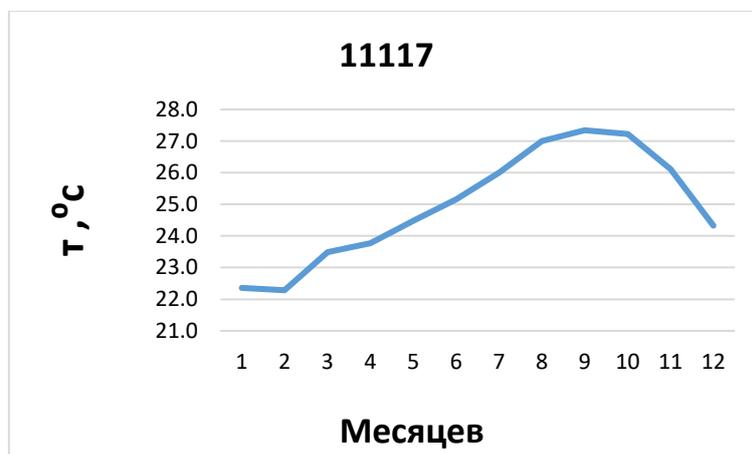


Рисунок 1.4.1. Внутригодовые распределения средних многолетние температур на островах Кабо-Верде

Из графиков рис.1.4.1 следует, что распределения температур внутри года по месяцам распределяются неравномерно и выделяются два основных периода: теплый сезон с августа по октябрь. На графике видно что средняя температура для этого сезона составляет  $27^{\circ}\text{C}$ ). И холодный сезон с ноября по февраль с температурой в среднем  $21^{\circ}\text{C}$ . Из сопоставления графиков рис.1.4.1 можно сделать вывод, что внутригодовые климатические распределения температур по всем островам Кабо-Верде практически одинаковы с наибольшей температурой в сентябре и наименьшей в январе.

## Глава 2. Анализ исходных данных

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

Для проведения исследования была собрана информация по многолетним рядам наблюдений среднемесячных температур воздуха по 7 метеостанциям на островах Кабо-Верде.

Продолжительности и периоды наблюдения за температурой воздуха по 7 метеорологическим станциям в Кабо-Верде приведены в табл.2.1.1.

## Продолжительности рядов наблюдений и координаты метеостанций

Код	Наименование	Период наблюдений	кол-во лет 1	Широта, град	Долгота, град
11111	Station1	1971 - 2020	50	14,46	-23,29
11112	Station2	1970 - 2020	50	18,31	-24,35
11113	Station3	1970 - 2020	51	16,43	-23,56
11114	Station4	1980 - 2020	41	17,01	-25,04
11115	Station5	1985 - 2020	36	16,07	-23,33
11116	Station6	1990 - 2020	31	16,35	-24,17
11117	Station7	1990 - 2020	31	14,53	-24,28

## 2.2. Расположение пунктов наблюдений по территории

Расположение выбранных метеостанций с наблюдениями за температурой воздуха на островах Кабо-Верде, которые использовались в этой работе, показано на карте рис.2.1.1.

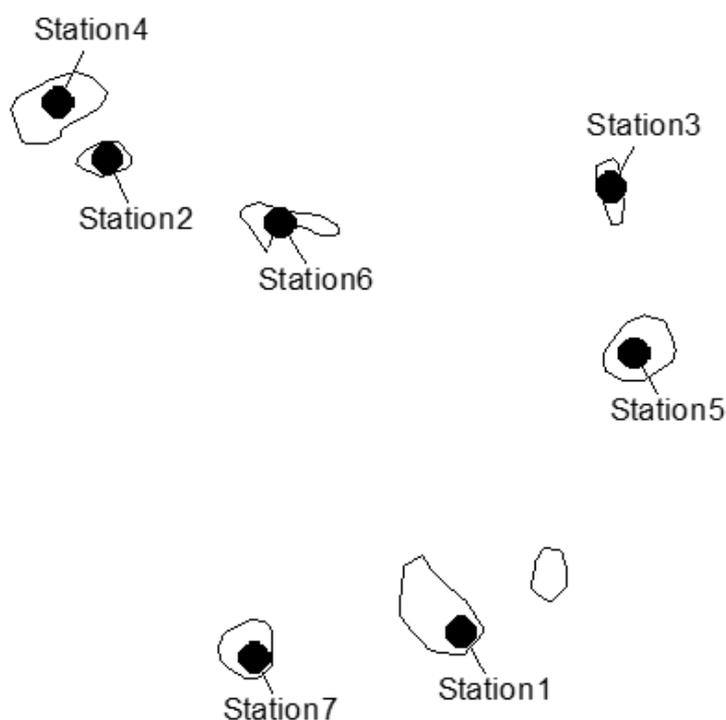


Рисунок 2.2.1. Схема расположения метеостанций с наблюдениями за температурой воздуха на островах Кабо-Верде

### 2.3. Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду с оценкой эффективности приведения и качества восстановленных данных

В соответствии с методикой, приведенной в [1], было осуществлено восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов к одинаковому многолетнему периоду по данным в пунктах-аналогах. Результаты восстановления приведены в табл.2.3.1 для температуры января.

Таблица.2.3.1.

Многолетние ряды наблюдаемых и восстановленных значений температур января для метеостанций на островах Кабо-Верде

Код	Кол-во факт. лет	Кол-во восст. лет	Средн.погр. восст.°С	Средн.исх.ряда.°С
11112	50	51	0.4	21.8
11114	41	51	0.3	21.9
11115	36	51	0.5	21.9

Из данных табл.2.3.1 следует, что из 7 станций внутри островов Кабо-Верде была восстановлена температура января только на 3х станциях, т.е. в 43% всех возможных случаев. Число восстановленных лет варьировало от 1 года для метеостанции с кодом 11112 до 15 лет для метеостанции с кодом 11115. При этом стандартная погрешность восстановления была небольшой и составляла 0,3 – 0,5.°С, так как критическое минимальное значение коэффициента корреляции было задано  $R=0,85$ , но фактически коэффициенты корреляции были выше.

Примеры исходного и восстановленных рядов для метеостанции 5 (код 11115) приведены на рис.2.3.1. Как следует из этого рисунка, за счет процедуры восстановления были восстановлены данные в начальный период до 1985 г. Ряд температур за января на метеостанции после восстановления стал иметь период с 1970 по 2015 год

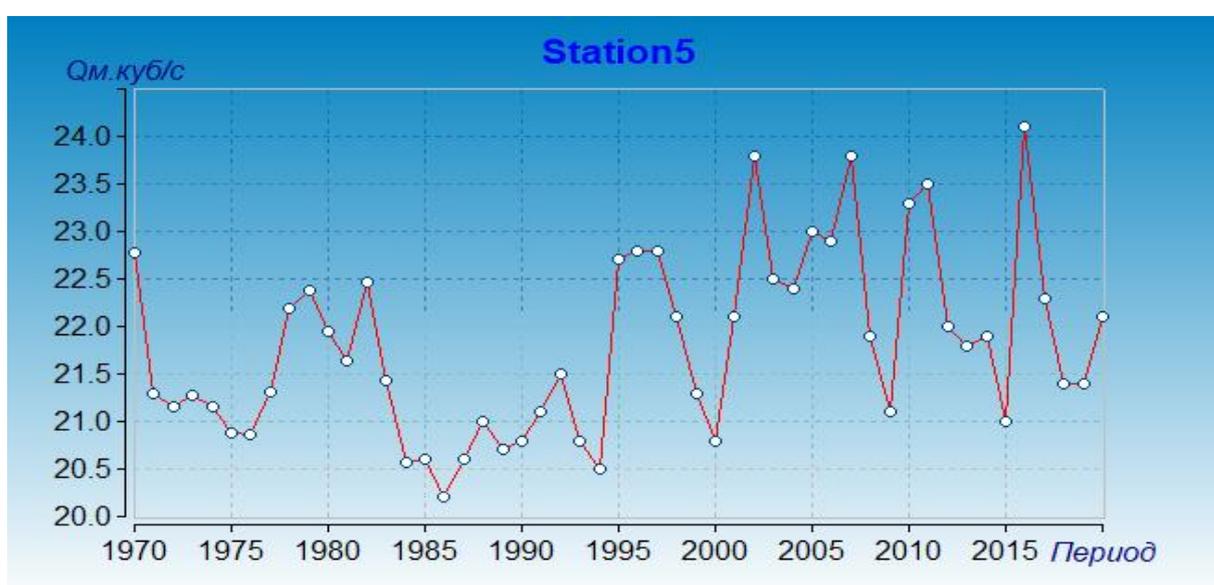
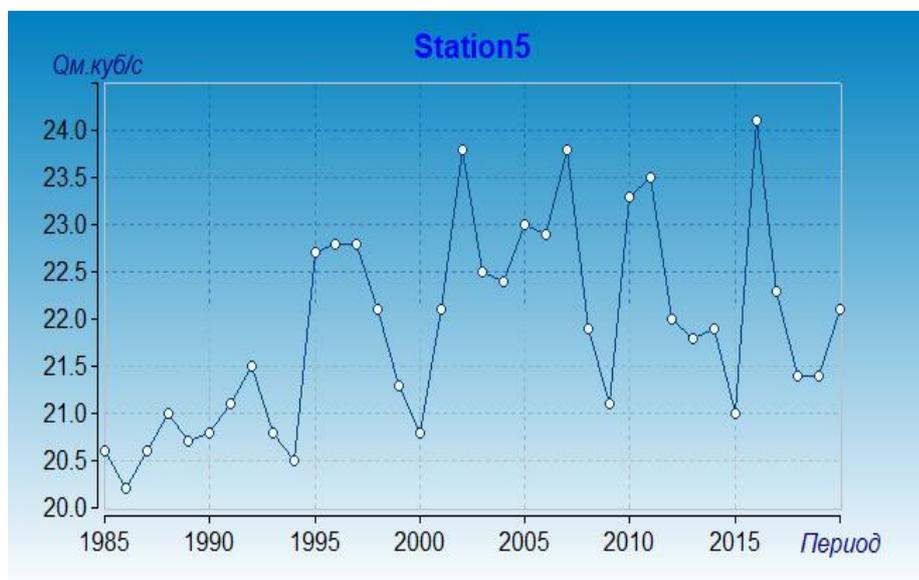


Рисунок .2.3.1. Исходный (вверху) и восстановленный (внизу) многолетний ряд наблюдений за температурой воздуха января на метеостанции 11115.

Корреляционная матрица между многолетними рядами коэффициентов парной корреляции приведена на рис.2.3.2.

	11111	11112	11113	11114	11115	11116	11117
11111	1	0.693	0.598	0.677	0.735	0.334	0.709
11112	0.693	1	0.801	0.96	0.814	0.481	0.569
11113	0.598	0.801	1	0.794	0.865	0.67	0.435
11114	0.677	0.96	0.794	1	0.807	0.468	0.556
11115	0.735	0.814	0.865	0.807	1	0.544	0.518
11116	0.334	0.481	0.67	0.468	0.544	1	0.203
11117	0.709	0.569	0.435	0.556	0.518	0.203	1

Рисунок.2.3.2. Матрица парных коэффициентов корреляции между многолетними рядами температур воздуха января.

Численные значения  $R$  в матрице рис.2.3.2 изменяются в широких пределах от 0.203 до 0.96. При этом некоторые метеостанции (11112 – 11115) хорошо связаны между собой, а некоторые плохо (11116 и 11117), что свидетельствует о возможном разделении всей территории на один однородный регион и 2-3 отдельных острова со своими особенностями многолетних колебаний температуры января.

Результаты восстановления среднемесячных температур апреля приведены в табл.2.3.2.

Таблица.2.3.2.

Многолетние ряды наблюдаемых и восстановленных значений температур апреля для метеостанций на островах Кабо-Верде

Код	Кол-во факт. лет	Кол-во восст. лет	Средн.погр. восст.°С	Средн.исх.ряда.°С
11112	50	51	0,5	22
11114	41	50	1,0	22
11115	36	51	0,4	22

Из данных табл.2.3.2 следует, что из 7 станций внутри островов Кабо-Верде была восстановлена температура апреля только на 3х станциях (также как и в январе), т.е. в 43% всех возможных случаев. Число восстановленных лет варьировало от 1 года для метеостанции с кодом 11112 до 15 лет для метеостанции с кодом 11115. При этом стандартная погрешность восстановления была небольшой и составляла 0,4 – 1,0°С.

Примеры исходного и восстановленных рядов для метеостанции 5 (код 11115) приведены на рис.2.3.3. Как следует из этого рисунка, за счет процедуры восстановления были восстановлены данные в начальный период до 1985 г. Ряд температур за июль на метеостанции после восстановления стал иметь период с 1970 по 2015 год

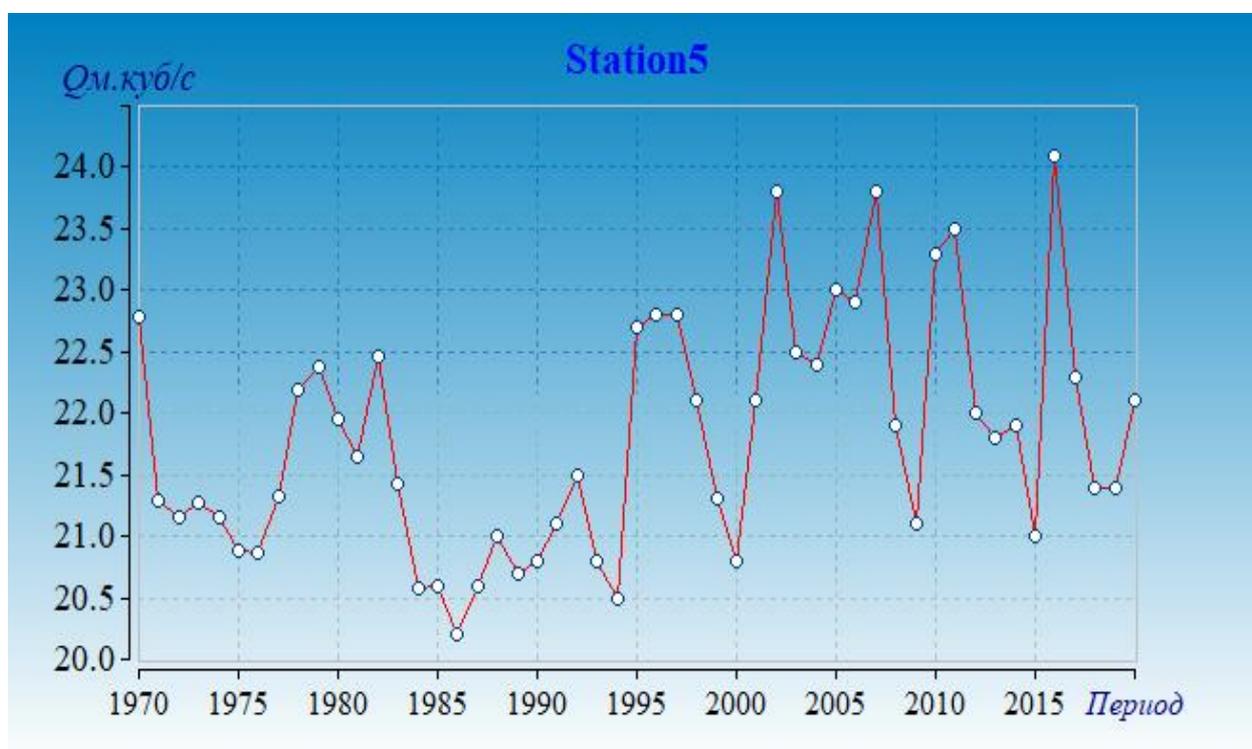
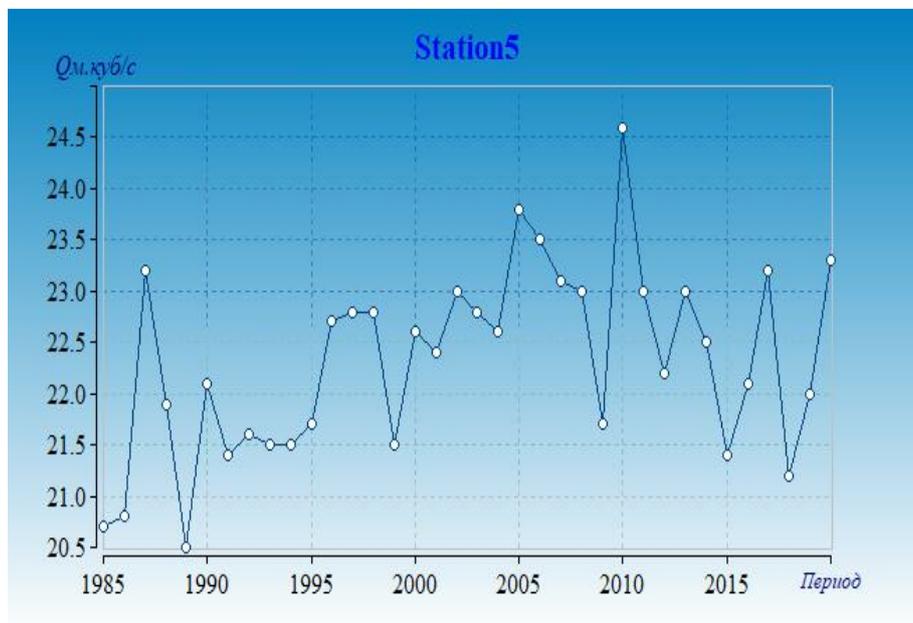


Рисунок 2.3.3. Исходный (вверху) и восстановленный (внизу) многолетний ряд наблюдений за температурой воздуха апреля на метеостанции 11115.

Корреляционная матрица между многолетними рядами коэффициентов парной корреляции приведена на рис.2.3.4.

	11111	11112	11113	11114	11115	11116	11117
11111	1	0.592	0.678	0.312	0.576	0.308	0.768
11112	0.592	1	0.855	0.839	0.853	0.388	0.368
11113	0.678	0.855	1	0.618	0.850	0.517	0.470
11114	0.312	0.839	0.618	1	0.705	0.171	0.122
11115	0.576	0.853	0.850	0.705	1	0.515	0.460
11116	0.308	0.388	0.517	0.171	0.515	1	0.248
11117	0.768	0.368	0.470	0.122	0.460	0.248	1

Рисунок.2.3.4. Матрица парных коэффициентов корреляции между многолетними рядами температур воздуха апреля.

Численные значения R в матрице рис.2.3.4 изменяются в широких пределах от 0.122 до 0.855 и они меньше, чем для температуры января. При этом некоторые метеостанции (11112 – 11115) хорошо связаны между собой, а некоторые плохо (11116 и 11117), что свидетельствует о возможном разделении всей территории на один однородный регион и 2-3 отдельных острова со своими особенностями многолетних колебаний температуры апреля. При этом для апреля получены такие же закономерности пространственной связанности рядов на разных метеостанциях, что и для температуры января, но с более низкими коэффициентами корреляции. Поэтому весной связанность рядов температур ниже, чем зимой.

Результаты восстановления среднемесячных температур июля приведены в табл.2.3.3.

Таблица.2.3.3.

Многолетние ряды наблюдаемых и восстановленных значений температур июля для метеостанций на островах Кабо-Верде

Код	Кол-во факт. лет	Кол-во восст. лет	Средн.погр. восст.°С	Средн.исх.ряда.°С
11112	50	51	0,3	24
11114	41	49	1,0	24
11117	31	50	0,5	25

Из данных табл.2.3.3 следует, что из 7 станций внутри островов Кабо-Верде была восстановлена температура июля только на 3х станциях (также как в январе и апреле), т.е. в 43% всех возможных случаев. Число восстановленных лет варьировало от 1 года

для метеостанции с кодом 11112 до 19 лет для метеостанции с кодом 11117. При этом стандартная погрешность восстановления была небольшой и составляла 0,3 – 1,0°C.

Примеры исходного и восстановленных рядов для метеостанции 7 (код 11117) приведены на рис.2.3.5. Как следует из этого рисунка, за счет процедуры восстановления были восстановлены данные в начальный период до 1990 г. Ряд температур за июль на метеостанции после восстановления стал иметь период с 1970 по 2020 год.

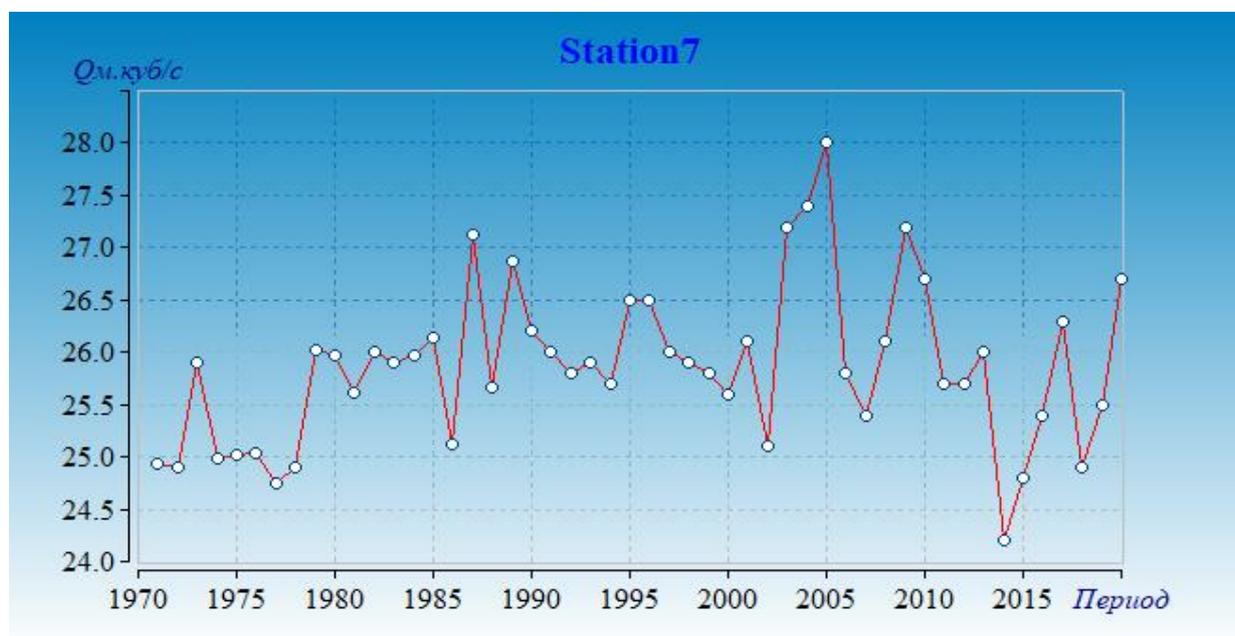
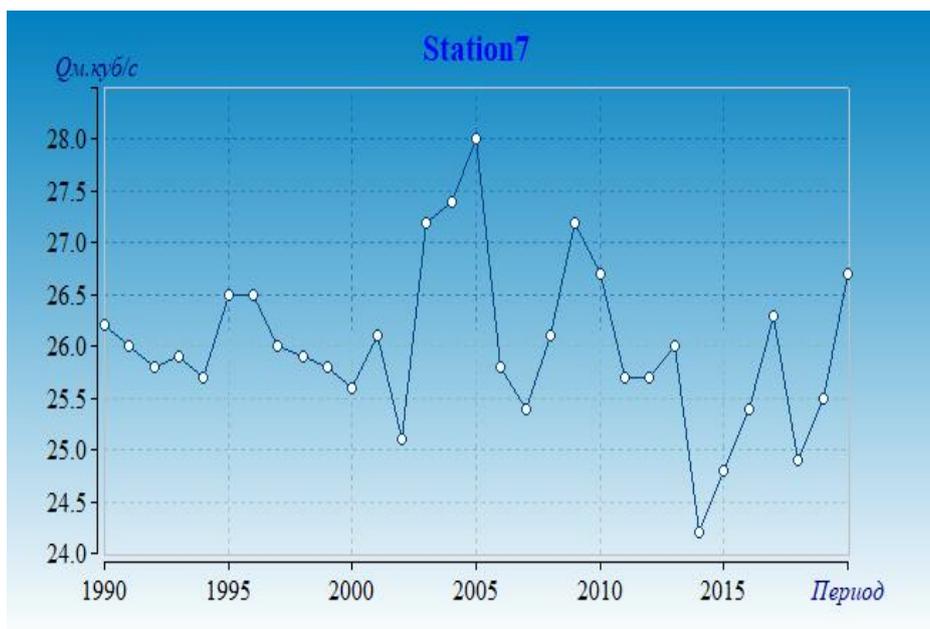


Рисунок 2.3.5. Исходный (вверху) и восстановленный (внизу) многолетний ряд наблюдений за температурой воздуха июля на метеостанции 11117.

Корреляционная матрица между многолетними рядами коэффициентов парной корреляции приведена на рис.2.3.6.

	11111	11112	11113	11114	11115	11116	11117
11111	1	0.397	0.452	-0.006	0.432	-0.170	0.885
11112	0.397	1	0.859	0.713	0.760	0.037	0.320
11113	0.452	0.859	1	0.446	0.669	0.212	0.458
11114	-0.006	0.713	0.446	1	0.409	-0.008	-0.208
11115	0.432	0.760	0.669	0.409	1	0.198	0.528
11116	-0.170	0.037	0.212	-0.008	0.198	1	-0.070
11117	0.885	0.320	0.458	-0.208	0.528	-0.070	1

Рисунок.2.3.6. Матрица парных коэффициентов корреляции между многолетними рядами температур воздуха июля.

Численные значения R в матрице рис.2.3.6 изменяются в широких пределах от 0.0 до 0.859 и они меньше, чем для температуры января. При этом некоторые метеостанции (11112 – 11115) хорошо связаны между собой, а некоторые плохо (11111, 11116 и 11117), что свидетельствует о возможном разделении всей территории на один однородный регион и 2-3 отдельных острова со своими особенностями многолетних колебаний температуры апреля. При этом для июля получены такие же закономерности пространственной связанности рядов на разных метеостанциях, что и для температуры января, но с более низкими коэффициентами корреляции. Поэтому летом связанность рядов температур ниже, чем зимой, но примерно такая же как в апреле.

Результаты восстановления среднемесячных температур октября приведены в табл.2.3.4.

Таблица.2.3.4.

Многолетние ряды наблюдаемых и восстановленных значений температур октября для метеостанций на островах Кабо-Верде

Код	Кол-во факт. лет	Кол-во восст. лет	Средн.погр. восст.°С	Средн.исх.ряда.°С
11114	41	50	0.3	26.2
11115	36	51	0.4	26.6

Из данных табл.2.3.4 следует, что из 7 станций внутри островов Кабо-Верде была восстановлена температура июля только на 2х станциях, т.е. в 48% всех возможных случаев. Число восстановленных лет составило 9 лет для метеостанции с кодом 11114 и 15 лет для метеостанции с кодом 11115. При этом стандартная погрешность восстановления была небольшой и составляла 0,3 – 0,4°С.

Примеры исходного и восстановленных рядов для метеостанции 5 (код 11115) приведены на рис.2.3.7. Как следует из этого рисунка, за счет процедуры восстановления были восстановлены данные в начальный период до 1985 г. Ряд температур за июль на метеостанции после восстановления стал иметь период с 1970 по 2020 год.

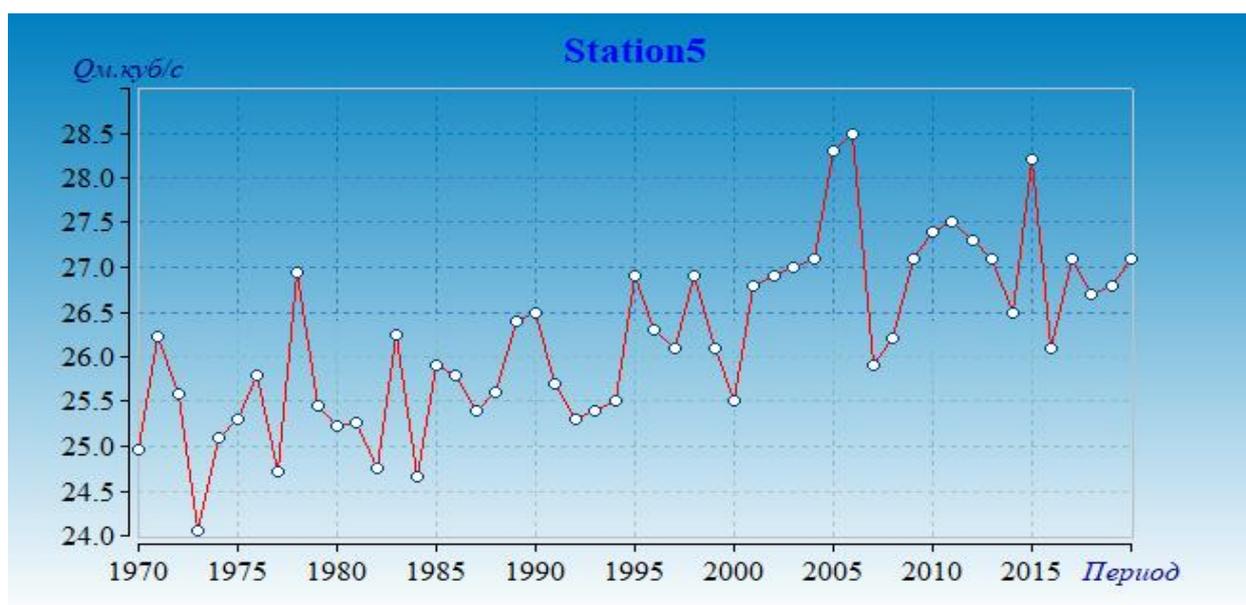
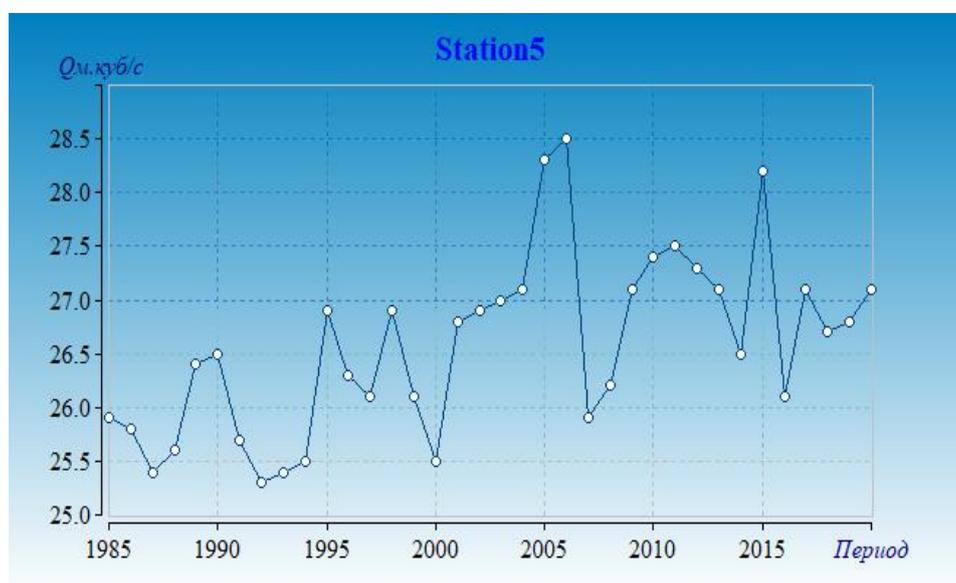


Рисунок 2.3.7. Исходный (вверху) и восстановленный (внизу) многолетний ряд наблюдений за температурой воздуха октября на метеостанции 11115.

Корреляционная матрица между многолетними рядами коэффициентов парной корреляции приведена на рис.2.3.8.

	11111	11112	11113	11114	11115	11116	11117
11111	1	0.191	0.179	0.191	0.355	0.077	0.756
11112	0.191	1	0.783	0.946	0.832	0.182	0.201
11113	0.179	0.783	1	0.762	0.842	0.343	0.317
11114	0.191	0.946	0.762	1	0.770	0.149	0.243
11115	0.355	0.832	0.842	0.770	1	0.315	0.297
11116	0.077	0.182	0.343	0.149	0.315	1	0.070
11117	0.756	0.201	0.317	0.243	0.297	0.070	1

Рисунок.2.3.8. Матрица парных коэффициентов корреляции между многолетними рядами температур воздуха октября.

Численные значения R в матрице рис.2.3.8 изменяются в широких пределах от 0.070 до 0.946 и они практически такие же, как для температуры января. При этом некоторые метеостанции (11112 – 11115) хорошо связаны между собой, а некоторые плохо (11111, 11116 и 11117), что свидетельствует о возможном разделении всей территории на один однородный регион и 2-3 отдельных острова со своими особенностями многолетних колебаний температуры апреля. При этом для октября получены такие же закономерности пространственной связанности рядов на разных метеостанциях, что и для температуры остальных месяцев года.

В результате проведенного исследования, удалось не только восстановить пропуски наблюдений и увеличить продолжительность рядов, но и выявить закономерности пространственно-временной связанности. Так в январе и октябре (зимнее полугодие) температуры по пространству связаны лучше, чем в апреле и июле (летнее полугодие). Кроме того, два южных острова (11111 и 11117) и один центральный (11116) имеют низкую связанность температур с остальными островами видимыми из-за индивидуальных особенностей микроклимата на них.



В табл.2.4.1. 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].

Из результатов табл.2.4.1 следует, что неоднородных экстремумов в рядах среднемесячных температур нет и во всех случаях по критериям Диксона была подтверждена нулевая гипотеза отсутствия неоднородных данных. При оценке стационарности дисперсий по критерию Фишера выявлено всего 4 случая (4,7%), когда гипотеза стационарности гарантированно отклоняется при уровне значимости  $\alpha=1\%$  и еще 6 случаев, когда гипотезу стационарности можно условно отклонить ( $1\% < \alpha < 3\%$ ). При оценке стационарности средних значения по критерию Стьюдента установлено 16 случаев (или 30%), когда гипотеза отклоняется с большой вероятностью при  $\alpha < 1\%$  и еще 8 случаев, когда гипотеза отклоняется при  $1\% < \alpha < 3\%$ . Наибольшее число нестационарных средних установлено в октябре: 4 случая, по 3 случая в июле, августе, сентябре, ноябре и всего по 1 случаю в феврале, марте, апреле.

Поэтому можно сделать вывод, что нестационарность средних значений температур имеет место почти в половине случаев даже при разбиении ряда на две одинаковые части и это может быть обусловлено с влиянием изменения климата, что следует исследовать более детально.

## 2.5. Расчеты климатических характеристик в стационарных условиях

Целью проводимых расчетов является определение надежной климатической нормы (среднего многолетнего значения) по ряду, приведенному к многолетнему периоду, а также расчетных климатических характеристик редкой повторяемости: повторяемость 1 раз в 100 лет и 1 раз в 200 лет. При этом повторяемости 1 раз в 100 лет соответствует квантиль распределения обеспеченностью 1%, а повторяемости 1 раз в 200 лет – квантиль обеспеченностью 0,5%, т.е. значения в верхней части кривой распределения. Результаты расчетов средних многолетних значений температур по рядам, приведенным к многолетнему периоду и квантилей редкой повторяемости для месяцев холодного сезона приведены в табл.2.5.1.

Таблица 2.5.1.

Средние многолетние и расчетные значения среднемесячных температур воздуха на островах Кабо-Верде за холодный сезон

Станция	Декабрь			Январь			Февраль		
	среднее	1%	0.5%	среднее	1%	0.5%	среднее	1%	0.5%
Station1	23.9	30	30.9	23.7	29.8	30.7	24.4	30.6	31.6
Station2	23	28.9	29.8	21.9	27.5	28.4	22.6	28.3	29.2
Station3	22.5	28.2	29.2	21.7	27.2	28.1	22.3	28	28.9
Station4	23	28.8	29.6	22.3	28	28.9	23.1	29	29.9
Station5	23.2	29	29.9	22.2	27.9	28.7	22.9	28.8	29.7
Station6	23.2	29	29.9	22.5	28.2	29.1	23.2	29.1	30.1
Station7	24.2	30.4	31.4	23.6	29.7	30.6	24.4	30.4	31.5

На основе рассчитанных средних многолетних значений и температур редкой повторяемости были построены их пространственные распределения, которые приведены для температур декабря на рис. 2.5.1 – 2.5.3.

Как следует из рисунков, как средние многолетние температуры, так и расчетные значения температур повторяемостью и 1 раз в 100 и 200 лет закономерно увеличиваются с севера на юг даже в таком небольшом широтном диапазоне. Так, средние многолетние значения увеличиваются от 22,5°С на севере до 24,2°С на юге, а расчетные значения повторяемостью 1 раз в 200 лет увеличиваются уже от 29,2°С на

севере до 31,4°С на юге, т.е. в обоих случаях территориальных градиент составляет примерно 2°С.

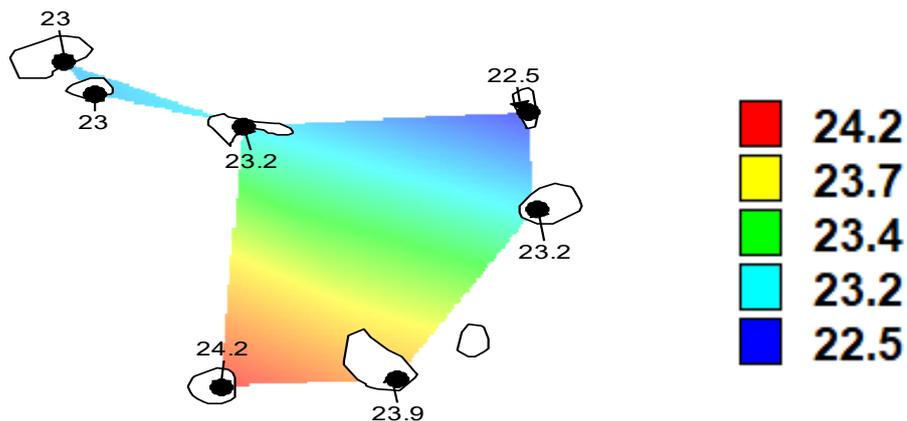


Рисунок 2.5.1. Пространственная модель средних многолетних температура декабря (°C).

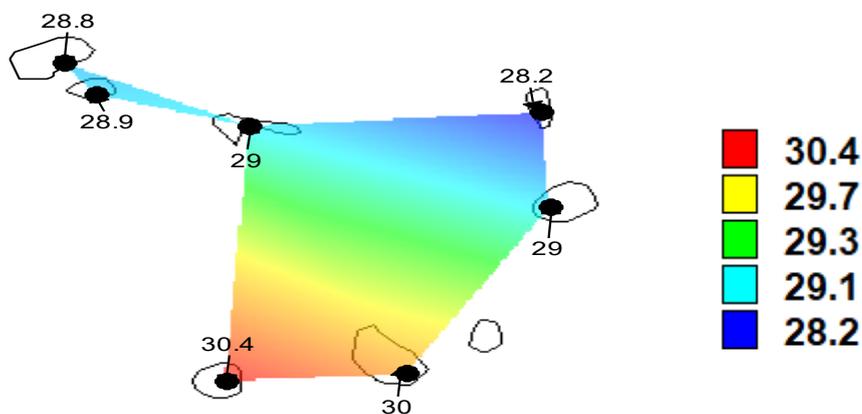


Рисунок 2.5.2. Пространственная модель температуры декабря повторяемостью 1 раз в 100 лет (°C).

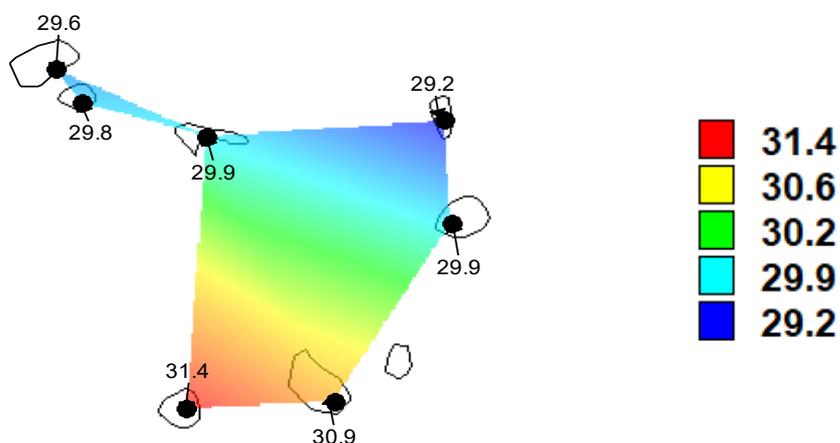


Рисунок 2.5.3. Пространственная модель температуры декабря повторяемостью 1 раз в 200 лет (°C).

Для января и февраля аналогичные пространственные распределения средних многолетних температур и расчетных значений повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет,, приведены на рис.2.5.4 – 2.5.9.

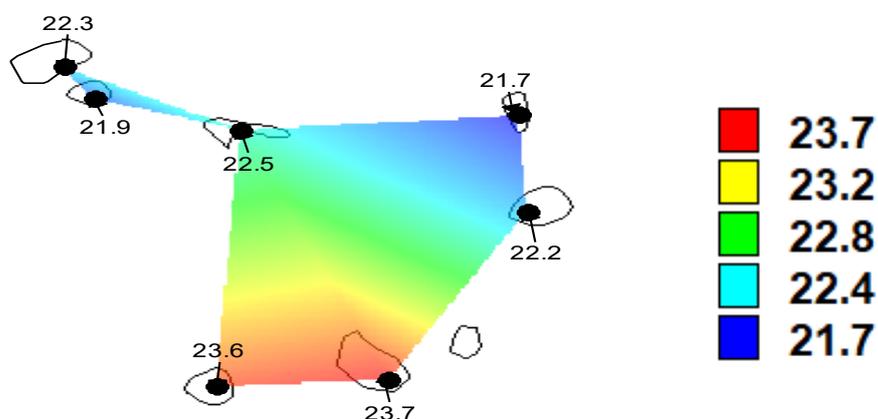


Рисунок 2.5.4. Пространственная модель средних многолетних температура января (°C).

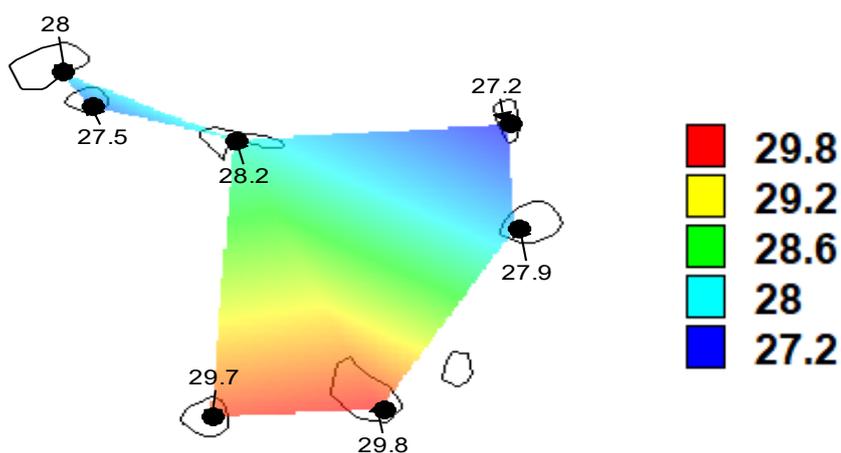


Рисунок 2.5.5. Пространственная модель температуры января повторяемостью 1 раз в 100 лет (°C).

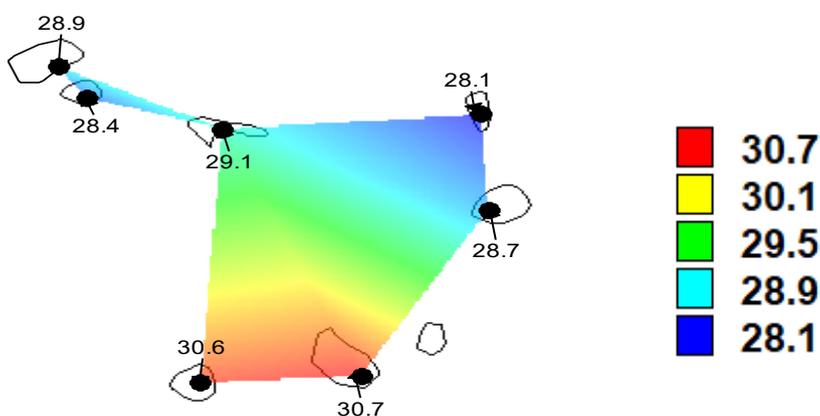


Рисунок 2.5.6. Пространственная модель температуры января повторяемостью 1 раз в 200 лет (°C).

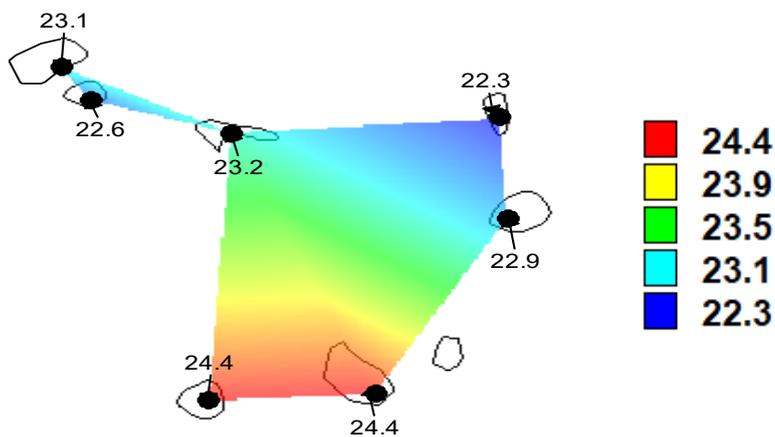


Рисунок 2.5.7. Пространственная модель средних многолетних температура февраля (°C).

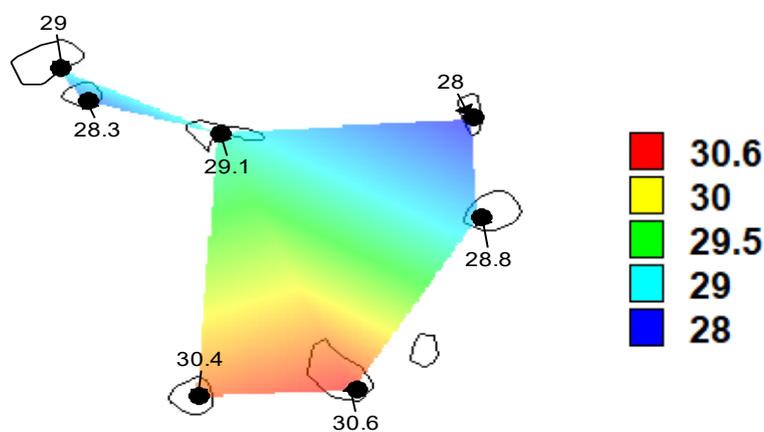


Рисунок 2.5.8. Пространственная модель температуры февраля повторяемостью 1 раз в 100 лет (°C).

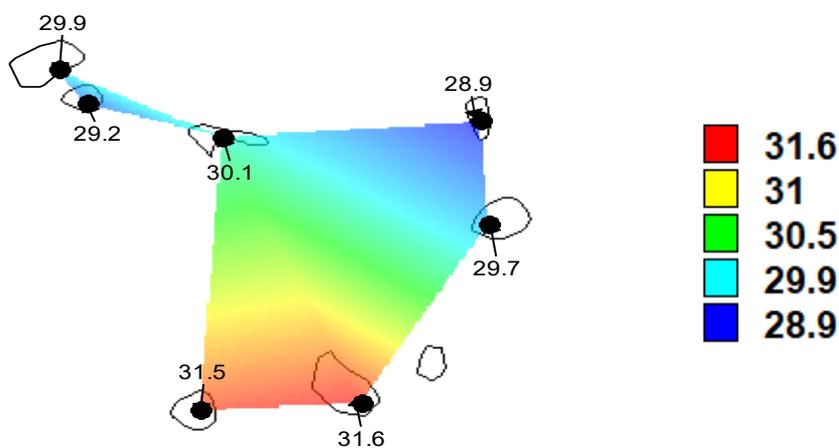


Рисунок 2.5.9. Пространственная модель температуры февраля повторяемостью 1 раз в 200 лет (°C).

Из пространственных распределений температур воздуха зимних месяцев следует, что средние многолетние значения закономерно увеличиваются с севера на юг при этом максимальное значение в декабре составляет 24.2°C и минимальное 22.5°C, в январе максимальное значение 23.7°C и минимальное 21.7°C и в феврале максимальное значение 24.4°C и минимальное значение 22.3°C.

Результаты расчетов средних многолетних значений температур по рядам, приведенным к многолетнему периоду и квантилей редкой повторяемости для месяцев теплого сезона приведены в табл.2.5.2.

Таблица 2.5.2.

Средние многолетние и расчетные значения среднемесячных температур воздуха на островах Кабо-Верде за теплый сезон

Станция	Август			Сентябрь			Октябрь		
	среднее	1%	0.5%	среднее	1%	0.5%	среднее	1%	0.5%
Station1	26.9	33.7	34.8	27.2	34.2	35.3	27.1	33.9	35.1
Station2	25.9	32.5	33.5	26.3	33	34.1	25.9	32.5	33.5
Station3	25.9	32.5	33.5	26.5	33.2	34.3	25.9	32.4	33.5
Station4	26.2	32.9	33.9	26.6	33.4	34.5	26.2	32.8	33.8
Station5	26.6	33.4	34.4	27.2	34.1	35.2	26.5	33.2	34.3
Station6	26.5	33.2	34.2	24	33.9	35	26.3	33.1	34.1
Station7	26.9	33.7	34.8	27.2	34.2	35.2	27.1	34	35.1

На основе рассчитанных средних многолетних значений и температур резкой повторяемости были построены их пространственные распределения, которые приведены для температур августа на рис. 2.5.10 – 2.5.13.

Как следует из рисунков, как средние многолетние температуры, так и расчетные значения температур повторяемостью и 1 раз в 100 и 200 лет закономерно увеличиваются с севера на юг даже в таком небольшом широтном диапазоне. Так, средние многолетние значения увеличиваются от 25,9°C на севере до 26,9°C на юге, а расчетные значения повторяемостью 1 раз в 200 лет увеличиваются уже от 33,5°C на севере до 34,8°C на юге, т.е. в обоих случаях территориальных градиент составляет 1.0- 1,3°C.

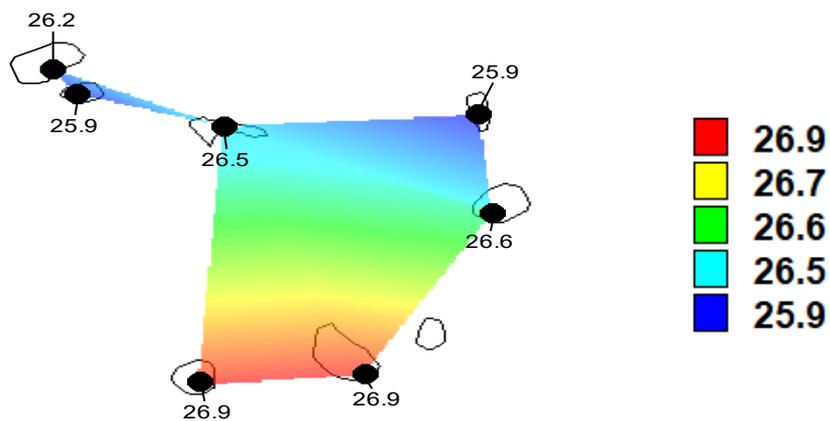


Рисунок 2.5.10. Пространственная модель средних многолетних температура августа (°C).

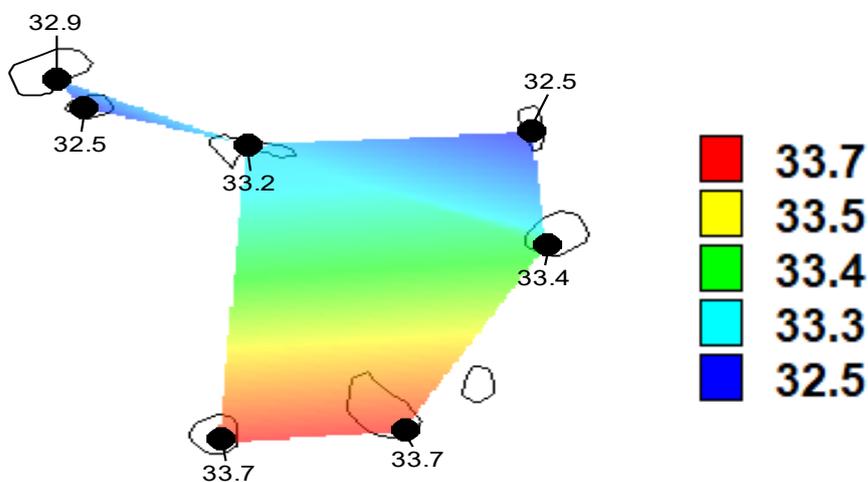


Рисунок 2.5.11. Пространственная модель температуры августа повторяемостью 1 раз в 100 лет (°C).

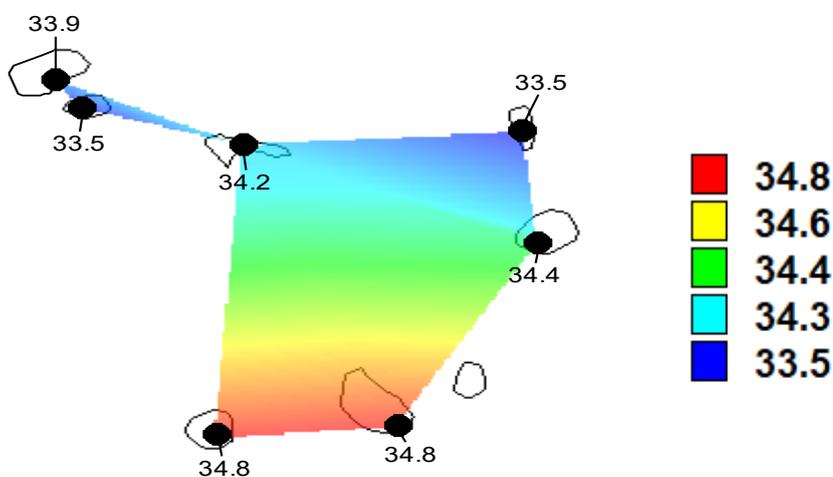


Рисунок 2.5.12. Пространственная модель температуры августа повторяемостью 1 раз в 200 лет (°C).

Для температур сентября и октября аналогичные пространственные распределения средних многолетних температур и расчетных значений повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет,, приведены на рис.2.5.13 – 2.5.18.

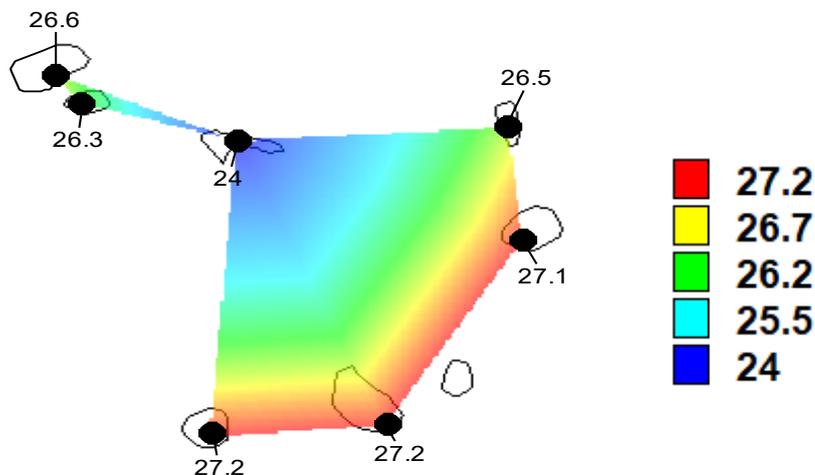


Рисунок 2.5.13. Пространственная модель средних многолетних температура сентября (°C).

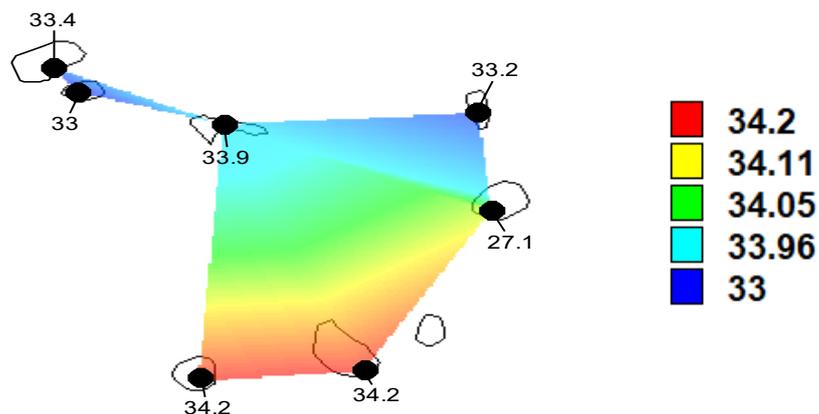


Рисунок 2.5.14. Пространственная модель температуры сентября повторяемостью 1 раз в 100 лет (°C).

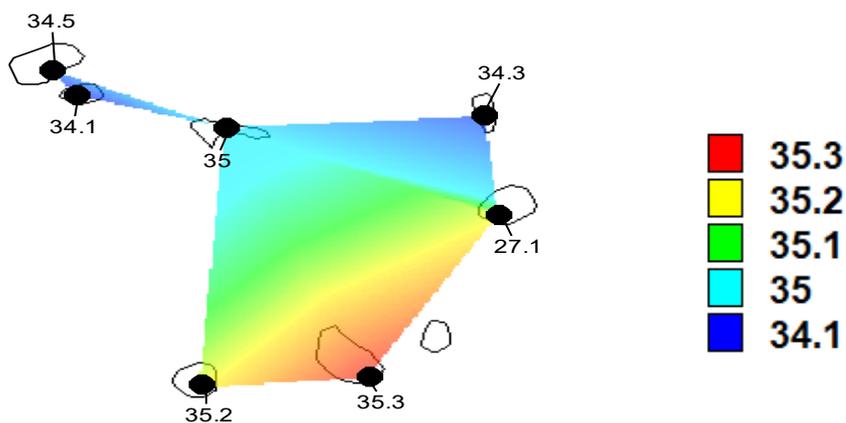


Рисунок 2.5.15. Пространственная модель температуры сентября повторяемостью 1 раз в 200 лет ( $^{\circ}\text{C}$ ).

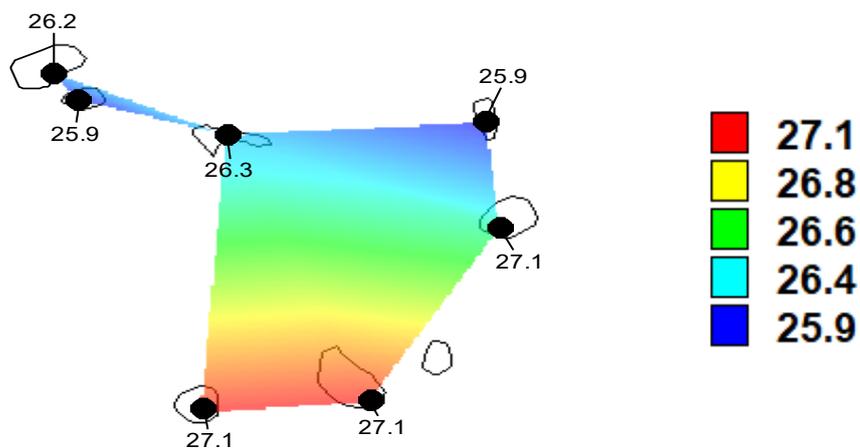


Рисунок 2.5.16. Пространственная модель средних многолетних температура октября ( $^{\circ}\text{C}$ ).

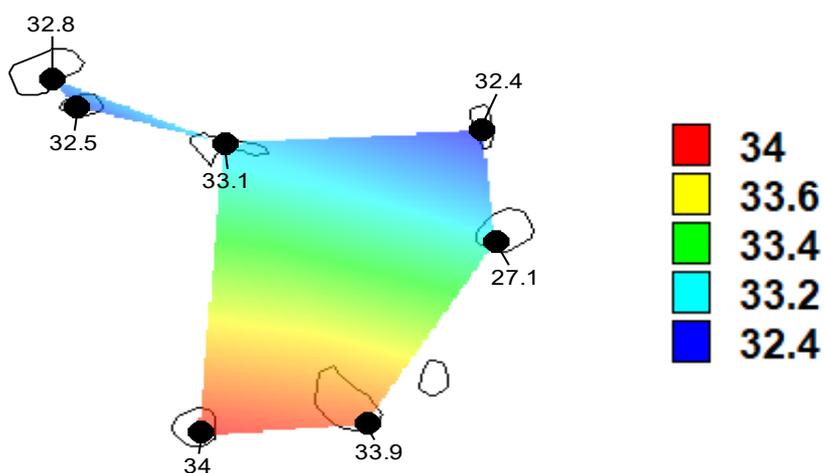


Рисунок 2.5.17. Пространственная модель температуры октября повторяемостью 1 раз в 100 лет ( $^{\circ}\text{C}$ ).

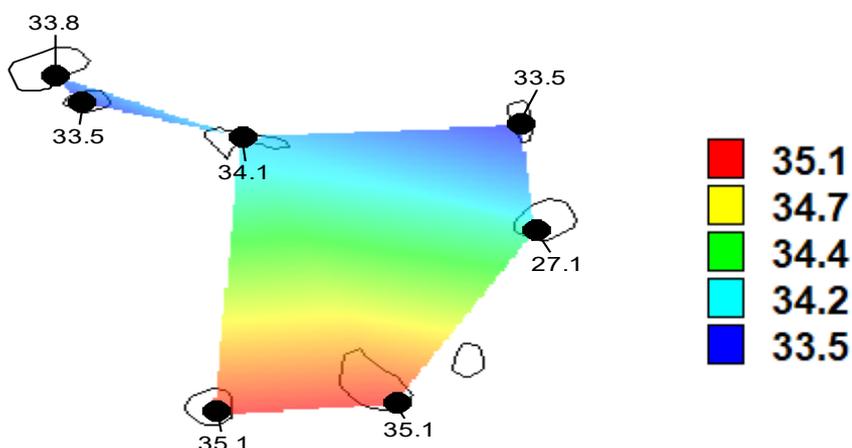


Рисунок 2.5.18. Пространственная модель температуры октября повторяемостью 1 раз в 200 лет (°C).

Из пространственных распределений температур воздуха месяцев теплого сезона следует, что средние многолетние значения закономерно увеличиваются с севера на юг при этом максимальное значение в августе составляет 26.9°C и минимальное 25.9°C, в сентябре максимальное значение 27.2°C и минимальное 24.0°C и в октябре максимальное значение 27.1°C и минимальное значение 25.9°C.

## 2.6. Пространственные закономерности изменчивости температуры

В качестве меры многолетней изменчивости рассматривается среднее квадратическое отклонение (СКО) и его рассчитанные значения по рядам приведенным к многолетнему периоду, для характерных месяцев основных сезонов года (январь, апрель, март, октябрь) приведены в табл.2.6.1.

Таблица 2.6.1.

Средние квадратические отклонения (СКО) температур воздуха (в °C)

Станция	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Station1	0.77	0.92	0.56	0.68
Station2	0.74	0.79	1.64	0.70
Station3	0.80	0.84	0.71	0.69
Station4	0.83	0.97	0.80	0.89
Station5	1.05	0.91	0.75	0.82
Station6	1.34	1.0	1.08	1.42
Station7	1.01	0.85	0.78	0.87

Пространственные распределения СКО за четыре выбранных месяца всех сезонов года приведены на рис.2.6.1 – 2.6.4.

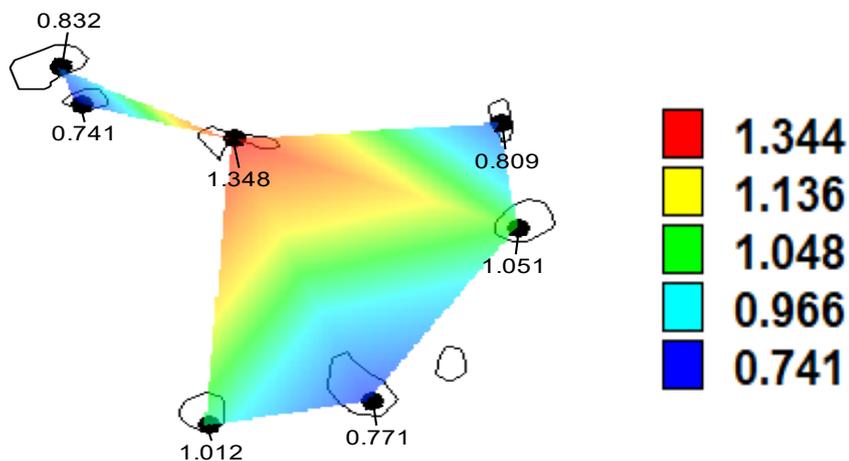


Рисунок.2.6.1. Пространственное распределение СКО среднемесячных температур воздуха января (в °С).

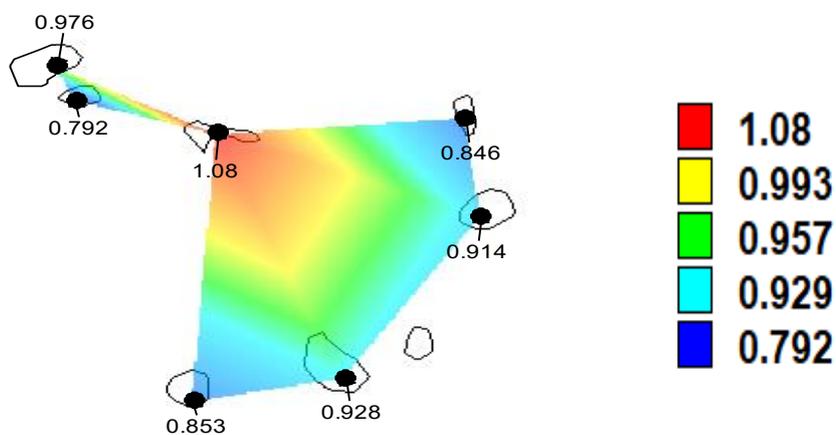


Рисунок.2.6.2. Пространственное распределение СКО среднемесячных температур воздуха апрель (в °С).

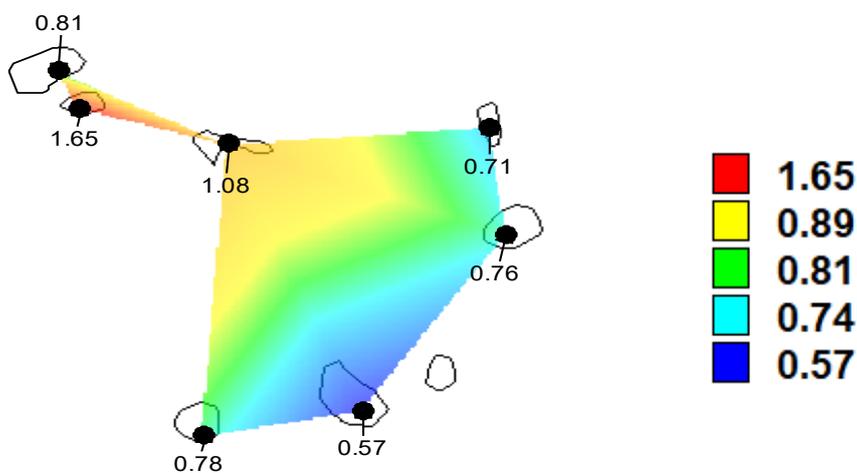


Рисунок.2.6.3. Пространственное распределение СКО среднемесячных температур воздуха июль (в °С).

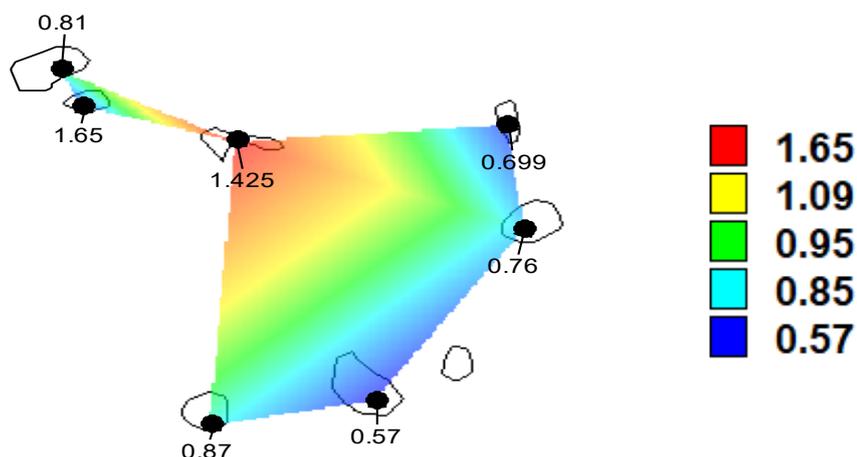


Рисунок.2.6.4. Пространственное распределения SCO среднемесячных температур воздуха октября (в °С).

Из пространственных распределений SCO следует, что наибольших их значения во все сезоны года наблюдаются на центральных островах архипелага, где они составляют 1,1 – 1,6 °С в зависимости от сезона года. Наименьшие значения SCO имеют место на островах восточной части, где они варьируют в диапазоне 0,6-0,9°С.

### Глава 3. Оценка изменения температуры в холодный сезон.

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 температур воздуха была осуществлена их аппроксимация моделями линейного тренда и ступенчатых изменений среднего значения. Бали 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 остаткам нестационарной модели от SCO

исходного ряда (при  $\Delta > 10\%$  принимается, что модель нестационарного среднего эффективна);

-  $F_{tr}$ ,  $F_{st}$  – 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);

$R_{tr}$  – 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. Оценка изменения температуры в ноябре

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

Таблица 3.1.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур ноября на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta_{ст}\%$	$F_{tr}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tr}$
11111	0	1.2	1	1.02	1997	1971	2020	49	0.02
11112	<b>13.8</b>	<b>17.2</b>	<b>1.35</b>	<b>1.46</b>	1995	1970	2020	50	<b>0.51</b>
11113	<b>12.9</b>	<b>19.7</b>	<b>1.32</b>	<b>1.55</b>	1995	1970	2020	51	<b>0.49</b>
11114	<b>12.9</b>	<b>16.5</b>	<b>1.32</b>	<b>1.43</b>	1995	1980	2020	41	<b>0.49</b>
11115	<b>11.4</b>	<b>22</b>	<b>1.27</b>	<b>1.64</b>	1995	1985	2020	36	<b>0.46</b>
11116	0.4	1.4	1.01	1.03	2010	1990	2020	31	-0.1

Как следует из табл. 3.1.1 из 6 рядов модель линейного тренда эффективна в 4 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и

$\Delta\sigma\%$  для всех случаев достаточно большие (16-22%) 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 1995 и один и тот же во всех 4х случаях.

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

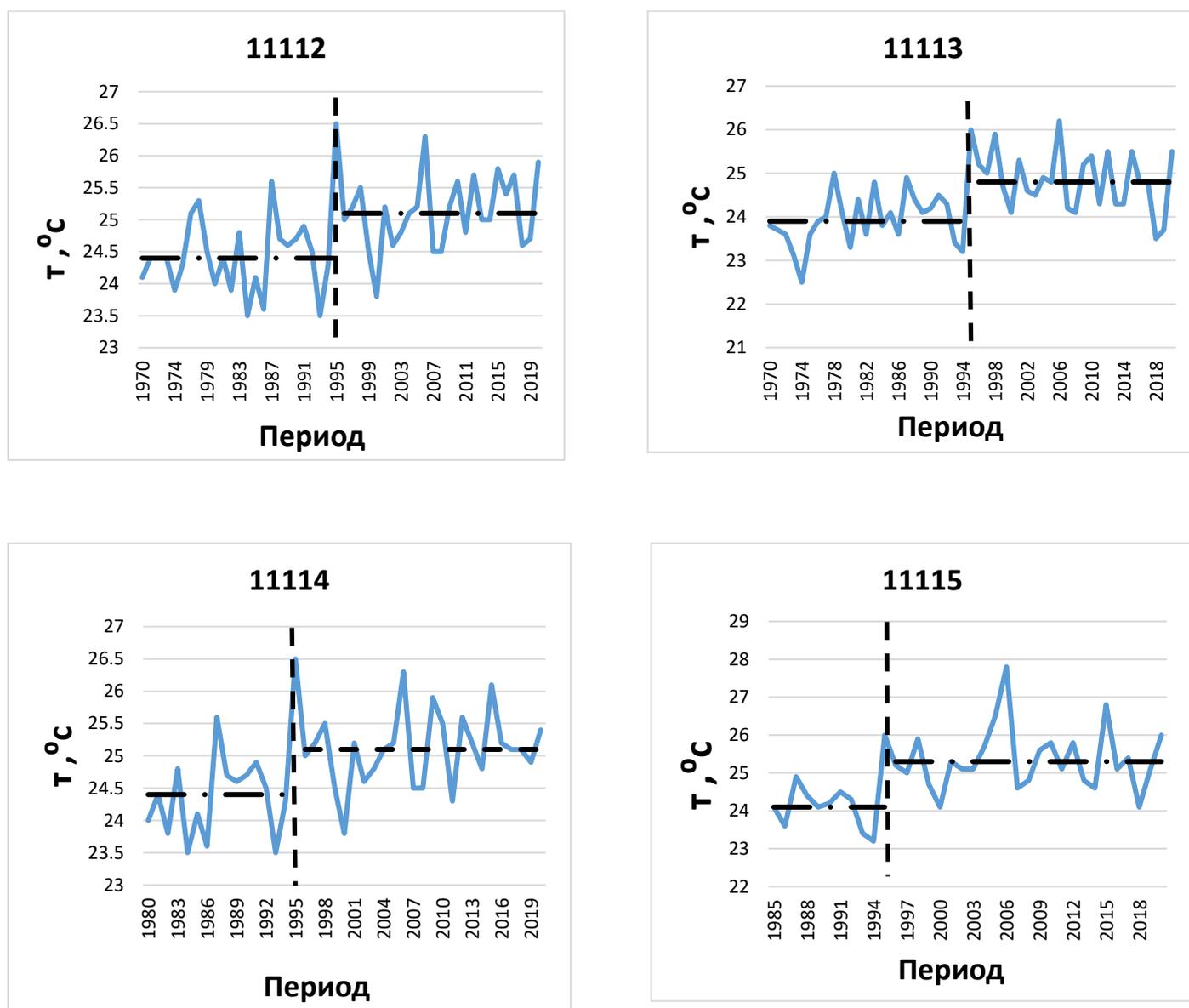


Рисунок 3.1.1. Нестационарные временные ряды температур ноября и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

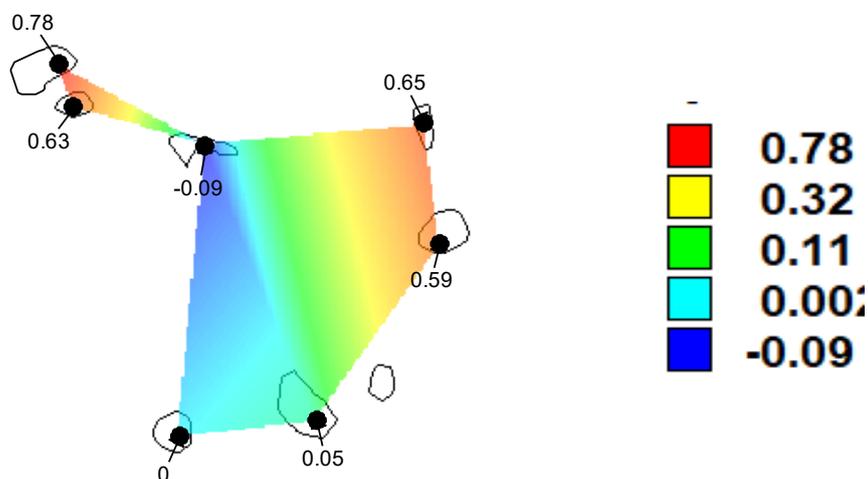
На основании графиков рис.3.1.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в ноябре:

- график на метеостанции 11112 показывает среднее значение с 1970 по 1995 год равное  $24.5^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2019 год равное  $25.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.6^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1995 год равное  $23.9^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2019 год равное  $24.8^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1970 по 1995 год равное  $24.4^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2019 год равное  $25.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.7^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1970 по 1995 год равное  $24.1^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2019 год равное  $25.3^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.2^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом средняя температура ноября на островах Кабо-Верде увеличилась ступенчато в 1995 г. от  $0,6$  до  $1,2^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{Tr}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.3.1.2.

Рисунок 3.1.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на востоке и севере архипелага, а наименьшие изменения наблюдаются в центре и на юге. Именно эти три станции и имеют низкую парную корреляцию с остальными пунктами, где наблюдается рост температур.



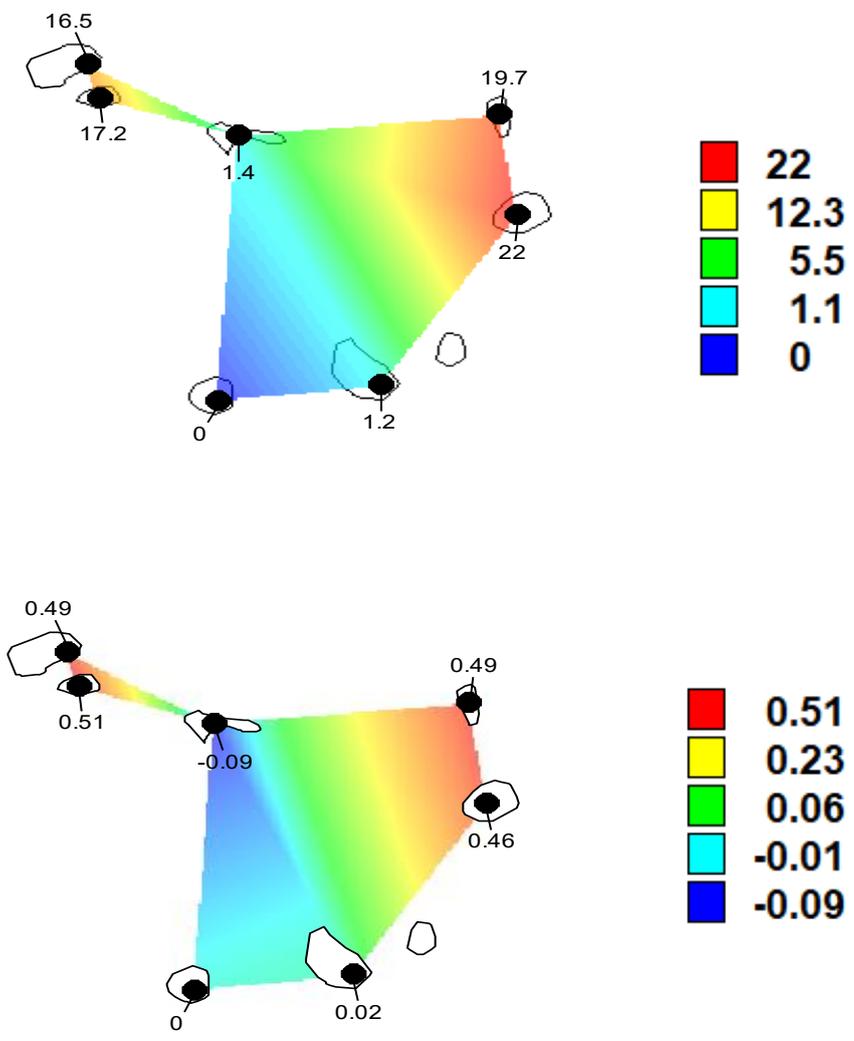


Рисунок 3.1.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур ноября, где сверху вниз:  $\Delta Tr\%$   $\Delta ст\%$  и  $R_{тр}$ .

### 3.2. Оценка изменения температуры в декабре

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

Как следует из табл. 3.2.1, из 6 рядов модель линейного тренда эффективна в 2 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 3 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 3 случаях и  $\Delta ст\%$  для всех случаев достаточно большие (17-18%) и всегда больше, чем  $\Delta Tr$ , Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда.

Год перехода от одних стационарных условий к другим 1994-1995 и практически один и тот же во всех 3х случаях.

Таблица 3.2.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур декабря на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta c_t\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	2	2.9	1.04	1.06	1999	1971	2020	49	0.2
11112	3	3.7	1.06	1.08	2010	1971	2020	49	0.24
11113	<b>13.7</b>	<b>16.6</b>	<b>1.34</b>	<b>1.44</b>	1994	1971	2020	50	<b>0.51</b>
11114	<b>11.5</b>	<b>17.8</b>	<b>1.28</b>	<b>1.48</b>	1994	1980	2020	41	<b>0.47</b>
11115	9.7	<b>18.1</b>	<b>1.23</b>	<b>1.49</b>	1995	1985	2020	36	<b>0.43</b>
11116	0.1	3.5	1	1.07	2000	1990	2020	31	-0

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

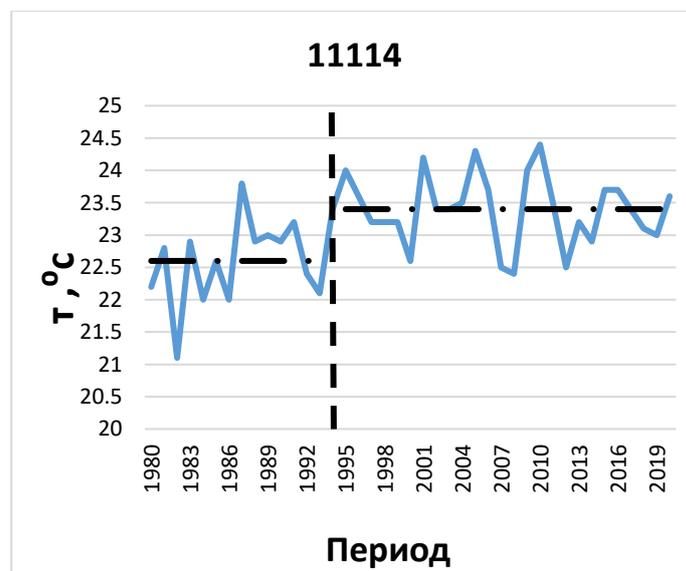
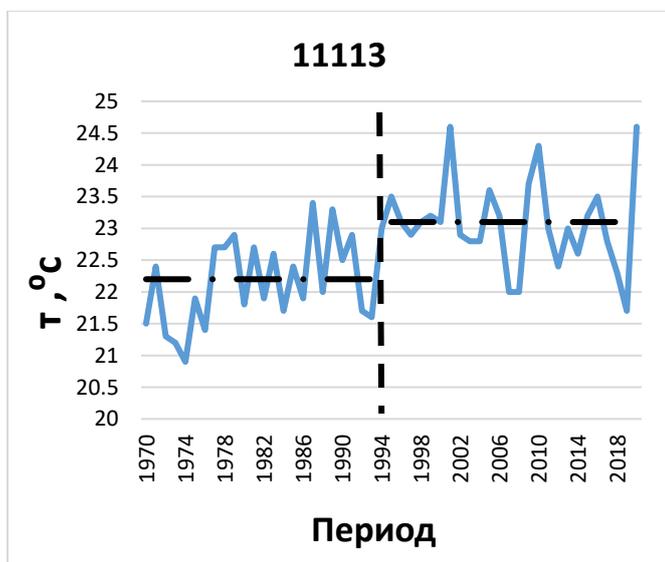


Рисунок 3.2.1. Нестационарные временные ряды температур декабря и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений

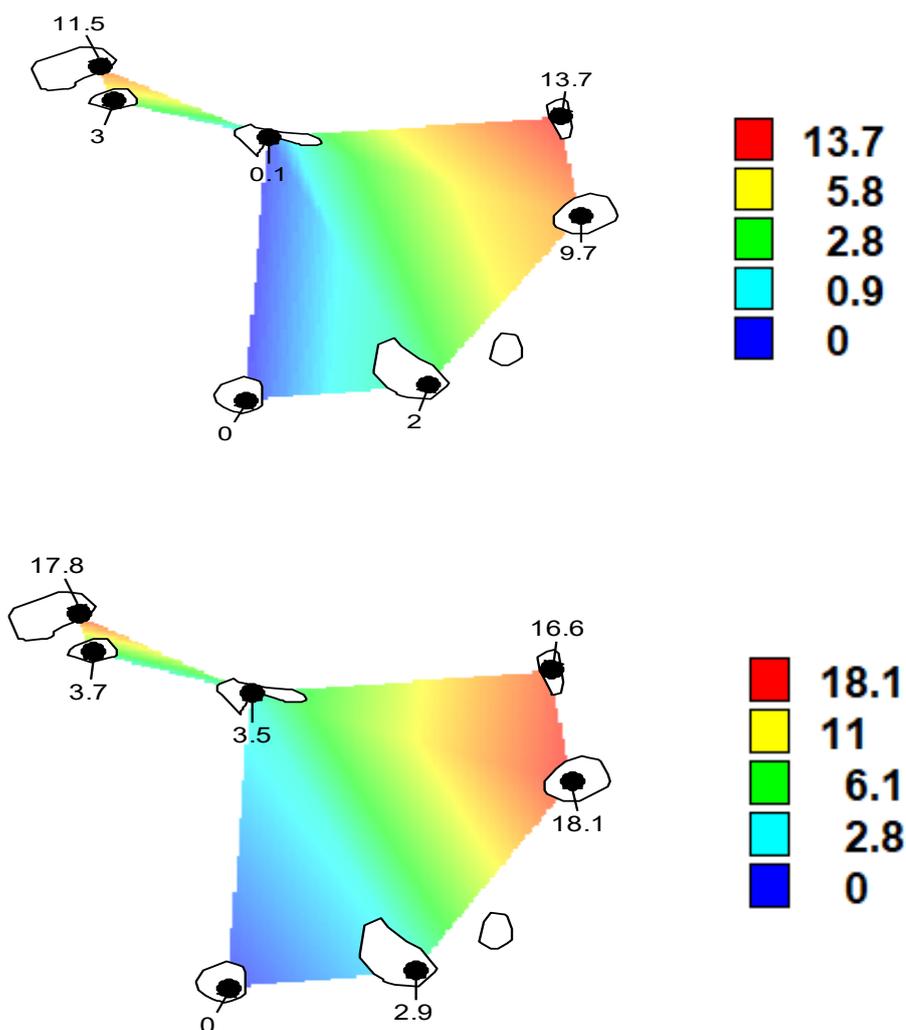
На основании графиков рис.3.2.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в декабре:

- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1971 по 1994 год равное  $22.2^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1995 по 2019 год равное  $23.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1971 по 1994 год равное  $22.6^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1995 по 2019 год равное  $23.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.8^{\circ}\text{C}$ ;

Таким образом средняя температура ноября на островах Кабо-Верде увеличилась ступенчато в 1995 г. на  $0,8-0,9^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{tr}\%$   $\Delta\text{st}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.3.2.2.



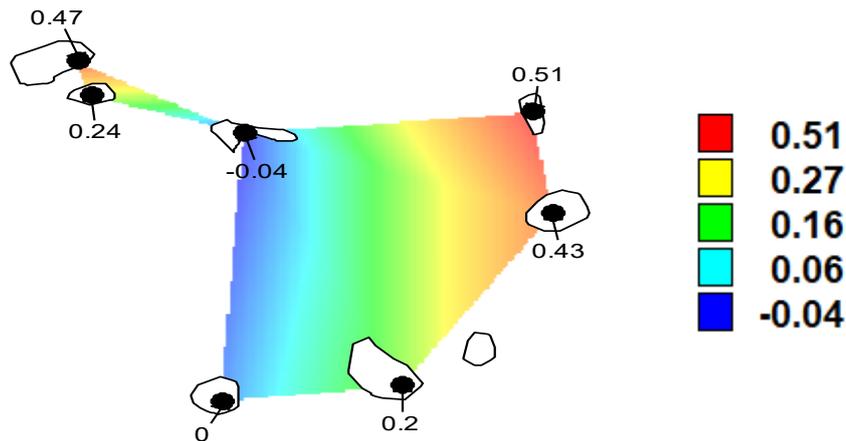


Рисунок 3.2.2. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур декабря, где сверху вниз:  $\Delta T_p\%$   $\Delta T_c\%$  и  $R_{tp}$ .

Рисунок 3.2.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на востоке архипелага и на северо-западном острове, а наименьшие изменения наблюдаются в центре и на юге.

### 3.3. Оценка изменения температуры января

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

Таблица 3.3.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур января на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta T_c\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	0.1	1.9	1	1.04	1984	1971	2020	50	-0.04
11112	4.2	9.1	1.09	1.21	1996	1970	2020	50	<b>0.29</b>
11113	4.1	<b>12</b>	1.09	1.29	1995	1970	2020	51	<b>0.28</b>
11114	7.5	<b>11</b>	1.17	1.26	1996	1980	2020	41	<b>0.38</b>

11115	<b>11.5</b>	<b>25.7</b>	<b>1.28</b>	<b>1.81</b>	1995	1985	2020	36	<b>0.47</b>
11116	0.1	2.4	1	1.05	2000	1990	2020	31	-0.03
11117	0.8	4.9	1.02	1.11	2002	1990	2020	31	0.13

Как следует из табл. 3.3.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 1 случае, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 3 случаях и  $\Delta\text{ст}\%$  достаточно большое (26%) только для станции 11115, Это означает, что модель ступенчатых изменений эффективнее модели линейного тренда. Год перехода от одних стационарных условий к другим 1995-1996 и практически один и тот же в 4х случаях.

Многолетний ряд температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для метеостанции 11115 приведен на рис.3.3.1.

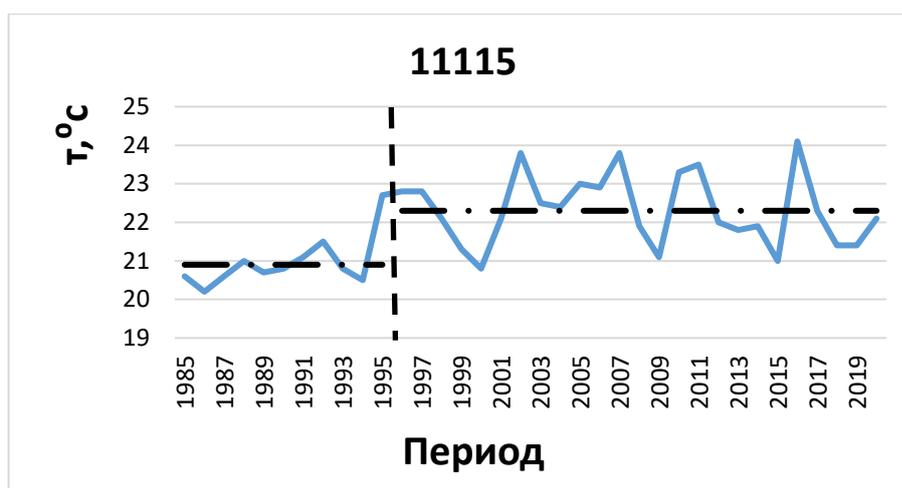


Рисунок 3.3.1. Нестационарный временной ряд температур января на метеостанции 11115 и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений

На основании графика рис.3.3.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в январе:

- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1985 по 1996 год равное  $21.0^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1995 по 2019 год равное  $22.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.4^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{тр}\%$   $\Delta\text{ст}\%$  и  $R\text{тр}$  приведены на рис.3.3.2

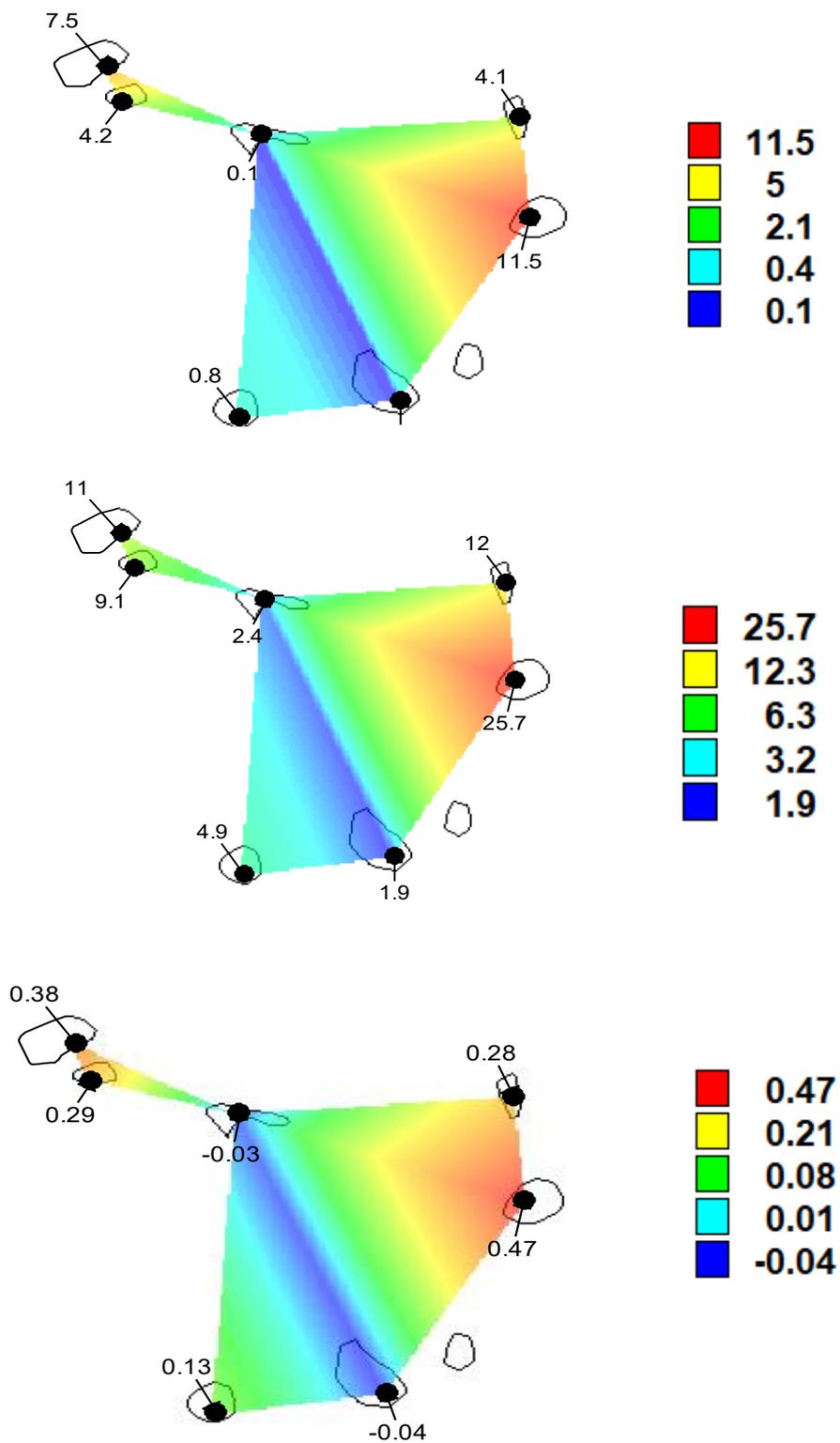


Рисунок 3.3.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур января, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta ст\%$  и  $Rtr$ .

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

### 3.4. Оценка изменения температуры февраля

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

Таблица 3.4.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур февраля на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p$ %	$\Delta c_t$ %	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	0.7	3.7	1.01	1.08	2005	1971	2020	50	-0.1
11112	2.7	6	1.06	1.13	1996	1970	2020	50	0.23
11113	1.4	5.3	1.03	1.12	1995	1970	2020	51	0.16
11114	<b>10</b>	<b>10.6</b>	<b>1.23</b>	<b>1.25</b>	1996	1980	2020	41	<b>0.44</b>
11115	4.6	14.9	1.1	1.38	1995	1985	2020	36	0.3
11116	2.3	3.9	1.05	1.08	2009	1990	2020	31	-0.2

Как следует из табл. 3.4.1, из 6 рядов модель линейного тренда эффективна в 1 случае, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 1 случае. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 1 случае и  $\Delta c_t\%$  составляет всего 10,6% и только для станции 11114. Год перехода от одних стационарных условий к другим 1995-1996 и практически один и тот же в 4х случаях.

Многолетний ряд температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для метеостанции 11114 приведен на рис.3.4.1.

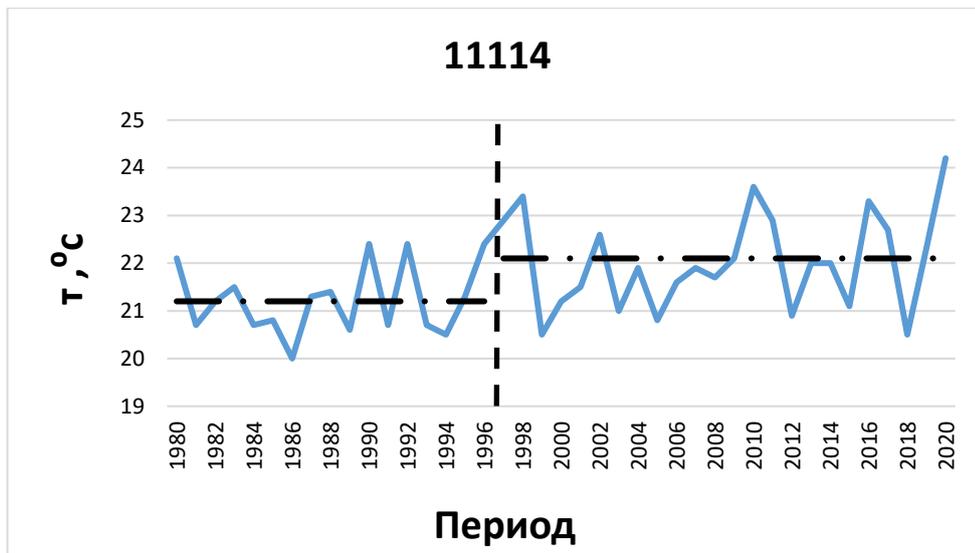
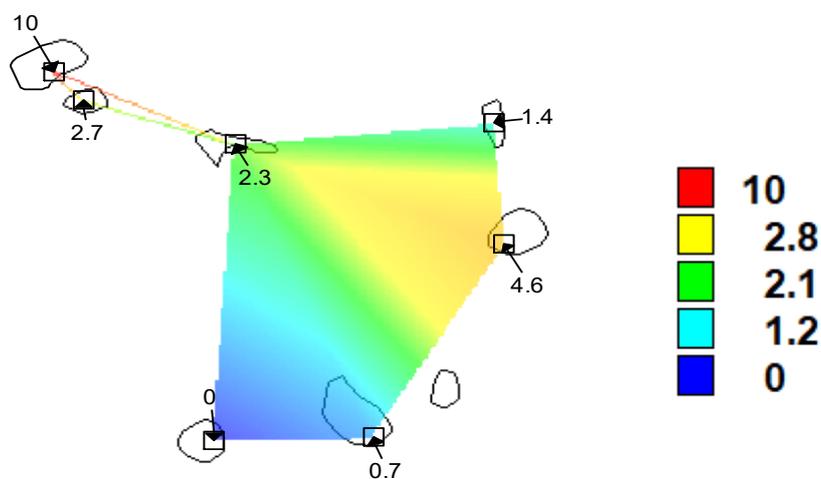


Рисунок 3.4.1. Нестационарный временной ряд температур февраля на метеостанции 11114 и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На основании графика рис.3.4.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в феврале:

- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 1996 год равное  $21.2^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1997 по 2020 год равное  $22.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta t_{\text{тр}}\%$ ,  $\Delta t_{\text{ст}}\%$  и  $R_{\text{тр}}$  приведены на рис.3.4.2.



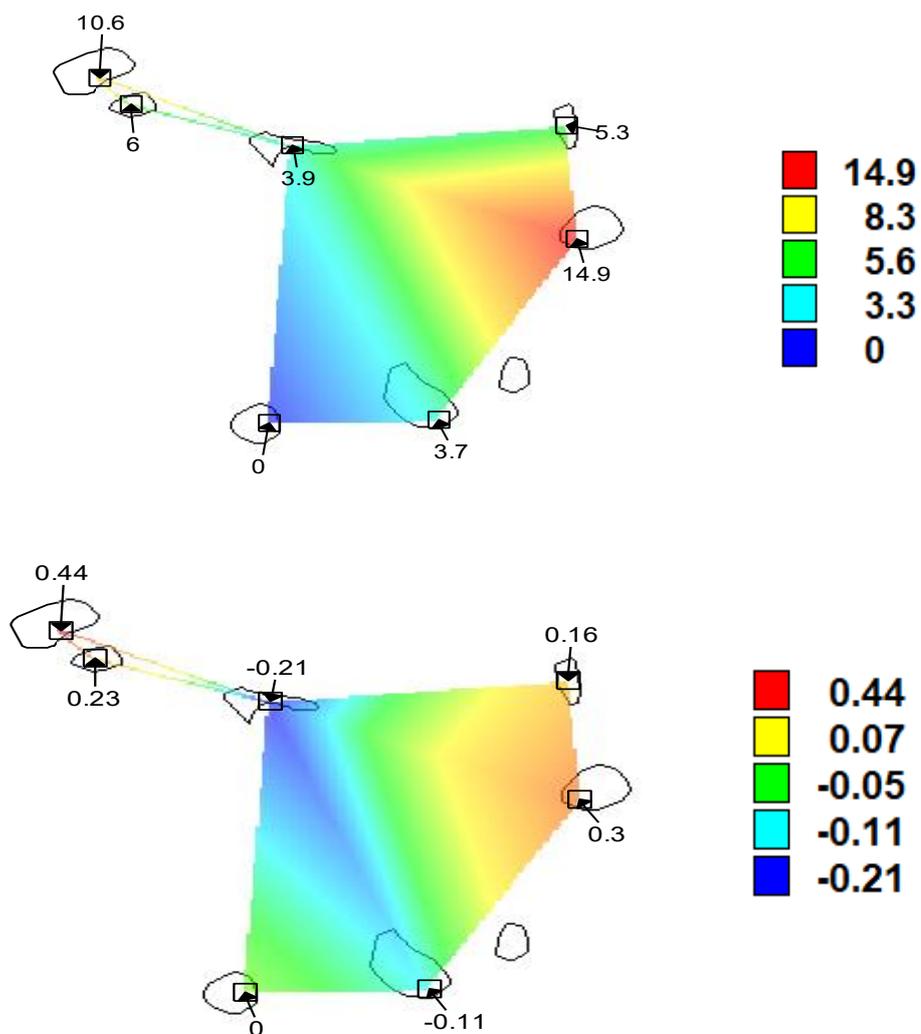


Рисунок 3.4.2. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур февраля, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta ст\%$  и  $R_{tr}$ .

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

### 3.5. Оценка изменения температуры марта

В табл.3.5.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха марта.

Таблица 3.5.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур марта на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta c_t\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	0	3	1	1.06	2009	1971	2020	50	-0
11112	3.4	7.5	1.07	1.17	1996	1970	2020	50	0.26
11113	4.1	7.9	1.09	1.18	1987	1970	2020	51	<b>0.28</b>
11114	<b>10.3</b>	<b>12.9</b>	<b>1.24</b>	<b>1.32</b>	1996	1980	2020	41	<b>0.44</b>
11115	5.1	<b>16</b>	1.11	1.42	1996	1985	2020	36	<b>0.32</b>
11116	0.2	4.5	1	1.1	2000	1990	2020	31	-0.1
11117	0.5	2.9	1.01	1.06	2006	1990	2020	31	-0.1

Как следует из табл. 3.5.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 1 случае, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 3 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 2 случаях и  $\Delta c_t\%$  составляет всего 13-16% и только для станций 11114 и 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим 1996 для случаев эффективной нестационарной модели.

Многолетний ряд температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для метеостанции 11114 приведен на рис.3.5.1.

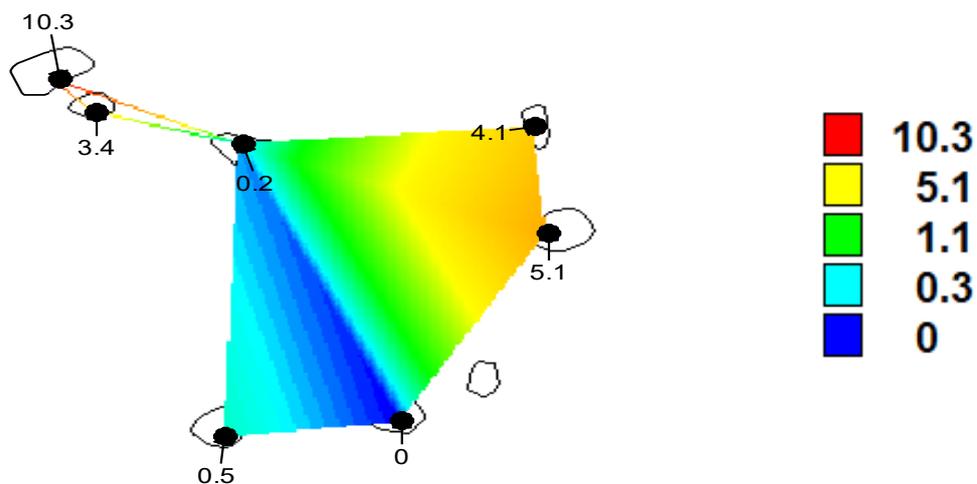


Рисунок 3.5.1. Нестационарный временной ряд температур марта на метеостанции 11114 и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На основании графика рис.3.5.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в марте:

- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 1996 год равное  $21.5^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1997 по 2020 год равное  $22.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{tr}\%$ ,  $\Delta\text{st}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.3.5.2.



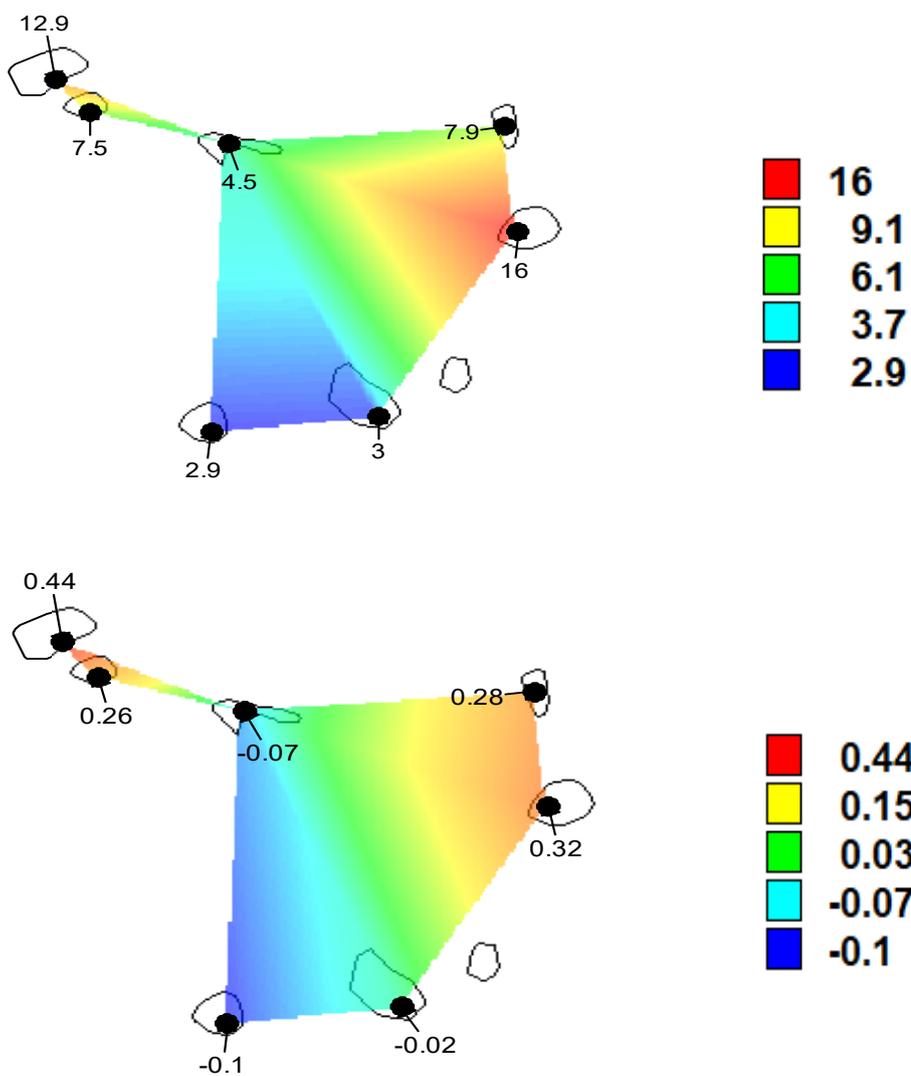


Рисунок 3.5.2. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур марта, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta ст\%$  и  $R_{тр}$ .

Рисунок 3.5.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на востоке архипелага, а наименьшие изменения наблюдаются в западной части.

### 3.6. Оценка изменения температуры апреля

В табл.3.6.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха апреля.

Таблица 3.6.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур апреля на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta S_t\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	0.2	2.9	1	1.06	2006	1971	2020	50	-0.1
11112	6.7	8.7	1.15	1.2	1996	1970	2020	50	<b>0.36</b>
11113	3.3	5.9	1.07	1.13	1996	1970	2020	51	0.26
11114	<b>21</b>	<b>25.2</b>	<b>1.6</b>	<b>1.79</b>	2009	1980	2020	41	<b>0.61</b>
11115	9	<b>18.3</b>	1.21	1.5	1996	1985	2020	36	<b>0.41</b>
11116	0.1	8.2	1	1.19	2000	1990	2020	31	0.04
11117	2.2	6.9	1.04	1.15	2010	1990	2020	31	-0.2

Как следует из табл. 3.6.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 1 случае, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 3 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 2 случаях и  $\Delta S_t\%$  достаточно большое 18-25% для станций 11114 и 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим 1996 в 3х случаях и только 2009 г. для ряда 11114.

Многолетний ряд температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для метеостанции 11114 приведен на рис.3.6.1.

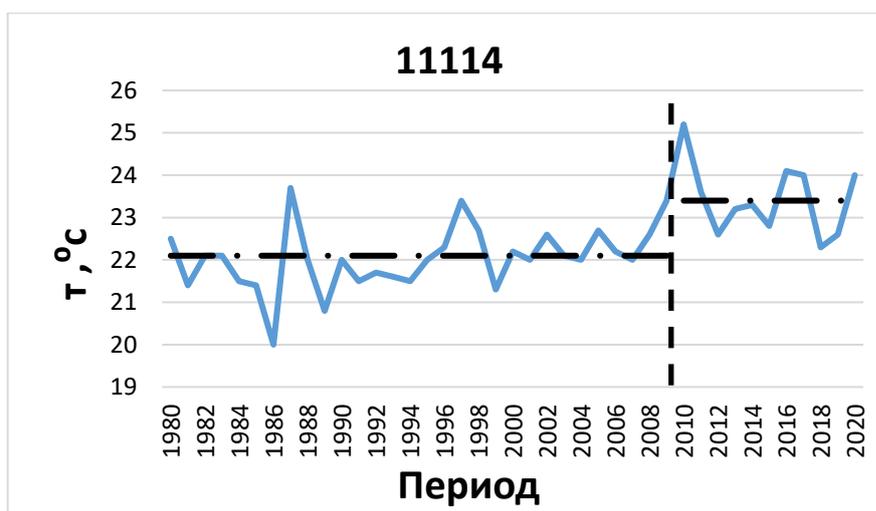
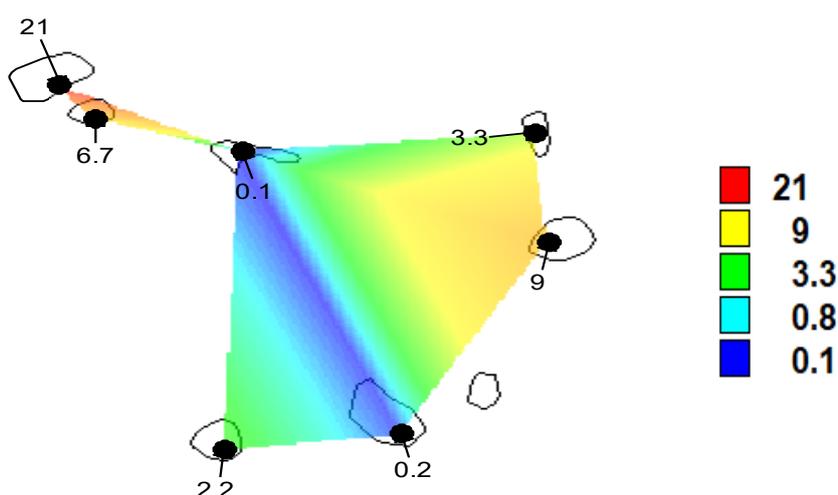


Рисунок 3.6.1. Нестационарный временной ряд температур апреля на метеостанции 11114 и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На основании графика рис.3.6.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в апреле:

- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 1996 год равное  $21.5^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1997 по 2020 год равное  $22.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{tr}\%$ ,  $\Delta\text{ст}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.3.6.2.



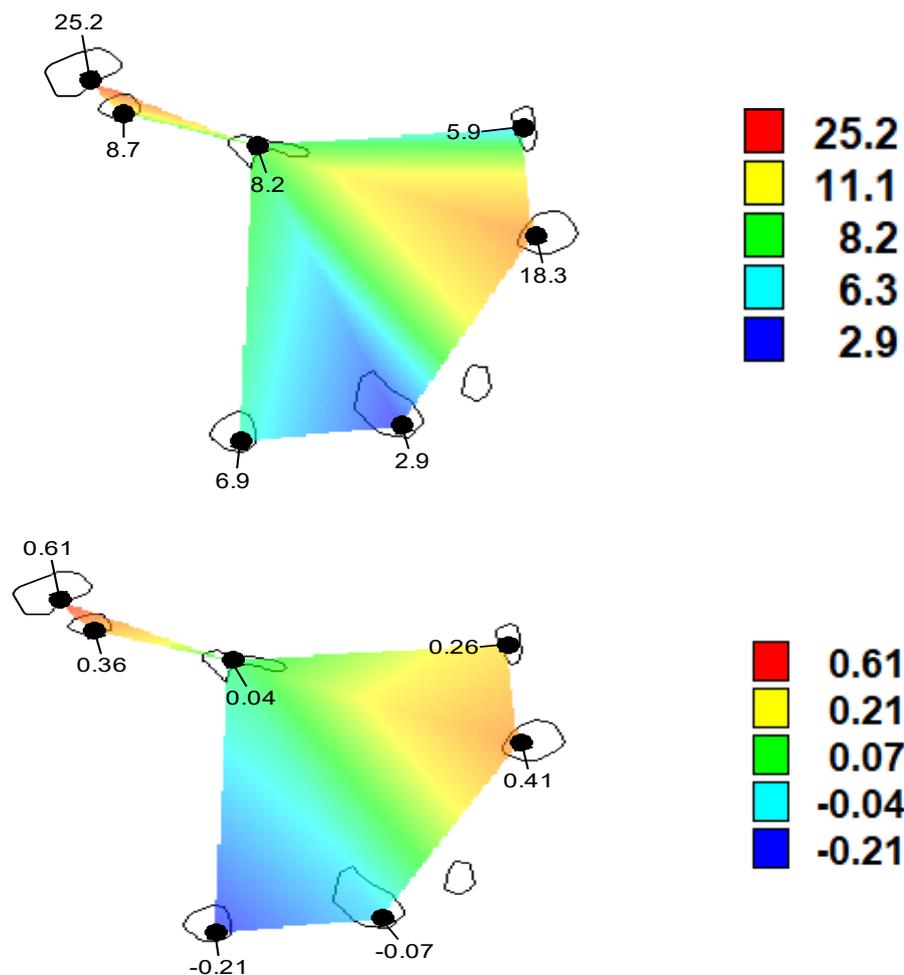


Рисунок 3.6.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур апреля, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta ст\%$  и  $Rtr$ .

Рисунок 3.6.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке архипелага, а наименьшие изменения наблюдаются в центральной и южной частях.

## Глава 4. Оценка изменения температуры теплый сезон

### 4.1. Оценка изменения температуры мая

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

Таблица 4.1.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур мая на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta c_t\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	0.1	2.5	1	1.05	2006	1971	2020	50	-0.1
11112	<b>19.6</b>	<b>20.5</b>	<b>1.55</b>	<b>1.58</b>	1996	1970	2020	50	<b>0.59</b>
11113	<b>10.5</b>	<b>14.4</b>	<b>1.25</b>	<b>1.36</b>	1987	1970	2020	51	<b>0.45</b>
11114	<b>30.4</b>	<b>37.8</b>	<b>2.06</b>	<b>2.59</b>	2009	1980	2020	41	<b>0.72</b>
11115	<b>10.8</b>	<b>15.7</b>	<b>1.26</b>	<b>1.41</b>	1995	1985	2020	36	<b>0.45</b>
11116	0.1	4	1	1.09	2000	1990	2020	31	-0
11117	3.1	3.8	1.07	1.08	2010	1990	2020	31	-0.3

Как следует из табл. 4.1.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 4 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда также статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и  $\Delta c_t\%$  достаточно большое 14-38% для станций 11112 - 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1987, 1995-96, 2009.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для четырех станций приведены на рис.4.1.1.

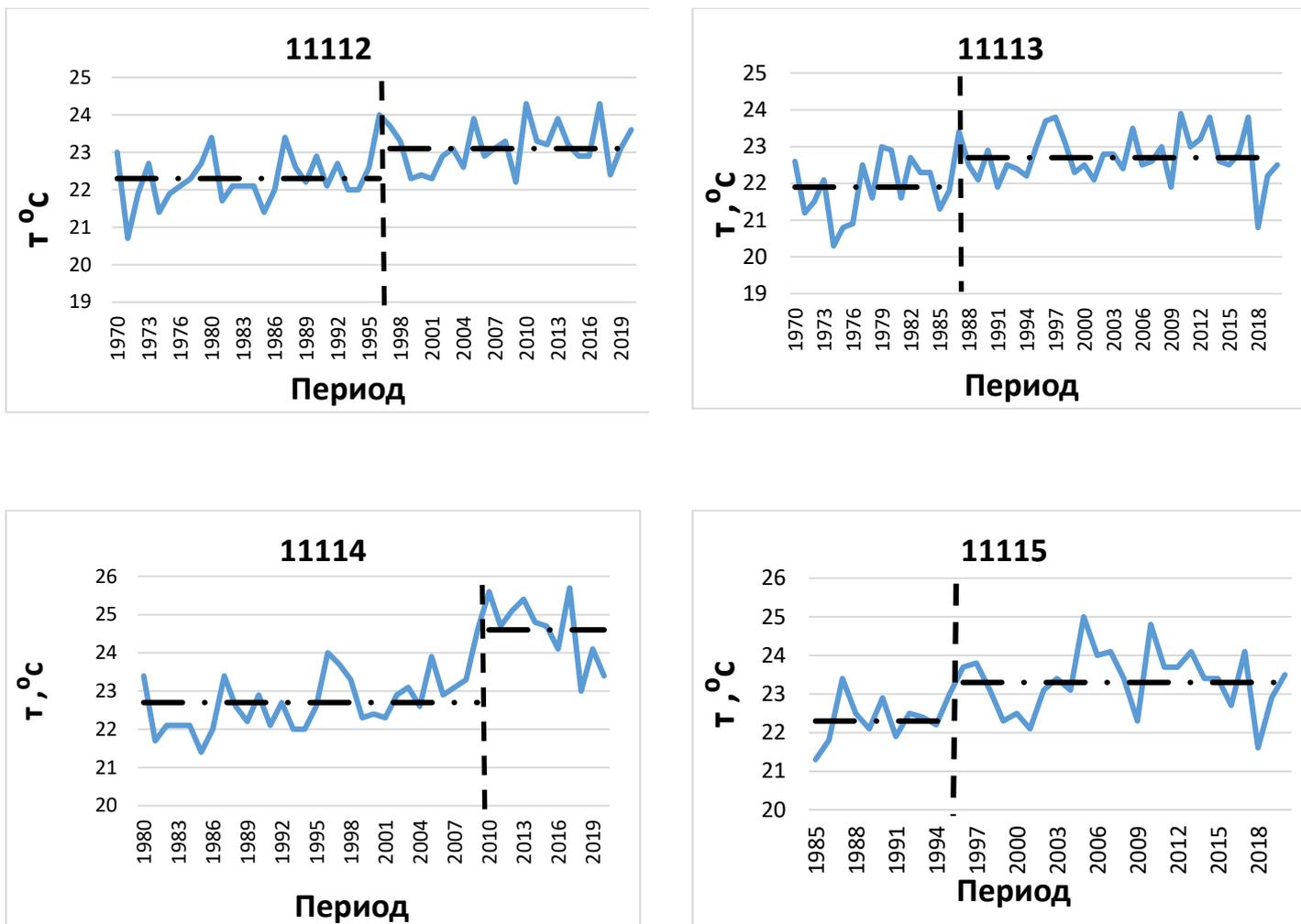


Рисунок 4.1.1. Нестационарные временные ряды температур мая и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На основании графиков рис.4.1.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в мае:

- график на метеостанции 11112 показывает среднее значение с 1970 по 1996 год равное  $22.3^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1997 по 2019 год равное  $23.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.8^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1988 год равное  $21.9^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1989 по 2019 год равное  $22.7^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.8^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 2009 год равное  $22.7^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2010 по 2019 год равное  $24.6^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.9^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1985 по 1995 год равное  $22.3^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2018 год равное  $23.3^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.0^{\circ}\text{C}$ ;

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

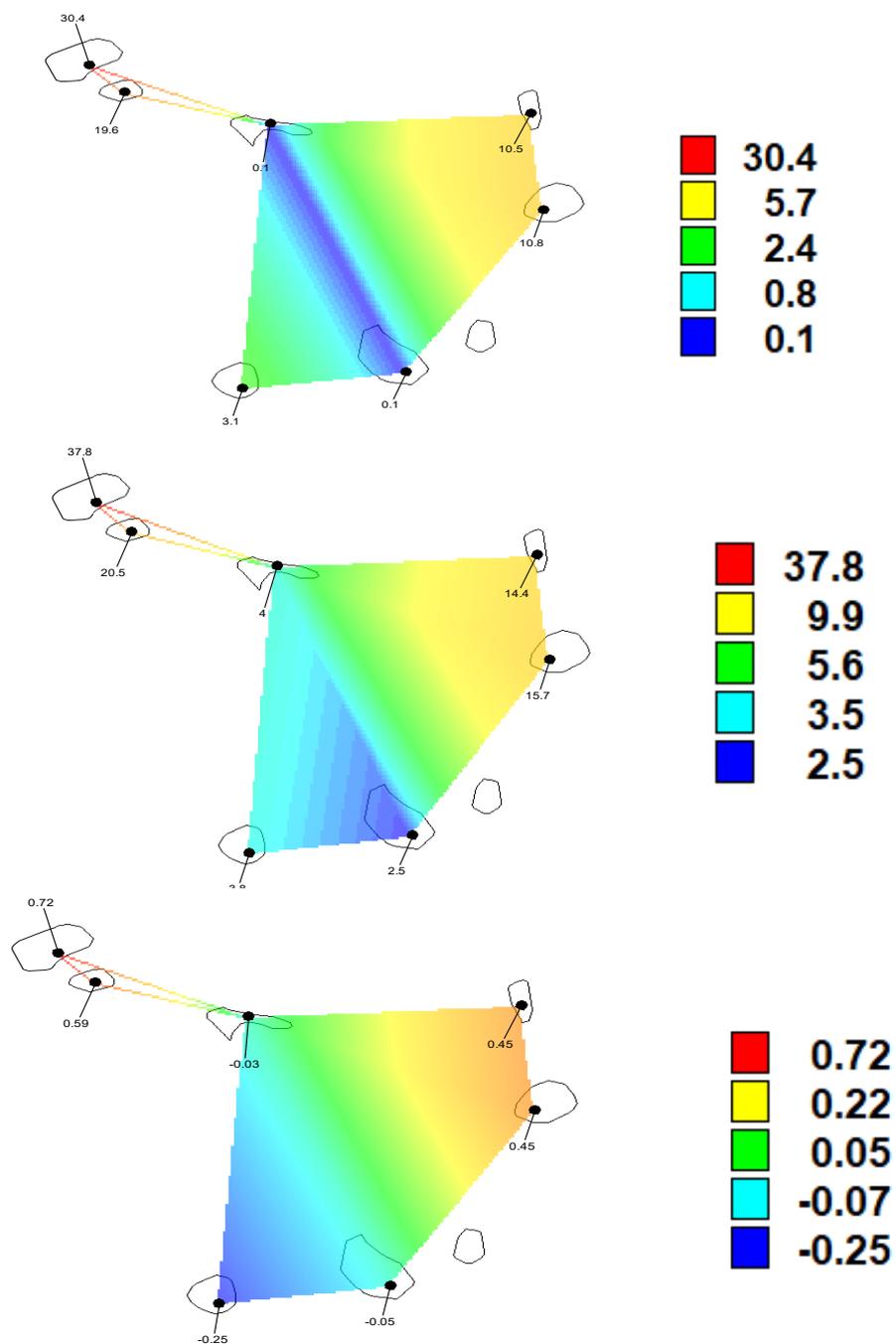


Рисунок 4.1.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур мая, где сверху вниз:  $\Delta t_{\text{тр}}\%$ ,  $\Delta t_{\text{ст}}\%$  и  $R_{\text{тр}}$ .

Рисунок 4.1.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке архипелага, а наименьшие изменения наблюдаются в юго-западной части.

## 4.2. Оценка изменения температуры в июне

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

Таблица 4.2.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июня на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta c_t\%$	Ftp	Fct	Tct	Tнач	Tс	n	Rtp
11111	0.5	5.7	1.01	1.13	2006	1971	2020	50	-0.1
11112	<b>23.2</b>	<b>23.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.72</b>	1995	1970	2020	50	<b>0.64</b>
11113	<b>16.2</b>	<b>22.4</b>	<b>1.42</b>	<b>1.66</b>	1987	1970	2020	51	<b>0.55</b>
11114	<b>36.8</b>	<b>47.3</b>	<b>2.5</b>	<b>3.6</b>	2009	1980	2020	41	<b>0.77</b>
11115	6.6	<b>16.3</b>	1.15	1.43	1995	1985	2020	36	<b>0.36</b>
11116	0.5	2.4	1.01	1.05	2000	1990	2020	31	-0.1
11117	7.1	14.5	1.16	1.37	2006	1990	2020	31	-0.4

Как следует из табл. 4.2.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 3 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и  $\Delta c_t\%$  достаточно большое 16-47% для станций 11112 - 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1987, 1995, 2009.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для четырех станций приведены на рис.4.2.1.

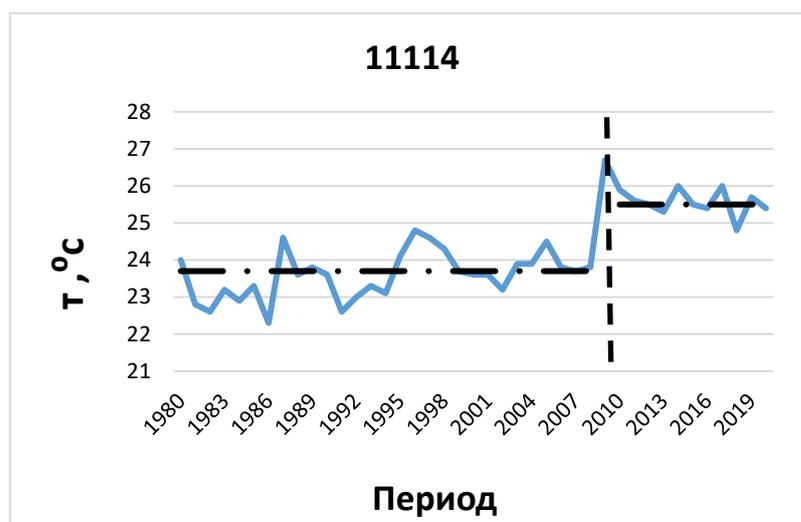
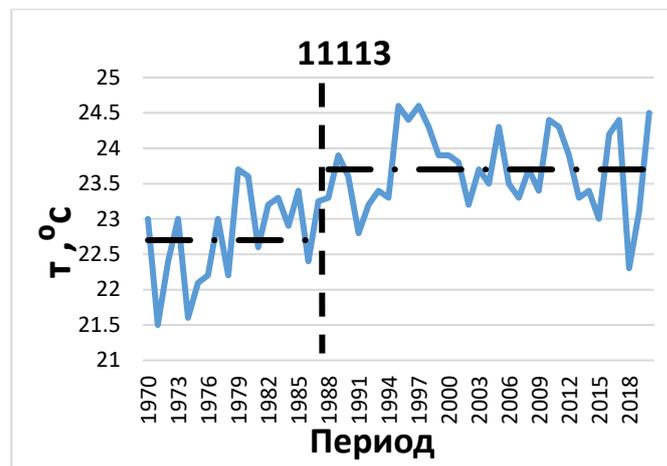
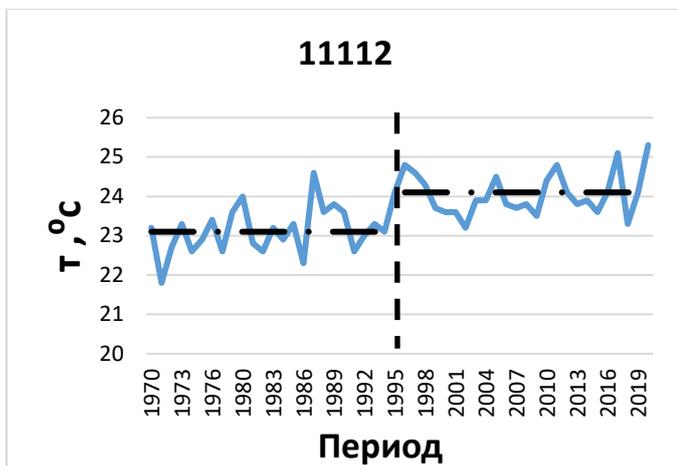


Рисунок 4.2.1. Нестационарные временные ряды температур июня и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

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

- график на метеостанции 11112 показывает среднее значение с 1970 по 1996 год равное  $23.1^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1997 по 2019 год равное  $24.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.0^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1988 год равное  $22.7^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1989 по 2018 год равное  $23.7^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.0^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 2009 год равное  $23.7^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2010 по 2019 год равное  $25.5^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.8^{\circ}\text{C}$ .

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

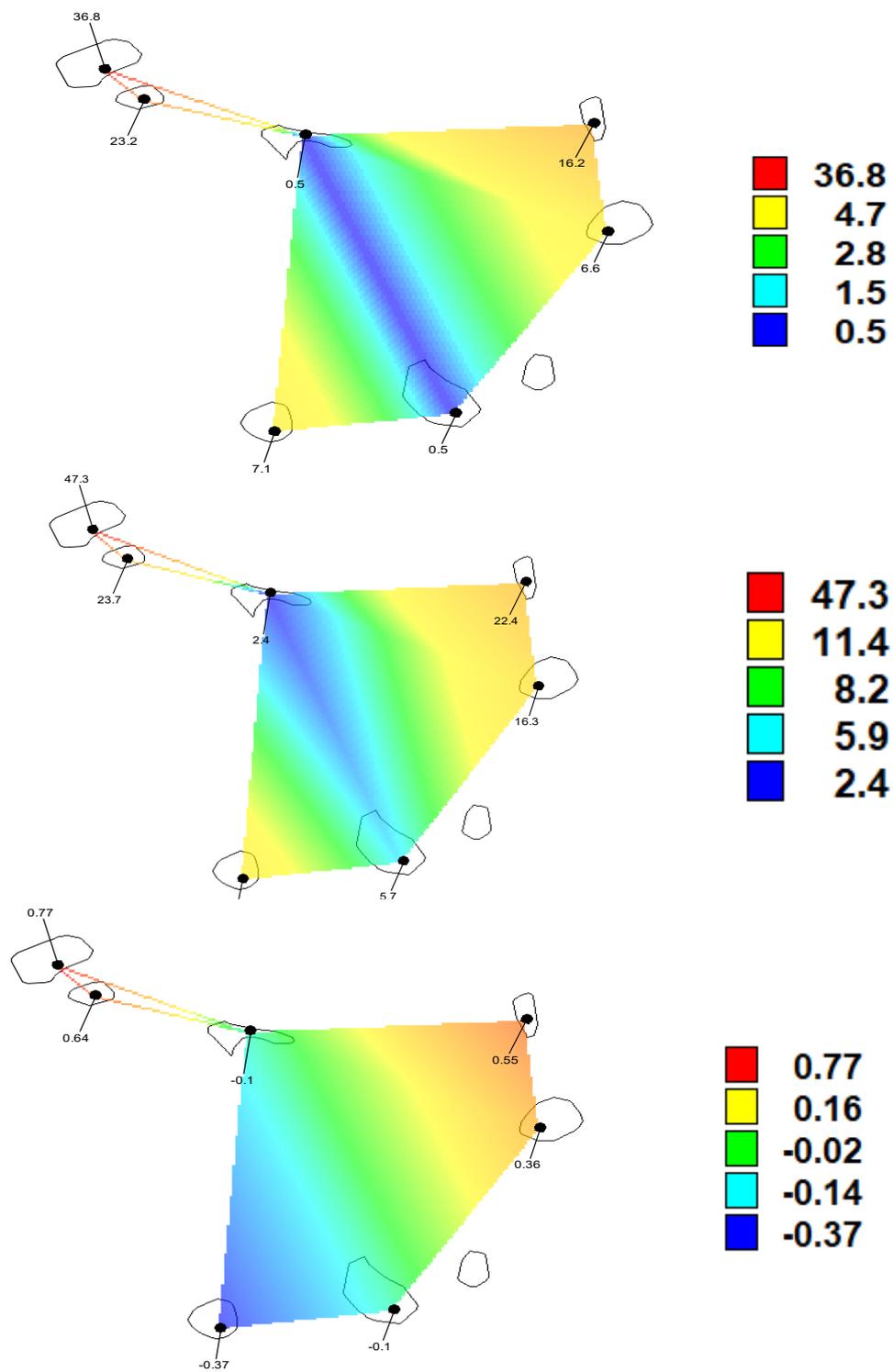


Рисунок 4.2.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур июня, где сверху вниз:  $\Delta t_{tr}\%$ ,  $\Delta t_{st}\%$  и  $R_{tr}$ .

Рисунок 4.2.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке архипелага и даже на юге, а наименьшие изменения наблюдаются в центральной части.

### 4.3. Оценка изменения температуры июля

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

Таблица 4.3.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июля на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta c_t\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	2.5	5.1	1.05	1.11	1987	1971	2020	50	0.22
11112	6.6	<b>10.3</b>	1.15	1.24	1987	1970	2020	50	<b>0.36</b>
11113	<b>24.2</b>	<b>29.7</b>	<b>1.74</b>	<b>2.02</b>	1984	1970	2020	51	<b>0.65</b>
11114	<b>31.8</b>	<b>34.4</b>	<b>2.15</b>	<b>2.33</b>	2009	1980	2020	41	<b>0.73</b>
11115	<b>15.6</b>	<b>26.6</b>	<b>1.4</b>	<b>1.86</b>	2003	1985	2020	36	<b>0.54</b>
11116	0	5.5	1	1.12	2000	1990	2020	31	0.03
11117	1.9	6.7	1.04	1.15	2010	1990	2020	31	-0.2

Как следует из табл. 4.3.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 3 случаях, а коэффициенты корреляции модели линейного тренда статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и  $\Delta c_t\%$  достаточно большое от 10% до 27-34% для станций 11112 - 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1984, 1987, 2003 и 2009.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для четырех станций приведены на рис.4.3.1.

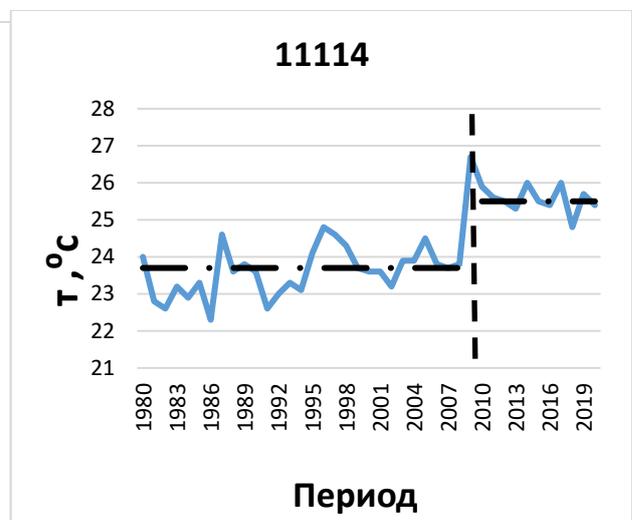
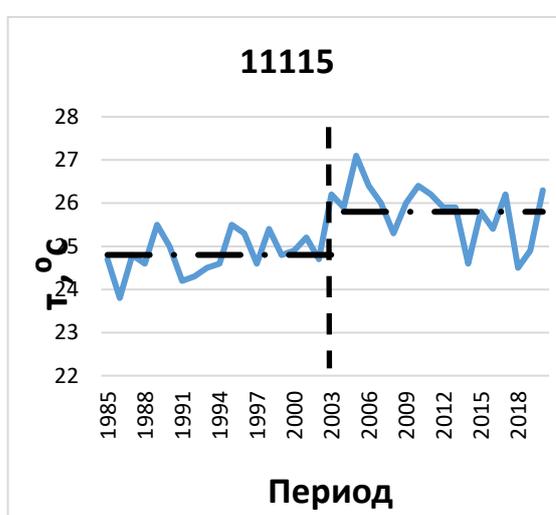
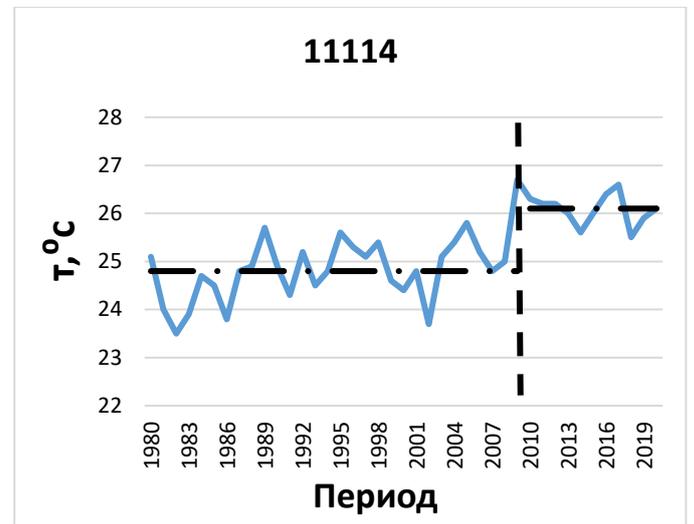
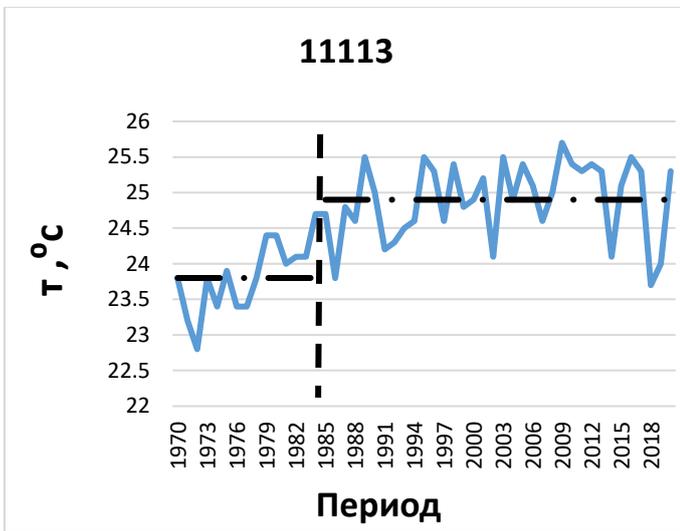


Рисунок 4.3.1. Нестационарные временные ряды температур июля и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

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

- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1985 год равное  $23.8^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1986 по 2018 год равное  $24.9^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.1^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 2009 год равное  $24.8^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2010 по 2019 год равное  $26.3^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.4^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1985 по 2003 год равное  $24.8^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2004 по 2019 год равное  $25.8^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.0^{\circ}\text{C}$ ;

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

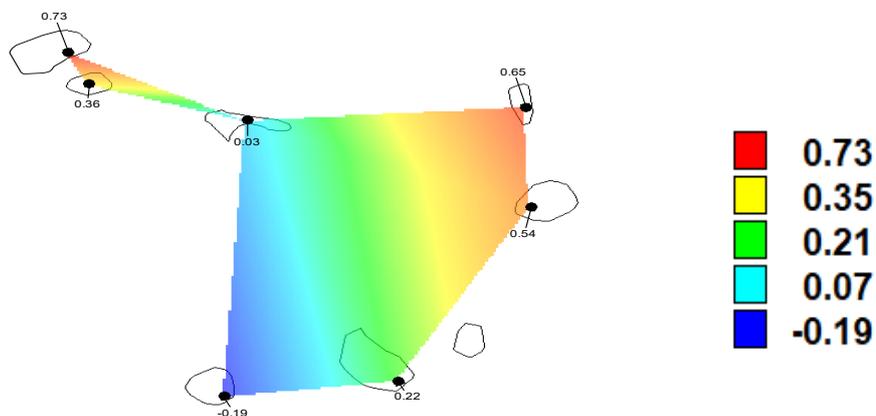
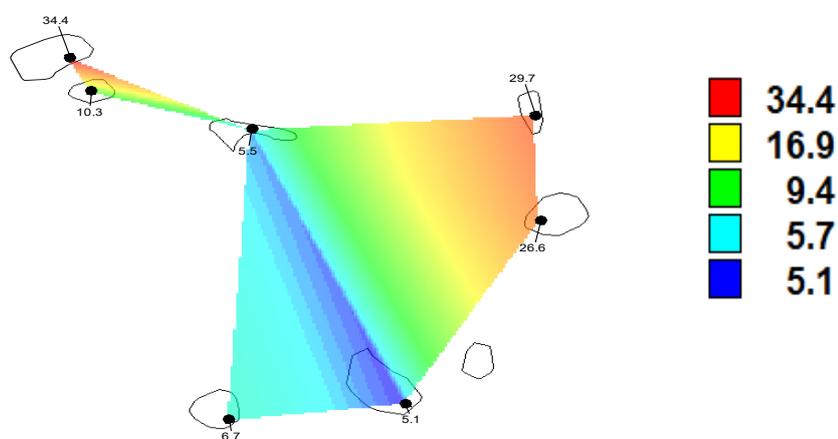
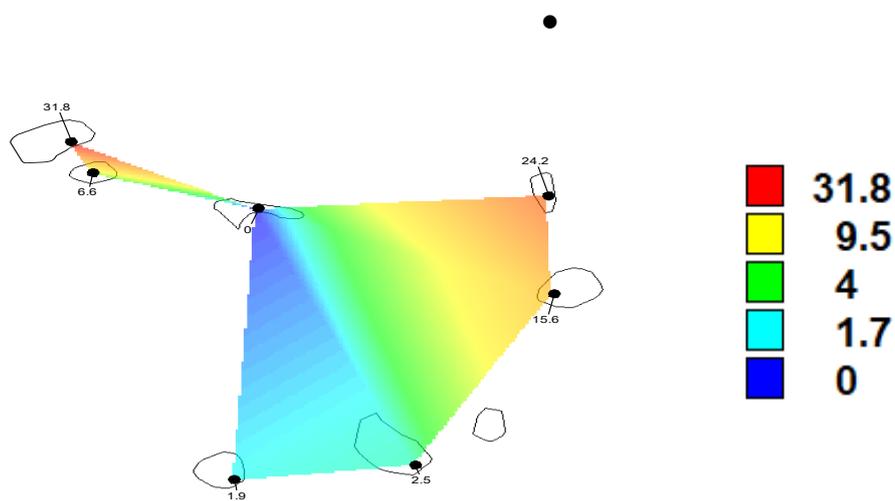


Рисунок 4.3.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур июля, где сверху вниз:  $\Delta T_p\%$   $\Delta C_t\%$  и  $R_{Tp}$ .

Рисунок 4.3.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке архипелага и даже на юге, а наименьшие изменения наблюдаются в центральной части и западной части.

#### 4.4. Оценка изменения температуры в августе

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

Таблица 4.4.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур августа на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta C_t\%$	$F_{Tp}$	$F_{Ct}$	$T_{Ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{Tp}$
11111	0.7	1.7	1.01	1.03	2003	1971	2020	50	0.12
11112	<b>28.7</b>	<b>26</b>	<b>1.97</b>	<b>1.83</b>	1989	1970	2020	50	<b>0.7</b>
11113	<b>19.7</b>	<b>25.9</b>	<b>1.55</b>	<b>1.82</b>	1989	1970	2020	51	<b>0.6</b>
11114	<b>29.1</b>	<b>29.9</b>	<b>1.99</b>	<b>2.04</b>	2008	1980	2020	41	<b>0.71</b>
11115	<b>16.1</b>	<b>22.6</b>	<b>1.42</b>	<b>1.67</b>	2003	1985	2020	36	<b>0.54</b>
11116	1	1.4	1.02	1.03	2010	1990	2020	31	-0.1
11117	1.9	5.9	1.04	1.13	2010	1990	2020	31	-0.2

Как следует из табл. 4.4.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 4 случаях и коэффициенты корреляции модели линейного тренда статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и  $\Delta C_t\%$  достаточно большое от 23% до 30% для станций 11112 - 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1989, 2003 и 2008.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для четырех станций приведены на рис.4.4.1.

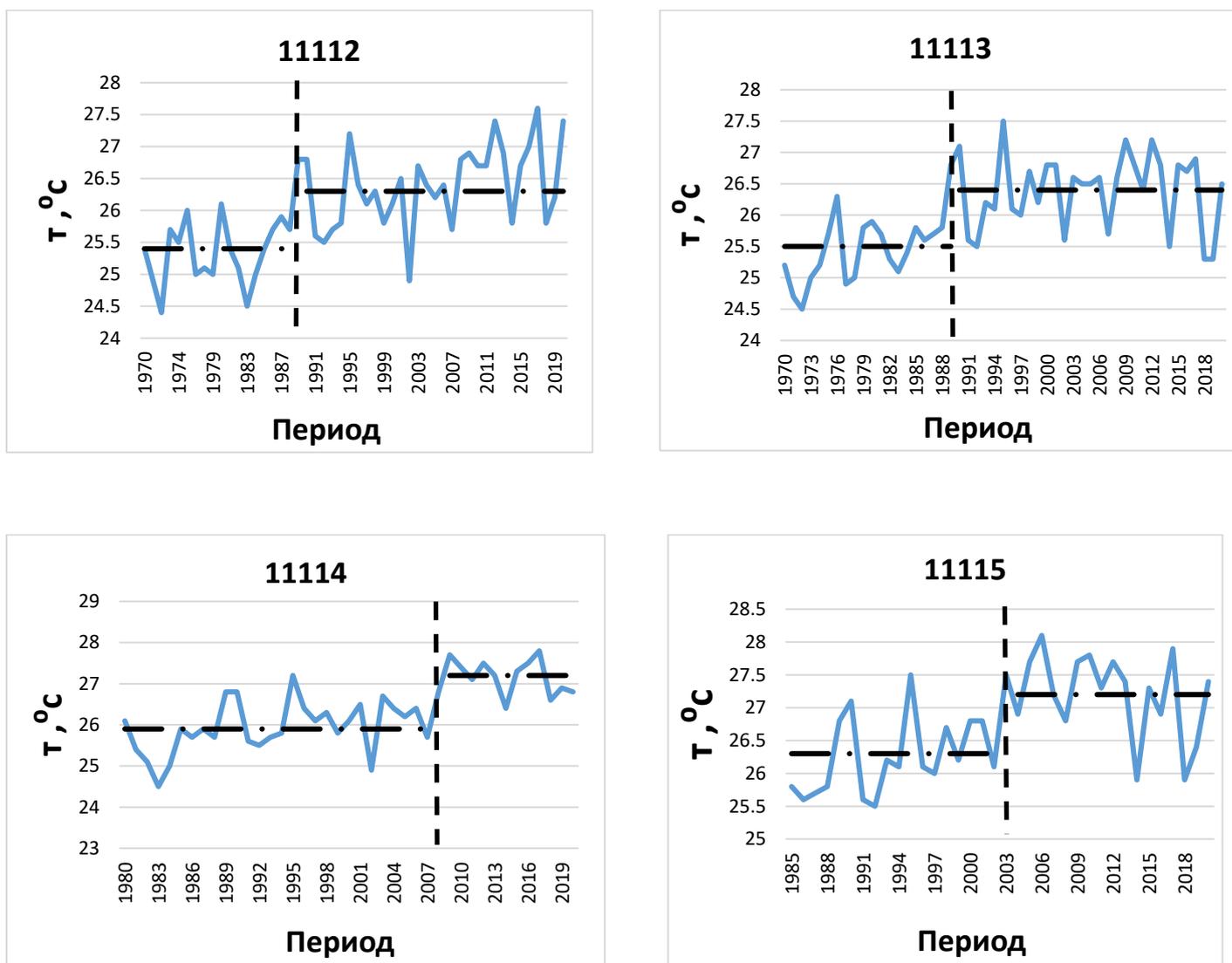


Рисунок 4.4.1. Нестационарные временные ряды температур августа и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

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

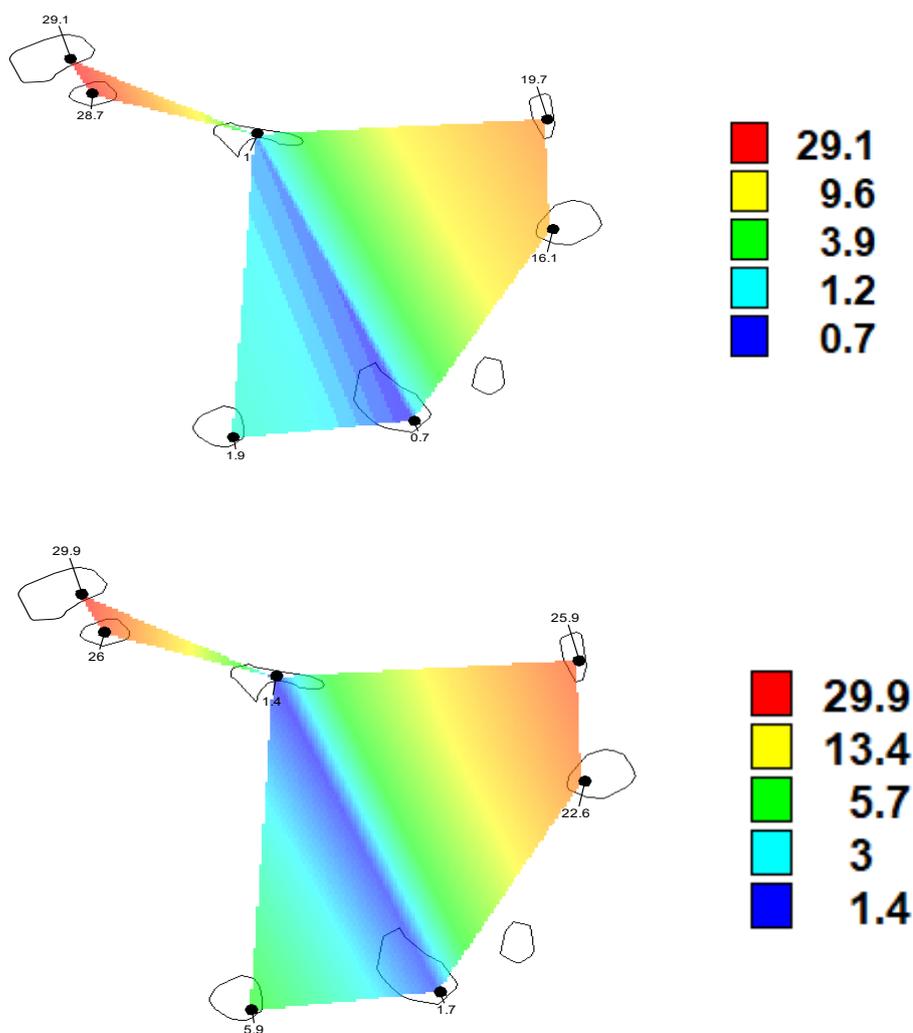
- график на метеостанции 11112 показывает среднее значение с 1970 по 1989 год равное 25.4 ° C и среднее значение с 1990 по 2018 год равное 26.3° C и разница между этими средними составляет 0.9 ° C;

- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1989 год равное  $25.5^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1990 по 2018 год равное  $26.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 2008 год равное  $25.9^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2009 по 2019 год равное  $27.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.2^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1985 по 2003 год равное  $26.3^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2004 по 2018 год равное  $27.2^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ ;

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{tr}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.4.4.2.



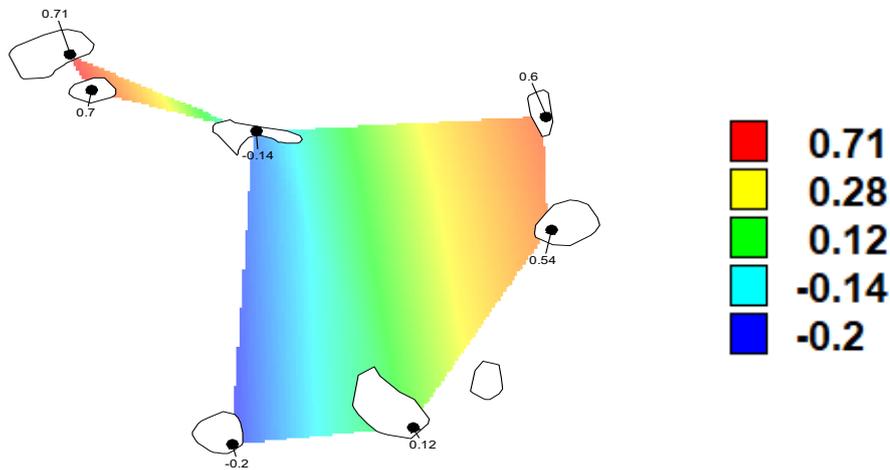


Рисунок 4.4.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур августа, где сверху вниз:  $\Delta Tr\%$   $\Delta St\%$  и  $R_{tr}$ .

Рисунок 4.4.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке архипелага и даже на юге, а наименьшие изменения наблюдаются в западной части.

#### 4.5. Оценка изменения температуры сентября

В табл.4.5.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха сентября.

Таблица 4.5.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур сентября на островах Кабо-Верде

код	$\Delta Tr\%$	$\Delta St\%$	$F_{tr}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tr}$
11111	0.6	3.4	1.01	1.07	1994	1971	2020	50	-0.1
11112	<b>25.5</b>	<b>29.2</b>	<b>1.8</b>	<b>1.99</b>	2001	1970	2020	50	<b>0.67</b>
11113	<b>21.5</b>	<b>27.7</b>	<b>1.62</b>	<b>1.91</b>	1985	1970	2020	51	<b>0.62</b>
11114	<b>39.2</b>	<b>40.1</b>	<b>2.71</b>	<b>2.79</b>	2009	1980	2020	41	<b>0.79</b>
11115	<b>17.6</b>	<b>31.2</b>	<b>1.47</b>	<b>2.11</b>	2001	1985	2020	36	<b>0.57</b>
11116	0.4	3.2	1.01	1.07	2000	1990	2020	31	-0.1

11117	1	4.1	1.02	1.09	2010	1990	2020	31	-0.1
-------	---	-----	------	------	------	------	------	----	------

Как следует из табл. 4.5.1, из 7 рядов модель линейного тренда эффективна в 4 случаях и коэффициенты корреляции модели линейного тренда статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и  $\Delta\text{ст}\%$  достаточно большое от 28% до 40% для станций 11112 - 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1985, 2001 и 2009.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для четырех станций приведены на рис.4.5.1.

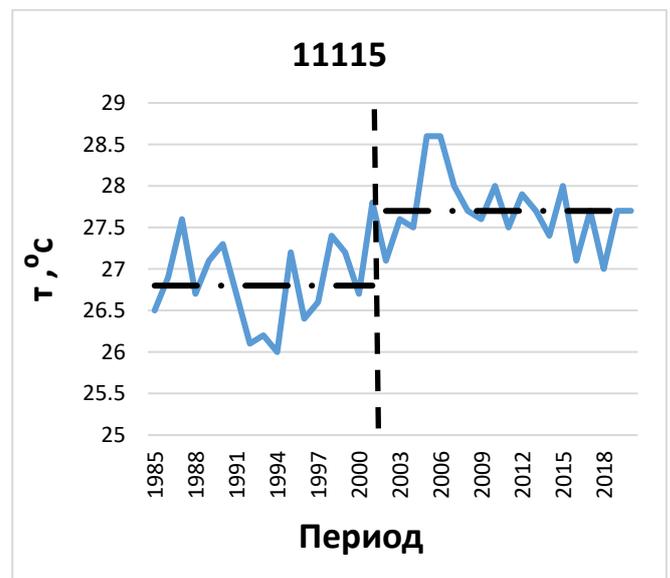
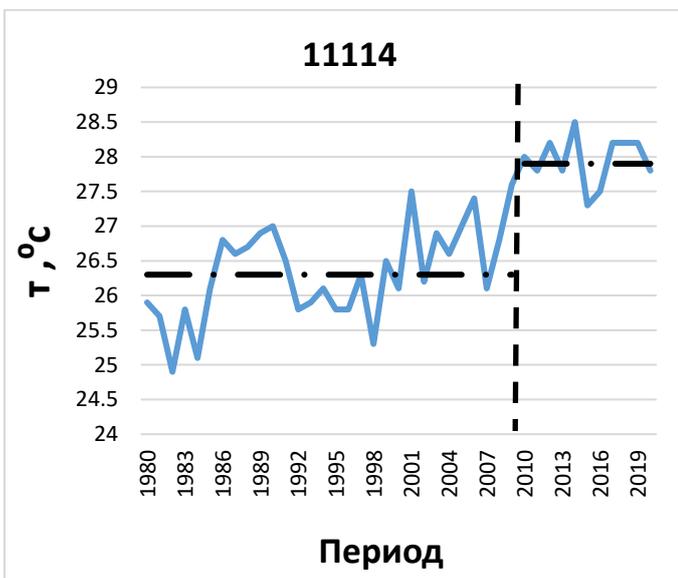
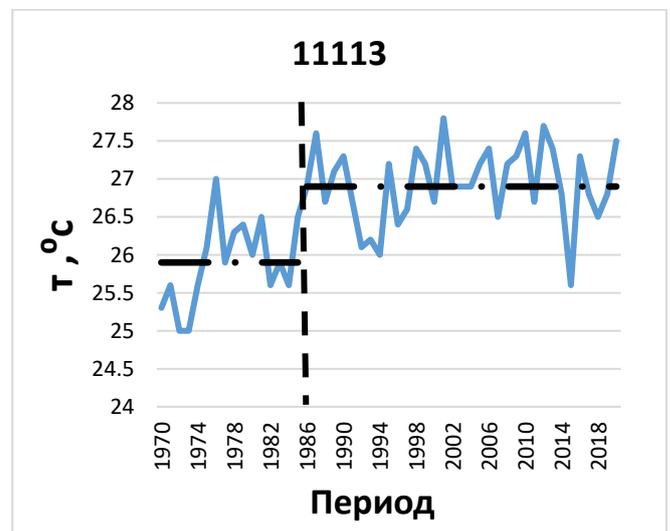
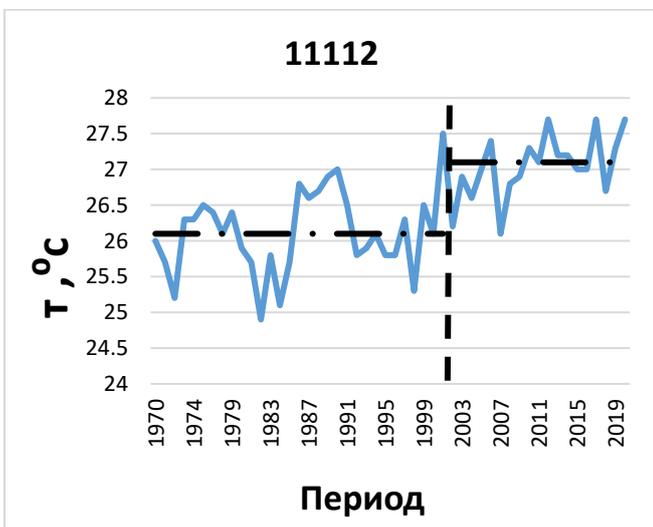
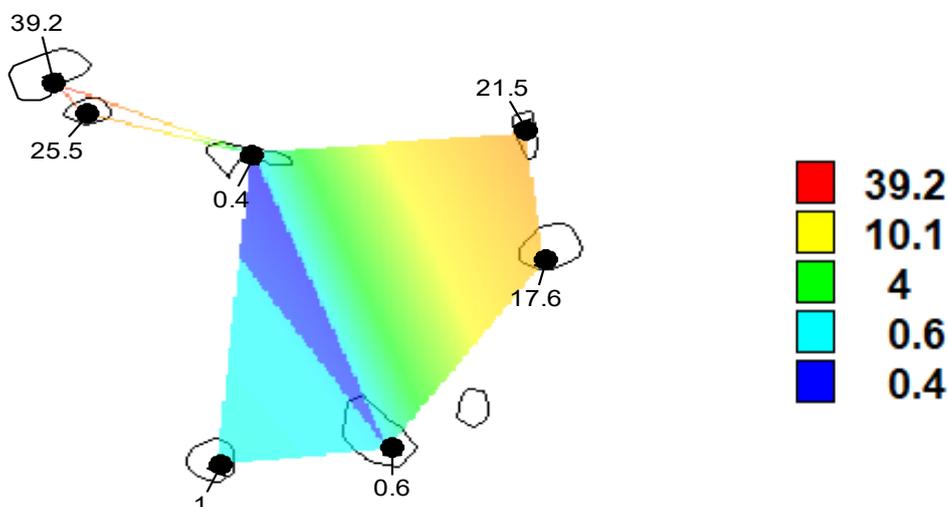


Рисунок 4.5.1. Нестационарные временные ряды температур сентября и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На основании графиков рис.4.5.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в сентябре:

- график на метеостанции 11112 показывает среднее значение с 1970 по 2001 год равное  $26.1^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2002 по 2019 год равное  $27.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.0^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1986 год равное  $25.9^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1987 по 2019 год равное  $26.9^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.0^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 2010 год равное  $26.3^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2011 по 2019 год равное  $27.9^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.6^{\circ}\text{C}$ ;
- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1985 по 2001 год равное  $26.8^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2002 по 2018 год равное  $27.3^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ .

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{Tr}\%$ ,  $\Delta\text{ст}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.4.5.2.



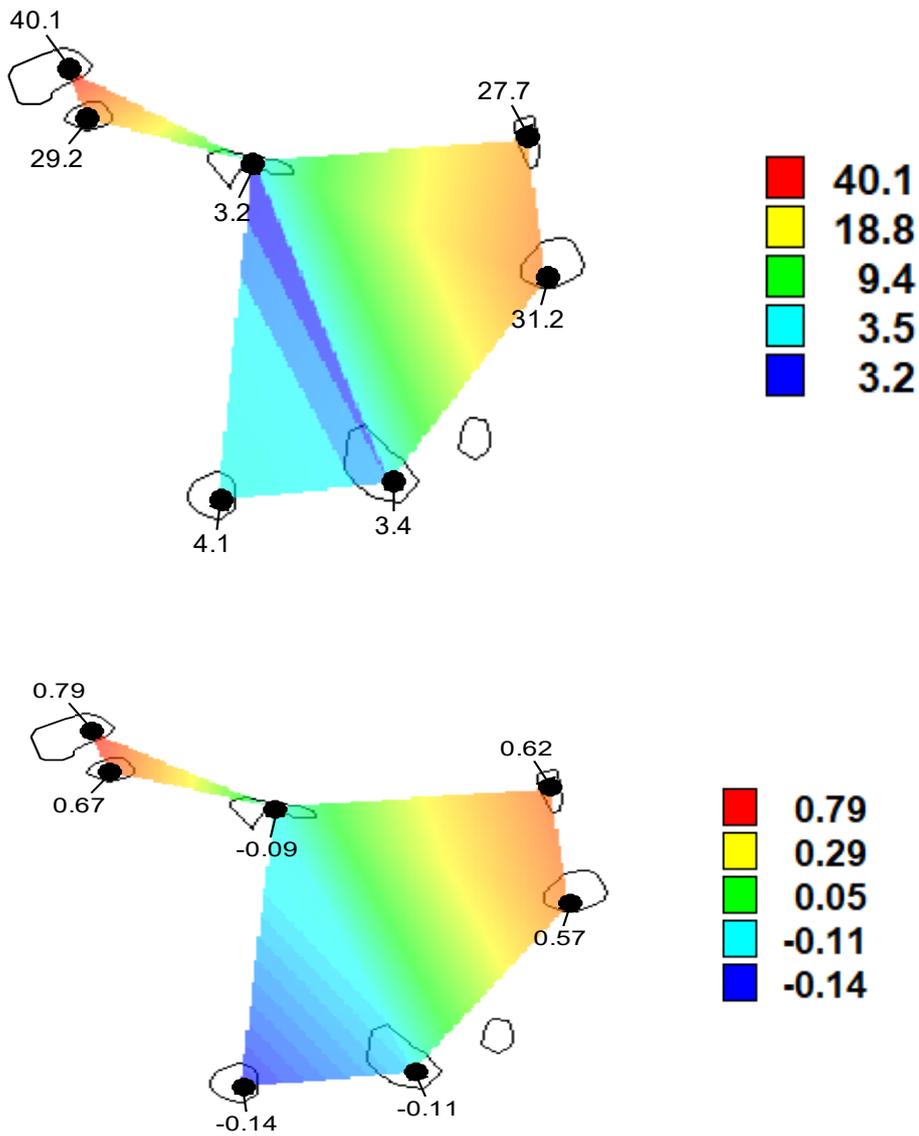


Рисунок 4.5.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур сентября, где сверху вниз:  $\Delta tr\%$   $\Delta ст\%$  и  $R_{тр}$ .

Рисунок 4.5.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке, а наименьшие изменения наблюдаются в юго-западной части.

#### 4.6. Оценка изменения температуры октября

В табл.4.6.1 приведены результаты оценки эффективности моделей тренда и ступенчатых изменений среднего значения для температур воздуха октября.

Таблица 4.6.1.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур октября на островах Кабо-Верде

код	$\Delta T_p\%$	$\Delta c_T\%$	$F_{tp}$	$F_{ct}$	$T_{ct}$	$T_{нач}$	$T_c$	n	$R_{tp}$
11111	0.1	1.5	1	1.03	2000	1971	2020	49	0.05
11112	<b>22.5</b>	<b>24.4</b>	<b>1.67</b>	<b>1.75</b>	1995	1970	2020	50	<b>0.63</b>
11113	<b>24.2</b>	<b>26.1</b>	<b>1.74</b>	<b>1.83</b>	1995	1970	2020	51	<b>0.65</b>
11114	<b>37.2</b>	<b>32.6</b>	<b>2.54</b>	<b>2.2</b>	2009	1980	2020	41	<b>0.78</b>
11115	<b>19.2</b>	<b>26.7</b>	<b>1.53</b>	<b>1.86</b>	2001	1985	2020	36	<b>0.59</b>
11116	0.4	1.8	1.01	1.04	2000	1990	2020	31	-0.1

Как следует из табл. 4.6.1, из 6 рядов модель линейного тренда эффективна в 4 случаях и коэффициенты корреляции модели линейного тренда статистически значимы в 4 случаях. Модель ступенчатых изменений также эффективна в 4 случаях и  $\Delta c_T\%$  достаточно большое от 24% до 33% для станций 11112 - 11115. Год перехода от одних стационарных условий к другим разный: 1995, 2001 и 2009.

Многолетние ряды температур воздуха, аппроксимированный моделью ступенчатых изменений для четырех станций приведены на рис.4.6.1.

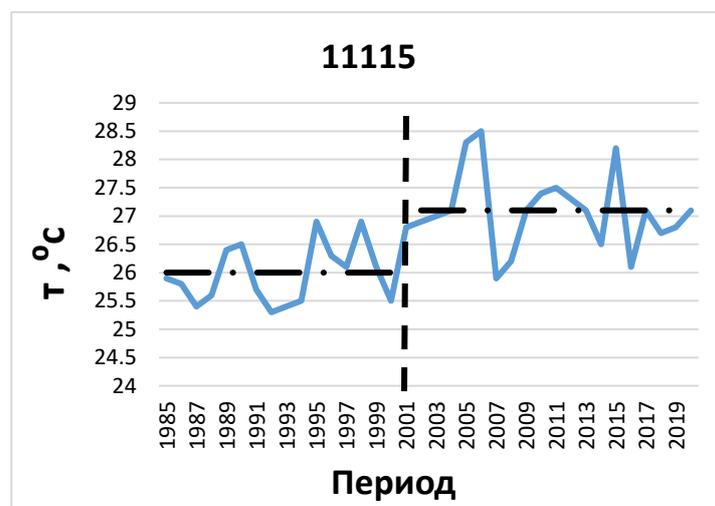
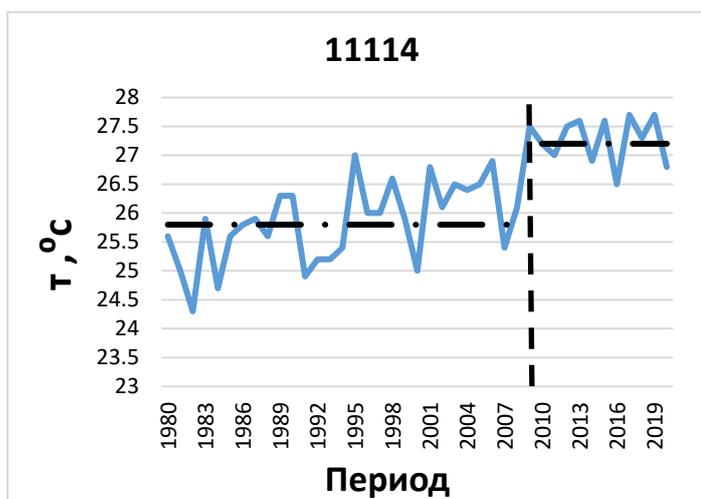
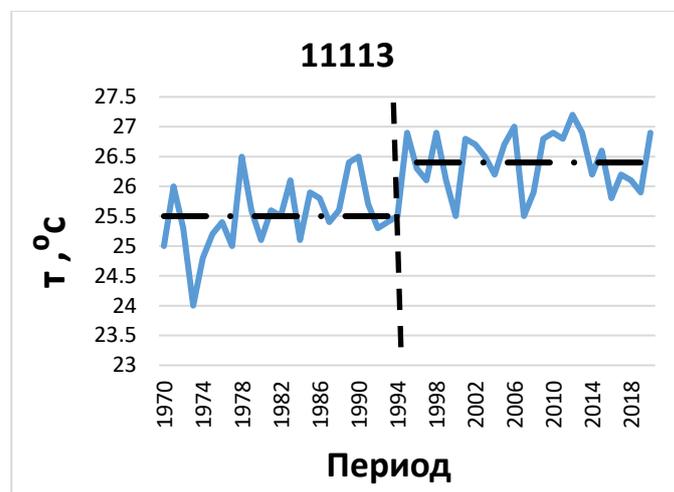
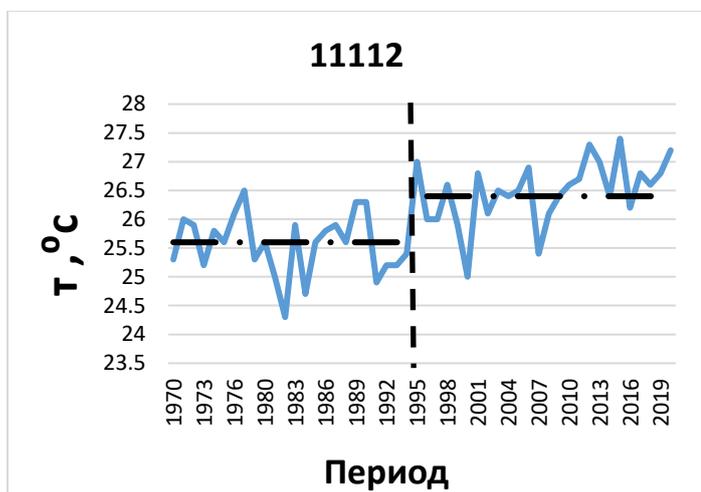


Рисунок 4.6.1. Нестационарные временные ряды температур октября и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений.

На основании графиков рис.4.6.1. можно определить насколько увеличилась средняя температура в октябре:

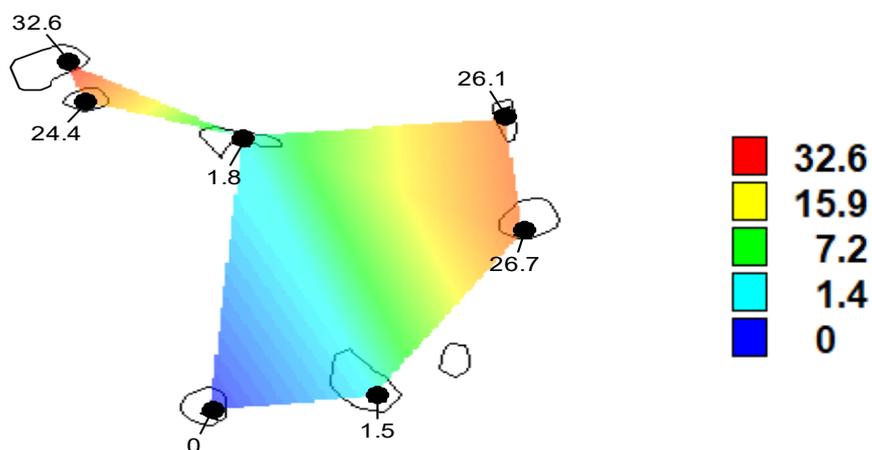
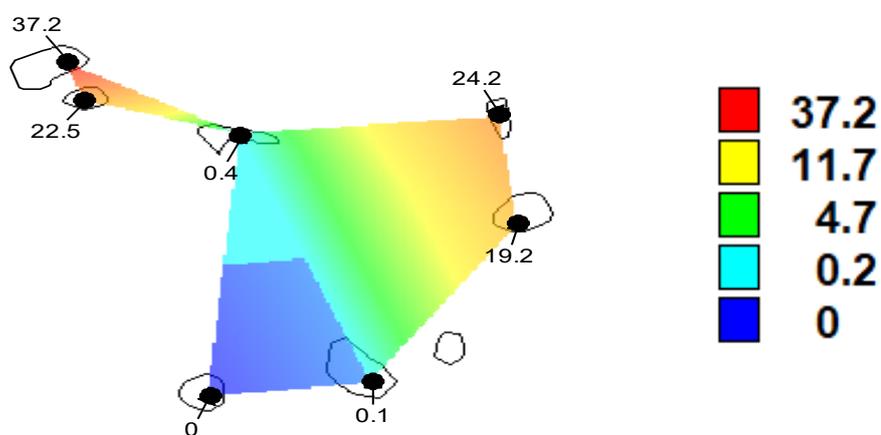
- график на метеостанции 11112 показывает среднее значение с 1970 по 1995 год равное  $25.6^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2019 год равное  $26.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.8^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11113 показывает среднее значение с 1970 по 1995 год равное  $25.5^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 1996 по 2018 год равное  $26.4^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $0.9^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11114 показывает среднее значение с 1980 по 2009 год равное  $25.8^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2010 по 2019 год равное  $27.2^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.4^{\circ}\text{C}$ ;

- график на метеостанции 11115 показывает среднее значение с 1985 по 2001 год равное  $26.0^{\circ}\text{C}$  и среднее значение с 2002 по 2018 год равное  $27.1^{\circ}\text{C}$  и разница между этими средними составляет  $1.1^{\circ}\text{C}$ ;

Пространственные распределения показателей нестационарных моделей  $\Delta\text{Tr}\%$ ,  $\Delta\text{St}\%$  и  $\text{Rtr}$  приведены на рис.4.6.2.



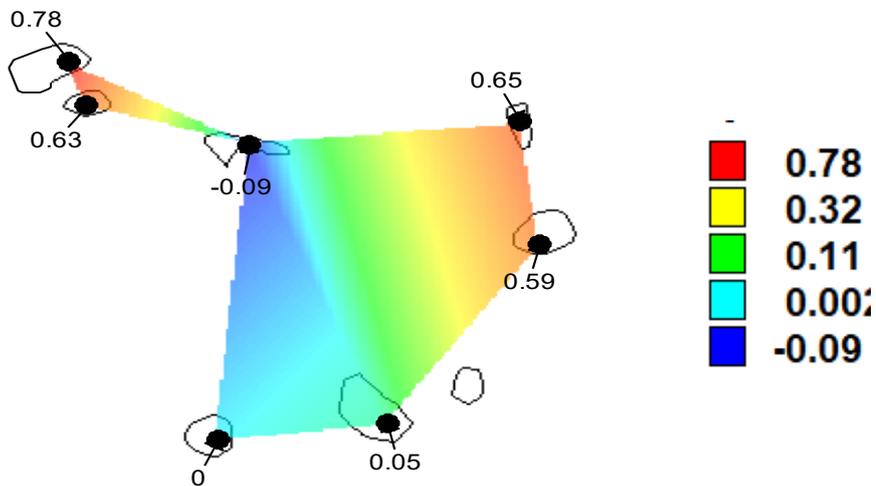


Рисунок 4.6.2 Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур сентября, где сверху вниз:  $\Delta t_{гр}\%$   $\Delta t_{ст}\%$  и  $R_{гр}$ .

Рисунок 4.6.2 показывает, что наибольшие изменения температур имеют место на северо-востоке, а наименьшие изменения наблюдаются в юго-западной части.

## Заключение

В выполненной работе получены следующие основные результаты

1. Сформирована база данных многолетних рядов среднемесячных температур воздуха по всем имеющимся 8 метеостанциям в Кабо-Верде и оценена однородность и стационарность информации, которая показала, что данные однородны, однако почти в половине случаев средние значения нестационарны.
2. На основе более продолжительных рядов на станциях - аналогах, включая и прибрежные станции в Сенегале были восстановлены пропуски и увеличена продолжительность рядов наблюдений практически до 51 года, хотя для 3х метеостанций в центре и на юге архипелага из-за низкой связанности с другими рядами, видимо из-за местных особенностей, удлинить ряды не удалось.
3. По рядам, приведенным к многолетнему периоду, были рассчитаны средние многолетние температуры, температуры редкой повторяемости (1 раз в 100 и 200 лет) и средние квадратические отклонения (СКО) и построены их пространственные распределения для характерных месяцев года, из которых следует, что температуры растут зонально с севера на юг и разность их средних и особенно расчетных значений достигает  $2^{\circ}\text{C}$ . Из пространственных распределений СКО следует, что наибольших их значения во все сезоны года наблюдаются на центральных островах архипелага, где они составляют  $1,1 - 1,6^{\circ}\text{C}$  в зависимости от сезона года. Наименьшие значения СКО имеют место на островах восточной части, где они варьируют в диапазоне  $0,6-0,9^{\circ}\text{C}$ .
4. Аппроксимация многолетних рядов моделями нестационарного среднего в месяцы холодного полугодия (с ноября по апрель) показала, что в середине 1990х годов среднемесячная температура повысилась до  $1,2 - 1,4^{\circ}\text{C}$  причем наибольшие изменения имели место в северо-восточной половине архипелага.
5. Аппроксимация многолетних рядов моделями нестационарного среднего в месяцы теплого полугодия (с мая по октябрь) показала, что среднемесячная температура выросла и еще более существенно (до  $1,6 - 1,8^{\circ}\text{C}$ ) и также наибольшие изменения имели место в северо-восточной половине архипелага.

## 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. <https://antoniocv.wordpress.com/2015/09/03/clima-de-cabo-verde/>
6. [https://www.researchgate.net/publication/317010999\\_Analise\\_da\\_Precipitacao\\_e\\_Temperatura\\_do\\_Ar\\_Observada\\_e\\_Estimada\\_nas\\_Ilhas\\_de\\_Cabo\\_Verde](https://www.researchgate.net/publication/317010999_Analise_da_Precipitacao_e_Temperatura_do_Ar_Observada_e_Estimada_nas_Ilhas_de_Cabo_Verde)
7. <https://www.inmg.gov.cv/> (данных наблюдении)
8. <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (данных наблюдении)