



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 «Влияние современного изменения климата на температуру
воздуха в Гвинея- Бисау»**

Исполнитель Исполнитель Бекут Лабана Клаудио

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

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

Подпись

**Доктор физико-математических наук, доцент
Дробжева Яна Викторовна**

«_____» _____ 2024г.

**Санкт-Петербург
2024**

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Физическое-географическое положение республики	
Гвинея-Бисау.....	5
1.1.Административное деление.....	5
1.2.Рельеф.....	7
1.3.Климат.....	8
Глава 2. Формирование базы данных.....	12
2.1. Пункты и продолжительность рядов наблюдений.....	12
2.2. Анализ однородности температур теплого периода года.....	14
2.3. Анализ однородности температур холодного периода года.....	18
2.4. Восстановление пропусков и удлинение рядов наблюдений.....	23
2.5. Определение температур воздуха редкой повторяемости.....	26
Глава 3. Оценка современных изменений температуры воздуха	
теплого периода года.....	35
3.1. Теоретические положения.....	35
3.2. Оценка эффективности нестационарных моделей температур	
Апреля.....	36
3.3. Оценка климатических изменений температур апреля.....	39
3.4. Оценка эффективности нестационарных моделей температур	
Июля.....	41
3.5. Оценка климатических изменений температур июля.....	44
Глава 4. Оценка современных изменений температуры воздуха	
холодного периода года.....	46
4.1. Оценка эффективности нестационарных моделей температур	
Октября.....	46
4.2. Оценка климатических изменений температур октября.....	51
4.3. Оценка эффективности нестационарных моделей температур	
Января.....	53
4.4. Оценка климатических изменений температур января.....	54
Заключение.....	56
Список литературы.....	58

Введение

Изменение климата представляет собой неотложную глобальную проблему, которая несет серьезную угрозу экосистемам, средствам существования и благополучию людей. Гвинея-Бисау особенно уязвима к последствиям изменения климата. По мере повышения температуры, изменения характера осадков и продолжающегося повышения уровня моря Гвинея-Бисау сталкивается с целым рядом проблем, включая деградацию окружающей среды, отсутствие продовольственной безопасности, эрозию берегов и утрату биоразнообразия.

В проведенных ранее исследованиях рассматриваются последствия изменения климата в Гвинее-Бисау, подчеркивая различные последствия для окружающей среды, здоровья человека, сельского хозяйства, инфраструктуры и социально-экономических секторов [1,2]. В нем также исследуется необходимость в стратегиях адаптации, усилиях по смягчению последствий и международном сотрудничестве для решения острого климатического кризиса в Гвинее-Бисау.

Причины изменения климата в Гвинее-Бисау такие же, как и причины изменения климата во всем мире. Этими причинами являются деятельность человека, приводящая к выбросу парниковых газов в атмосферу. Эти газы действуют как одеяло вокруг Земли, удерживая тепло и вызывая повышение температуры. К основным источникам выбросов парниковых газов в Гвинее-Бисау относятся: сжигание ископаемого топлива, такого как нефть, уголь и природный газ, для производства энергии; вырубка лесов, приводящая к высвобождению углерода, хранящегося в деревьях; сельское хозяйство, которое выбрасывает в атмосферу метан и закись азота. Гвинея-Бисау уязвима к последствиям изменения климата. Страна расположена в тропическом поясе, где температура уже высокая, а осадки нерегулярны. Эти климатические условия делают страну более восприимчивой к последствиям изменения климата, таким как засухи, наводнения и повышение уровня моря.

Целью настоящей работы является количественная оценка изменения температур воздуха во все сезоны года на основе анализа многолетних рядов среднемесячных температур воздуха в месяцы, относящиеся к серединам этих сезонов: январь, апрель, июль и октябрь.

Для достижения этой цели необходимо было выполнить следующие виды работ:

- сформировать базу данных многолетних рядов среднемесячных температур на территории республики Гвинея-Бисау;
- осуществить оценку качества информации, включая оценку однородности экстремальных значений и стационарности дисперсий и средних значений многолетних рядов по статистическим критериям;
- выполнить восстановление пропусков и приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду;
- получить пространственные распределения средних многолетних температур для всех сезонов года;
- определить расчетные климатические характеристики повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет и построить их пространственные модели для целей интерполяции расчетных значений в любую точку территории;
- оценить эффективность моделей нестационарного среднего и осуществить пространственные обобщения показателей нестационарности;
- определить количественные изменения температуры воздуха за многолетний период в разные сезоны года и оценить эти изменения по отношению к естественной изменчивости;
- построить карты пространственных распределений климатических изменений температуры воздуха разных сезонов года и градусах Цельсия и в долях естественной изменчивости.

Глава 1. Физическое-географическое положение республики Гвинея-Бисау

1.1.Административное деление

Гвинея-Бисау разделена на 8 регионов и 1 автономный сектор (рис.1.1). Регионы разделены в общей сложности на 37 секторов, которые далее подразделяются на более мелкие группы, называемые разделами, которые подразделяются на населенные пункты.

Бафата - регион в северо-центральной части Гвинеи-Бисау, столица Бафата. Это внутренний регион, покрытый саванной или светлым саванным лесом, где ежегодно выпадает более 2000 мм осадков.

Бисау - столица и крупнейший город Гвинеи-Бисау. В 2015 году его население составляло 492 004 человека. Бисау расположен в устье реки Геба, на берегу Атлантического океана, и является крупнейшим городом Гвинеи-Бисау, ее главным портом, а также административным и военным центром.

Болама - административный регион в Гвинее-Бисау, состоящий в основном из архипелага островов на южном побережье страны, а также небольшой прибрежной полосы с центром в прибрежном городе Сан-Жуан. Его площадь составляет 2624 км². Ее столица Болама находится на одноименном острове. Это прибрежный регион, покрытый мангровыми болотами, тропическими лесами и густыми лесами, где ежегодно выпадает более 1000 мм осадков.

Кашеу - регион на западе Гвинеи-Бисау, на границе с Сенегалом. Его площадь составляет 5 175 км², а население оценивается в 2004 году в 164 676 человек. Столица — Каше. Со времен гражданской войны 1998-99 годов здесь не было никакой местной администрации, а все социальные услуги осуществляются органами гражданского общества и другими государственными учреждениями. Это прибрежный регион, покрытый мангровыми болотами, тропическими лесами и густыми лесами, где ежегодно выпадает более 1000 мм осадков.

Регион Габу самый восточный регион Гвинеи-Бисау. Столица Габу. Регион граничит с Сенегалом на севере, Гвинеей на востоке и юге и регионами Гвинея-Бисау Томбали и Бафата на западе. Он занимает площадь 9 150 км², что делает его крупнейшим из административных регионов Гвинеи-Бисау. Это внутренний регион, покрытый саванной или светлыми саваннами, где ежегодно выпадает более 2000 мм осадков.

Ойо - регион в Гвинее-Бисау. Столица Фарим. Другие крупные города и поселки включают Нхакру, Мансоа, Биссора и Кумере. Регион граничит с Сенегалом на севере, регионами Гвинеи-Бисау Бафата, Бисау и Биомбо на востоке, регионом Рио-Геба/Гвинея-Бисау в Кинаре на юге и регионом Кашеу в Гвинее-Бисау на западе.

Кинара - регион в центральной Гвинее-Бисау, столица Фулакунда.

Томбали один из восьми регионов Гвинеи-Бисау. Он расположен на крайнем юге страны, а его столица Катио. Со времен гражданской войны 1998-99 годов здесь не было никакой местной администрации, а все социальные услуги осуществляются органами гражданского общества и другими государственными учреждениями. Это прибрежный регион, покрытый мангровыми болотами, тропическими лесами и запутанными лесами, где ежегодно выпадает более 2000 миллиметров или 79 дюймов осадков.



Рис. 1.1. Административное деление Гвинея-Бисау.

1.2 Рельеф

Почти вся Гвинея-Бисау расположена в низменностях и ежедневно омывается приливными водами, простирающимися на 62 мили (100 км) вглубь страны (рис.1.2). В юго-восточной части страны плато Фута-Джаллон возвышается примерно на 600 футов (180 метров). Холмы Боэ простираются от западных склонов Фута-Джаллона до бассейна Корубала и равнины Габу. Прибрежная зона ограничена густой сетью затопленных долин, называемых риас. Плато Бафата дренируется реками Геба и Корубал. Равнина Габу занимает северо-восточную часть страны и дренируется реками Кашеу и Геба и их притоками. Внутренние равнины являются частью южной окраины бассейна реки Сенегал. Равномерное возвышение зрелой поймы позволяет рекам извиваться и делает территорию уязвимой к наводнениям в сезон дождей. Некоторые восточные части Гвинеи-Бисау образуют часть верхнего бассейна системы реки Гамбия.



Рис. 1.2. Рельеф республики Гвинея- Бисау

Проникновение приливов во внутренние районы, чему способствует плоский прибрежный рельеф Гвинеи-Бисау, несет в себе некоторые сельскохозяйственные преимущества: волну солоноватой воды можно использовать для орошения обширных затопленных рисовых полей, называемых болоньями. Антиколониальная война оказала разрушительное воздействие на почвы Гвинеи-Бисау. Вышедшие из употребления пахотные земли подвергались эрозии почв, а с разрушением защитных речных дамб пахотность некоторых почв ухудшилась из-за чрезмерного засоления.

1.3 Климат

В Гвинее-Бисау в целом тропический климат, на который влияет внутритропическая зона конвергенции, пояс сходящихся пассатов, который окружает Землю вблизи экватора. Выделяются два ярко выраженных сезона: жаркий сезон дождей, который обычно длится с июня по ноябрь, и жаркий сухой сезон. Апрель и май — самые жаркие месяцы, а температура может достигать 90 градусов по Фаренгейту (30 градусов по Цельсию). Количество осадков не сильно различается в зависимости от высоты в Гвинее-Бисау, хотя оно различается между прибрежными и внутренними районами; на побережье выпадает от 60 до 120 дюймов (от 1500 до 3000 мм) осадков, тогда как на внутренние районы влияет климат тропической саванны с большими колебаниями количества осадков и температуры.

В табл.1.1 приведены средние многолетние температуры четырех характерных месяцев года (января, апреля, июля и октября) на метеостанциях Республики Гвинея –Бисау и их средние значения для территории. Из табл.1.1 следует, что в среднем отличие температуры самого холодного месяца января от температуры самого жаркого месяца апреля составляет всего 3,4°C, а температура месяцев жаркого периода года (весна – осень) отличается всего на 0,3-0,6°C.

Таблица 1.1.

Средние многолетние температуры воздуха характерных месяцев 4х сезонов года на метеостанциях Республики Гвинея-Бисау (в °C)

Код	Название	Широта	Долгота	Характерные месяцы года			
				январь	апрель	июль	октябрь
61766	Бисау	11.9	-15.6	24.7	27.1	26.2	27
61769	Болама	11.5	-15.4	26	27.8	26	27.3
61781	Бафата	12.1	-14.6	25.2	30.5	27	27.5
61697	Кап скиррен	12.4	-16.7	23	23.6	28	27.9
61600	Сен-Луис	16	-16.4	21.9	22.3	27.4	27.8
61699	Кедуру	12.5	-12.2	26.5	33.6	27	27.7
61679	Каолак	14.1	-16	25.2	29.7	29	29.1
61698	Колда	12.8	-14.9	24.2	30.8	28	27.8
61641	Дакар	14.7	-17.5	21.3	21.9	27.4	27.8
61666	Диурбель	14.6	-16.2	24.2	28.5	29.1	28.6
61695	Зигиншор	12.5	-16.2	24	27.2	27.2	27.6
61627	Лингере	15.3	-15.1		30.8	30	30
61687	Тамбакунда	13.7	-13.6	26.5	32.7	28	28.3
61612	Подор	16.6	-14.9	23	30.9	30	30.7
61630	Матам	15.6	-13.2	24.1	33.1	31.3	31
Среднее				24.3	28.7	28.1	28.4

Построенные пространственные распределения средних температур каждого месяца приведены на рис.1.3 – 1.6.

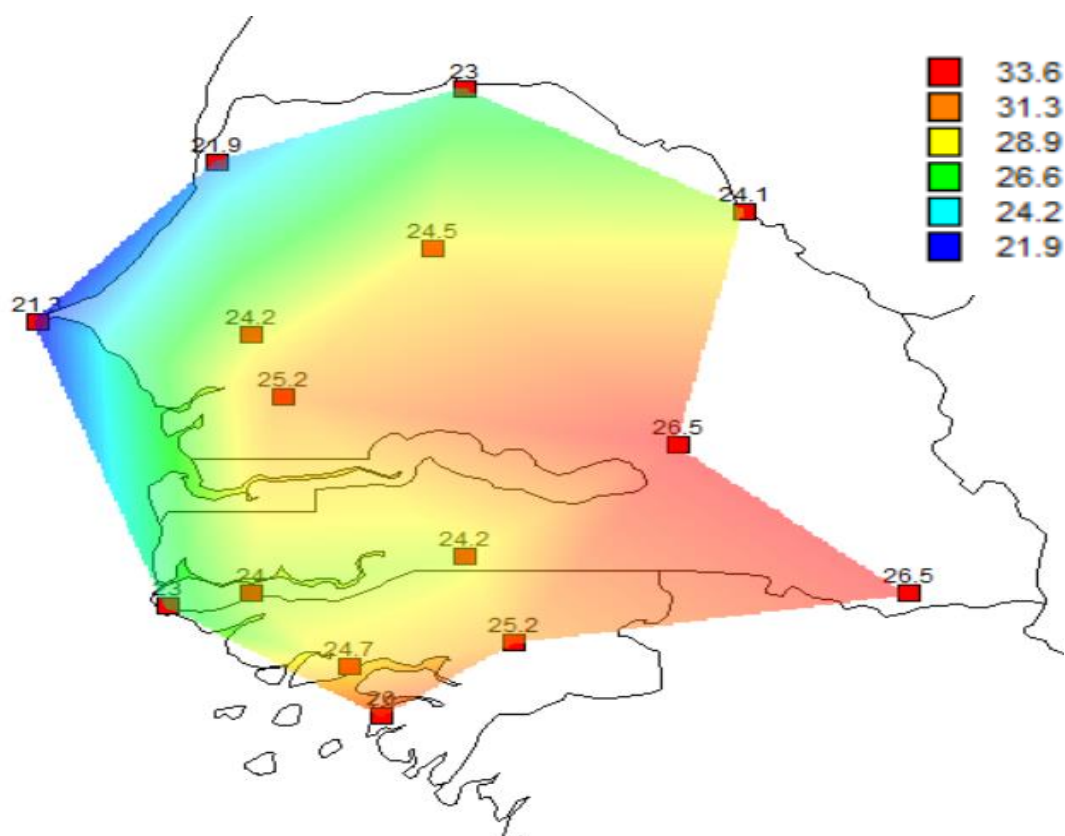


Рис.1.3. Пространственное распределение средних температур января

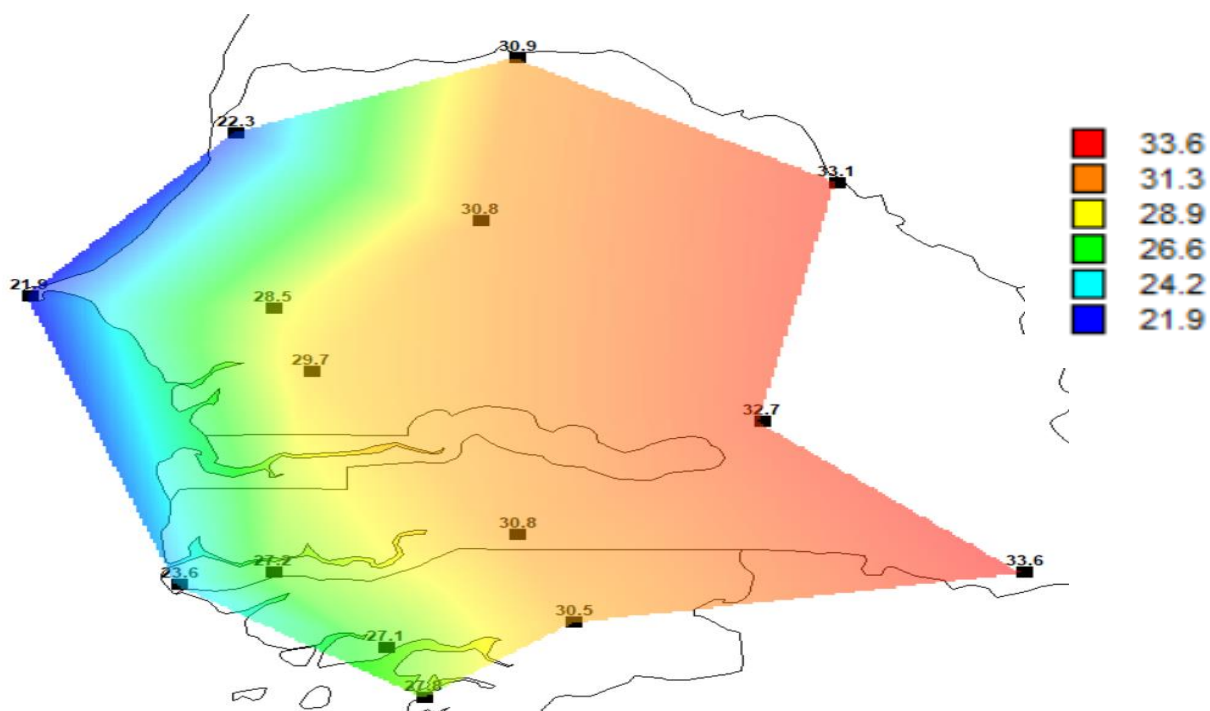


Рис.1.4. Пространственное распределение средних температур апреля

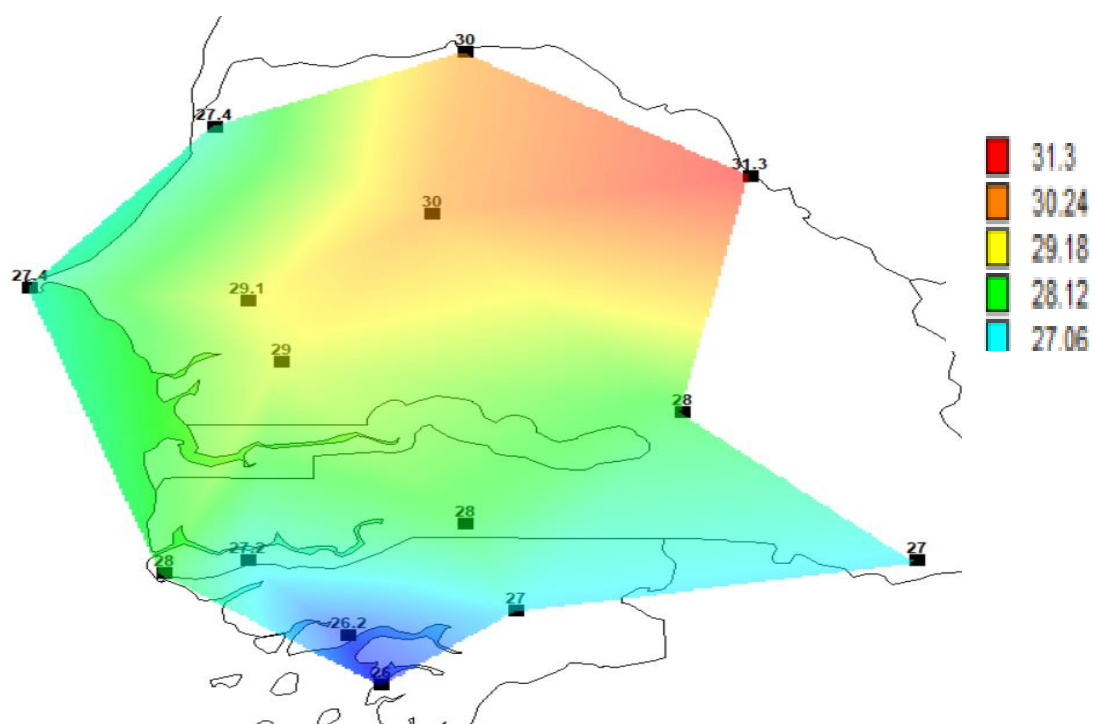


Рис.1.5. Пространственное распределение средних температур июля

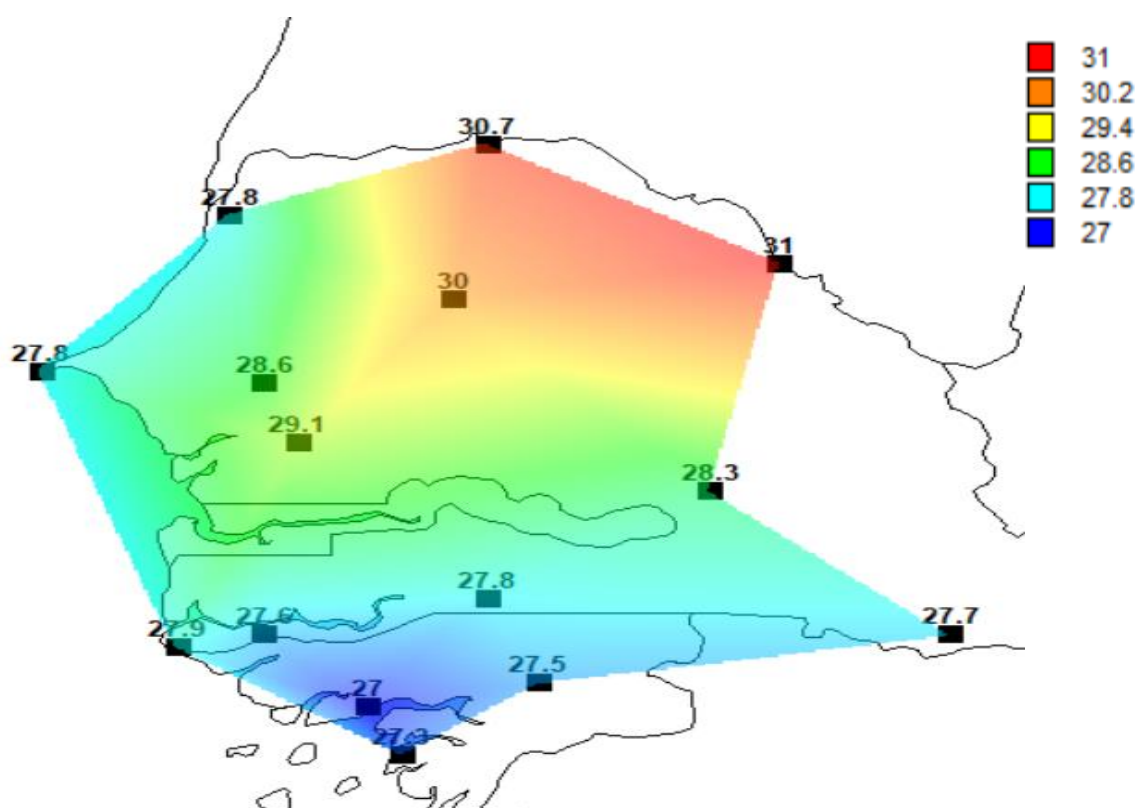


Рис.1.6. Пространственное распределение средних температур октября

Из анализа пространственных распределений температур воздуха разных месяцев года следует, что во все месяцы температура на станциях внутри континента выше, чем на станциях вблизи побережья Атлантического океана. Вместе с тем изменения температуры по территории разные в разные сезоны года. Зимой (январь) температура изменяется от $21,3^{\circ}\text{C}$ в Дакаре до $26,5^{\circ}\text{C}$ в глубине континента (метеостанции Кедуру и Тамбакунда) при градиенте $5,2^{\circ}\text{C}$. Весной (апрель) в самый жаркий сезон температура изменяется от $21,9^{\circ}\text{C}$ в Дакаре до $33,6^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Кедуру при пространственном градиенте уже в 2 раза больше и равен $11,7^{\circ}\text{C}$. Летом (июль) влияние нагретой суши уже более заметно и минимумы температур смещаются по побережью на юг и растут, при этом наименьшая температура $26,0^{\circ}\text{C}$ наблюдается на побережье в Болама, а наибольшая $31,3^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Матама в глубине континента. Пространственный градиент составляет всего $5,3^{\circ}\text{C}$ как и зимой. Осенью (октябрь) наименьшая температура имеет место в Бисау и равна $27,0^{\circ}\text{C}$, а наибольшая равная $31,0^{\circ}\text{C}$ в Подоре при наименьшем в году пространственном градиенте всего $4,0^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, максимумы температур по территории изменяются внутри года от $26,5^{\circ}\text{C}$ в январе до $33,6^{\circ}\text{C}$ в апреле (на $7,1^{\circ}\text{C}$), а минимумы среднемесячных температур изменяются по территории от $21,3^{\circ}\text{C}$ в январе до $27,0^{\circ}\text{C}$ в октябре, практически при таком же градиенте (на $5,7^{\circ}\text{C}$).

Глава 2. Формирование базы данных

2.1. Пункты и продолжительность рядов наблюдений

На территории республики Гвинея-Бисау и в рядом расположенных странах (Сенегал) для проведения исследования было выбрано 15 метеостанций с наиболее продолжительными рядами наблюдений и с последними годами наблюдений 2022 – 2023 гг. [3]. Информация по каждой метеостанции (широта, долгота, высота, период и продолжительность наблюдений) приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1.

Основные характеристики метеостанций и рядов наблюдений

Код станции	Название	Широта, град	Долгота, град	Высота м	Период наблюдений	Кол-во лет
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	4	1862 - 2023	143
61612	Podor	16.65	-14.96	7	1906 - 2023	116
61627	Лингере	15.38	-15.11	21	1934 - 2023	89
61630	Матам	15.65	-13.25	17	1951 - 2022	71
61641	Дакар	14.43	-17.27	24	1898 - 2022	124
61666	Диурбель	14.65	-16.23	9	1951 - 2022	71
61679	Каолак	14.13	-16.06	7	1931 - 2022	92
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	50	1923 - 2022	100
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	23	1923 - 2022	100
61697	Кап Скирренг	12.36	-16.71	13	1980 - 2022	43
61698	Колда	12.88	-14.96	10	1951 - 2022	72
61699	Кедугу	12.57	-12.21	167	1967 - 2022	56
61766	Бисау	11.86	-15.65	36	1941 - 1965	25
61769	Болама	11.58	-15.48	20	1907 - 2021	108
61781	Бафата	12.17	-16.67	43	1973 - 2022	50

Как следует из данных табл.2.1, высоты станций изменяется от 4 м (Сент-Луис) до 167 м (Кедугу), продолжительность рядов наблюдений от 25 лет на метеостанции Бисау до 143 лет на метеостанции Сент-Луис. Поэтому вполне возможно удлинить непродолжительные ряды по информации на метеостанциях-аналогах с более продолжительных рядами и привести все ряды практически к одинаковому многолетнему периоду.

Пространственное распределение выбранных метеостанций показано на рис.2.1, из которого следует, что рассматриваемая территория освещена наблюдениями достаточно равномерно.

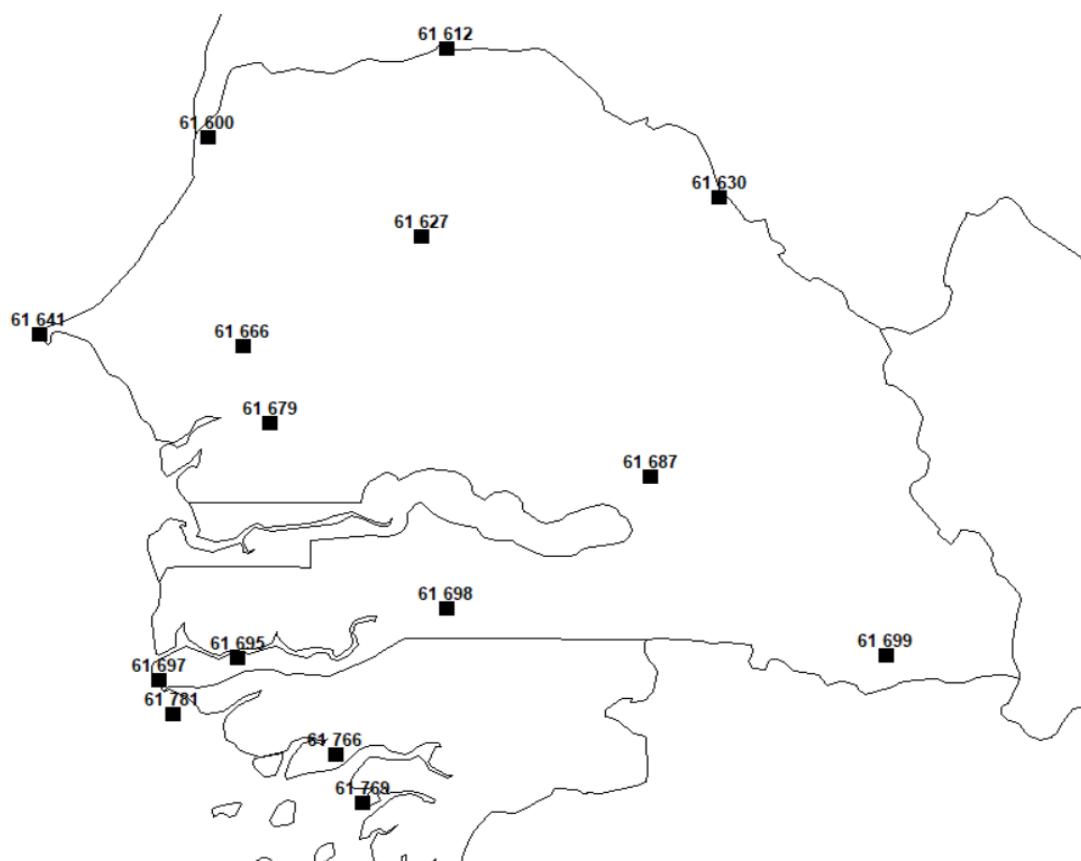


Рис.2.1. Карта расположения метеостанций.

2.2. Анализ однородности температур воздуха теплого периода года

Прежде, чем начинать исследование, надо рассмотреть многолетние графики наблюдений, чтобы предварительно оценить качество данных, их однородность и видимые изменения. На рис.2.2 приведены графики многолетних рядов температур апреля как самого жаркого месяца года на метеостанциях, расположенных в разных частях территории и имеющих многолетние наблюдения: Сент-Луис (61600) на северо-западе у побережья; Подор (61612) на севере на континенте; Матам (61630) в глубине континента; Тамбакумба (61687) в центре территории; Кедугу (61699) на юго-востоке на материке и Болама (61769) у побережья на юго-западе.



Рис. 2.3. Хронологические графики температур апреля

Как следует из анализа многолетних графиков, практически на всех станциях за исключением станции Болама имеет место рост температуры. Также даже визуально можно сказать, что на станции Подор данные наблюдений в первую половину ряда не однородны, потому что они завышены и имеют большую дисперсию.

Количественная оценка однородности экстремальных значений (максимумов и минимумов) эмпирических распределений и однородности (стационарности) дисперсий и средних значений за две одинаковые половины временных рядов была осуществлена с помощью статистических критериев Диксона, Фишера и Стьюдента [4, 5, 6]. Результаты оценки однородности температур апреля при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$ приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2.

Результаты оценки однородности многолетних рядов температур апреля по статистическим критериям

Код станции	Название	Критерии				
		Диксона	Фишера		Стьюдента	
		вывод	статистика	вывод	статистика	вывод
61600	Сент-Луис	Однор.	1.50	Однор.	9.20	Неоднор.
61612	Подор	Однор.	2.06	Неоднор	4.59	Неоднор.
61627	Лингере	Однор.	1.85	Неоднор	3.19	Неоднор.
61630	Матам	Однор.	2.45	Однор.	5.98	Неоднор.
61641	Дакар	Однор.	1.60	Однор.	4.81	Неоднор.
61666	Диурбель	Однор.	1.09	Однор.	1.95	Однор.
61679	Каолак	Однор.	4.38	Неоднор	3.05	Неоднор
61687	Тамбакунда	Однор.	2.21	Неоднор	7.45	Неоднор
61695	Зигиншор	Однор.	2.95	Неоднор	3.90	Неоднор
61697	Кап Скирренг	Однор.	1.15	Однор.	2.16	Неоднор
61698	Колда	Однор.	1.09	Однор.	3.47	Неоднор
61699	Кедугу	Однор.	1.79	Однор.	4.84	Неоднор
61600	Бисау	Однор.	2.86	Неоднор	0.84	Однор.
61612	Болама	Однор.	1.19	Однор.	1.37	Однор.
61781	Бафата	Однор.	1.37	Однор.	1.70	Однор.

Как следует из результатов табл.2.2, в эмпирических распределениях нет неоднородных экстремумов, средние значения нестационарны в 11 случаях из 15 (73% случаев), а дисперсии нестационарны в 6 случаях из 15 (40% случаев).

Многолетние хронологические графики летних температур воздуха на примере температур июля для тех же пунктов наблюдений, как и для температуры апреля, приведены на рис.2.4.



Рис. 2.4. Хронологические графики температур июля

Как следует из рис.2.4, летние температуры на примере температур июля также имеют тенденцию к повышению, хотя не столь наглядную и явную, как в температурах самого жаркого месяца апреля.

Результаты оценки однородности по статистических критерия приведены в табл.2.3. из которой следует, что в двух случаях (метеостанции Лигере и Коалак) имели место неоднородные экстремумы, которые привели и к выводу о неоднородных дисперсиях. В остальных 5 случаях дисперсии неоднородны при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$, что составляет 33% от всех рядов. Неоднородность по критерию Стьюдента установлена в 7 случаях или примерно в 45% от всех рядов. Поэтому можно сделать вывод, что ряды температур июля несколько более однородны, чем температур апреля.

Таблица 2.3.

Результаты оценки однородности многолетних рядов температур июля по статистическим критериям

Код станции	Название	Критерии				
		Диксона	Фишера		Стьюдента	
		вывод	статистика	вывод	статистика	вывод
61600	Сент-Луис	Однор.	1.65	Однор.	2.02	Однор.
61612	Подор	Однор.	1.04	Неоднор	3.94	Неоднор.
61627	Лингере	Неоднор.	4.49	Неоднор	0.74	Однор.
61630	Матам	Однор.	2.24	Однор.	3.88	Неоднор.
61641	Дакар	Однор.	1.95	Неоднор.	5.04	Неоднор.
61666	Диурбель	Однор.	1.89	Неоднор.	0.70	Однор.
61679	Каолак	Неоднор.	3.23	Неоднор	0.28	Однор
61687	Тамбакунда	Однор.	1.71	Однор	4.43	Неоднор
61695	Зигиншор	Однор.	1.10	Однор	0.76	Однор
61697	Кап Скирренг	Однор.	1.21	Однор.	3.14	Неоднор
61698	Колда	Однор.	1.16	Однор.	3.87	Неоднор
61699	Кедугу	Однор.	1.11	Однор.	1.99	Однор
61600	Бисау	Однор.	1.50	Однор	0.41	Однор.
61612	Болама	Однор.	2.03	Неоднор.	8.81	Неоднор.
61781	Бафата	Однор.	2.61	Неоднор.	0.27	Однор.

2.3. Анализ однородности температур воздуха холодного периода года

В этом периоде года, включающем осень и зиму, рассматриваются среднемесячные температуры воздуха октября и января. Многолетние хронологические графики по тем же 6 метеостанциям, находящимся в разных частях территории, приведены на рис.2.5 для среднемесячных температур октября.



Рис. 2.5. Хронологические графики температур октября

Все многолетние графики показывают рост температуры, но в них имеют место и неоднородные минимумы (Сент-Луис, Подор и Кедугу) и возможная неоднородность измерений в начальные периоды наблюдений видимо за счет или смены приборов, или расположения метеостанции, как на метеостанции Матам. Здесь видно, что в начале временного ряда в температуры существенно занижены, что вряд ли можно объяснить изменением климата.

Объективная количественная оценка однородности осуществлена с помощью статистических критериев оценки однородности и стационарности и полученные результаты приведены в табл.2.4.

Таблица 2.4.

Результаты оценки однородности многолетних рядов температур октября по статистическим критериям

Код станции	Название	Критерии				
		Диксона	Фишера		Стьюдента	
		вывод	статистика	вывод	статистика	вывод
61600	Сент-Луис	Неоднор.	1.90	Однор.	1.90	Однор.
61612	Подор	Неоднор.	1.82	Неоднор	4.08	Неоднор.
61627	Лингере	Однор.	2.04	Неоднор	4.19	Неоднор.
61630	Матам	Однор.	2.33	Неоднор.	5.04	Неоднор.
61641	Дакар	Однор.	1.39	Однор.	0.98	Однор.
61666	Диурбель	Однор.	1.95	Однор.	1.52	Однор.
61679	Каолак	Однор.	1.08	Однор	5.37	Неоднор
61687	Тамбакунда	Однор.	1.10	Однор	3.90	Неоднор
61695	Зигиншор	Однор.	1.16	Однор	0.85	Однор
61697	Кап Скирренг	Однор.	2.36	Однор.	6.86	Неоднор
61698	Колда	Однор.	1.24	Однор.	5.48	Неоднор
61699	Кедугу	Неоднор.	3.40	Неоднор.	3.65	Неоднор
61600	Бисау	Однор.	8.72	Неоднор	1.24	Однор.
61612	Болама	Однор.	1.37	Однор.	9.75	Неоднор.
61781	Бафата	Однор.	1.02	Однор.	2.87	Неоднор.

Из результатов табл.2.4 следует, что в трех случаях имеют место неоднородные минимумы, которые приводят и к неоднородности дисперсий. В остальных трех случаях дисперсии неоднородны из-за малой продолжительности ряда, как для ряда на метеостанции Бисау или по другим причинам. Средние значения неоднородны в 10 рядах из 15 или в в 67% случаев. Общая тенденция связана с тем, что средние значения на всех станциях растут, только в некоторых случаях этот рост или не проявляется существенно из-за непродолжительного ряда наблюдений или еще статистически незначим.

Многолетние ряды наблюдений за температурой января, как самого прохладного месяца года для 6 выбранных метеостанций приведены на рис.2.6.



Рис. 2.5. Хронологические графики температур января

Как следует из рассмотрения графиков, имеет место устойчивая тенденция роста температур декабря за исключением метеостанции Болама, в которой температура декабря резко уменьшилась в конце 1970х, затем был некоторый рост до начала 2000х и затем снова наметилась тенденция к падению. Особенностью является то, что эта метеостанция находится на островах и на нее влияют особенности морского климата.

Результаты оценки с помощью статистических критериев приведены в табл.2.5.

Таблица 2.5.

Результаты оценки однородности многолетних рядов температур января по статистическим критериям

Код станции	Название	Критерии				
		Диксона	Фишера		Стьюдента	
		вывод	статистика	вывод	статистика	вывод
61600	Сент-Луис	Однор.	1.12	Однор.	4.40	Неоднор.
61612	Подор	Однор.	1.96	Неоднор	0.66	Однор.
61627	Лингере	Однор.	1.98	Неоднор	0.90	Однор.
61630	Матам	Однор.	1.57	Однор.	3.90	Неоднор.
61641	Дакар	Однор.	1.32	Однор.	2.01	Однор.
61666	Диурбель	Однор.	1.12	Однор.	4.30	Неоднор.
61679	Каолак	Однор.	1.10	Однор	4.72	Неоднор
61687	Тамбакунда	Однор.	1.08	Однор	5.77	Неоднор
61695	Зигиншор	Однор.	1.68	Однор	2.69	Неоднор
61697	Кап Скирренг	Однор.	1.10	Однор.	5.10	Неоднор
61698	Колда	Однор.	1.07	Однор.	3.03	Неоднор
61699	Кедугу	Однор.	1.22	Однор.	1.10	Однор
61600	Бисау	Однор.	1.75	Однор	2.43	Неоднор.
61612	Болама	Однор.	1.45	Однор.	8.89	Неоднор.
61781	Бафата	Однор.	1.43	Однор.	2.00	Однор.

Результаты табл.2.5 показывают, что неоднородных экстремумов в рядах среднемесячных температур января не установлено. Случаев неоднородных дисперсий также всего два на метеостанциях Подор и Лингере. Однако неоднородные средние значения имеют место в 10 многолетних рядах, что составляет 67% от общего числа случаев.

Таким образом, выполненный анализ однородности показал, что наибольшее число многолетних рядов с неоднородными средними установлено в самом жарком месяце – апреле (73% от общего числа рядов),

затем в октябре и январе (67% от общего числа рядов) и меньше всего в июле (в 45% случаев).

2.4. Восстановление пропусков и удлинение рядов наблюдений

Для восстановления пропусков и увеличения продолжительности рядов наблюдений была применена методика, основанная на построении регрессионных уравнений связи с более продолжительными рядами наблюдений на метеостанциях-аналогах, изложенная в работах [5, 7, 8]. В качестве показателей для построения эффективных регрессионных уравнений задавались следующие:

- минимальный коэффициент корреляции $R=0,85$;
- минимальное количество лет наблюдений за совместный период при построении уравнений $m=10$;
- отношение коэффициента уравнения регрессии к его стандартной случайной погрешности равное и более 2, что соответствовала 95%-ному доверительному интервалу, в котором не должно находиться нулевое значение иначе коэффициент уравнения регрессии не является статистически значимым.

Результаты приведения к многолетнему периоду температур января приведены в табл.2.6, где:

- n – продолжительность исходного ряда наблюдений;
- N – продолжительность ряда наблюдений после восстановления пропусков и приведения к многолетнему периоду;
- σ_{ε} – средняя квадратическая погрешность восстановленных температур воздуха (в $^{\circ}\text{C}$);
- σ_Y – среднее квадратическое отклонение (СКО) исходного ряда наблюдений;
- $Y_{1\text{ср}}$ – среднее значение исходного ряда наблюдений;
- $Y_{2\text{ср}}$ – среднее значение всех восстановленных данных;
- $\sigma_{\text{в}}$ – среднее квадратическое отклонение всех восстановленных данных.

Таблица 2.6.

Показатели эффективности приведения к многолетнему периоду температур
января

Код	Назв.	n	N	σ_{ε}	σ_{γ}	σ_{β}	$Y1_{cp}$	$Y2_{cp}$
61612	Podor	116	117	0.6	1.6		23.1	
61627	Лингере	89	117	0.5	1.2	1.3	24.6	24.3
61630	Матам	71	100	0.5	1.3	1.3	24.4	23.4
61666	Диурбель	71	118	0.4	1.2	1	24.5	23.8
61679	Каолак	91	100	0.5	1.1	0.9	25.3	24.2
61697	Кап Скирренг	42	94	0.4	0.8	0.7	23.3	22.8
61766	Бисау	25	80	0.3	0.7	0.6	24.5	24.9
61781	Бафата	49	72	0.3	0.6	0.8	25.2	25.2

Как следует из результатов табл.2.6 из 15 рядов наблюдений за температурой января привести к многолетнему периоду удалось 8 рядов. При этом продолжительность восстановленных рядов составила от 72 до 118 лет, тогда как исходных была от 25 до 116 лет. Стандартная погрешность восстановленных данных составила от 0,3°C до 0,6°C. В то время как СКО исходных рядов наблюдений было в 2-3 раза больше (от 0,6°C до 1,6°C). Также СКО и средние значения исходных данных и восстановленных существенно не отличаются.

Показатели эффективности восстановления пропусков и приведения к многолетнему периоду рядов температур воздуха других месяцев приведены в табл.2.7 – 2.9.

Из анализа результатов, приведенных в таблицах 2.7 - 2.9 можно заключить, что в остальные месяцы было восстановлено меньше рядов, чем в январе. Так в апреле было восстановлено 6 рядов (табл.2.7), в июле всего 2 ряда (табл.2.8) и в октябре 4 ряда (табл.2.9). Это связано с тем, что синхронность изменений во времени и по территории зимой существенно выше, чем летом, а также несколько выше, чем весной и осенью. Вместе с тем продолжительность восстановленных рядов составила от 90 до 124 лет, что

позволяет выполнять климатические расчеты и моделирование временных рядов более надежно.

Таблица 2.7.

Показатели эффективности приведения к многолетнему периоду температур
апреля

Код	Назв.	n	N	σ_{ε}	σ_{γ}	σ_{β}	$Y1_{cp}$	$Y2_{cp}$
61612	Podog	116	117	0.2	2.1		30.9	
61627	Лингере	72	100	0.4	1.3	1.5	30.9	31.6
61630	Матам	71	100	0.6	1.5	1.9	33	32
61666	Диурбель	71	118	0.4	1	1.1	28.5	29.8
61679	Каолак	91	92	0.4	0.8		29.8	
61697	Кап Скирренг	42	124	0.3	0.8	1.1	23.6	24.4

Таблица 2.8.

Показатели эффективности приведения к многолетнему периоду температур
июля

Код	Назв.	n	N	σ_{ε}	σ_{γ}	σ_{β}	$Y1_{cp}$	$Y2_{cp}$
61666	Диурбель	71	90	0.4	0.7	0.6	29.8	30.3
61697	Кап Скирренг	42	125	0.2	0.6	0.9	27.5	27.8

Таблица 2.9.

Показатели эффективности приведения к многолетнему периоду температур
октября

Код	Назв.	n	N	σ_{ε}	σ_{γ}	σ_{β}	$Y1_{cp}$	$Y2_{cp}$
61627	Лингере	89	90	0.6	1.2		30.1	
61630	Матам	71	102	0.6	1.2	1.3	31.1	30.5
61697	Кап Скирренг	42	100	0.3	0.6	0.8	27.9	27.6
61699	Кедугу	53	100	0.3	0.7	0.6	27.7	27.4

2.5. Определение температур воздуха редкой повторяемости

В климатических расчетах основной задачей является определение расчетных климатических характеристик редкой повторяемости, например, повторяемостью 1 раз в 100 лет и 1 раз в 200 лет. Эти предельные вероятностные экстремумы учитываются в различных видах проектирования, например, сооружений и объектов, которые с гарантией должны эксплуатироваться этот заданный период времени. Поэтому температурные нагрузки должны быть ориентированы на эти расчетные климатические характеристики.

Для определения расчетных климатических характеристик редкой повторяемости строится эмпирическое распределение, рассчитываются основные параметры ряда наблюдений (среднее значение, СКО или коэффициент вариации и коэффициент асимметрии) и на их основе осуществляется аппроксимация эмпирического распределения аналитическим. Данная методика приведена, например в таких нормативных документах как СНиПы и Своды правил [9 , 10]. В качестве аналитического распределения в российской строительной климатологии и гидрологии обычно применяют распределение Пирсона 3-го типа и его модификацию: - усеченное распределение от нуля в положительную область для положительных гидро-климатических характеристик, например, осадков, речного стока (распределение С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля) [9 , 10].

Важным является не только определить расчетных характеристики редкой повторяемости в пунктах наблюдений, но и осуществить их обобщение по территории, так как проектирование может осуществляться в любой точке пространства, где нет пункта наблюдений. В данной работе обобщение по пространству полученных расчетных климатических характеристик осуществлено с помощью пространственной детерминированной интерполяции методом треугольников. В результате получены карты пространственных распределений расчетных температур воздуха

повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет, которые имеют важное прикладное значение.

Полученные с учетом рядов, приведенных к многолетнему периоду, расчетные температуры воздуха повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет, что соответствует обеспеченности 1% и 0,5% соответственно, приведены в таблицах 2.10 – 2.13, а их пространственные распределения на рис.2.6 – 2.9 для характерных месяцев всех четырех сезонов года.

Таблица 2.10

Расчетные температуры января повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет
(P=1% и P=0,5%)

Код	Название	Широта, град	Долгота, град	P=1%	P=0.5%
61766	Бисау	11.9	-15.6	26.3	26.5
61769	Болама	11.5	-15.4	27.6	27.8
61781	Бафата	12.1	-14.6	26.5	26.6
61697	Кап скиррен	12.4	-16.7	25	25.2
61600	Сен-Луис	16	-16.4	25	25.3
61699	Кедуру	12.5	-12.2	29	29.2
61679	Каолак	14.1	-16	27.9	28.2
61698	Колда	12.8	-14.9	26.7	27
61641	Дакар	14.7	-17.5	24.5	24.9
61666	Диурбель	14.6	-16.2	27	27.3
61695	Зигиншор	12.5	-16.2	26.1	26.3
61627	Лингере	15.3	-15.1	27.3	27.6
61687	Тамбакунда	13.7	-13.6	29	29.2
61612	Подор	16.6	-14.9	27.1	27.7
61630	Матам	15.6	-13.2	26.9	27.2

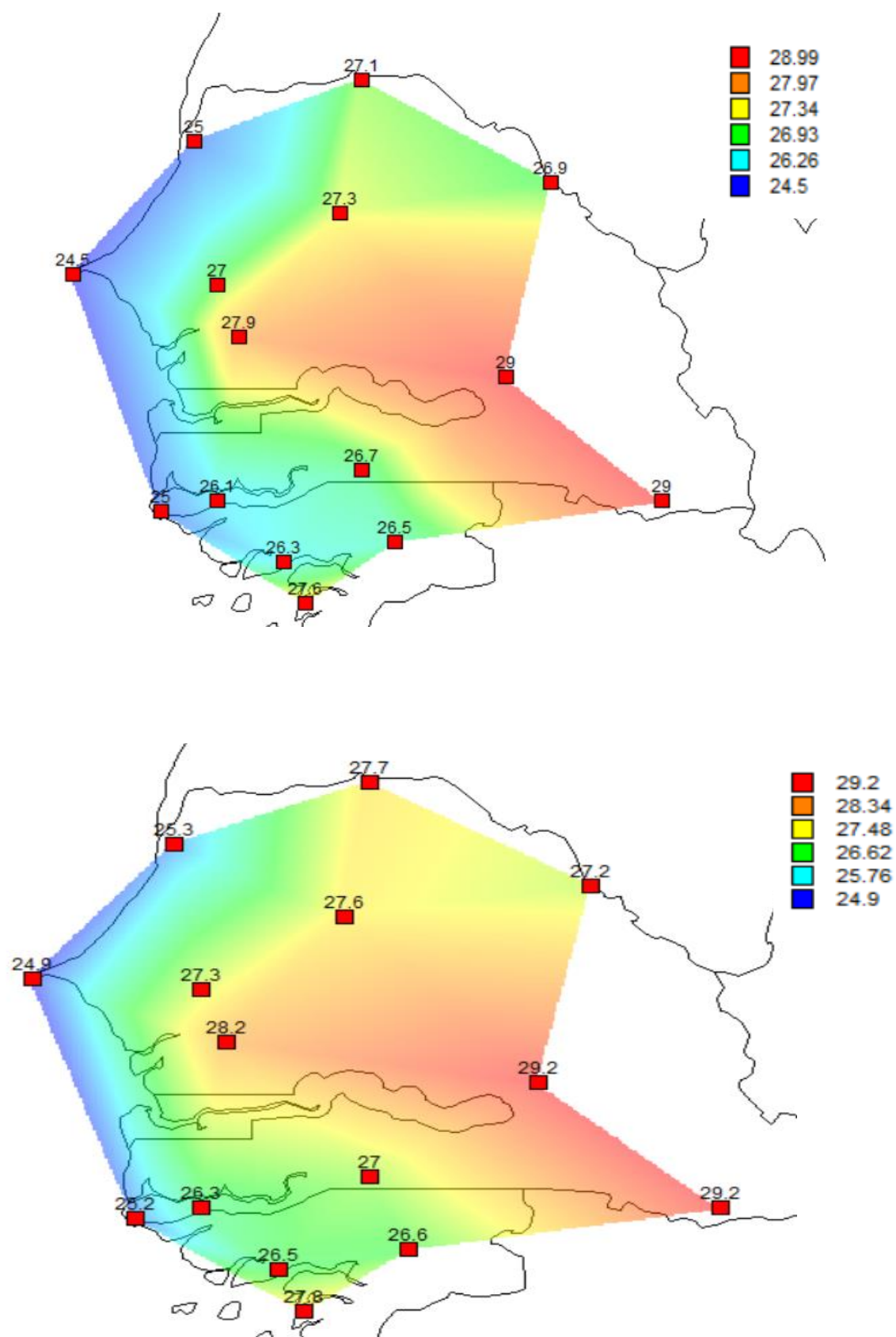


Рис. 2.6. Пространственные распределения расчетных температур января повторяемостью 1 раз в 100 лет (вверху) и 1 раз в 200 лет (внизу)

Из рис.2.6 следует, что пространственные распределения температур января редкой повторяемости практически повторяют пространственное распределение средних многолетних температур (рис.1.3) с максимумами во внутренних районах и с минимумами на побережье океана. При этом наибольшие температуры повторяемостью 1 раз в 100 лет составляют 29,0°C, а повторяемостью 1 раз в 200 лет 29,2°C, т.е. отличаются незначительно.

Таблица 2.11

Расчетные температуры апреля повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет

(P=1% и P=0,5%)

Код	Название	Широта, град	Долгота, град	P=1%	P=0.5%
61766	Бисау	11.9	-15.6	29.1	29.3
61769	Болама	11.5	-15.4	29.3	29.5
61781	Бафата	12.1	-14.6	32.4	32.6
61697	Кап скиррен	12.4	-16.7	25.6	25.9
61600	Сен-Луис	16	-16.4	26.5	27.1
61699	Кедуру	12.5	-12.2	35.4	35.6
61679	Каолак	14.1	-16	31.8	32
61698	Колда	12.8	-14.9	32.5	32.7
61641	Дакар	14.7	-17.5	24.9	25.3
61666	Диурбель	14.6	-16.2	31	31.3
61695	Зигиншор	12.5	-16.2	29.8	30.1
61627	Лингере	15.3	-15.1	33.9	34.2
61687	Тамбакунда	13.7	-13.6	35.1	35.3
61612	Подор	16.6	-14.9	36.8	37.6
61630	Матам	15.6	-13.2	35.8	36

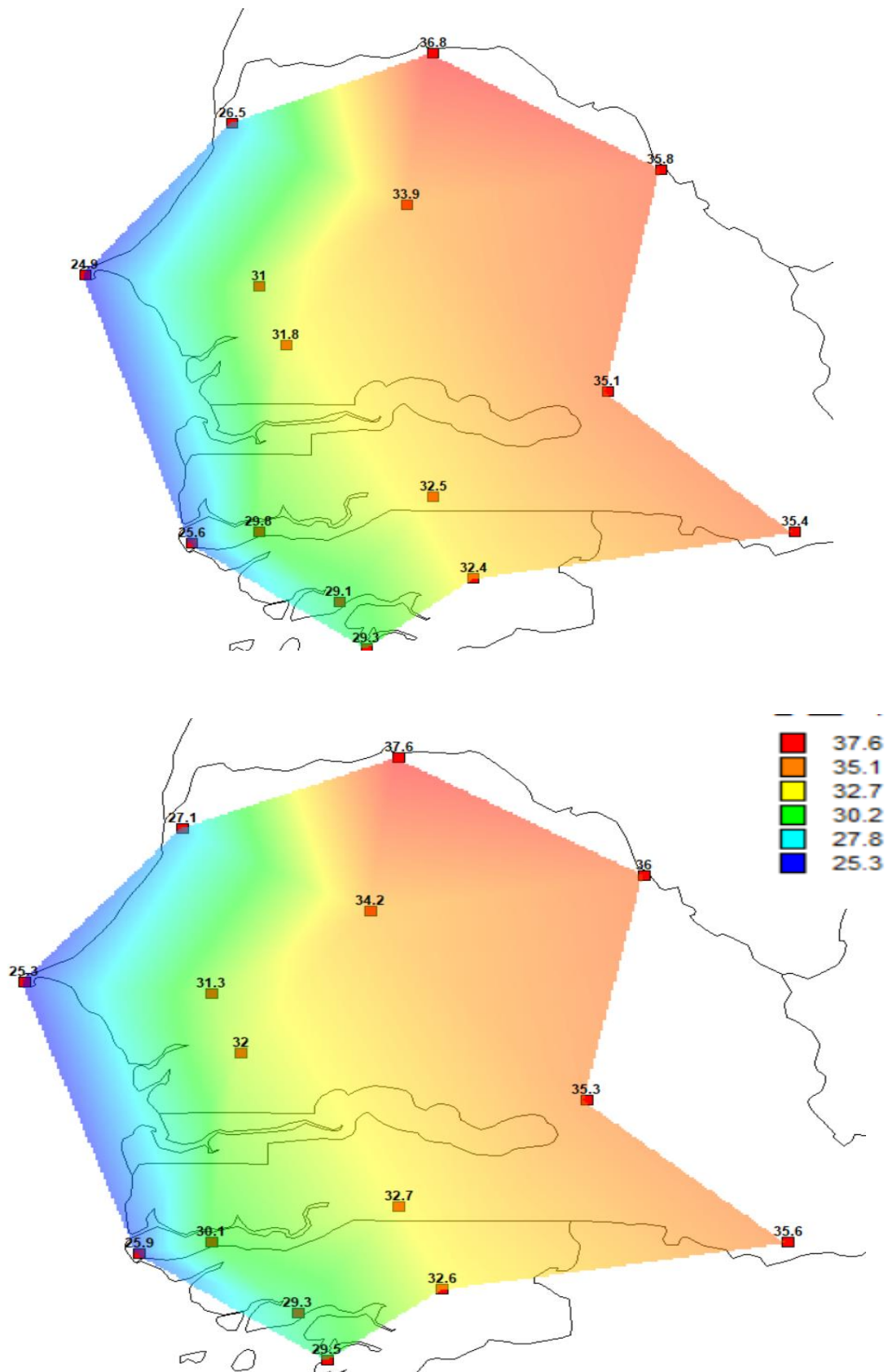


Рис. 2.7. Пространственные распределения расчетных температур апреля повторяемостью 1 раз в 100 лет (вверху) и 1 раз в 200 лет (внизу)

Из рис.2.7 следует, что пространственные распределения расчетных температур апреля, как самого жаркого месяца года, практически повторяют пространственное распределение средних многолетних температур (рис.1.4) также с максимумами во внутренних районах и с минимумами на побережье океана. При этом наибольшие температуры повторяемостью 1 раз в 100 лет составляют 36,8°C, а повторяемостью 1 раз в 200 лет 37,6°C, а градиенты по пространству достигают 12,3°C.

Таблица 2.12

Расчетные температуры июля повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет

(P=1% и P=0,5%)

Код	Название	Широта, град	Долгота, град	P=1%	P=0.5%
61766	Бисау	11.9	-15.6	27.3	27.4
61769	Болама	11.5	-15.4	27.7	27.8
61781	Бафата	12.1	-14.6	27.8	27.9
61697	Кап скиррен	12.4	-16.7	29	29.1
61600	Сен-Луис	16	-16.4	29	29
61699	Кедуру	12.5	-12.2	29	29
61679	Каолак	14.1	-16	29.4	29.4
61698	Колда	12.8	-14.9	30	30
61641	Дакар	14.7	-17.5	29.2	29.4
61666	Диурбель	14.6	-16.2	31	31
61695	Зигиншор	12.5	-16.2	30	30.3
61627	Лингере	15.3	-15.1	32.1	32.3
61687	Тамбакунда	13.7	-13.6	30.2	30.4
61612	Подор	16.6	-14.9	32.1	32.2
61630	Матам	15.6	-13.2	34.1	34.4

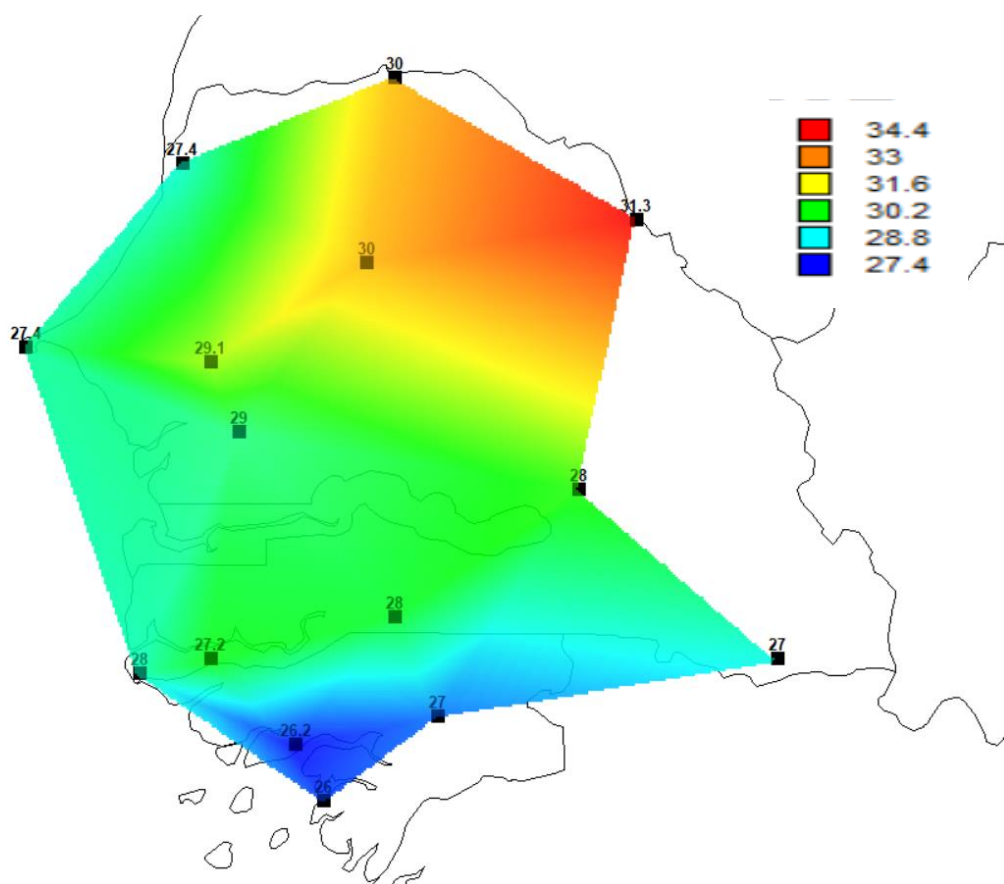
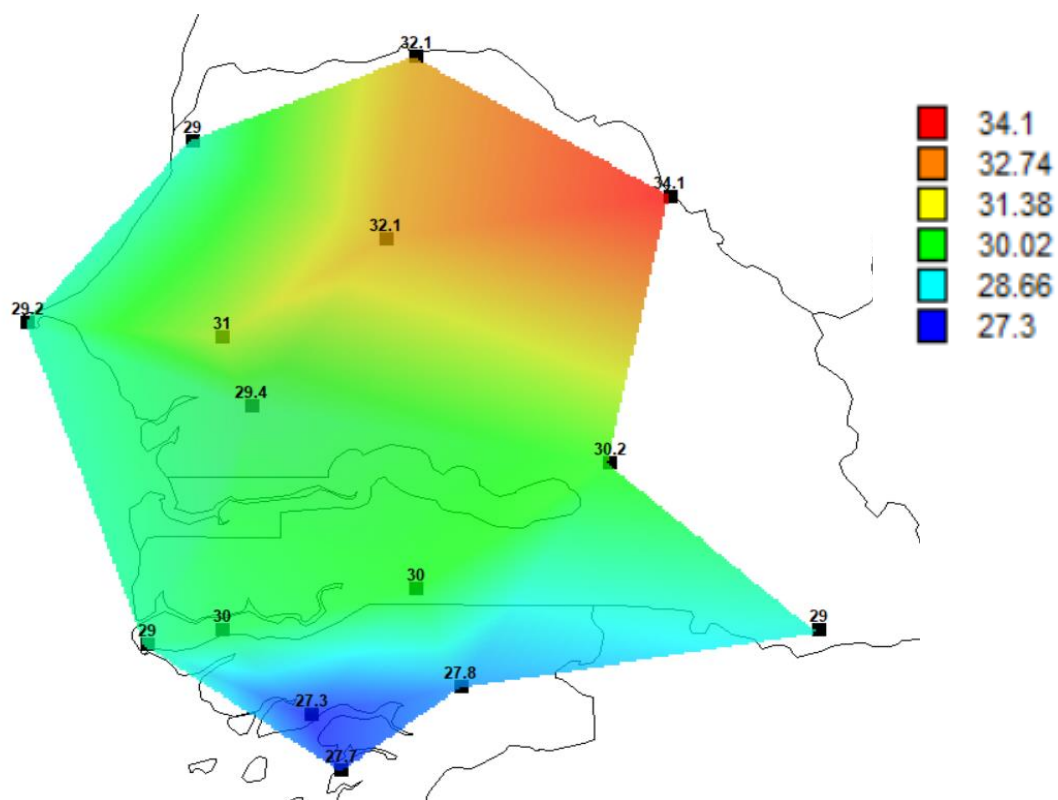


Рис. 2.8. Пространственные распределения расчетных температур июля повторяемостью 1 раз в 100 лет (вверху) и 1 раз в 200 лет (внизу)

Из рис.2.8 следует, что пространственные распределения расчетных температур июля практически повторяют пространственное распределение средних многолетних температур (рис.1.5) с максимумами во внутренних районах на северо-востоке и с минимумами на юге и на побережье океана. При этом наибольшие температуры повторяемостью 1 раз в 100 лет составляют $34,1^{\circ}\text{C}$, а повторяемостью 1 раз в 200 лет $34,4^{\circ}\text{C}$, отличаются незначительно, а градиенты по пространству достигают всего примерно 5°C .

Таблица 2.13

Расчетные температуры октября повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет
($P=1\%$ и $P=0,5\%$)

Код	Название	Широта, град	Долгота, град	$P=1\%$	$P=0.5\%$
61766	Бисау	11.9	-15.6	27.8	27.9
61769	Болама	11.5	-15.4	28.4	28.5
61781	Бафата	12.1	-14.6	28.5	28.6
61697	Кап скиррен	12.4	-16.7	29.4	29.6
61600	Сен-Луис	16	-16.4	30.1	30.4
61699	Кедуру	12.5	-12.2	29.4	29.6
61679	Каолак	14.1	-16	31.2	31.5
61698	Колда	12.8	-14.9	29.7	29.9
61641	Дакар	14.7	-17.5	29.7	29.9
61666	Диурбель	14.6	-16.2	31.1	31.5
61695	Зигиншор	12.5	-16.2	29.1	29.2
61627	Лингере	15.3	-15.1	32.4	32.6
61687	Тамбакунда	13.7	-13.6	30.2	30.4
61612	Подор	16.6	-14.9	33.3	33.6
61630	Матам	15.6	-13.2	33.3	33.4

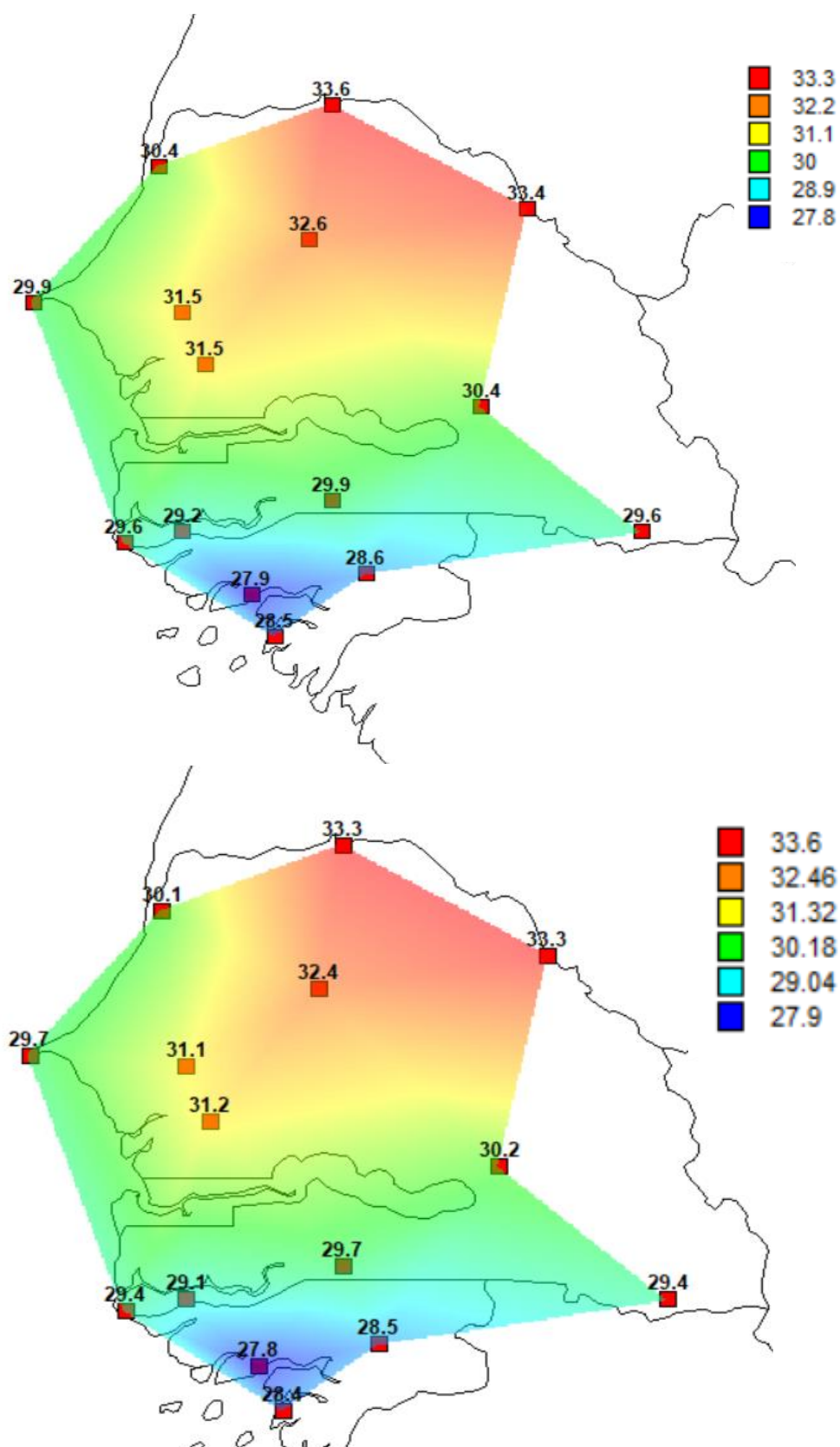


Рис. 2.9. Пространственные распределения расчетных температур октября повторяемостью 1 раз в 100 лет (вверху) и 1 раз в 200 лет (внизу)

Из рис.2.9 следует, что пространственные распределения расчетных температур июля практически повторяют пространственное распределение средних многолетних температур (рис.1.6) с максимумами во внутренних районах на северо-востоке и с минимумами на юго-западе на побережье океана. При этом наибольшие температуры повторяемостью 1 раз в 100 лет составляют $33,3^{\circ}\text{C}$, а повторяемостью 1 раз в 200 лет $33,6^{\circ}\text{C}$, отличаются незначительно, а градиенты по пространству достигают всего примерно $5,5^{\circ}\text{C}$.

Глава 3. Оценка современных изменений температуры воздуха теплого периода года

3.1. Теоретические положения

Методика оценки долгопериодных изменений в многолетних временных рядах температур воздуха включала в себя:

- расчет коэффициента корреляции зависимости температуры воздуха со временем (R) и оценка его статистической значимости [11];
- аппроксимация многолетних рядов температур воздуха моделями линейного тренда и ступенчатых изменений, расчет показателей нестационарности и оценка эффективности моделей нестационарного среднего по сравнению с моделью стационарного среднего для каждого временного ряда;
- определение пространственных закономерностей показателей эффективности моделей нестационарного среднего;
- определение года наиболее существенного изменения среднего значения [12-15], расчет средних значений за выбранные квазистационарные периоды до (cp1) и после (cp2) этого года;
- вычисление разности двух средних, которая характеризует изменение температуры воздуха за последние 70 лет;
- расчет среднего квадратического отклонения (СКО), характеризующего естественную изменчивость (σ) и определение изменений в долях СКО как Δ/σ .

3.2. Оценка эффективности нестационарных моделей температур апреля

Результаты аппроксимации многолетних рядов температур апреля моделями линейного тренда и ступенчатых изменений приведены в табл.3.1 в виде относительных показателей эффективности модели тренда (Δtr) и модели ступенчатых изменений (Δst) в %, также как и коэффициент корреляции со временем (R), что аналогично коэффициенту корреляции модели линейного тренда. Показатели эффективности нестационарных моделей тренда (Δtr и Δst) характеризуют насколько эти модели в % имеют меньший стандарт остатков по отношению к стандарту остатков модели стационарного среднего, который равен СКО (среднему квадратическому отклонению).

Таблица 3.1.

Показатели эффективности моделей нестационарного среднего для
многолетних рядов температур апреля

Код	Название	Широта	Долгота	Δtr	Δst	R
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	20.2	26.6	0.6
61612	Podor	16.65	-14.96	18.3	35.9	-0.58
61627	Лингере	15.38	-15.11	23.8	20.9	0.65
61630	Матам	15.65	-13.25	33.1	36.7	0.74
61641	Дакар	14.73	-17.5	11.9	18.4	-0.47
61666	Диурбель	14.65	-16.23	2.2	6	0.21
61679	Каолак	14.13	-16.06	5.1	8.3	0.31
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	21.2	21.3	0.62
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	1.6	9.9	-0.18
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	7.9	11.6	0.39
61698	Колда	12.88	-14.96	7	9.8	0.37
61699	Кедугу	12.57	-12.21	22.7	22.4	0.63
61766	Бисау	11.9	-15.65	0.5	3.1	0.1
61769	Болама	11.58	-15.48	3.9	6.5	-0.27
61781	Бафата	12.17	-16.67	2.7	4.6	0.23

Из результатов табл.3.1 следует, что коэффициент корреляции со временем статистически значим для 12 рядов (или в 80% случаев), модель ступенчатых изменений эффективна для 8 рядов, а линейного тренда для 7 рядов, т.е. практически в половине случаев.

В табл.3.1 жирным выделены случаи эффективных моделей нестационарного среднего: когда Δtr или $\Delta st > 10\%$ и коэффициент корреляции R статистически значим при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Более детальное исследование трех рядов с отрицательным R показало:

- ряд на станции 61612 Подор ($R = -0,58$) включает завышенные неоднородные данные с начала наблюдений по 1950 г., но с конца 20 века имеет место уже тенденция роста температур;
- ряд на станции 61641 Дакар ($R = -0,58$) имеет тенденцию падения температур с начала наблюдений по начало 1970х, но уже с начала 1990х имеет место повышение температуры;
- ряд на станции 61769 Болама ($R = -0,27$) имеет завышенные неоднородные данные в начале ряда наблюдений и далее стационарный ряд с отдельным периодом низких температур 2013-2018 гг.

Поэтому можно считать, что температура апреля в большинстве случаев имеет тенденцию роста в последний период наблюдений или в некоторых случаях остается стационарной, а полученные отрицательные коэффициенты корреляции обусловлены особенностями временных рядов, которые в основном обусловлены неоднородными завышенными данными наблюдений в начале ряда.

На рис.3.1 приведены пространственные распределения показателей эффективности (Δtr , Δst , R) моделей нестационарного среднего для рядов среднемесячной температуры апреля. Как видно из рисунков, наиболее нестационарные временные ряды имеют место станциях северо-востока рассматриваемой территории или в глубине континента, а более стационарные – на станциях около океана или на той половине территории, которая примыкает к океану.

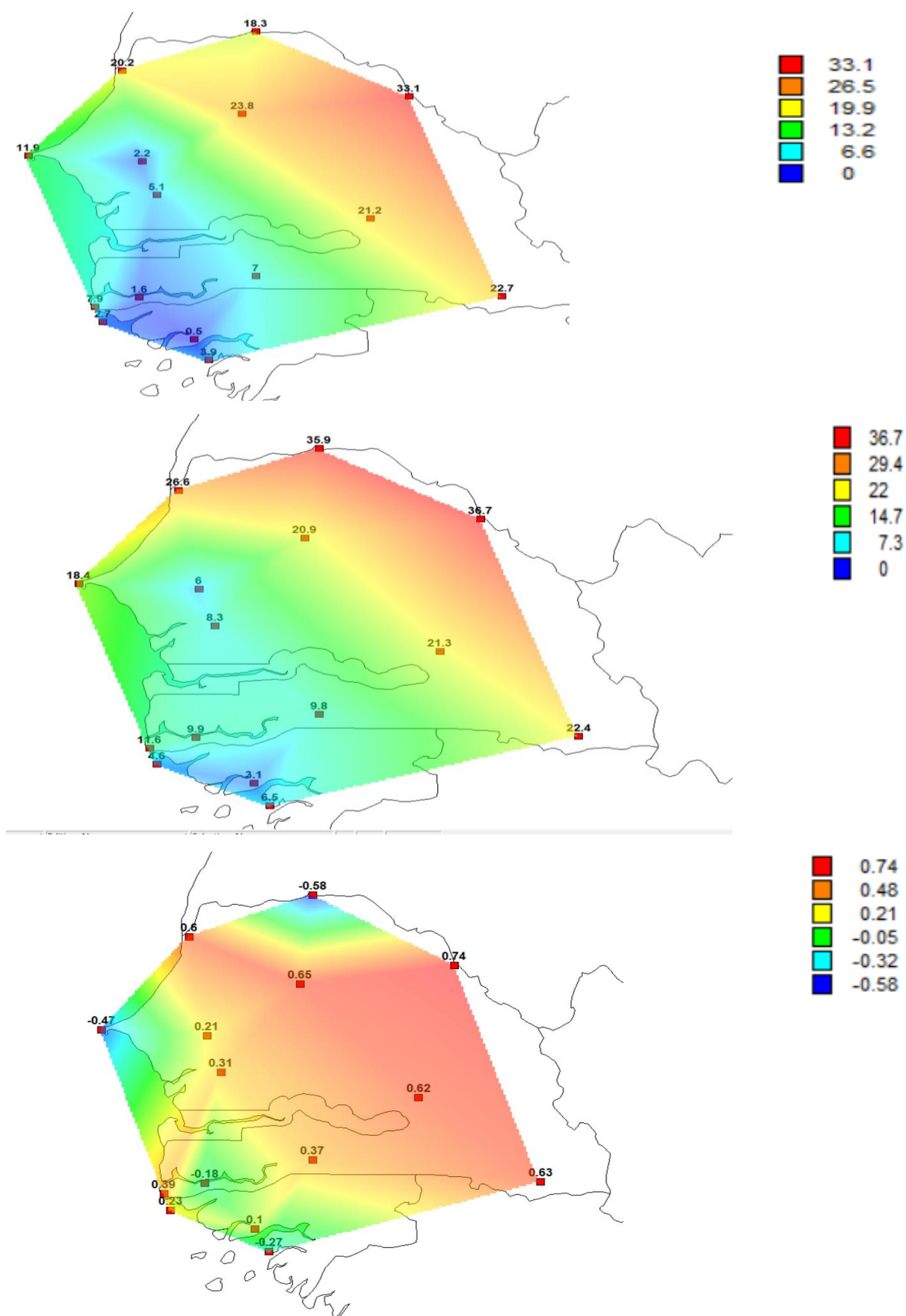


Рис.3.1. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур апреля (сверху вниз): Δ_{tr} , Δ_{st} , R

3.3. Оценка климатических изменений температур апреля

По году наиболее вероятного перехода от одних однородных условий к другим, полученному методом расширяющегося окна при поиске минимума суммы квадратов отклонений относительно каждого среднего значения [], временные ряды были разделены на две части по которым рассчитаны средние за каждую из этих частей температуры воздуха $cp1$ и $cp2$ и их разность $\Delta = cp2 - cp1$, которая характеризует изменения температуры воздуха в среднем за последние 70 лет (средняя продолжительность восстановленных рядов наблюдений), как показано в табл.3.2

Таблица 3.2

Климатические изменения температур воздуха апреля

Код	Название	Широта	Долгота	$\Delta^{\circ}\text{C}$	Δ/δ
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	2.2	1.36
61612	Podor	16.65	-14.96	1.8	0.85
61627	Лингере	15.38	-15.11	1.5	1.19
61630	Матам	15.65	-13.25	3	1.97
61641	Дакар	14.73	-17.5	0.7	0.63
61666	Диурбель	14.65	-16.23	0.8	0.81
61679	Каолак	14.13	-16.06	0.2	0.24
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	1.9	1.65
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	0.8	0.82
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	0.9	1.17
61698	Колда	12.88	-14.96	0.2	0.3
61699	Кедугу	12.57	-12.21	1	1.49
61766	Бисау	11.9	-15.65	0.3	0.39
61769	Болама	11.58	-15.48	-0.8	1.3
61781	Бафата	12.17	-16.67	0.8	1.05

Кроме этого были рассчитаны средние квадратического отклонения (СКО или σ) за весь период наблюдений и определены изменения в долях СКО как Δ/σ . Эти относительные изменения показывают какая часть общей естественной изменчивости обусловлена современным изменением климата. Если это отношение больше 1, то современные изменения климата превышают СКО. Жирным в табл.3.2 отмечены ситуации, когда изменения климата превышают СКО. Таких случаев 7, т.е. почти половина, а для станции Матам изменения климата почти в 2 раза больше, чем СКО, т.е. естественной изменчивости.

Пространственные распределения Δ и Δ/σ приведены на рис.3.2.

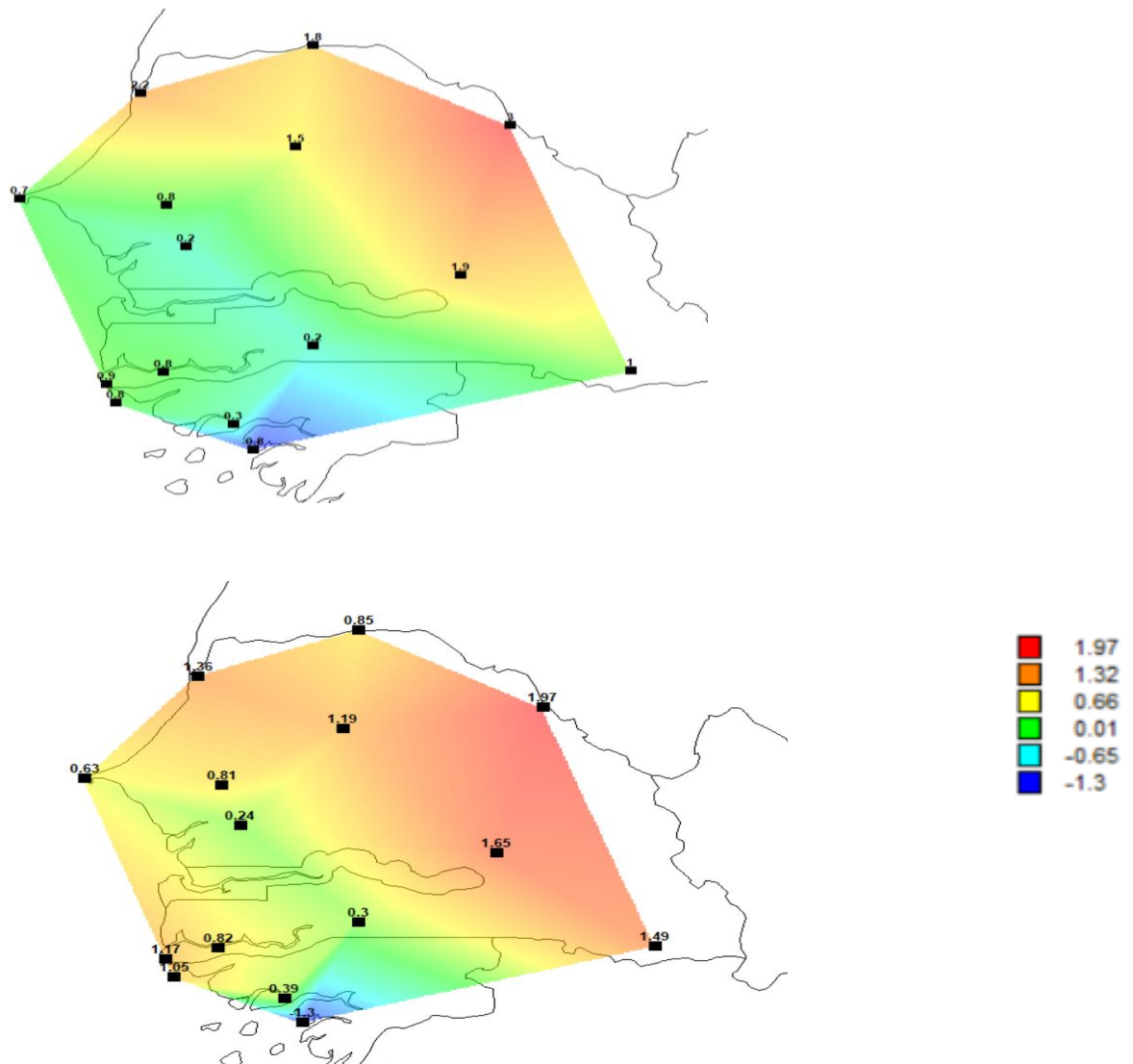


Рис.3.2. Пространственные распределения климатических изменений температур апреля (сверху вниз): Δ (в $^{\circ}\text{C}$), Δ/σ .

Как видно из рис.3.2 наибольший рост температур имеет место в глубине континента на северо-востоке, а наименьший – в прибрежной части территории на юго-западе. Максимальное увеличение температуры апреля достигает $1,9 - 2,2^{\circ}\text{C}$ и даже $3,0^{\circ}\text{C}$ в Матаме. Для этой же части территории превышение СКО $1,7-2,0$. Вероятнее всего, в северо-восточной части, которая ближе к Сахаре сказывается влияние ее расширения и продвижения на юг. Наименьший рост температур наблюдается у океанического побережья и составляет $0,2-0,3^{\circ}\text{C}$ (Колда, Бисау). Некоторое падение температуры на $0,8^{\circ}\text{C}$ имеет место на крайнем юго-западе в Болама, находящейся на архипелаге, и оно превышает СКО, составляя 1,3 от СКО.

3.4. Оценка эффективности нестационарных моделей температур июля

Многолетние ряды среднемесячных температур июля также были аппроксимированы моделями линейного тренда и ступенчатых изменений и показатели эффективности этих моделей Δ_{tr} , Δ_{st} и R приведены в табл.3.3.

Результаты, приведенные в табл.3.3 свидетельствуют, что коэффициенты корреляции температур июля со временем статистически значимы при $\alpha=5\%$ для 11 рядов или в 73% случаев, а среднее по территории значение составляет $R=0.30$. Практически во всех случаях коэффициенты корреляции положительные, что свидетельствует о росте температуры июля. Отрицательное значение $R=-0.63$ получено для температур на метеостанции Болама, находящейся на островах архипелага вблизи побережья. Многолетний временной график температур июля на этой станции (рис.2.4) показывает резкое ступенчатое снижение температуры в последние 6 лет, хотя до этого практически с конца 1950х имел место тренд роста температуры. Наибольшие положительные R равны $R=0.75$ (Кап Скирренг), $R=0.60$ (Тамбакунда) $R=0.54$ (Диурбель) и $R=0.53$ (Матам).

Модель линейного тренда эффективна (при $\Delta>10\%$) для 7 рядов (в 47% случаев), а модель ступенчатых изменений для 9 рядов (в 60% случаев). В среднем для модели тренда $\Delta=11\%$, а для модели ступенчатых изменений

$\Delta=13,1\%$. Поэтому можно считать, что модель ступенчатых изменений немного более эффективна для аппроксимации временных рядов температур июля, чем модель линейного тренда. Наибольшее Δ для модели тренда составляет $\Delta_{tr}=34\%$ для метеостанции Кап Скирренг, а для нее $\Delta_{st}=28,9\%$. Поэтому в этом случае модель тренда эффективнее модели ступенчатых изменений. В других случаях (метеостанции Сент-Луис, Матам, Каолак, Зигиншор, Болама) $\Delta_{st} > \Delta_{tr}$.

Пространственные распределения показателей нестационарности R , Δ_{st} и Δ_{tr} приведены на рис.3.3.

Таблица 3.3.

Показатели эффективности моделей нестационарного среднего для
многолетних рядов температур июля

Код	Название	Широта	Долгота	Δ_{tr}	Δ_{st}	R
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	11.8	12.1	0.47
61612	Podor	16.65	-14.96	1.7	3	0.18
61627	Лингере	15.38	-15.11	4.7	6.3	0.3
61630	Матам	15.65	-13.25	15.2	17.4	0.53
61641	Дакар	14.73	-17.5	1	5	-0.14
61666	Диурбель	14.65	-16.23	16.1	16.6	0.54
61679	Каолак	14.13	-16.06	12.5	16	0.48
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	20	18.2	0.6
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	7.2	13.9	0.37
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	34	28.9	0.75
61698	Колда	12.88	-14.96	5.1	8.4	0.32
61699	Кедугу	12.57	-12.21	1.3	4.1	0.16
61766	Бисау	11.9	-15.65	8.4	11.6	0.4
61769	Болама	11.58	-15.48	22.6	28.7	-0.63
61781	Бафата	12.17	-16.67	2.9	6.3	0.24
Среднее				11.0	13.1	0.30

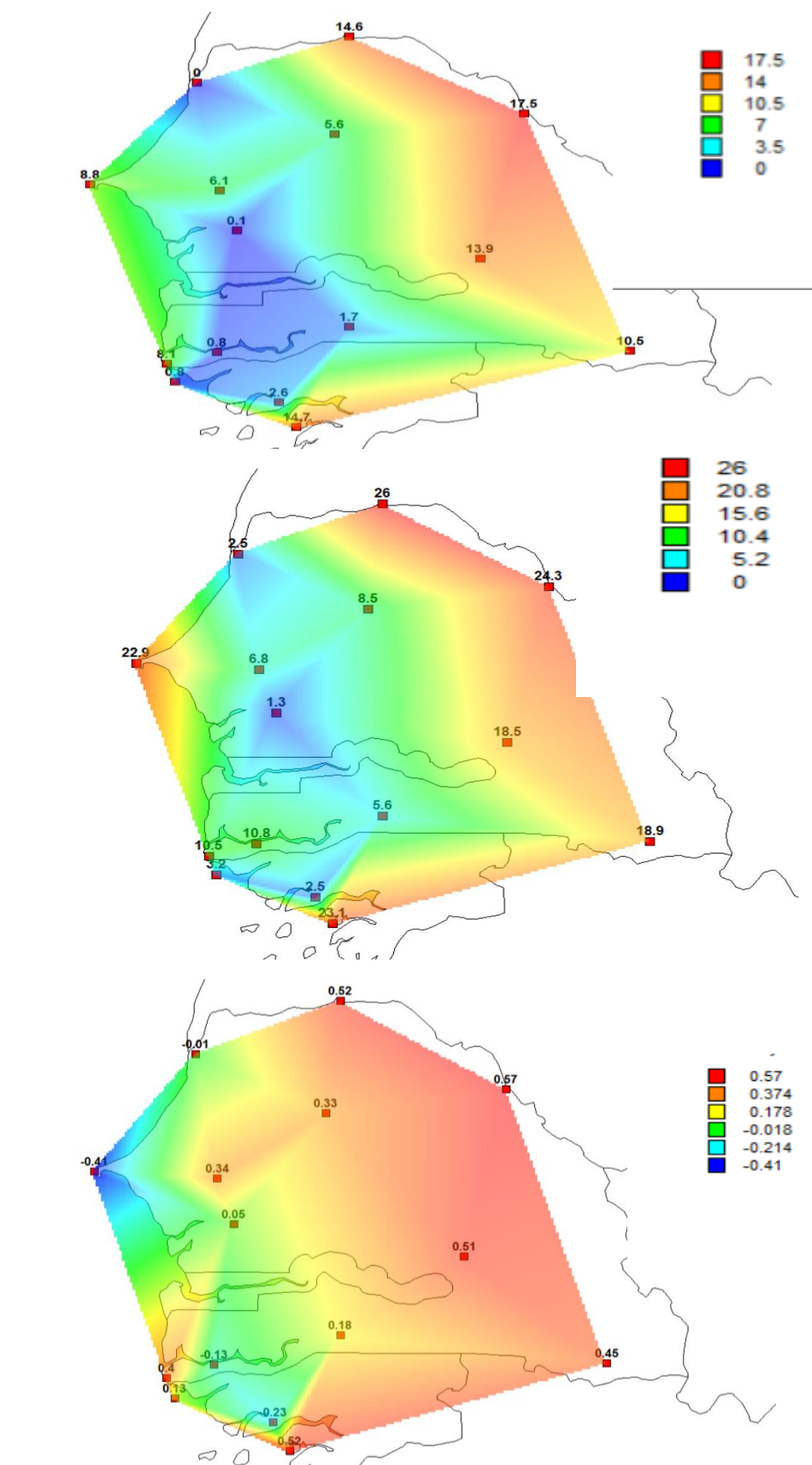


Рис.3.3. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур июля (сверху вниз): Δ_{tr} , Δ_{st} , R

Из пространственных распределений рис.3.3 следует, что области нестационарных моделей имеет место в восточной континентальной части территории, а ближе к морю больше стационарных временных рядов.

3.5. Оценка климатических изменений температур июля

Для многолетних рядов температур июля также были рассчитаны разности средних температур, характеризующих влияние современного изменения климата $\Delta(^{\circ}\text{C}) = \text{cp}2 - \text{cp}1$ и приведены в табл.3.4, где жирным шрифтом выделены случаи, когда изменения средних значений превышают СКО.

Таблица 3.4

Климатические изменения температур воздуха июля

Код	Название	Широта	Долгота	$\Delta^{\circ}\text{C}$	Δ/δ
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	0.9	0.75
61612	Podor	16.65	-14.96	1.2	0.77
61627	Лингере	15.38	-15.11	0.9	0.76
61630	Матам	15.65	-13.25	1.7	1.33
61641	Дакар	14.73	-17.5	1	0.79
61666	Диурбель	14.65	-16.23	1.3	1.11
61679	Каолак	14.13	-16.06	1.3	1.17
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	1.9	1.4
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	1.3	1.57
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	0.9	1.07
61698	Колда	12.88	-14.96	1	0.94
61699	Кедугу	12.57	-12.21	0.8	0.73
61766	Бисау	11.9	-15.65	0.9	1.36
61769	Болама	11.58	-15.48	-1	1.32
61781	Бафата	12.17	-16.67	0.4	0.63

Как следует из табл.3.4, что в 8 случаях из 15 (53% от всех случаев) изменения средних превышают СКО и еще в одном случае (метеостанция Колда) приближается к нему. Причем наибольшее $\Delta/\delta = 1.57$ (метеостанция Зигиншор). Также имеет место рост средних температур от 0.6°C на станции Бафата до 1.9°C на станции Тамбакунда. Снижение на 1°C в последнее время наблюдается только на станции Болама. Пространственные распределения Δ ($^{\circ}\text{C}$) и Δ/δ приведены на рис.3.4.

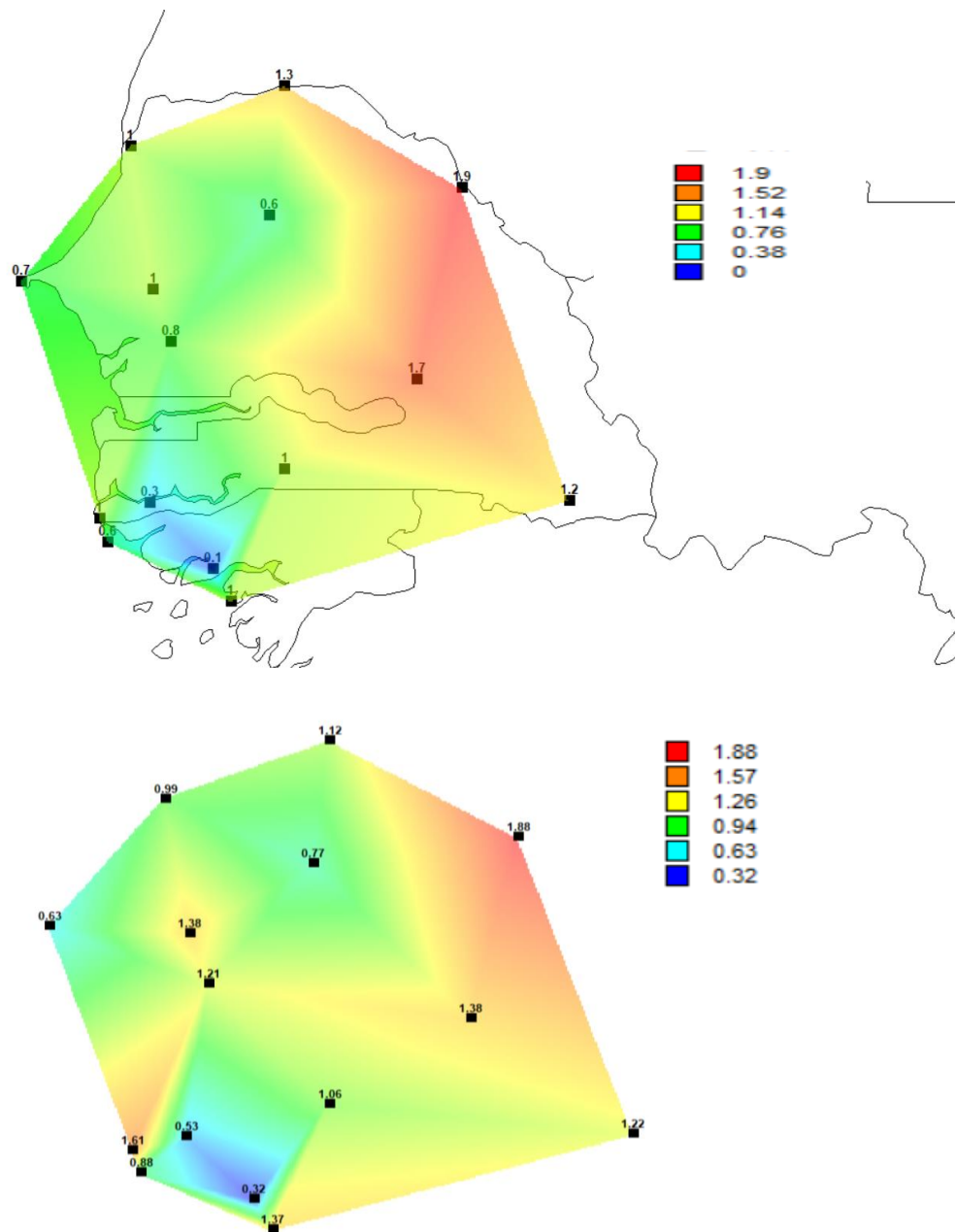


Рис.3.4. Пространственные распределения климатических изменений температур июля (сверху вниз): Δ (в $^{\circ}\text{C}$), Δ/σ .

Карты рис.3.4 также свидетельствуют о том, что повышения температур выше 1°C и превышения этих изменений СКО наблюдаются также в восточной континентальной части территории.

Глава 4. Оценка современных изменений температуры воздуха теплого периода года

4.1. Оценка эффективности нестационарных моделей температур октября

Многолетние ряды среднемесячных температур октября также были аппроксимированы моделями линейного тренда и ступенчатых изменений и показатели эффективности этих моделей Δtr , Δst и R приведены в табл.4.1.

Результаты, приведенные в табл.4.1 свидетельствуют, что коэффициенты корреляции температур октября со временем статистически значимы при $\alpha=5\%$ для 12 рядов или в 80% случаев, а среднее по территории значение составляет $R=0.41$. Во всех случаях статистически значимые коэффициенты корреляции положительные, что свидетельствует о росте температуры октября. Интересно отметить, что на метеостанции Болама в отличие от температур апреля и июля тренд в температурах октября положительный (рис.2.5). Наибольшие положительные R равны $R=0.77$ (Кап Скирренг), $R=0.68$ (Болама), $R=0.66$ (Матам) и $R=0.58$ (Колда).

Модель линейного тренда эффективна (при $\Delta > 10\%$) для 6 рядов (в 40% случаев), а модель ступенчатых изменений для 13 рядов (в 87% случаев). В среднем для модели тренда $\Delta = 12.7\%$, а для модели ступенчатых изменений $\Delta = 18.2\%$, а наибольшие $\Delta = 36.1$ и 36.6% для метеостанции Кап Скирренг. В общем можно считать, что модель ступенчатых изменений немного более эффективна для аппроксимации временных рядов температур октября, чем модель линейного тренда практически во всех случаях, т.к. $\Delta st > \Delta tr$.

Пространственные распределения показателей нестационарности R , Δst и Δtr приведены на рис.4.1.

Таблица 4.1.

Показатели эффективности моделей нестационарного среднего для
многолетних рядов температур октября

Код	Название	Широта	Долгота	Δtr	Δst	R
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	5.7	8.8	0.33
61612	Podor	16.65	-14.96	9.4	11.9	0.42
61627	Лингере	15.38	-15.11	6.5	10.6	0.35
61630	Матам	15.65	-13.25	24.7	36	0.66
61641	Дакар	14.73	-17.5	0.1	6.4	-0.04
61666	Диурбель	14.65	-16.23	8.7	30.3	0.41
61679	Каолак	14.13	-16.06	14.3	16.6	0.52
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	9.9	16.8	0.43
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	1.4	10.8	0.17
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	36.1	36.6	0.77
61698	Колда	12.88	-14.96	18.4	25.4	0.58
61699	Кедугу	12.57	-12.21	17.9	18.2	0.57
61766	Бисау	11.9	-15.65	0.9	0.1	-0.13
61769	Болама	11.58	-15.48	26.6	29.9	0.68
61781	Бафата	12.17	-16.67	9.4	14.2	0.42
среднее				12.7	18.2	0.41

Из пространственных распределений рис.4.1 следует, что области нестационарных моделей охватывают практически всю территорию, а модели, соответствующие стационарным имеет место в основном на метеостанциях вблизи океана (Бисау, Дакар, Зигиншор).

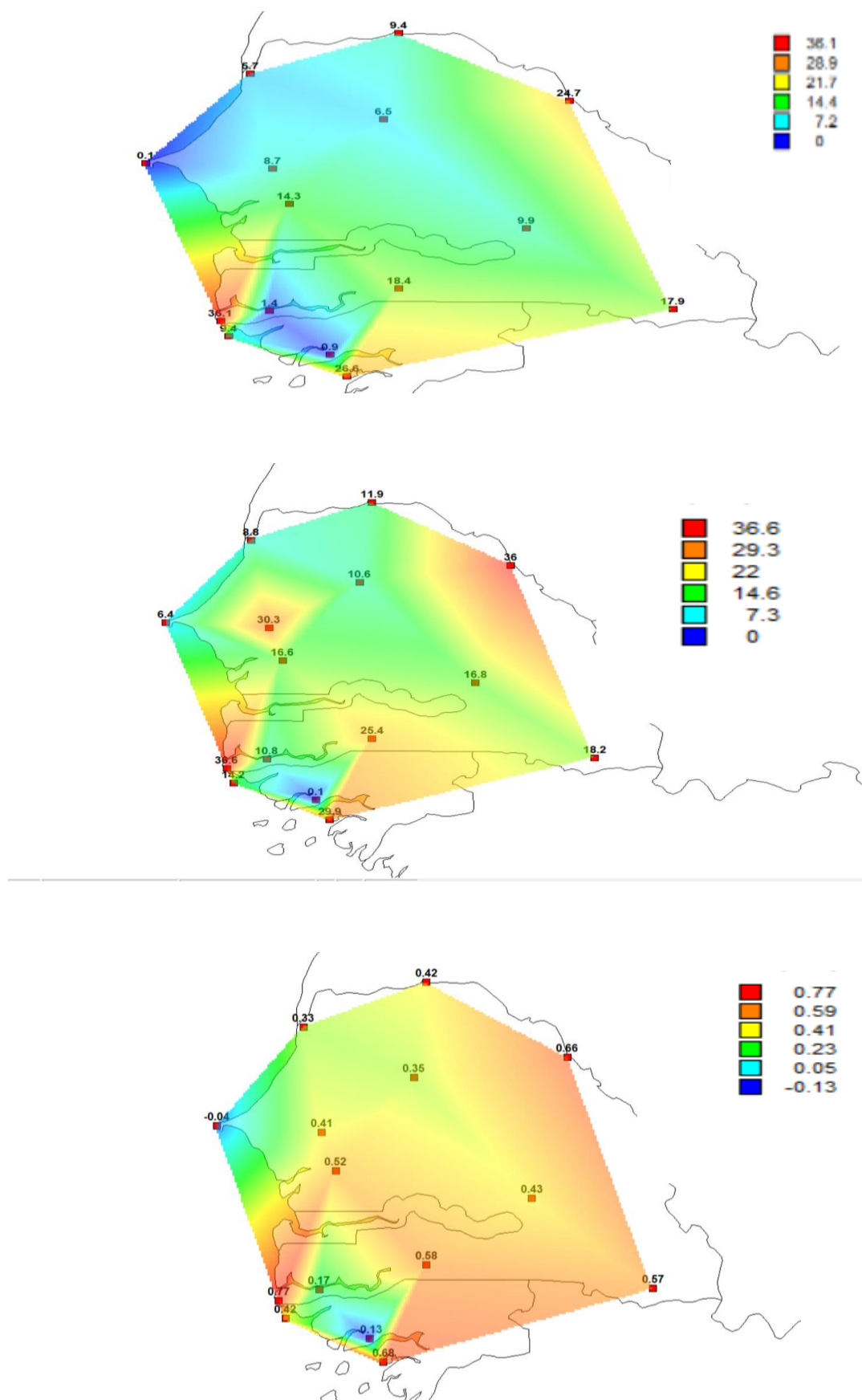


Рис.4.1. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур октября (сверху вниз): Δ_{tr} , Δ_{st} , R

4.2. Оценка климатических изменений температур октября

Для многолетних рядов температур октября также были рассчитаны разности средних температур, характеризующих влияние современного изменения климата $\Delta(^{\circ}\text{C})=cp2-cp1$ и приведены в табл.4.2, где жирным шрифтом выделены случаи, когда изменения средних значений превышают СКО.

Таблица 4.2

Климатические изменения температур воздуха октября

Код	Название	Широта	Долгота	$\Delta^{\circ}\text{C}$	Δ/δ
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	1	1.09
61612	Podor	16.65	-14.96	1.8	1.65
61627	Лингере	15.38	-15.11	1.6	1.37
61630	Матам	15.65	-13.25	2.6	2.13
61641	Дакар	14.73	-17.5	0.4	0.53
61666	Диурбель	14.65	-16.23	1.7	1.8
61679	Каолак	14.13	-16.06	1	1.3
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	1.2	1.52
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	0.1	0.06
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	1	1.61
61698	Колда	12.88	-14.96	1	1.38
61699	Кедугу	12.57	-12.21	0.8	1.18
61766	Бисау	11.9	-15.65	0	0
61769	Болама	11.58	-15.48	0.4	0.63
61781	Бафата	12.17	-16.67	0.6	1.46

Как следует из табл.4.2, в 11 случаях из 15 (73% от всех случаев) изменения средних превышают СКО. Причем наибольшее $\Delta/\delta = 2.13$ (метеостанция Матам), что превышает 2СКО и является статистически

значимым с вероятностью более 95%. Рост средних температур очень разный и изменяется от 0.0°C на станции Бисау до 2,6°C на станции Матам. В среднем по территории $\Delta=1^{\circ}\text{C}$.

Пространственные распределения Δ (°C) и Δ/δ приведены на рис.4.2.

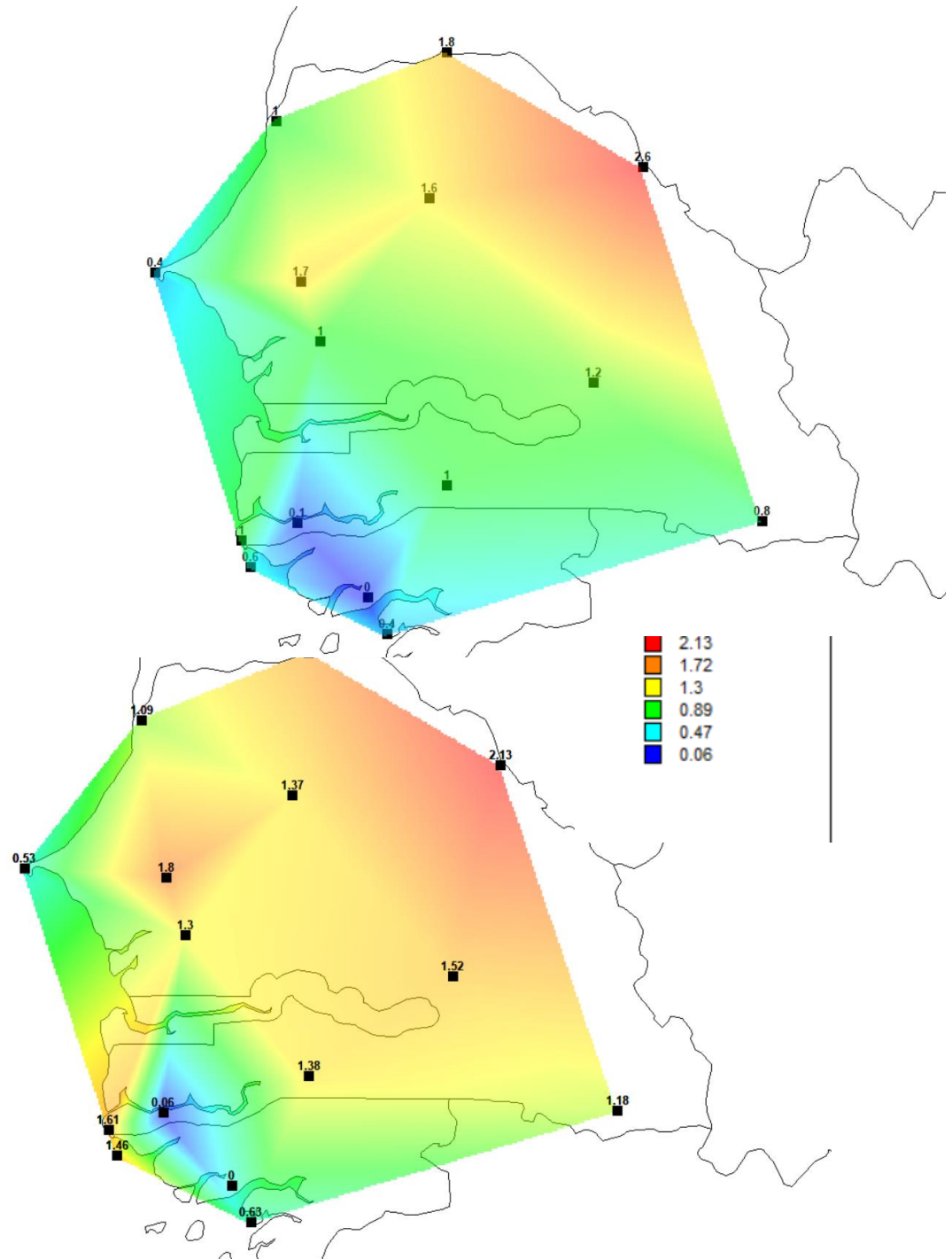


Рис.4.2. Пространственные распределения климатических изменений температур октября (сверху вниз): Δ (в °C), Δ/δ .

Карты рис.4.2 свидетельствуют о том, что повышения температур выше 1°C наблюдается в континентальной части, а меньше 1°C вблизи океана. Не превышение СКО имеет место только в прибрежных территориях на западе (Дакар, Зигиншор) и юго-западе (Бисау, Болама).

В целом можно считать, что в октябре климатический рост температур по сравнению с естественной изменчивостью, наибольший из всех других месяцев.

4.3. Оценка эффективности нестационарных моделей температур января

Многолетние ряды среднемесячных температур января также были аппроксимированы моделями линейного тренда и ступенчатых изменений и показатели эффективности этих моделей Δ_{tr} , Δ_{st} и R приведены в табл.4.3.

Результаты, приведенные в табл.4.3 свидетельствуют, что коэффициенты корреляции температур января со временем статистически значимы при $\alpha=5\%$ для 10 рядов или в 67% случаев, а среднее по территории значение составляет $R=0.30$. Практически во всех случаях статистически значимые коэффициенты корреляции положительные, что свидетельствует о росте температуры января. Отрицательный R имеет место на метеостанции Болама, также как в апреле и июле и связан с падением температуры в последние несколько лет. Наибольшие положительные R равны $R=0.75$ (Кап Скирренг), $R=0.54$ (Диурбель), $R=0.53$ (Матам).

Модель линейного тренда эффективна (при $\Delta > 10\%$) для 7 рядов (в 47% случаев), а модель ступенчатых изменений для 9 рядов (в 60% случаев). В среднем для модели тренда $\Delta=11.0\%$, а для модели ступенчатых изменений $\Delta=13.1\%$. Наибольшие значения $\Delta_{tr}=34\%$ (метеостанция Кап Скирренг) и $\Delta_{st}=28.9\%$ для той же метеостанции и в этом случае модель тренда эффективнее модели ступенчатых изменений. . для той же метеостанции Кап Скирренг. В общем можно считать, что модель ступенчатых изменений немного более эффективна для аппроксимации временных рядов температур

января, чем модель линейного тренда практически во всех случаях, т.к. в большинстве случаев (6 из 8) $\Delta st > \Delta tr$.

Пространственные распределения показателей нестационарности R, Δst и Δtr приведены на рис.4.3.

Таблица 4.3.

Показатели эффективности моделей нестационарного среднего для
многолетних рядов температур января

Код	Название	Широта	Долгота	Δtr	Δst	R
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	11.8	12.1	0.47
61612	Podor	16.65	-14.96	1.7	3	0.18
61627	Лингере	15.38	-15.11	4.7	6.3	0.3
61630	Матам	15.65	-13.25	15.2	17.4	0.53
61641	Дакар	14.73	-17.5	1	5	-0.14
61666	Диурбель	14.65	-16.23	16.1	16.6	0.54
61679	Каолак	14.13	-16.06	12.5	16	0.48
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	20	18.2	0.6
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	7.2	13.9	0.37
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	34	28.9	0.75
61698	Колда	12.88	-14.96	5.1	8.4	0.32
61699	Кедугу	12.57	-12.21	1.3	4.1	0.16
61766	Бисау	11.9	-15.65	8.4	11.6	0.4
61769	Болама	11.58	-15.48	22.6	28.7	-0.63
61781	Бафата	12.17	-16.67	2.9	6.3	0.24
среднее				11.0	13.1	0.30

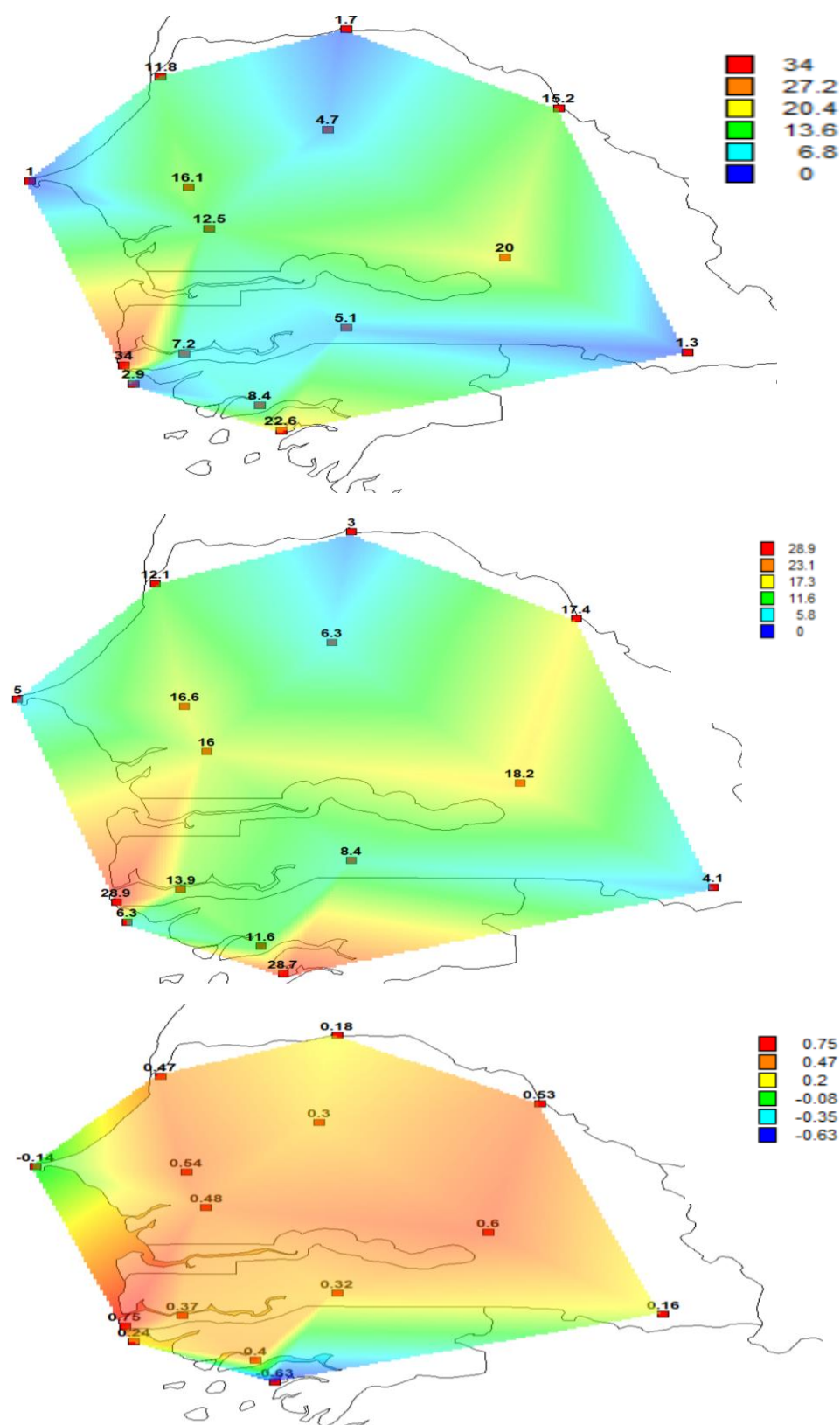


Рис.4.3. Пространственные распределения показателей нестационарных моделей температур января (сверху вниз): Δt_r , Δs_t , R

Из пространственных распределений рис.4.3 следует, что области нестационарных моделей охватывают имеют место в центре территории, а стационарные в основном у побережья.

4.4. Оценка климатических изменений температур января

Для многолетних рядов температур января также были рассчитаны разности средних температур, характеризующих влияние современного изменения климата $\Delta(^{\circ}\text{C})=cp2-cp1$ и приведены в табл.4.4, где жирным шрифтом выделены случаи, когда изменения средних значений превышают СКО.

Таблица 4.4

Климатические изменения температур воздуха января

Код	Название	Широта	Долгота	$\Delta^{\circ}\text{C}$	Δ/δ
61600	Сент-Луис	16.05	-16.45	0.9	0.75
61612	Podor	16.65	-14.96	1.2	0.77
61627	Лингере	15.38	-15.11	0.9	0.76
61630	Матам	15.65	-13.25	1.7	1.33
61641	Дакар	14.73	-17.5	1	0.79
61666	Диурбель	14.65	-16.23	1.3	1.11
61679	Каолак	14.13	-16.06	1.3	1.17
61687	Тамбакунда	13.77	-13.68	1.9	1.4
61695	Зигиншор	12.55	-16.26	1.3	1.57
61697	Кап Скирренг	12.4	-16.75	0.9	1.07
61698	Колда	12.88	-14.96	1	0.94
61699	Кедугу	12.57	-12.21	0.8	0.73
61766	Бисау	11.9	-15.65	0.9	1.36
61769	Болама	11.58	-15.48	-1	1.32
61781	Бафата	12.17	-16.67	0.4	0.63

Как следует из табл.4.4, в 8 случаях из 15 (53% от всех случаев) изменения средних превышают СКО. Причем наибольшее $\Delta/\delta = 1.57$ на метеостанция Зигиншор. Рост средних температур разный и изменяется от 0.4°C на станции Бисау до 1.9°C на станции . В среднем по территории $\Delta=1^{\circ}\text{C}$. Исключение составляет падение средних на станции Болама при $\Delta=-1^{\circ}\text{C}$.

Пространственные распределения Δ ($^{\circ}\text{C}$) и Δ/δ приведены на рис.4.4.

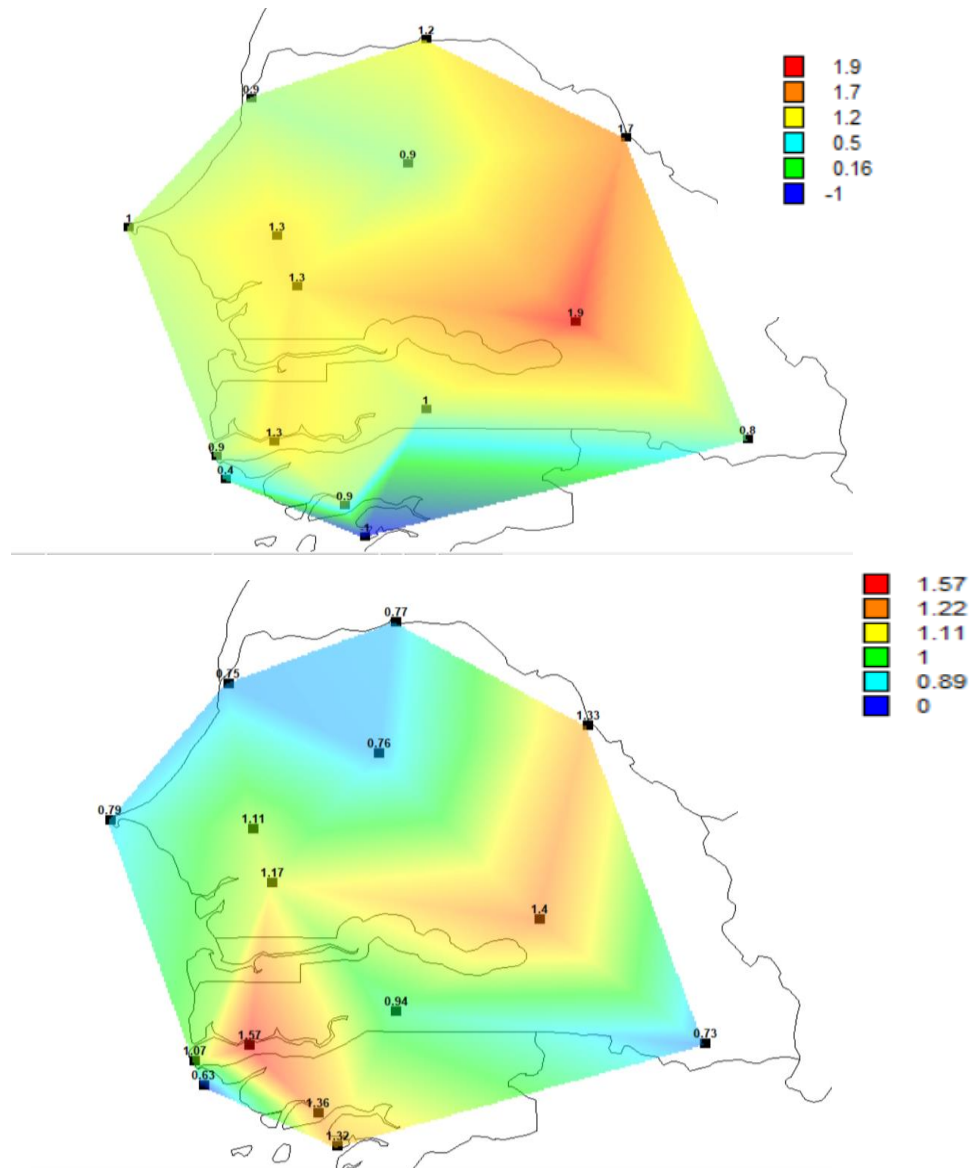


Рис.4.4. Пространственные распределения климатических изменений температур января (сверху вниз): Δ (в $^{\circ}\text{C}$), Δ/σ .

Карты рис.4.4 свидетельствуют о том, что повышения температур выше 1°C наблюдается в центральной части территории. Превышение СКО имеет место также в виде полосы в центральной части территории от северо-востока на юго-запад.

Заключение

В выполненной работе получены следующие основные результаты при исследовании современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Гвинея-Бисау.

1. Сформирована региональная база данных, включающая многолетние ряды среднемесячных температур воздуха по 15 метеостанциям республики Гвинея-Бисау и сопредельным территориям (Сенегал) с начала наблюдений по 2022 – 2023 гг. включительно; выполнен анализ качества информации, включая оценку однородности, стационарности, восстановления пропусков и приведения рядов наблюдений к продолжительному периоду.

2. На основе полученной качественной информации и многолетних практически непрерывных рядов наблюдений средней продолжительностью в 70 лет рассчитаны средние многолетние значения температур воздуха характерных месяцев всех четырех сезонов года (январь, апрель, июль, октябрь) и построены их пространственные распределения. Установлено, что в среднем отличие температуры самого холодного месяца января от температуры самого жаркого месяца апреля составляет всего $3,4^{\circ}\text{C}$, а температура месяцев теплого периода года (весна – осень) отличается всего на $0,3-0,6^{\circ}\text{C}$. Во все месяцы температура на станциях внутри континента выше, чем на станциях вблизи побережья Атлантического океана. Вместе с тем изменения температуры по территории разные в разные сезоны года и их пространственный градиент варьирует от $4,0^{\circ}\text{C}$ осенью до $11,7^{\circ}\text{C}$ весной. Максимумы температур по территории изменяются внутри года от $26,5^{\circ}\text{C}$ в

январе до $33,6^{\circ}\text{C}$ в апреле (на $7,1^{\circ}\text{C}$), а минимумы среднемесячных температур изменяются по территории от $21,3^{\circ}\text{C}$ в январе до $27,0^{\circ}\text{C}$ в октябре, практически при таком же градиенте (на $5,7^{\circ}\text{C}$).

3. На основе аппроксимации эмпирических распределений температур аналитическим распределением Пирсона 3 типа получены расчетные климатические характеристики редкой повторяемости 1 раз в 100 и 1 раз в 200 лет и построены их пространственные модели для целей будущего проектирования различных объектов и сооружений в любой точке территории. Для расчетных климатических характеристик сохраняются те же пространственные закономерности, что и для средних многолетних (климатических) температур: наименьшие значения у океана, наибольшие – в глубине континента. При этом расчетные температуры повторяемостью 1 раз в 100 лет для самого жаркого месяца апреля составляют $36,8^{\circ}\text{C}$, а повторяемостью 1 раз в 200 лет $37,6^{\circ}\text{C}$, а градиенты по пространству достигают $12,3^{\circ}\text{C}$.

4. Осуществлена аппроксимация многолетних рядов температур моделями нестационарного среднего (линейный тренд и модель ступенчатых изменений среднего), получены показатели эффективности нестационарных моделей. Построены их пространственные распределения, установлены количественные изменения средних температур за многолетний период Δ (в $^{\circ}\text{C}$) и в долях СКО и получены карты пространственных изменений этих показателей.

5. Для температуры апреля, как самого жаркого месяца, наибольший рост температур имеет место в глубине континента на северо-востоке, а наименьший – в прибрежной части территории на юго-западе. Максимальное увеличение температуры апреля достигает $1,9 - 2,2^{\circ}\text{C}$ и даже $3,0^{\circ}\text{C}$ в Матаме. Для этой же части территории превышение СКО составляет $1,7-2,0$. Вероятнее всего, в северо-восточной части, которая ближе к Сахаре сказывается влияние ее расширения и продвижения на юг. Наименьший рост температур

наблюдается у океанического побережья и составляет 0,2-0,3°C (Колда, Бисау).

6. Аналогичная пространственная закономерность роста температур имеет место и в остальные сезоны года. Наибольший рост температур выше 1°C и превышения этих изменений над СКО наблюдаются также в восточной континентальной части территории, а рост меньше 1°C - вблизи океана. Наиболее существенные климатические изменения температур из всех месяцев, превышающие естественную изменчивость, имеют место в октябре - 73% всех случаев, а в другие месяцы от 47% (апрель) до 53% (июль, декабрь). В среднем по территории температура выросла на 1,2°C в апреле, на 1,1°C в июле и на 1,0°C в октябре и январе. Наибольшее увеличение средней температуры примерно за 70 лет составило 3,0°C в апреле (Матам), 2,6°C в октябре (Матам) и 1,9°C в июле и январе (Тамбакунда).

7. Исключение из полученных закономерностей повсеместного роста температур составляет температура на метеостанции Болама, которая имеет падение во все сезоны года кроме осени, на 1,0 – 0,8°C за счет уменьшения температур в последние несколько лет, что может быть связано с локальными особенностями, т.к. метеостанция расположена на юго-западе территории на архипелаге и практически в океане.

Список литературы

1..IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, // USA: Cambridge University Press, 2013. 1535p.

2..IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. // Cambridge University Press. 3949 p.

3. Официальный сайт. Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: www.pogodaiklimat.ru Дата обращения 18.04.2022.

4. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). СПб. – 2011. – 144 с.

5. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология. Кн.1. В 2 кн.: учебник. – СПб.: РГГМУ. – 2019. – 378 с.

6. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 78 с.

7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. – 392 с.

8. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. Л.: Гидрометеиздат. – 1979. – 64 с.

9. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.

10. СНиП 23-01-99 Строительная климатология. – М: Госстрой России, 2000. – 74 с.

11. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976 – 598 с.

12. Лобанов В. А. Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн.1 СПб.: изд-во РГГМУ, 2016. – 332 с.

13. Лобанов В.А., Тощакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Кострома. 2013. 171с.

14.Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография - Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ. 2019. 157 с.

15.Лобанов В.А., Наурозбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на Северном Каспии. Ученые записки РГГМУ. № 53. 2018. с.172—187.