



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: «Современные изменения температуры воздуха и осадков в Гайане»

Исполнитель

Томас Тиффини Энн

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

доктор технических наук, профессор кафедры МКОА

(ученая степень, ученое звание)

Лобанов Владимир Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о. заведующего кафедрой

(подпись)

Доктор физико-математических наук, Декан

(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

« 15 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И ОБЗОР КЛИМАТА (ТЕМПЕРАТУРА, ОСАДКИ).....	5
1.1. Северная часть Южной Америки (Венесуэла, Гайана, Суринам и северная Бразилия)	5
1.1.1 Физико-географическое описание северной части Южной Америки.....	5
1.1.2. Климатический обзор северной части Южной Америки.....	6
1.2 Гайана.....	8
1.2.1. Физическое и географическое описание Гайаны.....	8
1.2.2. Обзор климата в Гайане	9
1.3 Роль Межтропической зоны конвергенции (ITCZ), El Niño и La Niña в климате северной части Южной Америки.....	10
ГЛАВА 2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИИ.....	12
2.1. Выбор пунктов наблюдений	12
2.2. Методика исследований	15
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЯНВАРЕ И ИЮЛЕ	21
3.1. Пространственные климатические закономерности.....	21
3.2. Анализ графиков многолетних колебаний.....	24
3.3. Моделирование многолетних рядов в пунктах.....	28
3.4. Обобщение показателей не стационарности по территории.....	33
3.5. Количественная оценка изменения температур.....	39
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АПРЕЛЬ И ОКТЯБРЬ.....	46
4.1 Пространственные климатические закономерности.....	46
4.2. Анализ графиков многолетних колебаний.....	48
4.3 Моделирование многолетних рядов в пунктах.....	52
4.4. Обобщение показателей не стационарности по территории.....	56
4.5. Количественная оценка изменения температур.....	62
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ЯНВАРЕ И ИЮЛЕ.....	67
5.1 Пространственные климатические закономерности.....	67
5.2. Анализ графиков многолетних колебаний.....	70
5.3 Моделирование многолетних рядов в пунктах.....	73
5.4 Обобщение показателей не стационарности по территории.....	77
5.5 Количественная оценка изменений количества осадков.....	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91

ВВЕДЕНИЕ

Современные изменения температуры и осадков — это основные и заметные проявления изменения климата в региональных и глобальных климатических моделях, наблюдаемые с конца 19-го века. Эти изменения обусловлены главным образом природными и антропогенными факторами, такими, как выбросы парниковых газов, вырубка лесов, потепление планеты и изменения в землепользовании. Эти изменения являются ключевыми компонентами климатических изменений, которые влияют на погоду, экосистемы и человеческое общество. Одна из самых серьезных проблем, стоящих сегодня перед человечеством - изменение климата. Изменение климата — это долгосрочное изменение температур и погодных условий, вызванное различными природными и антропогенными причинами.

Это глобальное явление затрагивает все страны мира, включая Гайану. Гайана расположена в привилегированном уголке северной части Южной Америки, и имеет замечательное разнообразие экосистем и богатое биоразнообразие. Тем не менее изменение климата оказывает заметное воздействие на страну в силу ее географического положения и других факторов, и несмотря на то, что она находится в привилегированном положении, она может быть одним из наиболее уязвимых мест для воздействия климатических изменений. Учитывая характер этой ситуации, существует настоятельная необходимость в более глубоком изучении и понимании эволюции климата страны для получения полезной информации, которая позволит надлежащим образом и наиболее эффективно осуществлять стратегии адаптации и смягчения последствий.

Цель этой работы заключается в анализе современных изменений температуры и осадков на 20 метеорологических станциях в Гайане и регионе, а также в предложении стратегий и мер по смягчению его неблагоприятных последствий. Это будет сделано путем тщательного анализа имеющихся

климатических и экологических данных в каждой провинции и их потенциального воздействия на такие сектора, как сельское хозяйство, водные ресурсы и другие.

В нижеследующем разделе приводится климатическое описание Гайаны, включая географические и климатические характеристики страны, изменчивость и изменение климата в регионе, а также воздействие изменения климата на важные секторы экономики Гайаны. Предполагается, что это исследование будет способствовать пониманию последствий изменения климата в Гайане и предоставит ценную информацию для принятия решений по государственной политике и стратегиям адаптации к изменению климата. Ожидается также, что эта работа послужит основой для будущих исследований по этому вопросу в Гайане и других странах региона.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И ОБЗОР КЛИМАТА (ТЕМПЕРАТУРА, ОСАДКИ)

1.1. Северная часть Южной Америки (Венесуэла, Гайана, Суринам и северная Бразилия)

1.1.1 Физико-географическое описание северной части Южной Америки

Северная часть Южной Америки, охватывающая Венесуэлу, Гайану, Суринам и северную часть Бразилии, является регионом замечательного географического разнообразия и поразительных природных контрастов. Регион преобладает величественным тропическим лесом Амазонки в южных регионах.

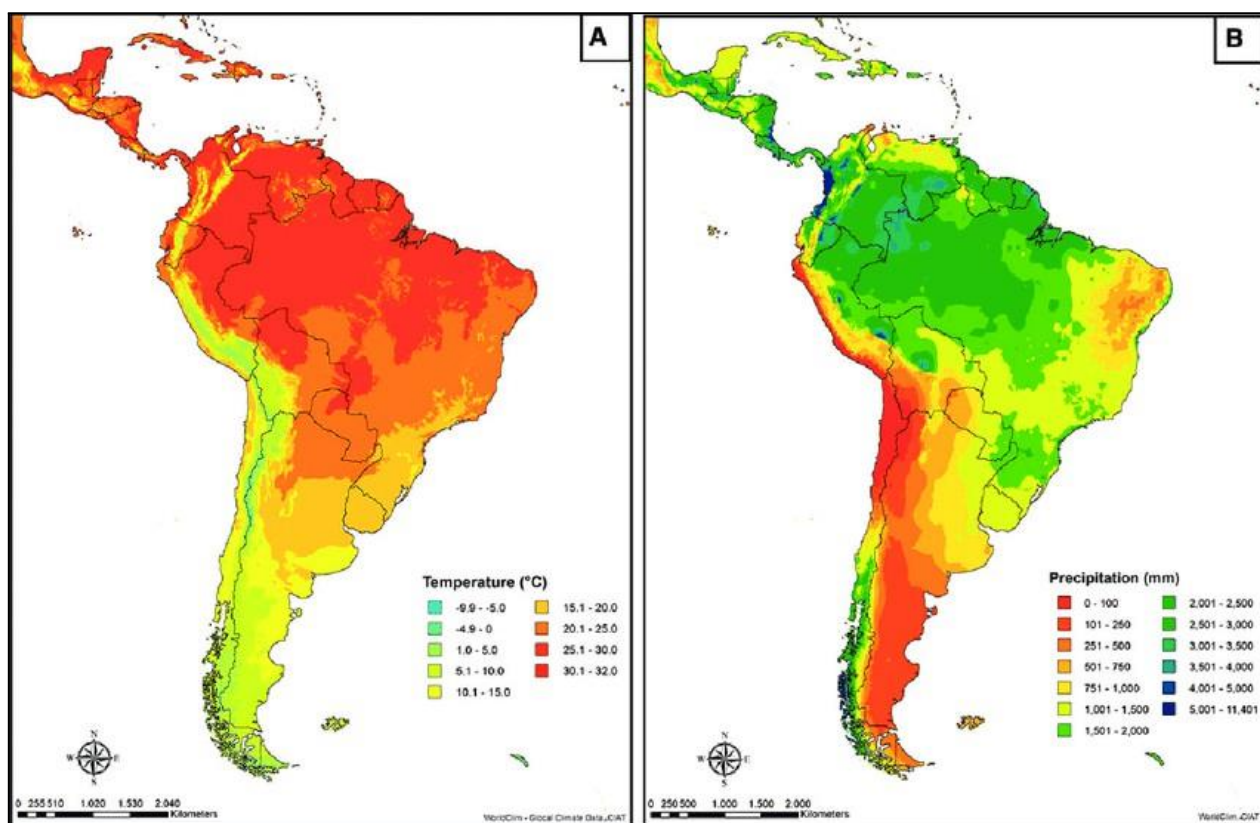


Рисунок 1.1. Карта Южной Америки — средняя температура и количество осадков

Эта область вписывается в скалистые возвышения великого Гвианского щита, который является одной из древнейших геологических формаций

Южной Америки, включающей возвышающиеся тепуи - плоские вершины с наклонными скалами, такими как общая гора Рорайма (Гайана и Венесуэла). Один из самых длинных и важных водных путей континента, река Ориноко, простирается через равнины Ланиос в Венесуэле, которая превращается в заболоченные земли во время сезона дождей и саванну в сухой сезон. Вдоль атлантических и карибских прибрежных земель Венесуэла и Гвиана имеют цветущую прибрежную равнину с мангровыми болотами и пляжами, в то время как внутренняя часть страны покрыта плотными и богатыми тропическими дождевыми лесами и холмами. В северной части Бразилии, части бассейна реки Амазонки, которая характеризуется рекой Амазонка и ее многочисленными притоками, разрезающими во всей этой части континента крупнейший тропический лес, создавая мозаику затопленных лесов (*várzeas*) и *terra firme*.

1.1.2. Климатический обзор северной части Южной Америки

Регион, охватывающий Венесуэлу, Гайану, Суринам и Бразилию, характеризуется широким диапазоном климатических условий. Эта вариация климатических условий обусловлена обширной географией, красивой, но разной топографией и влиянием ряда важных атмосферных циркуляционных систем. Весь регион находится в пределах тропиков, экватор проходит через части Северной Бразилии и части Южной Венесуэлы. Это приводит к преимущественно теплым температурам в течение всего года, но существуют значительные вариации климатических условий из-за таких факторов, как высота, близость к Атлантическому океану и влияние Межтропической зоны конвергенции (ITCZ).

Прежде всего, весь северный регион классифицируется в соответствии с системой классификации Köppen-Geiger как тропический лес (Af), тропический муссон (Am) и тропическая саванна (Aw). Северная Бразилия,

Гайана, Суринам имеют преобладающий тропический климат, где существует изобилие осадков, высокая влажность и минимальные колебания в температурных изменениях. В Венесуэле климат варьируется от засушливых и полузасушливых в северо-западных штатах Амазонас до влажных тропических условий в дельте Ориноко. На более высоких территориях в Андских горах есть умеренный и альпийский климат.

Характер осадков в регионе является сезонным и в значительной степени контролируется Межтропической зоной конвергенции, которая приносит обильные дожди между апрелем и августом в северных частях (Гайана, Суринам, северная часть Бразилии) и в мае - ноябре в Венесуэле (рис.1.2). Вдоль прибрежных регионов северо-восточные пассаты также способствуют переносу влаги в регионе. Южноамериканская система муссонов (SAMS) влияет на выпадение осадков во внутренних районах Бразилии, приводя к различным влажным и засушливым сезонам. Температуры в северном регионе остаются относительно стабильными, а среднегодовые значения колеблются от 25°C до 28 °C в низменных районах. В регионах саванны дневные вариации могут быть весьма значительными, в то время как прибрежные регионы испытывают умеренное воздействие Атлантического океана. В последние несколько десятилетий климатические изменения привели к заметным сдвигам температур и изменениям режимов осадков в регионе. В некоторых районах, особенно в северных частях Бразилии и Венесуэлы, наблюдались длительные периоды засухи, связанные с Южной волной Эль-Ниньо (ENSO) и таким образом происходившими событиями, в то время как в других районах, таких как Гайана и Суринам, отмечались интенсивные периоды дождей и наводнений.

Повышение уровня моря вызывает серьезную озабоченность в низлежащих прибрежных районах, особенно в Гайане, где около 90% населения проживает вблизи побережья. Вырубка лесов в бассейне реки Амазонки, которая влияет на местный климат, вызывая меньше осадков и повышенные температуры в

некоторых местах, должна быть учтена.

1.2 Гайана

1.2.1. Физическое и географическое описание Гайаны

Кооперативная республика Гайана идеально расположена на северо-восточном побережье Южной Америки. Географически разнообразная страна — это смесь густых тропических лесов, обширных и обширных саванн, рассеянных высокогорий и очень низко лежащей прибрежной равнины (рис.1.2.).

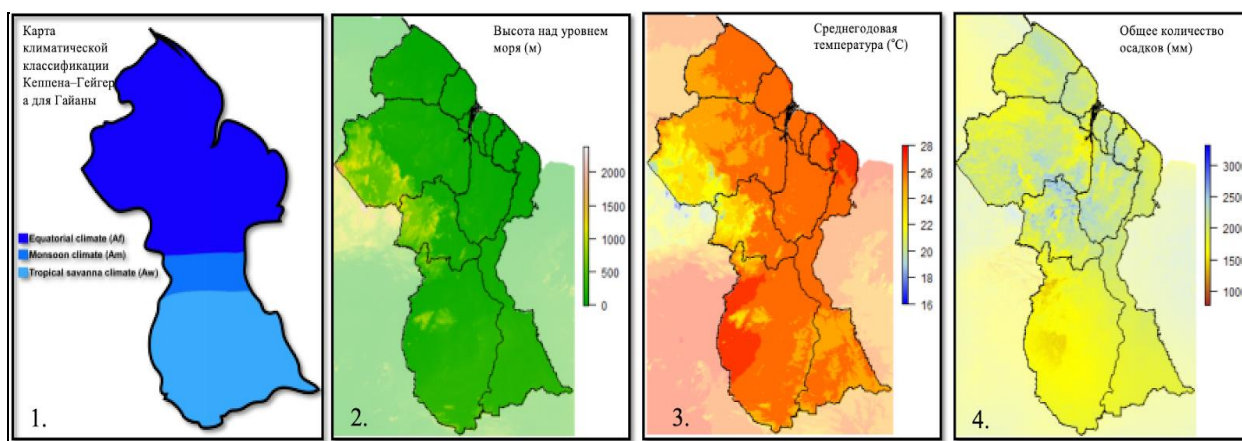


Рисунок 1.2. Карты Гайаны с указанием: 1. Климатической зоны, 2. Высоты над уровнем моря, 3. Температуры, 4. Осадки.

Гайана разделена на четыре основных физических региона: узкая полоса прибрежной равнины, холмистая песчаная и глиняная область, лесистые высокогорья и внутренние тропические саванны. Сельское хозяйство и население страны сосредоточены в прибрежной равнине, которая находится ниже уровня моря, но защищена рядом шлюзов и дренажных каналов. Густые песчаные и глинистые склоны (Hilly Sand and Clay region) и густые тропические леса богаты биоразнообразием и являются домом для некоторых из самых уникальных представителей флоры и фауны. В центральной части

Гайаны доминируют лесистые возвышения с Гвианским щитом (Guiana Shield) - древней геологической формацией с грунтовым ландшафтом, глубокими речными долинами и водопадами, включая знаменитые водопады Кайетёр (Kaieteur Falls), один из самых высоких водопадов мира. Южные и западные области переходят в саванны Рупунуни (Rupununi), обширные пастбища с рассеянными водно-болотными угодьями и низинными горными хребтами, такими как горы Кануку и Пакарайма (Kanuku and Pakaraima Mountains), которые простираются в соседние Венесуэлу и Бразилию. Речные системы Гайаны, включая реки Эссекибо, Демерара и Бербис, (Essequibo, Demerara, and Berbice rivers) играют решающую роль в транспорте и экологии, осваивая внутреннюю часть страны и стекая на север в Атлантический океан.

1.2.2. Обзор климата в Гайане

Расположенная на северо-восточном побережье Южной Америки, Гайана имеет нетронутый тропический климат с высокой влажностью, существенным количеством осадков и теплыми температурами, которые стабильны в течение всего года. Климат Гайаны сильно зависит от его близости к Атлантическому океану, Межтропической зоны конвергенции и доминирующих пассатов, которые формируют его различные влажные и засушливые сезоны.

Гайана, в соответствии с системой классификации Köppen-Geiger, классифицируется как тропический лес (Af), при этом некоторые прибрежные регионы переходят в тропические муссоны (Am) и тропическую саванну (Aw), в саванны из-за короткого сухого периода, как видно на рис. 1.2. В стране наблюдается два основных сезона: сезон дождей с мая по август и с ноября по январь, и засушливые сезоны - с февраля по апрель и с сентября по октябрь. Уровень осадков является самым высоким во внутренних регионах, где есть густые тропические леса и годовые осадки превышают 2500 мм в то время как

в прибрежных районах выпадения составляют от 1500 до 2000 мм, как видно на рис. 1.2. Вызванные миграцией ITCZ на север, самые сильные периоды дождей происходят в период с мая по июль.

Температура в Гайане остается относительно стабильной, с среднегодовыми значениями от 26 °C до 28 °C как видно на рис. 1.2, при минимальных сезонных колебаниях. Можно отметить, что в прибрежных районах наблюдаются несколько более прохладные температуры из-за влияния океанов, в то время как внутренние регионы могут испытывать больше тепла и влажности. Температура в ночное время редко падает ниже 22 °C, и относительная влажность часто превышает 80 %, что способствует высоким показателям жары в стране.

1.3 Роль Межтропической зоны конвергенции (ITCZ), El Niño и La Niña в климате северной части Южной Америки.

Межтропическая зона конвергенции (ITCZ), обусловленная Эль-Ниньо и Ла-Нинья, играет решающую роль в изменении климатических и погодных моделей северной части Южной Америки, в которую входят такие страны, как Венесуэла, Гайана, Суринам и северная часть Бразилии. ITCZ - это полоса низкого давления, расположенная рядом с экватором, где встречаются пассатные ветры и которые в значительной степени влияют на сезонные осадки. Когда она находится на севере с апреля по октябрь, она приносит периоды сильных дождей, означающих начало влажного сезона, который способствует увлажнению тропического леса Амазонки. Однако, когда ITCZ перемещается на юг с ноября по март, район испытывает засуху и имеет место засушливый период. На севере Бразилии положение ITCZ важно для выпадения осадков в бассейне Амазонки. Эль-Ниньо и Ла-Нинья, которые являются частью цикла Эль-Ниньо - Южное колебание (ENSO), придают еще один уровень сложности этим климатическим условиям. Более высокие

температуры, в период Эль-Ниньо, в Тихом океане могут нарушить циркуляцию атмосферы, что приводит к уменьшению осадков для северных частей Южной Америки. Это часто приводит к обширной засухе в Венесуэле и Гайане, что оказывает давление на гидроэнергетические системы и влияет на продуктивность сельского хозяйства. В северной части Бразилии Эль-Ниньо может вызвать сильную засуху в Амазонии, повышение риска лесных пожаров, в то время как полузасушливый северо-восток сталкивается с еще более суровыми засушливыми периодами, которые уничтожают урожай и истощают запасы воды.

Ла-Нинья поставляет более прохладную воду в Тихий океан и увеличивает количество осадков в регионах. Северные страны часто сталкиваются с периодами сильных дождей, которые могут привести к наводнениям, особенно в таких низколежащих регионах, как Джорджтаун, столица прибрежной Гайаны. В северной части Бразилии преимущества этого Роста осадков способствуют увеличению водности реки Амазонки и уменьшению опасности и риска лесных пожаров, в то время как северо-восточная тенденция развивается в результате длительного периода засухи и сухого сезона. Однако важно отметить, что продолжительные явления Ла-Нинья также могут привести к сильному наводнению, которое может нарушить работу транспорта и нанести вред экономике. Эти климатические особенности имеют решающее значение для формирования экосистем, водных ресурсов и экономики региона, и они имеют важное значение для прогнозирования климата, для управления рисками и обеспечения устойчивого развития в северной части Южной Америки.

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИИ.

2.1. Выбор пунктов наблюдений

Изучаемая климатическая характеристика - это среднемесячная температура воздуха на 20 метеостанциях, расположенных в северном регионе Южной Америки. В Гайане имеется небольшое количество метеорологических станций, и для обеспечения точности и согласованности были выбраны станции из соседних стран (Венесуэла, Суринам, Бразилия). Наиболее достоверные данные о среднемесячных температурах воздуха можно получить из следующих электронных ресурсов в Интернете:

- сайт "Погода и климат"
- сайт Гидрометеорологическая служба Гайаны - Гидрометцентр Гайаны. (Hydrometeorological Services, Guyana)
- сайт Королевского метеорологического института Нидерландов (KNMI -Koninklijk Nederlands Meteorologische Institut)

Для отображения на карте расположения метеостанций использовалась программа "MapInfo GIS", где с помощью координат была сформирована географическая информационная карта. Расположение метеостанций показано на рисунке 2.1.

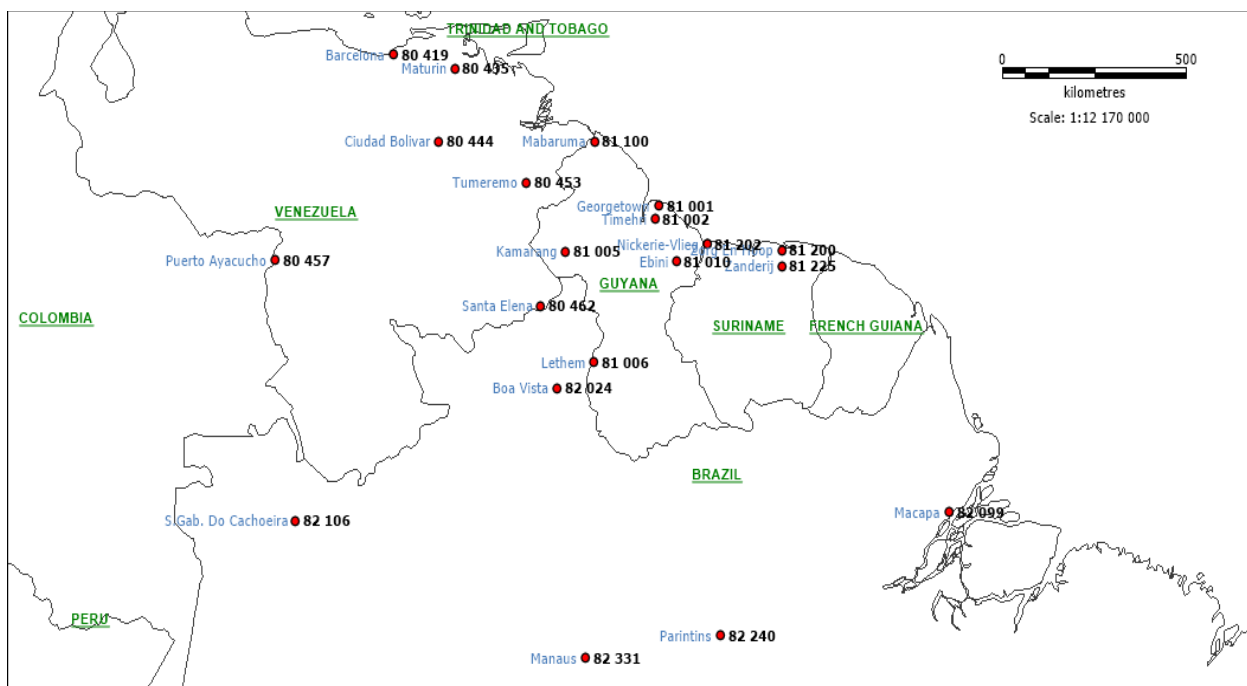


Рисунок 2.1. Выбранные метеорологические станции

В результате была сформирована база данных по 20 метеорологическим станциям с многолетними рядами среднемесячных температур воздуха. С помощью средств управления базой данных были получены необходимые информационные характеристики по 20 метеорологическим станциям в Гайане и близлежащих странах, показанные в табл.1.1.

Таблица.1.1

Названия метеостанций, их координаты и период наблюдений за
среднемесячной температурой воздуха

Страна	Название Станции	Код Станции ВМО	# Год	Год	Широта (N)	Долгота (E)	Высота (m)
Бразилия	Boa Vista	82024	58	1961-2019	2.8	-60.7	74
	Parintins	82240	16	2008-2024	-2.6	-56.7	29
	Manaus	82331	114	1910-2024	-3.1	-60	60
	Macapa	82099	12	2012-2024	0.1	-51.1	17
	S.Gab. Do Cachoeira	82106	93	1931-2024	-0.1	-67.1	87
Гайана	Georgetown	81001	78	1946-2024	6.8	-58.2	2
	Timehri	81002	75	1949-2024	6.5	-58.3	29
	Kamarang	81005	51	1973-2024	5.8	-60.5	494
	Lethem	81006	51	1973-2024	3.37	-59.79	82
	Ebini	81010	48	1971-2019	5.57	-57.78	29
	New Amsterdam	81058	8	2016-2024	6.25	-57.3	1
	Kaieteur Falls	81080	1	2016-2017	5.18	-59.48	439
	Mabaruma	81100	51	1973-2024	8.2	-59.78	50
Суринам	Nickerie-Vlieg	81202	51	1973-2024	5.95	-57.03	4
	Zanderij	81225	82	1942-2024	5.47	-55.2	16
	Zorg En Hoop	81200	123	1901-2024	5.82	-55.2	3
Венесуэла	Santa Elena	80462	75	1941-2016	4.6	-61.1	907
	Tumeremo	80453	64	1951-2015	7.3	-61.45	181
	Ciudad Bolivar	80444	107	1917-2024	8.2	-63.6	50
	Maturin	80435	73	1951-2024	9.8	-63.2	70
	Barcelona	80419	86	1938-2024	10.1	-64.7	7
	Puerto Ayacucho	80457	66	1958-2024	5.6	-67.6	74

Согласно информации, представленной в Табл.1.1, период температурных наблюдений начинался с 1930х – 1950х годов XX века и заканчивался в XXI веке в 2022 году. Количество лет наблюдений неодинаково и на четырех станциях Паратинс, Макапа, Нью-Амстердам и водопад Кайетер оно составляет менее 50 лет, а на других станциях период наблюдений составляет более 50 лет.

2.2. Методика исследований

Общая методика обработки и анализа данных в характерные месяцы каждого сезона года включала в себя следующие основные виды работ:

- анализ однородности и стационарности исходных данных;
- расчеты средних многолетних температур на каждой метеостанции и построение климатической пространственной модели с помощью интерполятора ГИС MapInfo;
- построение и анализ графиков многолетних рядов температур на каждой станции и предварительная оценка как экстремальных значений, так и выявленных изменений средних значений во временных рядах;
- аппроксимация многолетних временных рядов на метеостанциях моделями нестационарного среднего двух видов: линейного тренда и ступенчатых изменений среднего значения и оценка эффективности по отношению к модели стационарной выборки и их статистической значимости;
- оценка устойчивости показателей эффективности нестационарных моделей при аппроксимации временных рядов за разные периоды времени;
- пространственное представление показателей эффективности моделей нестационарного среднего и оценка их пространственных закономерностей;
- расчеты количественных изменений средних температур за многолетний период в абсолютных единицах ($^{\circ}\text{C}$) и по отношению к естественной изменчивости;
- построение и анализ закономерностей пространственных распределений количественных изменений средних температур за многолетний период в абсолютных единицах ($^{\circ}\text{C}$) и по отношению к естественной

изменчивости.

Для описания структуры ряда на любом исследуемом временном промежутке, используются две базовые модели: стационарная и нестационарная. В стационарной модели средние значения и дисперсии сохраняются постоянными со временем, то есть являются стационарными.

Впрочем, исключая случайные флуктуации во временных рядах климатических характеристик имеют место нестационарные составляющие, вызванные воздействием факторов климатической системой с продолжительными временными масштабами. Как правило, нестационарные модели бывают трех видов:

- монотонные изменения в виде линейного тренда;
- циклические колебания;
- ступенчатые переходы.

Обе модели, приведенные выше аналитически, можно описать следующим образом.

Стационарная модель характеризуется неизменностью во времени основных параметров ряда (среднего значения и среднего квадратического отклонения):

$$Sr(t) = const; \sigma(t) = const \quad (2.1)$$

где Sr и σ - среднее значение ряда и среднее квадратическое отклонение, t – время.

На практике, для проверки условий, приведенных в формуле (2.1), проводится сравнение средних значений и дисперсий временного ряда по критериям Фишера и Стьюдента, который разделен на две равные части.

Модель линейного тренда характеризуется зависимостью рассматриваемой климатической характеристики (Y) от времени (t):

$$Y(t) = b_1 + b_0 \quad (2.2)$$

где b_1 и b_0 - коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} \quad (2.3)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (2.4)$$

где Y_{cp} и t_{cp} - средние значения для рядов климатической характеристики и времени.

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (1.2), который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (2.5)$$

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* - критическое значение коэффициента корреляции, определяемое при заданном числе степеней свободы (ν) и уровне значимости (α). Где $\nu = n - 2$, n - объем ряда, $\alpha = 5\%$.

Модель ступенчатых изменений аналогична двум (или нескольким) стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда, что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$\begin{aligned} Sr_1(t_1) &= const1; \sigma_1(t_1) = const1; \\ Sr_2(t_2) &= const2; \sigma_2(t_2) = const2. \end{aligned} \quad (2.6)$$

где Sr_1 и σ_1 – среднее значение и среднее квадратическое отклонение первой

части ряда при изменении t_1 от 1 до t_n ;

Sr_2 и σ_1 – среднее значение и среднее квадратическое отклонение второй части ряда при изменении t_2 от $t_n + 1$ до n , n – объем ряда.

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменение индекса атмосферной циркуляции, даты смены регистрирующих приборов), а также может быть определен итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда.

Выбор наиболее эффективной модели для аппроксимации временного ряда осуществляется на основе сравнения остаточных дисперсий или стандартных отклонений относительно рассматриваемой базовой модели. В нашем случае базовой является модель стационарной выборки и для нее остаточная дисперсия (или стандартное отклонение) представляет собой дисперсию или среднее квадратическое отклонение исходного ряда наблюдений.

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков, которые являются разностями между фактическими и расчетными по модели значениями, вычисляется по формуле:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2} \quad (2.7)$$

где σ_y – стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_ε – стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда; R – коэффициент корреляции уравнения линейного тренда. Для модели ступенчатых изменений стандарт остатков вычисляется по информации за два интервала времени по формуле:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2 + \sigma_3^2 n_3}{(n_1 + n_2 + n_3 - 1)}} \quad (2.8)$$

где $\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартное отклонение остатков относительно модели

ступенчатых изменений;

n_1, n_2, n_3 - объёмы стационарных частей ряда наблюдений в годах.

Для количественной оценки отличий модели тренда, модели ступенчатых изменений и гармонической модели от модели стационарного среднего рассчитываются относительные погрешности по формулам:

$$\Delta_{\text{тр}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\varepsilon}}{\sigma_y} \right) 100\%, \quad (2.9)$$

$$\Delta_{\text{ступ}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\text{ступ}}}{\sigma_y} \right) 100\%. \quad (2.10)$$

где $\Delta_{\text{тр}}, \Delta_{\text{ступ}}$ – относительные погрешности или отличия (в %) модели тренда, гармонической модели и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки;

Для оценки статистической значимости монотонных (трендовых) и ступенчатых изменений во временных рядах применяется критерий Фишера, количественно показывающий, насколько статистически значимо отличаются остаточные дисперсии выбранных моделей от дисперсии временного ряда (стационарной модели). Статистики критерия Фишера для каждой из трех конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам:

$$F_{\text{тр}} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\varepsilon}^2} \quad (2.11)$$

$$F_{\text{ступ}} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ступ}}^2} \quad (2.12)$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, так как она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели. В случае если расчётное значение статистики Фишера оказывается больше критического, то дисперсии двух моделей имеют

статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЯНВАРЕ И ИЮЛЕ

3.1. Пространственные климатические закономерности

Гайана имеет три различных климата, которые характеризуются переменными температурами, влажностью и различными влажными и засушливыми сезонами. Благодаря своей разнообразной топографии, от прибрежных зон до тропических лесов и саванн, в странах Карибского бассейна наблюдаются климатические изменения. Гайана, из-за ее близкой близости к экватору, в течение всего года в среднем температуре меняется от 24 °C до 31 °C. Прибрежные ограничения на севере умеренной страны Атлантического океана, что приводит к менее экстремальной температуре, но очень высокой влажности. Во внутренних регионах, нагорьях и тропических лесах, характерна более стабильная температура, особенно в таких высокогорных регионах, как горные горы Пакарайма. Саванна Рупунуни в юго-западных странах имеет большую дневную вариацию, что дает ей жаркие дни и холодные ночи. Структура изменений в Гайане образует Межтропическую зону конвергенции (ITCZ) и северо-восточными пассатами, которые ежегодно приводят к сезонам дождей и одновременно засушливым сезонам. Первый сезон дождей, который длится с мая по август, пик в июне-июле. За ним следует краткий период засухи с сентября по ноябрь, а затем второй, более короткий сезон дождей с декабря по январь перед самым интенсивным периодом засухи с февраля по апрель.

В этой главе мы рассмотрим изменения температуры воздуха в январе и июле. В январе в Гайане будет сухой сезон, а в июле - влажный.

Рассчитанные значения средней многолетней температуры в январе приведены в табл.3.1, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы, трендовый дельты в %, ступенчатой дельты в %, корреляции коэффициентов с течением времени, температуры изменение за период 1960-2024 годов в градусах. С - изменение

температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО, год изменения температуры.

Таблица 3.1.

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменения температурных параметров в январе

Температура - январь									
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	дельта тренда в %	дельта ступ. в %	коэфф. корр. со временем	изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО	год изменений тем-ры
80419	Barcelona	10.1	-64.7	21.2	24	0.62	2	1.6	2002
80435	Maturin	9.8	-63.2	10.6	17	0.45	1.1	1.3	2005
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0.3	4.1	0.08	0	0	2000
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	0.5	4.3	0.1	0.7	0.74	2000
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	4.1	10.3	0.28	0.9	0.96	2000
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	4.7	14.2	0.3	1.1	1.1	1998
81001	Georgetown	6.8	-58.2	3.9	7.1	0.28	0.4	0.81	2000
81002	Timehri	6.5	-58.3	10.8	23.6	0.45	0.7	1.35	2002
81005	Kamarang	5.8	-60.5	21.4	21.5	0.49	0.8	1.21	1998
81006	Lethem	3.37	-59.79	6.1	12	0.34	0.8	0.96	1998
81010	Ebini	5.57	-57.78	0.2	7.1	0.07	0.6	0.83	1998
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	16.9	19.7	0.56	0.9	1.19	1994
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	5	12.1	0.31	0.6	1.14	2010
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	0	0.2	0	0.1	0.13	2001
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.6	20.9	0.11	1.1	1.51	2001
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	14.2	19.2	0.51	1.2	1.17	1998
82099	Macapa	0.1	-51.1	11.8	32.7	0.47	2.2	1.53	2001
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	6.4	9.6	0.35	0.7	0.89	1998
82240	Parintins	-2.6	-56.7	1.9	6.9	0.19	0.9	0.76	2002
82331	Manaus	-3.1	-60	5.7	16.2	0.33	0.9	1.13	2002

Рассчитанные значения средней многолетней температуры в июле приведены в табл.3.2, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы, трендовый дельты в %, ступенчатой дельты в %, корреляции коэффициентов с течением времени, температуры изменение за период 1960-2024 годов в °С - изменение температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО, год изменения температуры.

Таблица 3.2

**Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменения
температурных параметров в июле**

Температура - Июль									
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	дельта тренда в %	дельта ступ. в %	коэфф. корр. со временем	изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО	год изменений тем-ры
80419	Barcelona	10.1	-64.7	9	13	0.42	1.1	0.99	2006
80435	Maturin	9.8	-63.2	12.7	21.1	0.49	1.5	1.47	2006
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	1.3	3.4	0.16	0.3	0.64	1998
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	2.1	4	0.2	0.9	0.73	1998
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	9	18.5	0.41	1.1	1.17	1998
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	0.9	7	0.13	0.3	0.5	1998
81001	Georgetown	6.8	-58.2	7.4	12.5	0.38	0.6	0.96	1998
81002	Timehri	6.5	-58.3	9.2	11.8	0.42	0.6	0.94	1995
81005	Kamarang	5.8	-60.5	5.9	9.6	0.34	0.4	0.85	1995
81006	Lethem	3.37	-59.79	13.2	12.7	0.5	0.8	1.09	1997
81010	Ebini	5.57	-57.78	0	3	0.02	0	0.06	2001
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	16.1	28.2	0.54	1.3	1.84	2014
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	6.9	17.7	0.36	0.7	1.26	2007
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	1.6	10.1	0.18	0.3	0.21	2007
81225	Zanderij	5.47	-55.2	1.1	16.9	0.15	0.3	0.82	2007
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	21.2	17.6	0.62	1.4	1.76	2001
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	27.7	30.5	0.69	1.6	2.07	2001
82240	Parintins	-2.6	-56.7	21.2	17.6	0.62	1.7	1.76	2011
82331	Manaus	-3.1	-60	12.7	25.2	0.49	1.5	1.6	2011

Из данных, приведенных в таблицах 3.1 и 3.2, видно, что в январе и июле наблюдались температурные изменения. Диапазон повышения температуры составляет от 0,1 до 2,0°C, что видно из таблиц по всему региону. Эти изменения были более заметными с начала 20-го века по сегодняшний день. Это увеличение приводит к более экстремальной жаре и увеличению количества сторонников в регионах.

Рассчитанные значения многолетней средней температуры в январе и июле приведены в табл.3.3, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы и изменения температуры за период 1960-2024 гг. в °C.

Таблица 3.3

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменения температуры в январе и июле

изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С					
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	Январь	Июль
80419	Barcelona	10.1	-64.7	2	1.1
80435	Maturin	9.8	-63.2	1.1	1.5
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0	0.3
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	0.7	0.9
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	0.9	1.1
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	1.1	0.3
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.4	0.6
81002	Timehri	6.5	-58.3	0.7	0.6
81005	Kamarang	5.8	-60.5	0.8	0.4
81006	Lethem	3.37	-59.79	0.8	0.8
81010	Ebini	5.57	-57.78	0.6	0
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	0.9	1.3
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0.6	0.7
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	0.1	0.3
81225	Zanderij	5.47	-55.2	1.1	0.3
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	1.2	1.4
82099	Macapa	0.1	-51.1	2.2	-
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	0.7	1.6
82240	Parintins	-2.6	-56.7	0.9	1.7
82331	Manaus	-3.1	-60	0.9	1.5

Данные в таблице 3.3 показывают изменения температуры в январе и июле, причем изменения в Гайане выделены.

3.2. Анализ графиков многолетних колебаний

Прежде чем приступить к моделированию временных рядов, необходимо рассмотреть графики долгосрочных исследований. Примеры таких графиков для 10 метеостанций по регионам приведены на рис.3.2, рис.3.3 (январь) и 3.4, рис.3.5 (июль).

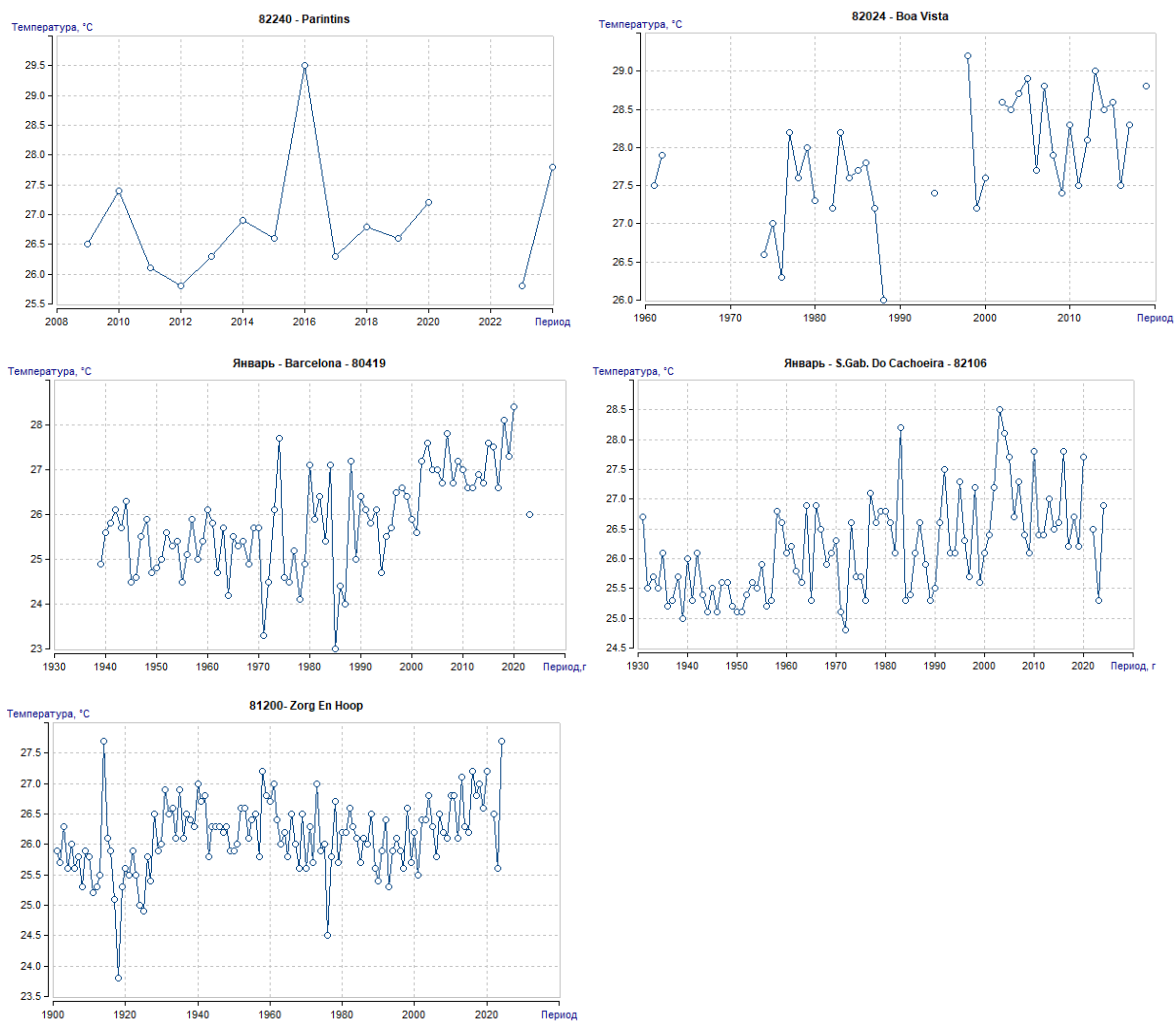


Рисунок 3.2. Многолетние серии наблюдений за средней температурой января на метеорологических станциях северной части Южной Америки

Графики для всех станций показывают, что на всех станциях в северных регионах наблюдается повышение температуры



Рисунок 3.3. Многолетние серии наблюдений за средней температурой января на метеорологических станциях Гайаны

Графики для всех станций показывают, что температура повышается на всех станциях в Гайане, за исключением 81100 - Мабарумы и 81005- Камаранга.

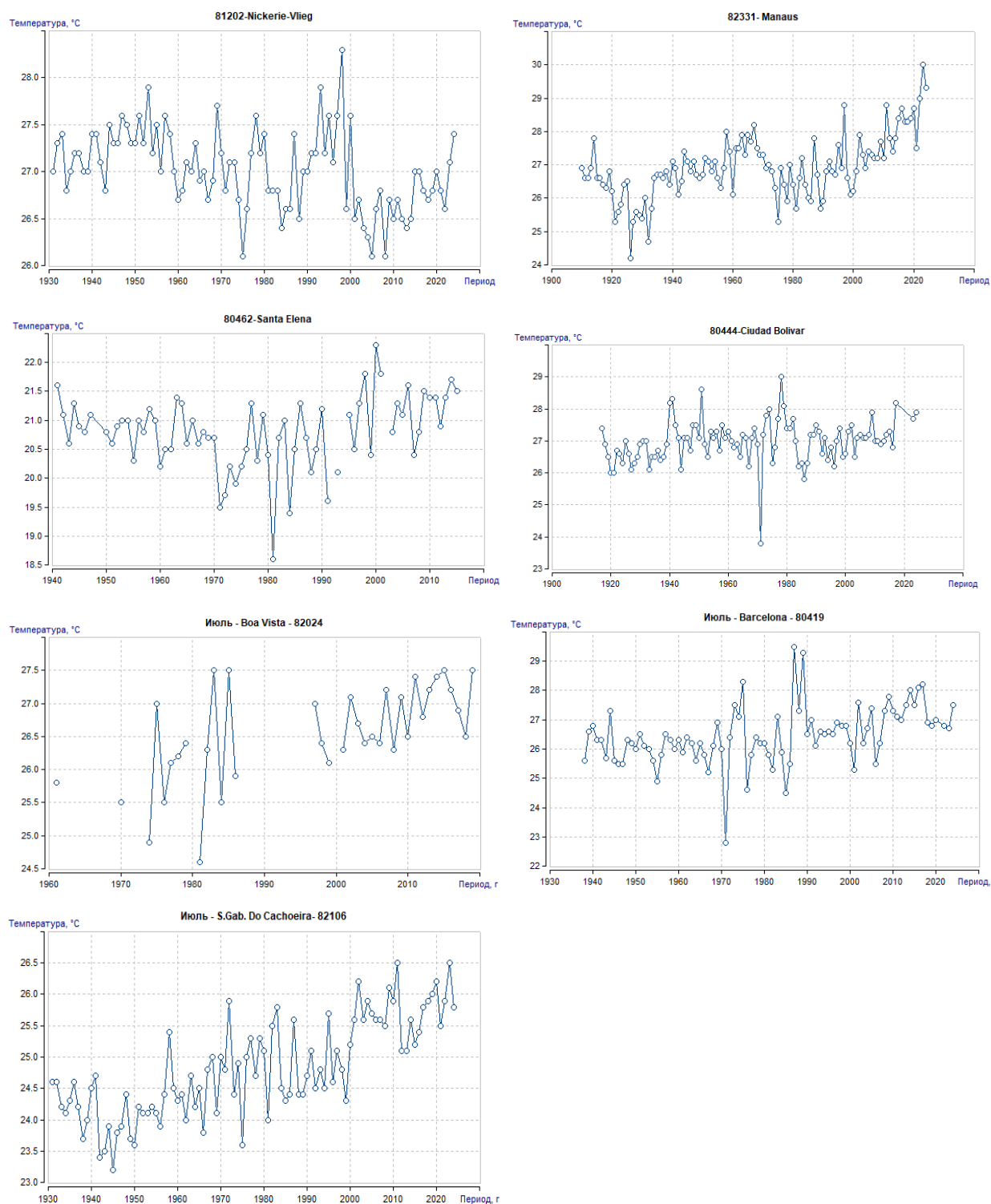


Рисунок 3.4. Многолетняя серия наблюдений за средней температурой июля на метеорологических станциях в северной части Южной Америки.

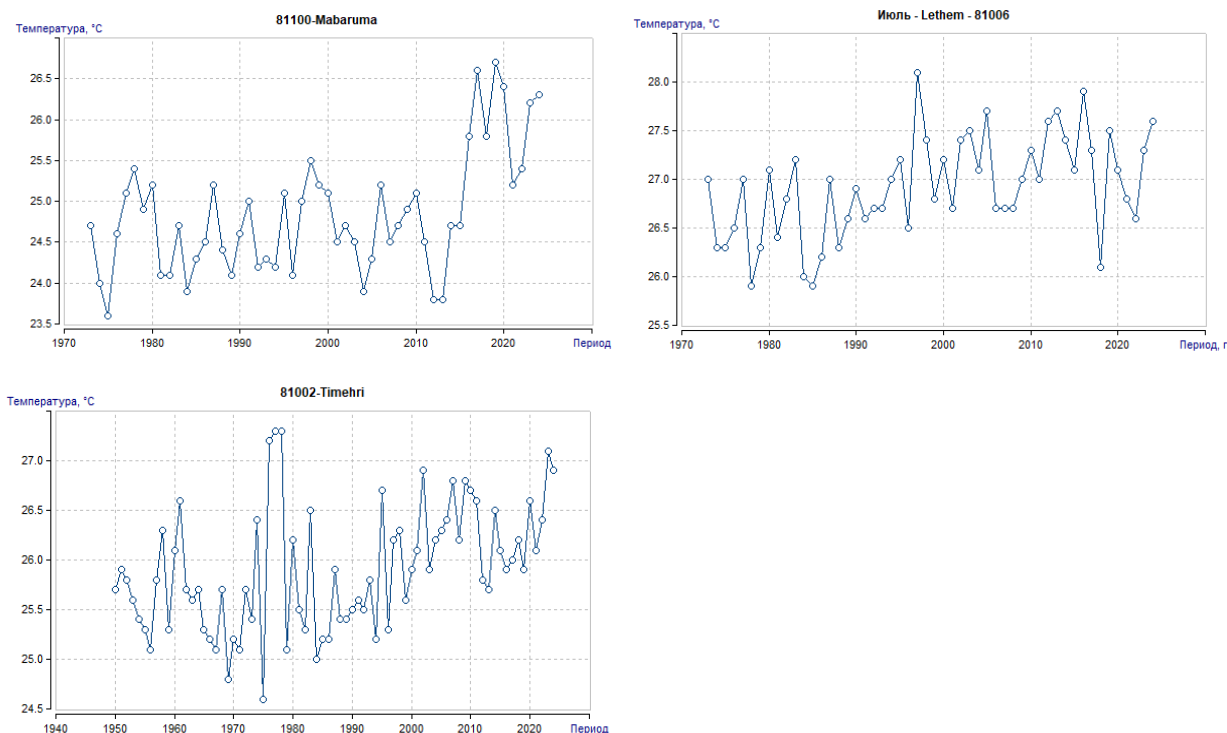


Рисунок 3.5. Многолетняя серия наблюдений за средней температурой июля на метеорологических станциях в Гайане.

На рис. 3.4 и рис. 3.5 видно повышение температуры на всех станциях в июле.

3.3. Моделирование многолетних рядов в пунктах

Эта часть работы связана с анализом однородности эмпирических распределений и стационарности временных рядов, восстановлением пробелов и сокращением рядов до многомерного периода года, определение расчетных климатических характеристик и их представление в географическом пространстве. Программа «Однородность» ПК «Гидрорасчеты» была использована для проведения анализа однородности и стационарности по выбранным рядам на территории. Программа «Однородность» предназначена для оценки сильно отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении по статистическим

критериям Диксона и Смирновы-Грabbса и однородности (стационарности) основных параметров временных рядов гидрометеорологических характеристик: средние значения и статистические критерии Студента и Фишера.

Затем после выполнения вычислений и создания таблицы с результатами расчетов, в которой показаны: тип анализируемого экстрема (максимум или минимум); использованный критерий; рассчитанное значение статистики критериев; критическое значение статистики критерия; уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критериев; вывод об однородности или неоднородности; годы, для которых значения являются разнородными (до максимума трех лет).

Для достижения результатов были предприняты следующие шаги:

- Сбор данных - Среднемесячные ряды температурных значений для каждой станции были составлены за период 1960-2024 годов (январь, июль). Станции, имевшие недостаточные данные, были отмечены (например, $n^* < 30$ отмечены как "мало данных"). Организованные данные были сохранены в формате CSV с соответствующей колонкой.
- Тестирование однородности (Тест Диксона на аномалии) было проведено для обнаружения внезапных сдвигов (например, изменения приборов, перемещения станций). Для каждой станции тест Диксона был применен отдельно к месяцам, и были определены отклоняющие показатели. Результаты были классифицированы как "+": однородные (без отклонений) и "(+)/- [Год]" в качестве потенциальных отклонений.
- Стабильность вариации (тест Фишера) была проведена для проверки изменений в изменчивости температуры во времени. Это было сделано путем разбивки каждой серии на два равных периода (например, 1960-1992 и 1993-2024 годы) и расчета отклонений (σ^2) для обоих под периодов. Коэффициент F-Фишера ($F = \sigma^2_1 / \sigma^2_2$) был вычислен, и было проведено сравнение с критическими значениями ($\alpha = 0,05$), где "+": стабильная вариативность ($F < 1$), "(+)F-значение": увеличенная вариация

и "(-) F-значение": уменьшенная вариация.

- Средняя стабильность (t-тест Student) была проведена для обнаружения изменений в долгосрочной средней температуре. Было проведено сравнение средних (μ) тех же двух под периодов, что и в тесте Фишера, а также расчет t-статистики с учетом неравных отклонений. Результаты были классифицированы как "+": стабильное среднее (без значительного смещения), "(+)t-значение": значительное потепление и "()-t-значение": значительное охлаждение.
- затем была составлена таблица, в которой были показаны все результаты и проведенный анализ.

В таблице 3.4 приведены результаты оценки однородности и стационарности многолетних температурных рядов за январь и июль в соответствии со статистическими критериями.

Таблица 3.4

Результаты оценки однородности и стационарности многолетних рядов температур января и июля по статистическим критериям

Код станции	Критерии (январь)			Критерии (июль)		
	Диксона	Фишера	Стьюдента	Диксона	Фишера	Стьюдента
80419	+	(+)3,6	-	-min 1988	+	-
80435	+	+	(+)3,9	-min 1988	-	(+)4,1
80444	+	+	+	-min 1971	(+)3,6	+
80453	+	(-)2,6	+	+	-	+
80457	+	+	+	-max 2015	+	+
80462	+	(+)4,5	+	-min 1981	-	+
81001	+	+	+	+	-	+
81002	+	(+)4,7	+	+	+	(-)2,6
81005	(+)4,5	+	-	+	+	
81006	мало данных (n=27)			+	+	
81010	мало данных (n=11)			мало данных (n=11)		
81058	мало данных (n=9)			мало данных (n=9)		
81080	мало данных (n=2)			мало данных (n=2)		
81100	+	+	-	+	+	
81200	+	(-)1,1	(+)4,0	+	+	
81202	+	(-)2,4	+	+	(+)3,8	
81225	+	+	+	+	+	
82024	+	+	(-)1,8	+	-	
82099	мало данных (n=11)			мало данных (n=11)		
82106	+	(-)2,7	-	+	+	
82240	+	мало данных (n=14)		мало данных (n=14)		
82331	+	+	+	+	+	

Из анализа таблицы 3.4 было выявлено несколько ключевых закономерностей.

- Стационарные станции - было несколько станций, которые оставались стационарными во время всех тестов в течение обоих месяцев. Эти станции не продемонстрировали существенных отклонений, стабильных отклонений во времени и постоянных средних температур (t-критерий Диксона, Фишера и Стьюдента). Это говорит о том, что качество данных было высоким, что в этих регионах существует климатическая стабильность и что анализ долгосрочных тенденций отличается высокой надежностью. Этими станциями были Сьюдад-Боливар (80444), Пуэрто-Аяучо (80457), Джорджтаун (81001), Зандерия (81225), Манаус (82331).
- Нестационарные станции - для оценки нестационарности дисперсии

(критерий Фишера) в январе: Барселона (+3,6), Санта-Елена (+4,5), Тимери (+4,7) и в июле: (80444) Сьюдад-Боливар (+3,6), (81202) Никери (+3,8). были нестационарными. Это повышение температуры потенциально может быть связано с изменением климата, изменениями в землепользовании или вырубкой лесов, а также с увеличением частоты экстремальных явлений. Для средней нестационарности (t-критерий Стьюдента): на станции наблюдались значительные тенденции к потеплению (положительные значения t) для обоих месяцев (80435) Матурин (январь +3,9, июль +4,1) и только для января (81200) Зорг-эн-Хооп (январь +4,0). (81202) Никери (январь +3,8).

Затем были рассчитаны шаги для распространения краткосрочных температурных рядов на долгосрочный период и проанализированы результаты.

- Сбор данных - была проведена компиляция неполных температурных рядов за январь и июль с метеорологических станций. Были определены опорные станции с полными долгосрочными записями (N) за те же месяцы, и была подготовлена матрица данных; n = доступные годы наблюдений на целевой станции, N = полный период опорных рядов, R = коэффициенты корреляции между целевой и опорной станциями.
- Корреляционный анализ - затем были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (R) между короткими целевыми рядами (n лет) и соответствующими эталонными рядами и полными эталонными рядами (N лет). Подтвержденная сила корреляции соответствовала минимальному порогу ($R \geq 0,85$).

Наиболее сильные корреляции наблюдаются для января 80462 года ($R=0,94$) и января 81010 года ($R=0,96$), а наилучшими расширенными рядами были 80462 ($n=69 \rightarrow 78$, стабильный R) и 81100 ($n=50 \rightarrow 72$, $R=0,94$).

Таблица 3.5

Результаты приведения непродолжительных рядов к многолетнему периоду

Код станции	январь			июль		
	n	N	R	n	N	R
80453	65	72	0,86-0,92	62	71	0,86-0,87
80457	62	64	0,89			
80462	69	78	0,94	70	80	0,86
81005	48	78	0,89-0,97	50	73	0,91-0,94
81006	27	81	0,90-0,93	27	40	0,90
81010	11	83	0,96	11	94	0,92-0,96
81100	50	72	0,94	52	74	0,92
82024	37	41	0,87-0,95	36	42	0,90-0,96
82099	11	75	0,85-0,88			
82240	14	114	0,89-0,98	15	75	0,88-0,92

В таблице 3.5 показаны значительные различия в доступных периодах наблюдений как для очень коротких записей, так и для полных рядов. Коэффициенты корреляции (R) между целевой и опорной станциями, как правило, высокие, причем большинство значений превышают 0,85, что указывает на надежные взаимосвязи для реконструкции. Наиболее сильные корреляции проявляются в январе 80462 года ($R=0,94$), январе 81010 года ($R=0,96$), январе 81100 года ($R=0,94$). Эти высокие корреляции свидетельствуют о стабильных температурных соотношениях между этими станциями и их эталонами, что делает их особенно подходящими для расширения серии.

3.4. Обобщение показателей не стационарности по территории

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, были представлены на графиках, а затем на картах. Результаты в виде пространственных распределений приведены по месяцам.

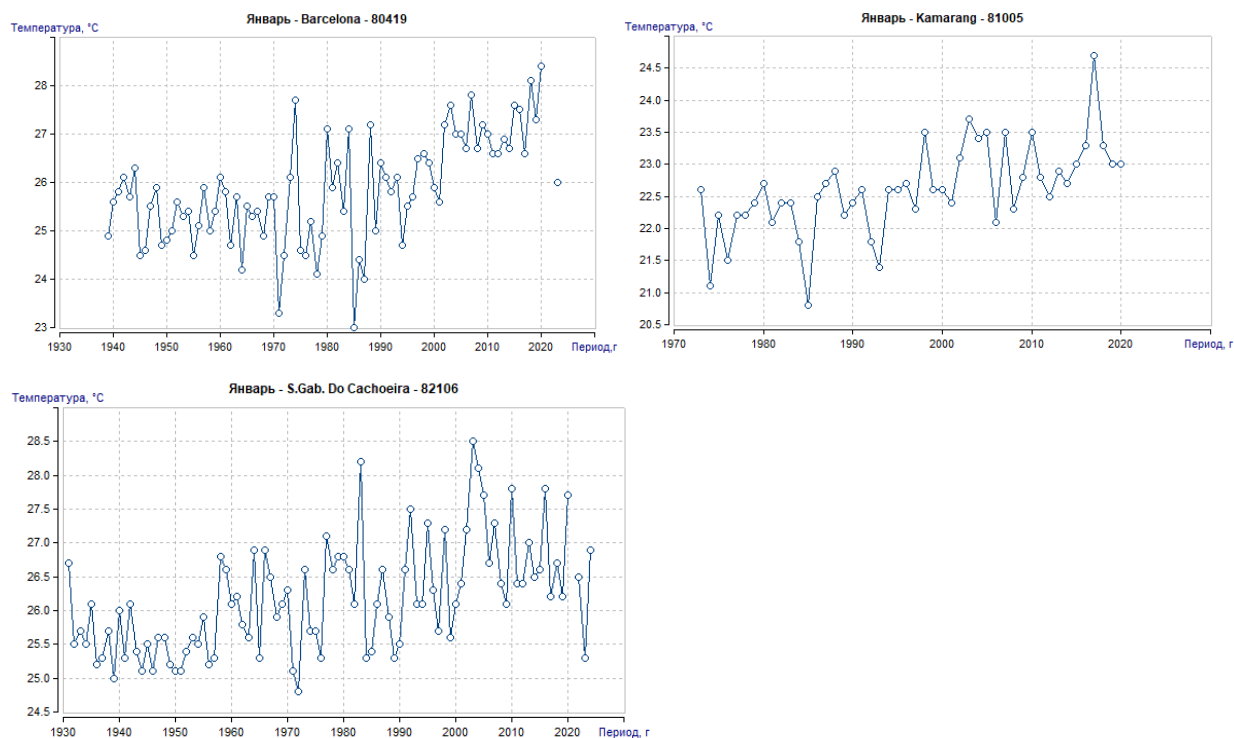


Рисунок 3.6. Графики - распределение показателей нестационарных январских моделей за весь период наблюдений (1960-2024 гг.).

Для всех трех станций, показанных на рис. 3.6, в январе наблюдается тенденция к повышению температуры.

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, представлены на картах. Результаты в виде пространственных распределений представлены по месяцам.

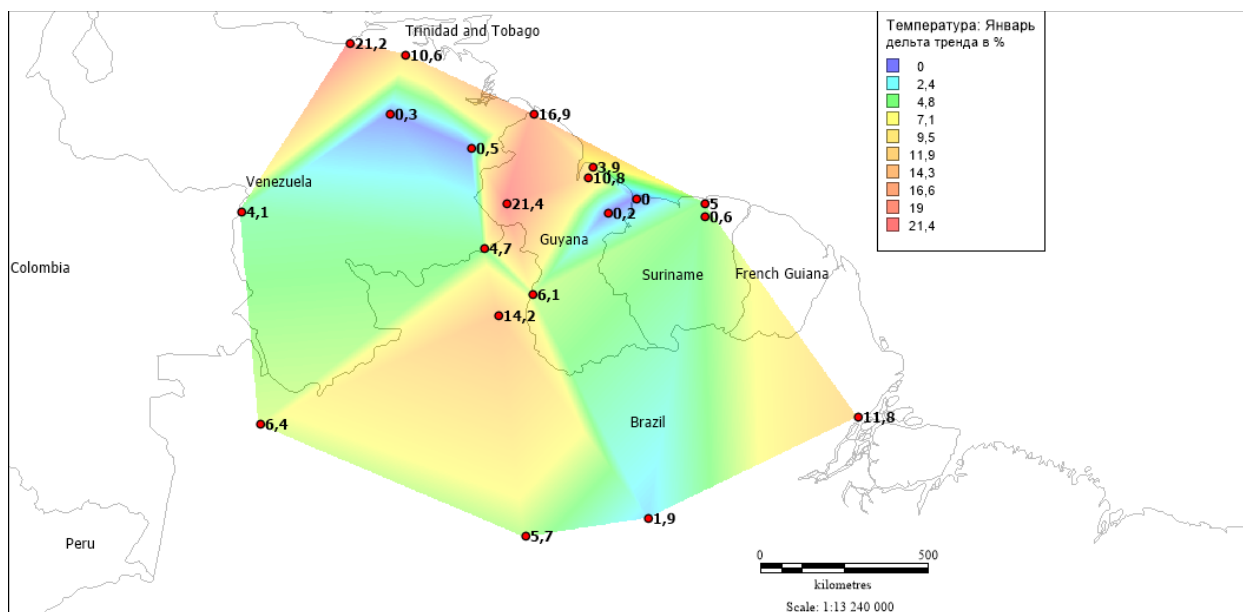


Рисунок 3.7. Распределение показателей нестационарной модели для января Δtr в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

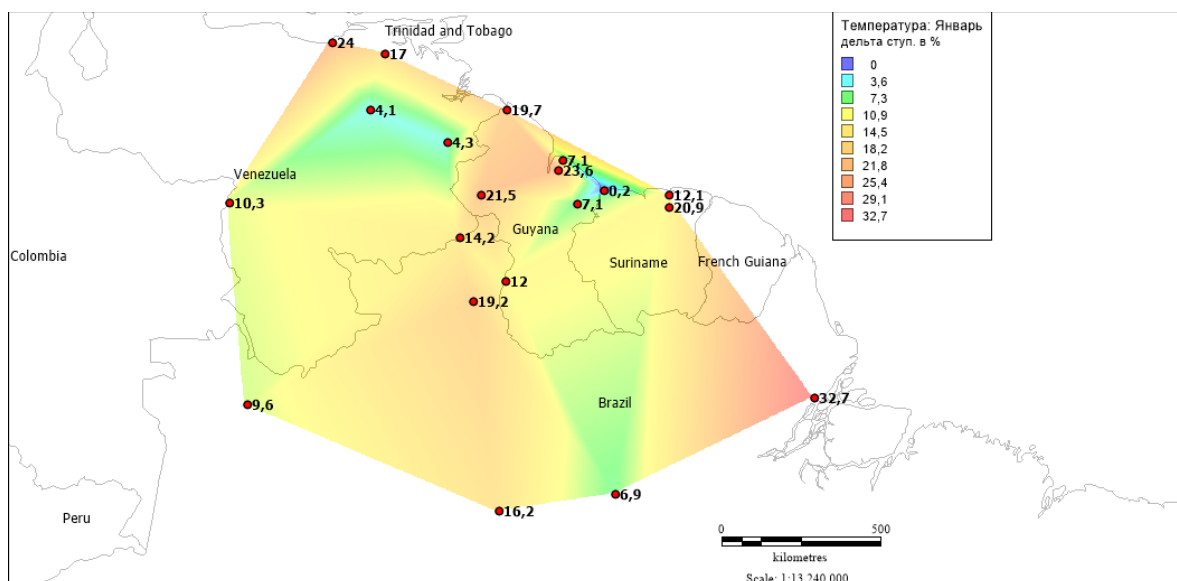


Рисунок 3.8. Распределение показателей нестационарной модели для января Δst в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

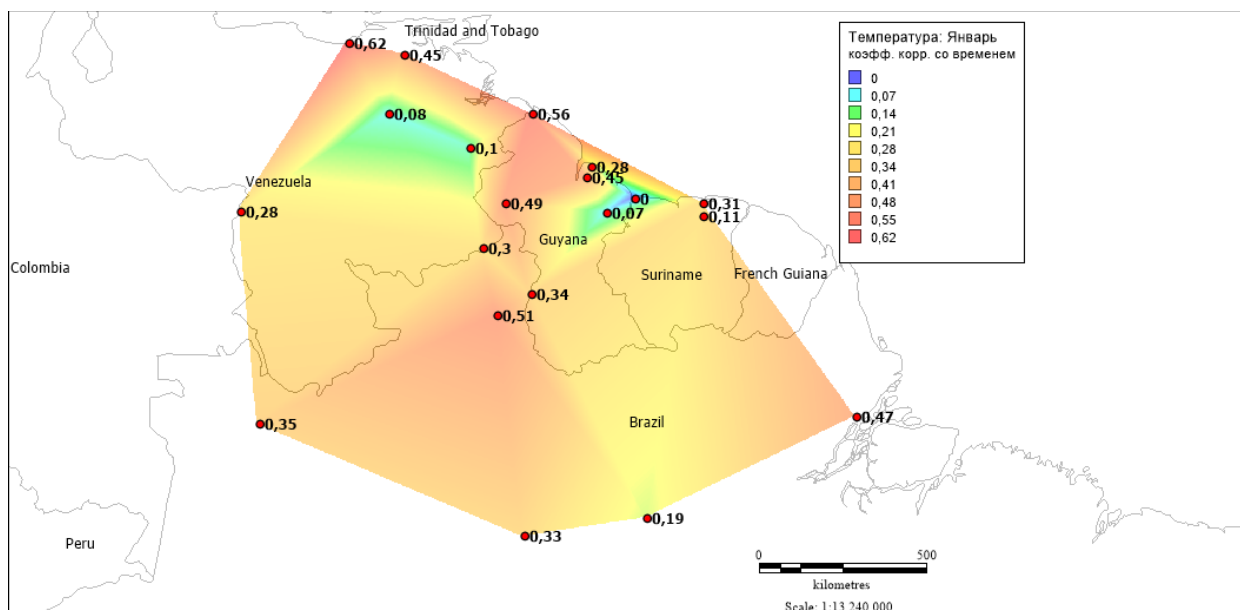


Рисунок 3.9. Распределение показателей нестационарной модели для января коэффициент корреляции (R) за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

Согласно данным, приведенным на рис. 3.7 - 3.9, пространственные распределения показывают, что самые высокие показатели нестационарности находятся в центре и на юго-востоке исследуемой территории и представлены на картах красными и желтыми зонами. Показатели, наиболее близкие к стационарным условиям, расположены в северных регионах и небольшом регионе на северо-западе и отмечены синим цветом.

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, представлены на графиках. Результаты в виде пространственных распределений представлены по месяцам.

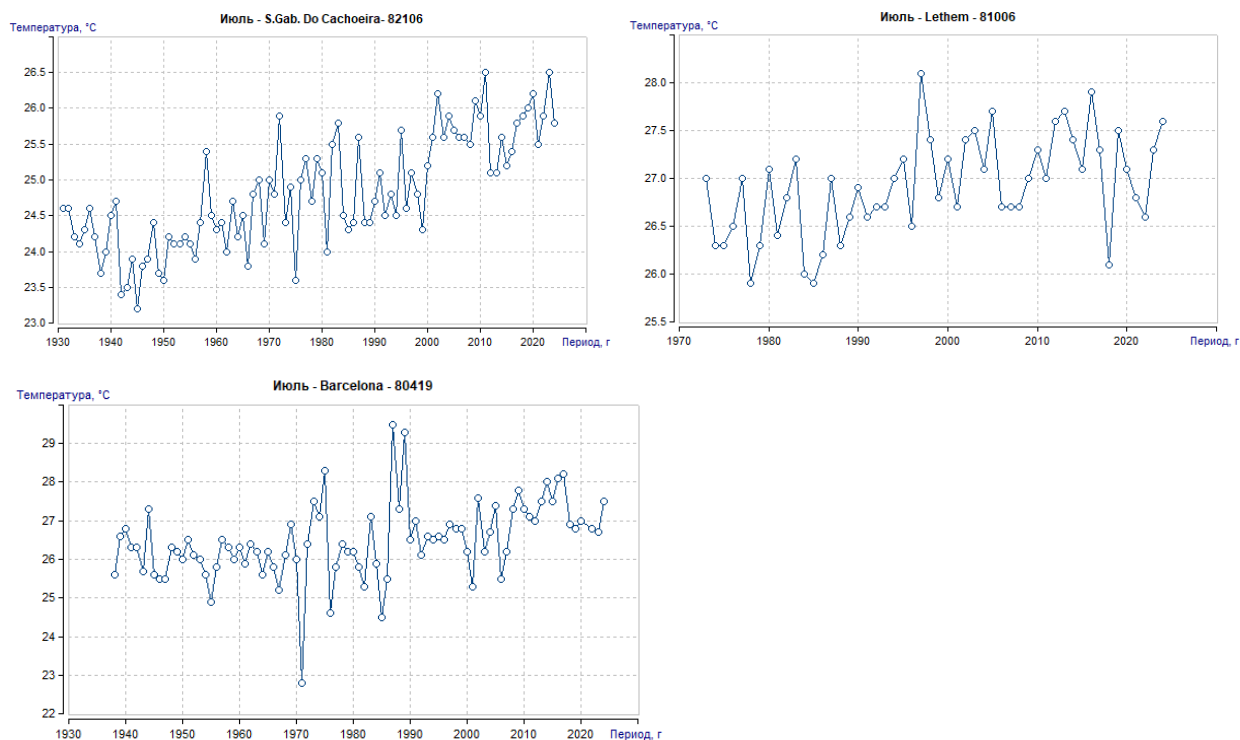


Рисунок 3.10. Графики - распределение показателей нестационарных июльских моделей за весь период наблюдений(1960-2024 гг.)

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, представлены на картах. Результаты в виде пространственных распределений представлены по месяцам.

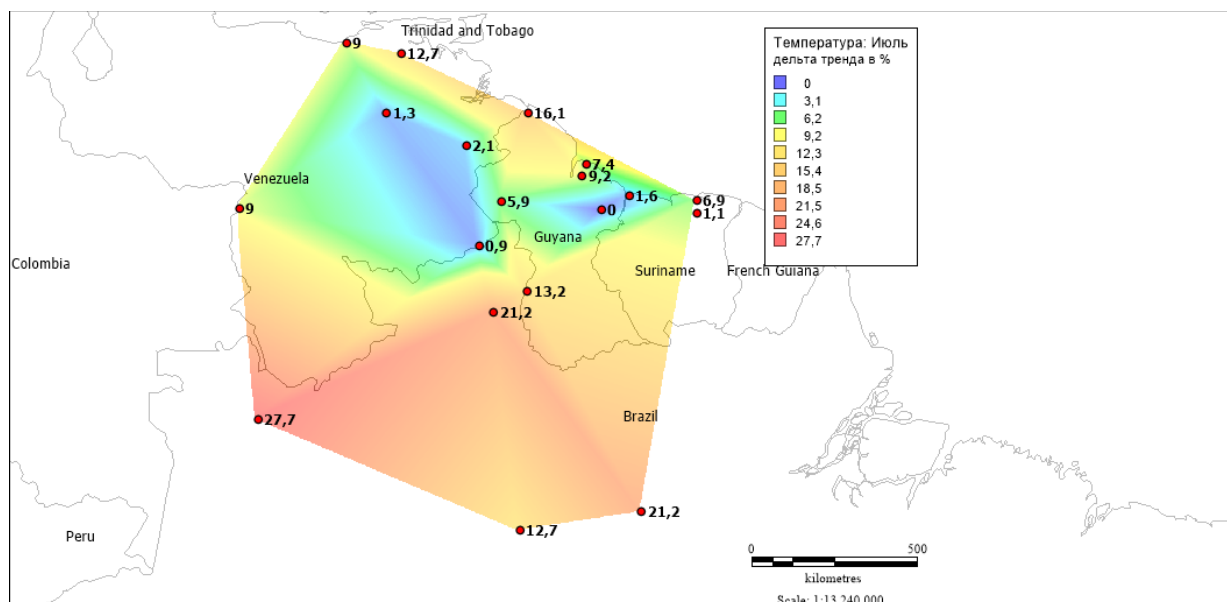


Рисунок 3.11. Распределение показателей нестационарной модели для июля Δtr в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

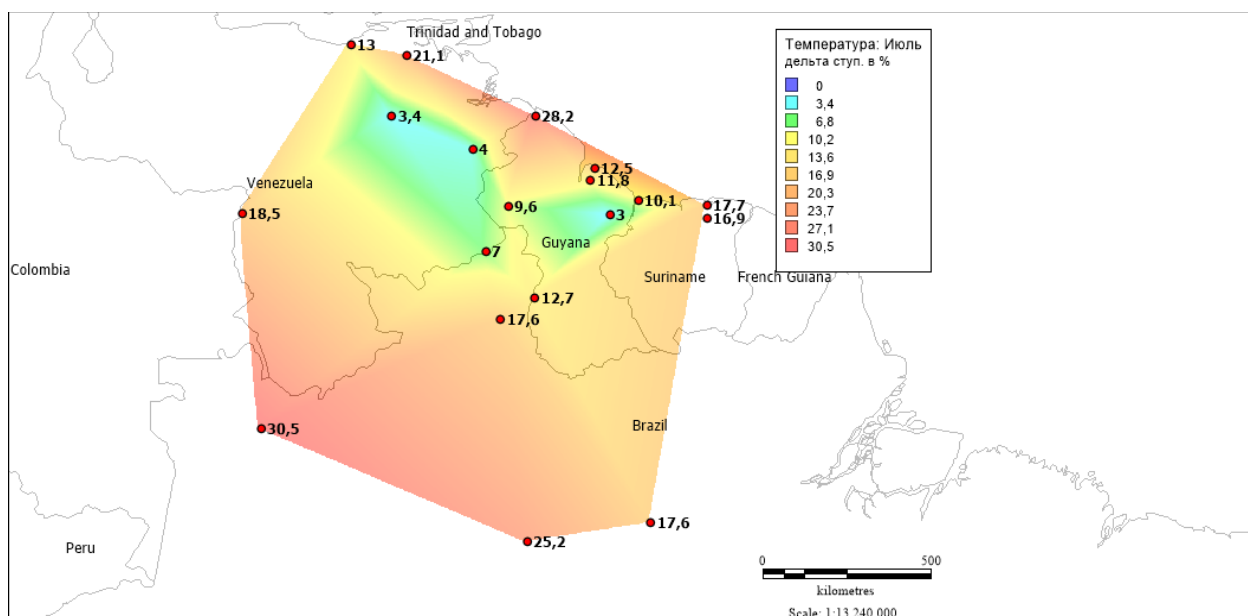


Рисунок 3.12. Распределение по территории показателей нестационарных моделей июля $\Delta ст$ в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

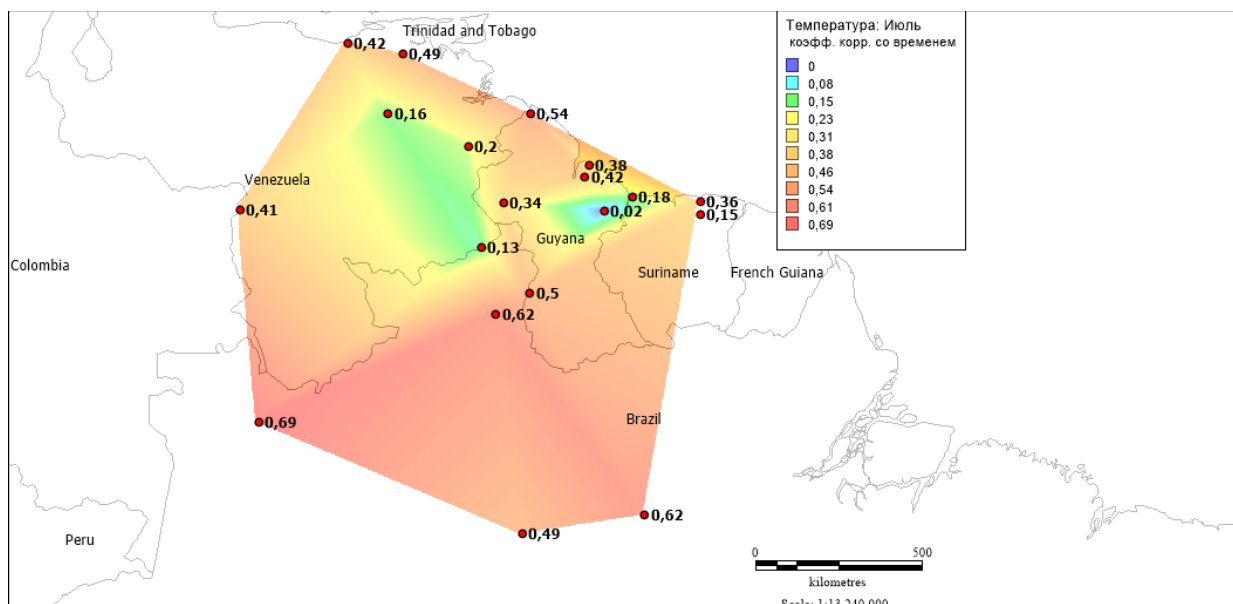


Рисунок 3.13. Распределение по территории показателей нестационарных моделей июль за коэффициент корреляции (R) за весь период наблюдений (1960-2024 гг.).

Согласно данным, показанным на рисунках 3.11 - 3.13, пространственное распределение показывает, что самые высокие показатели неустойчивости наблюдаются в южных регионах исследуемой территории и представлены на картах красными и желтыми зонами. Индикаторы, наиболее близкие к стационарным условиям, расположены в центре региона Ориноко и небольшом регионе на северо-востоке от побережья и отмечены синим цветом.

3.5. Количественная оценка изменения температур

Анализ изменений климата требует изучения температурных сдвигов как с помощью абсолютных, так и относительных показателей, чтобы лучше понять их последствия. В этой части главы изменения температуры были рассчитаны в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) и среднеквадратичное отклонение (СКО) (σ). Изменения, рассчитанные в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), обеспечивают осязаемый и реальный контекст, который связывает изменения температуры с

физическими воздействиями; нарушения экосистем, последствия для сельского хозяйства и риски для здоровья человека. Колебания температуры существенно различаются в разных регионах, что делает стандартные отклонения (σ) важным дополнительным показателем. Стандартные отклонения нормализуют изменения относительно местных климатических условий, отличая ожидаемые колебания от статистически значимых аномалий. Температурная изменчивость существенно отличается в разных регионах, что делает стандартные отклонения (σ) важным дополнительным показателем. Стандартные отклонения нормализуют изменения, связанные с местными климатическими условиями, и позволяют отличить ожидаемые колебания от статистически значимых аномалий. В совокупности эти показатели позволяют проводить полное и комплексное исследование температурных тенденций. В таблицах 3.6-3.7 показаны изменения температур в °C и СКО за исследуемый период.

Таблица 3.6

Изменение температур за период 1960-2024 в град. С, в долях СКО – Январь

Температура - январь						
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО	год изменений тем-ры
80419	Barcelona	10.1	-64.7	2	1.6	2002
80419	Barcelona	10.1	-64.7	2	1.6	2002
80435	Maturin	9.8	-63.2	1.1	1.3	2005
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0	0	2000
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	0.7	0.74	2000
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	0.9	0.96	2000
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	1.1	1.1	1998
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.4	0.81	2000
81002	Timehri	6.5	-58.3	0.7	1.35	2002
81005	Kamarang	5.8	-60.5	0.8	1.21	1998
81006	Lethem	3.37	-59.79	0.8	0.96	1998
81010	Ebini	5.57	-57.78	0.6	0.83	1998
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	0.9	1.19	1994
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0.6	1.14	2010
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	0.1	0.13	2001
81225	Zanderij	5.47	-55.2	1.1	1.51	2001
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	1.2	1.17	1998
82099	Macapa	0.1	-51.1	2.2	1.53	2001
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	0.7	0.89	1998
82240	Parintins	-2.6	-56.7	0.9	0.76	2002
82331	Manaus	-3.1	-60	0.9	1.13	2002

Таблица 3.7

Изменение температур за период 1960-2024 в град. С, в долях СКО – Июль

Температура - Июль						
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО	год изменений тем-ры
80419	Barcelona	10.1	-64.7	1.1	0.99	2006
80435	Maturin	9.8	-63.2	1.5	1.47	2006
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0.3	0.64	1998
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	0.9	0.73	1998
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	1.1	1.17	1998
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	0.3	0.5	1998
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.6	0.96	1998
81002	Timehri	6.5	-58.3	0.6	0.94	1995
81005	Kamarang	5.8	-60.5	0.4	0.85	1995
81006	Lethem	3.37	-59.79	0.8	1.09	1997
81010	Ebini	5.57	-57.78	0	0.06	2001
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	1.3	1.84	2014
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0.7	1.26	2007
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	0.3	0.21	2007
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.3	0.82	2007
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	1.4	1.76	2001
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	1.6	2.07	2001
82240	Parintins	-2.6	-56.7	1.7	1.76	2011
82331	Manaus	-3.1	-60	1.5	1.6	2011

Пространственные закономерности этих изменений были затем нанесены на карты и показаны на рис. 3.14 -3.17.

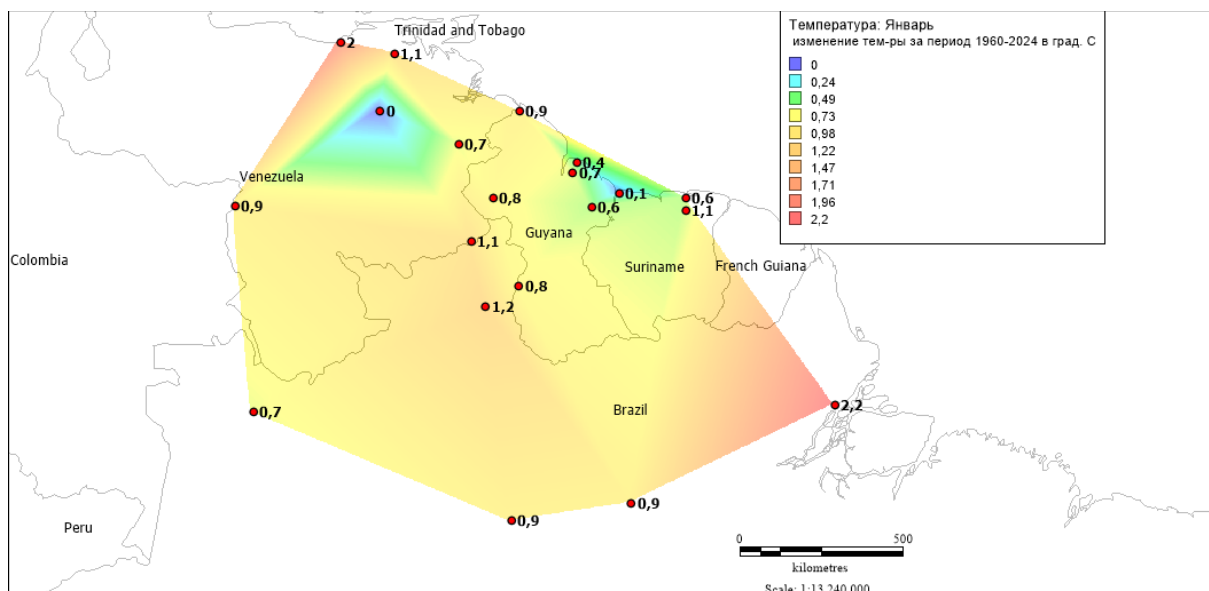


Рисунок 3.14. Январь - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в град. С

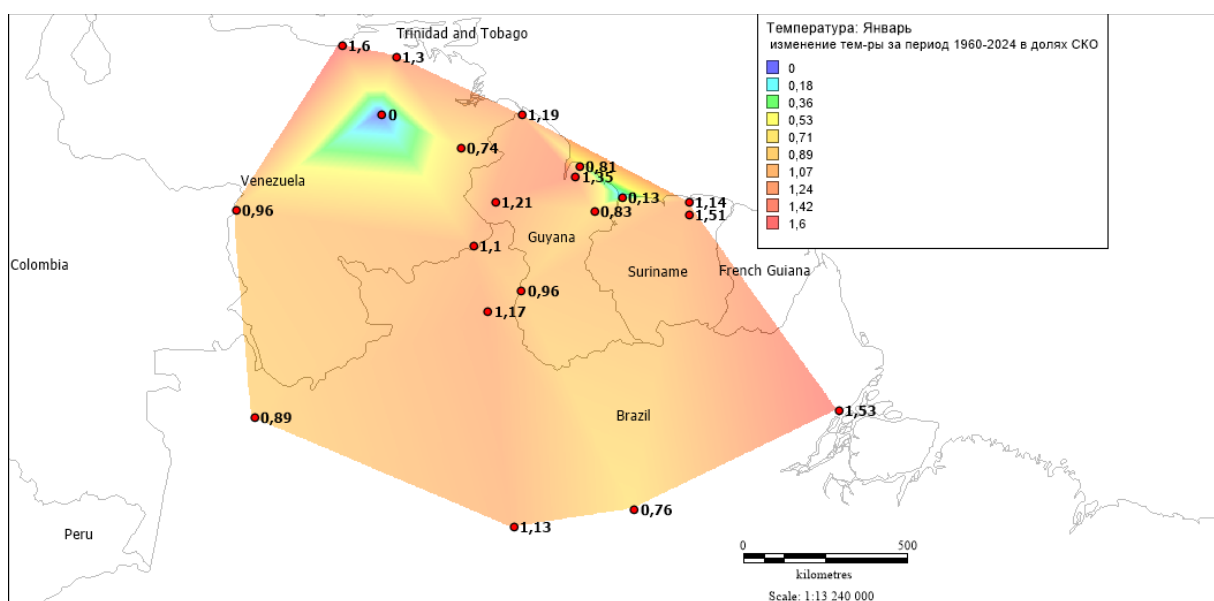


Рисунок 3.15. Январь - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО

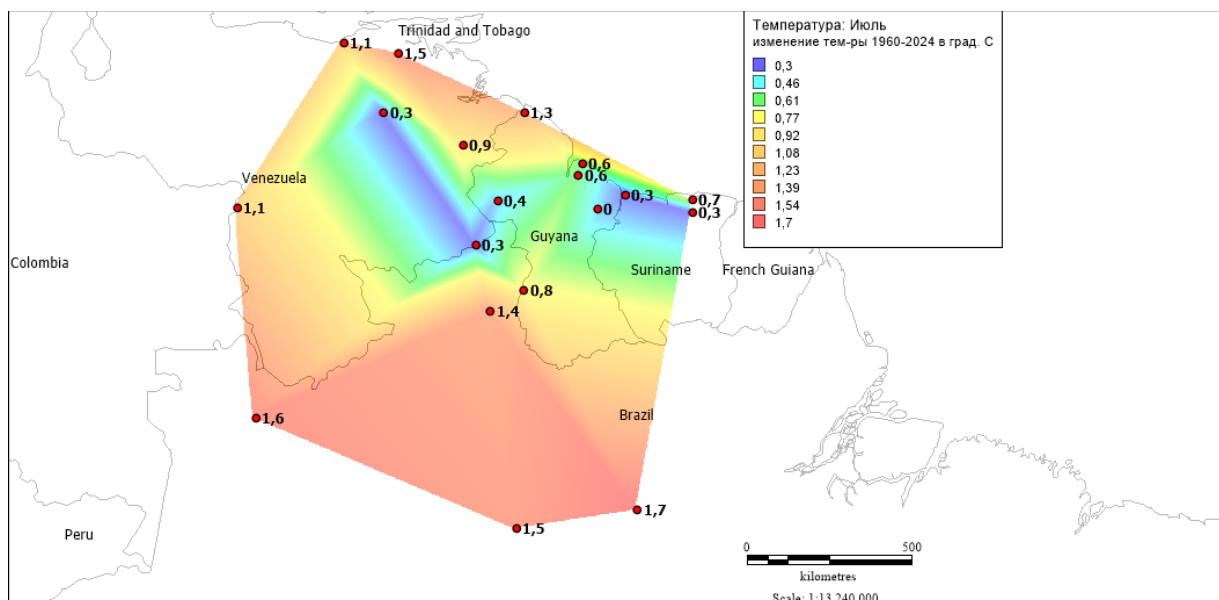


Рисунок 3.16. Июль - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в град. С

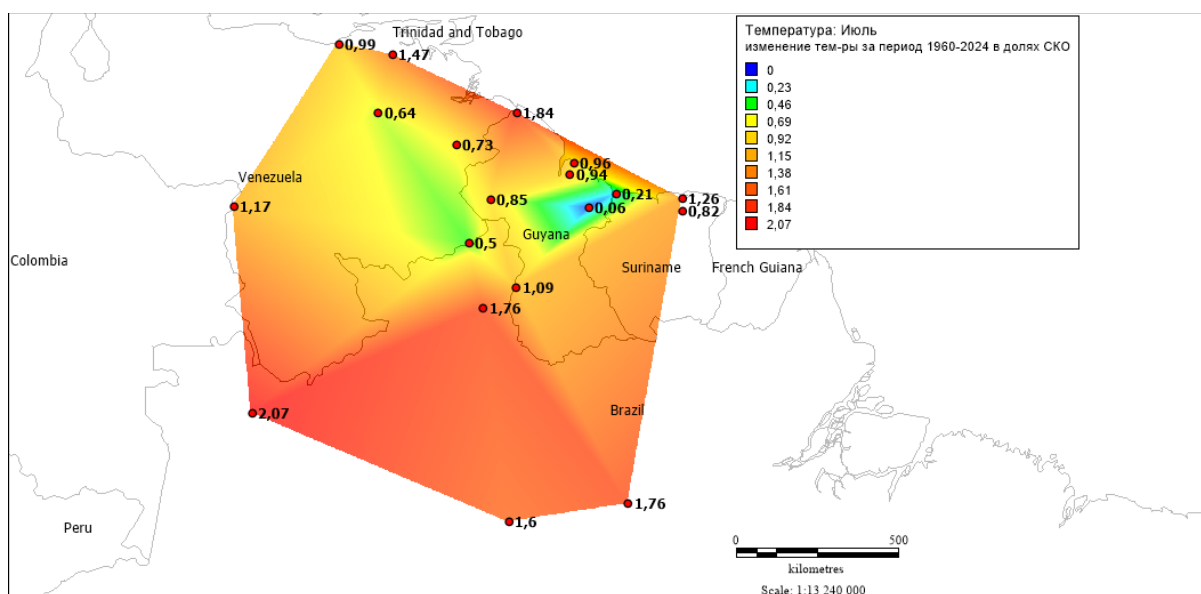


Рисунок 3.17. Июль - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО

Из анализа рис. 3.14–3.17 самые высокие переменные изменений выделены красным цветом, а наименьшие изменения можно увидеть выделенными синим цветом для января и июля. Для января можно увидеть, что наблюдалось повышение температуры ($^{\circ}\text{C}$) в регионах на западе вдоль побережья Бразилии, регионах на северо-западном побережье Венесуэлы и

центральных регионах Саванны на рис. 3.14. Наименьшие изменения были в бассейне Ориноко и на побережье Гайаны. Изменения в стандартных производных (СКО) на рис. 3.15 наблюдались, и во всех регионах, за исключением бассейна Ориноко и вдоль побережья Гайаны, наблюдались изменения. Изменения в прибрежных районах Бразилии и Венесуэлы предполагают изменения в моделях океанских течений и ветров, в то время как наименьшие изменения в регионе Ориноко обусловлены стабильными уровнями влажности. Для июля наблюдались изменения ($^{\circ}\text{C}$) вдоль северного побережья, а наибольшие изменения были вблизи экватора. Наименьшие изменения были на северо-восточном побережье и в горных районах Гайанского щита. Изменения были такими же для стандартного вывода. Вблизи экватора солнце находится почти над головой круглый год, максимизируя поверхностное нагревание, в то время как климат тропических лесов помогает регулировать микроклимат посредством эвапотранспирации.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АПРЕЛЬ И ОКТЯБРЬ

4.1 Пространственные климатические закономерности

В этой главе мы рассмотрим изменения температуры воздуха в апреле и октябре. В Гайане в апреле будет сухой сезон, а в октябре - влажный.

Рассчитанные значения средней многолетней температуры в апреле приведены в табл.4.1, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы, трендовый дельты в %, ступенчатой дельты в %, корреляции коэффициентов с течением времени, температуры изменение за период 1960-2024 годов в градусах. С - изменение температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО.

Таблица 4.1

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменения температурных параметров в апреле

Температура - Апрель								
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	дельта тренда в %	дельта ступ. в %	коэфф. корр. со временем	изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО
80419	Barcelona	10.1	-64.7	3.6	4.9	0.26	0.6	0.62
80435	Maturin	9.8	-63.2	9.3	21.7	0.42	1.4	1.35
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0.4	3	0.09	0.1	0.14
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	1.4	4.6	0.16	0.2	0.2
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	0.1	2.5	0.05	0.1	0.06
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	5.9	10.2	0.34	1.2	1.13
81001	Georgetown	6.8	-58.2	1.2	4.3	0.15	0.3	0.47
81002	Timehri	6.5	-58.3	18.3	20	0.58	1	1.2
81005	Kamarang	5.8	-60.5	8.4	10.7	0.4	0.8	1.19
81006	Lethem	3.37	-59.79	2.6	6.1	0.23	0.4	0.47
81010	Ebini	5.57	-57.78	0	3.2	0.01	0.3	0.33
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	5	7.4	0.31	0.4	0.62
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0.9	4.6	0.13	0.1	0.28
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	7.3	1.6	-0.37	-0.6	1.17
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.5	12.8	0.1	0.8	1.25
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	2.8	5.6	0.23	0.5	0.44
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	18.6	24.6	0.58	0.7	1.34
82240	Parintins	-2.6	-56.7	2.9	3.9	0.24	0.3	0.46
82331	Manaus	-3.1	-60	12.6	25.3	0.49	0.9	1.56

Рассчитанные значения средней многолетней температуры в октябре приведены в табл.3.2, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы, трендовый дельты в %, ступенчатой дельты в %, корреляции коэффициентов с течением времени, температуры изменение за период 1960-2024 годов в градусах. С - изменение температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО.

Таблица 4.2

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменения температурных параметров в октябре

Температура - Октябрь								
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	дельта тренда в %	дельта ступ. в %	коэфф. корр. со временем	изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО
80419	Barcelona	10.1	-64.7	13.2	19.1	0.5	1.3	1.3
80435	Maturin	9.8	-63.2	12.7	21.3	0.49	1.1	1.34
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0.3	3.6	-0.08	-0.1	0.14
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	7	26.7	0.37	3.5	1.8
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	1.6	5.3	0.18	0.4	0.41
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	9.8	18	0.43	1.1	1.14
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.3	4.3	0.07	0	0
81002	Timehri	6.5	-58.3	5.5	11.9	0.07	0.5	0.7
81005	Kamarang	5.8	-60.5	7.6	13	0.38	1	1.29
81006	Lethem	3.37	-59.79	12.8	18.2	0.49	1.8	1.47
81010	Ebini	5.57	-57.78	11.1	18.6	0.46	1.8	1.16
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	9.4	22.5	0.42	1.5	1.67
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	9.3	16.8	0.42	0.8	1.15
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	0	2.6	0.02	0.1	0.22
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.9	17	0.13	1.2	1.43
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	2.8	7.4	0.23	0.6	0.55
82099	Macapa	0.1	-51.1	15.3	18.3	-0.53	-1	1.2
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	19.1	25.9	0.59	0.9	1.38
82240	Parintins	-2.6	-56.7	4.3	6.9	0.29	0.2	0.23
82331	Manaus	-3.1	-60	3.1	10	0.25	1	1

Из данных, приведенных в таблицах 4.1 и 4.2, видно, что изменения температуры наблюдались в апреле и октябре. Диапазон повышения температуры колеблется от 0,1 до 2,0°C, как видно из таблиц, по всему региону. Эти изменения были более заметны с начала 20-го века и по сей день. Рассчитанные значения многолетней средней температуры в январе и июле приведены в табл. 4.3, которая также содержит названия станций, их код ВМО

и координаты станций в виде широты, долготы и изменения температуры за период 1960-2024 гг. в °C.

Таблица 4.3.

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменения температуры в апреле и октябре.

изменение тем-ры за период 1960-2024 в град. С					
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	Апрель	Октябрь
80419	Barcelona	10.1	-64.7	0.6	1.3
80435	Maturin	9.8	-63.2	1.4	1.1
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0.1	-0.1
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	0.2	3.5
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	0.1	0.4
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	1.2	1.1
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.3	0
81002	Timehri	6.5	-58.3	1	0.5
81005	Kamarang	5.8	-60.5	0.8	1
81006	Lethem	3.37	-59.79	0.4	1.8
81010	Ebini	5.57	-57.78	0.3	1.8
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	0.4	1.5
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0.1	0.8
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	-0.6	0.1
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.8	1.2
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	0.5	0.6
82099	Macapa	0.1	-51.1	-	-1
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	0.7	0.9
82240	Parintins	-2.6	-56.7	0.3	0.2
82331	Manaus	-3.1	-60	0.9	1

Таблица 4.3 показывает изменения за апрель и октябрь. Станции в Гайане выделены

4.2. Анализ графиков многолетних колебаний

Прежде чем приступить к моделированию временных рядов, необходимо проанализировать графики долгосрочных наблюдений. Примеры таких графиков для 10 метеостанций по регионам приведены на рис.4.2,

рис.4.3 (апрель) и 4.4, рис.4.5 (октябрь).

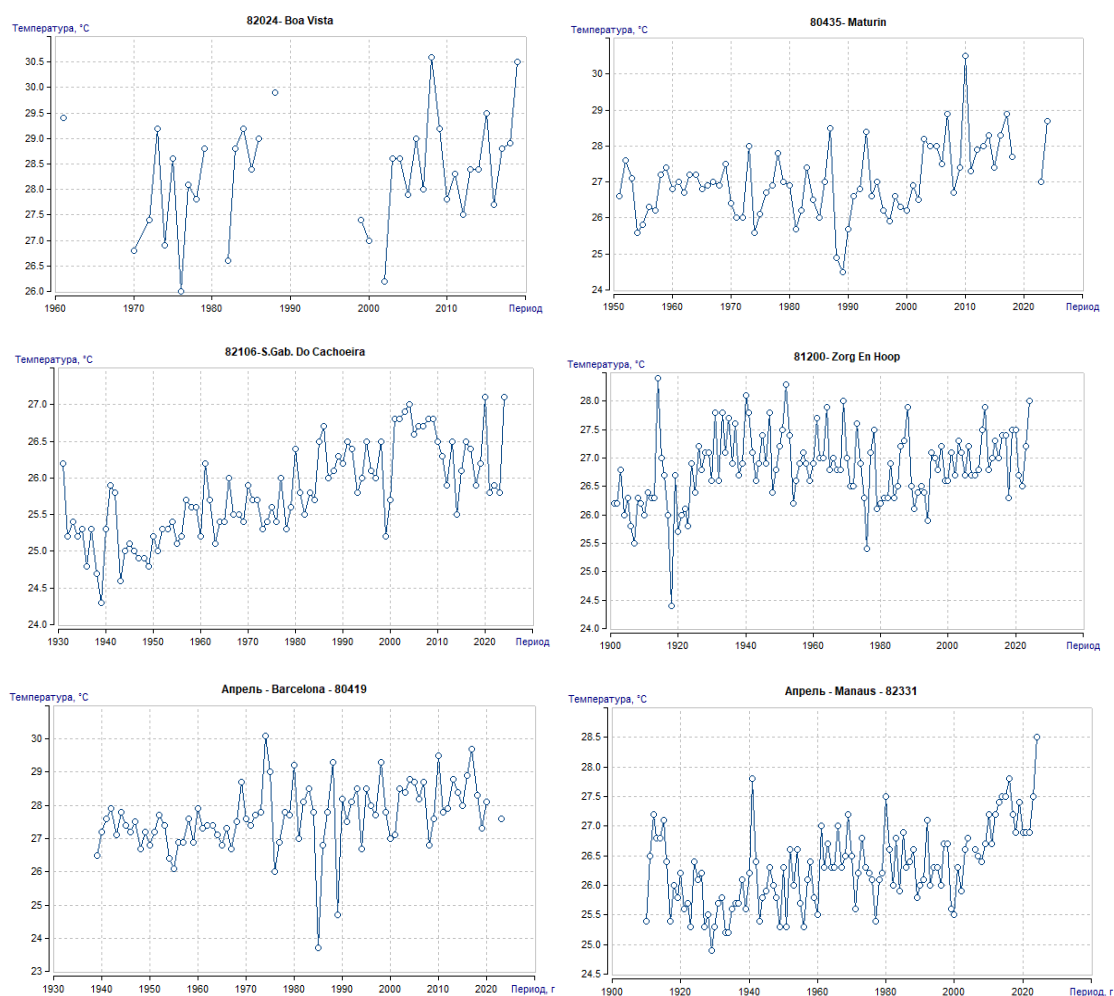


Рисунок 4.2 Многолетние серии наблюдений за средней температурой апрель на метеорологических станциях северной части Южной Америки

Графики для всех станций показывают, что на всех станциях в северных регионах наблюдается повышение температуры.

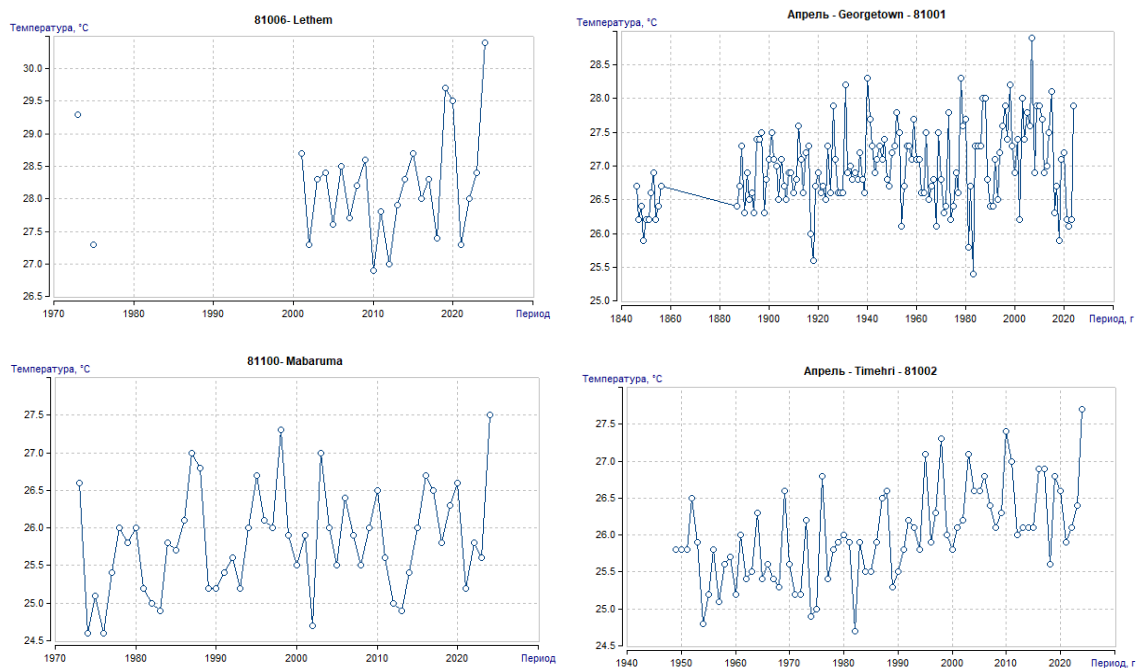


Рисунок 4.3. Многолетние серии наблюдений за средней температурой апрель на метеорологических станциях Гайаны

На рисунках 4.2 и 4.3 показано повышение температуры на всех станциях в апреле.

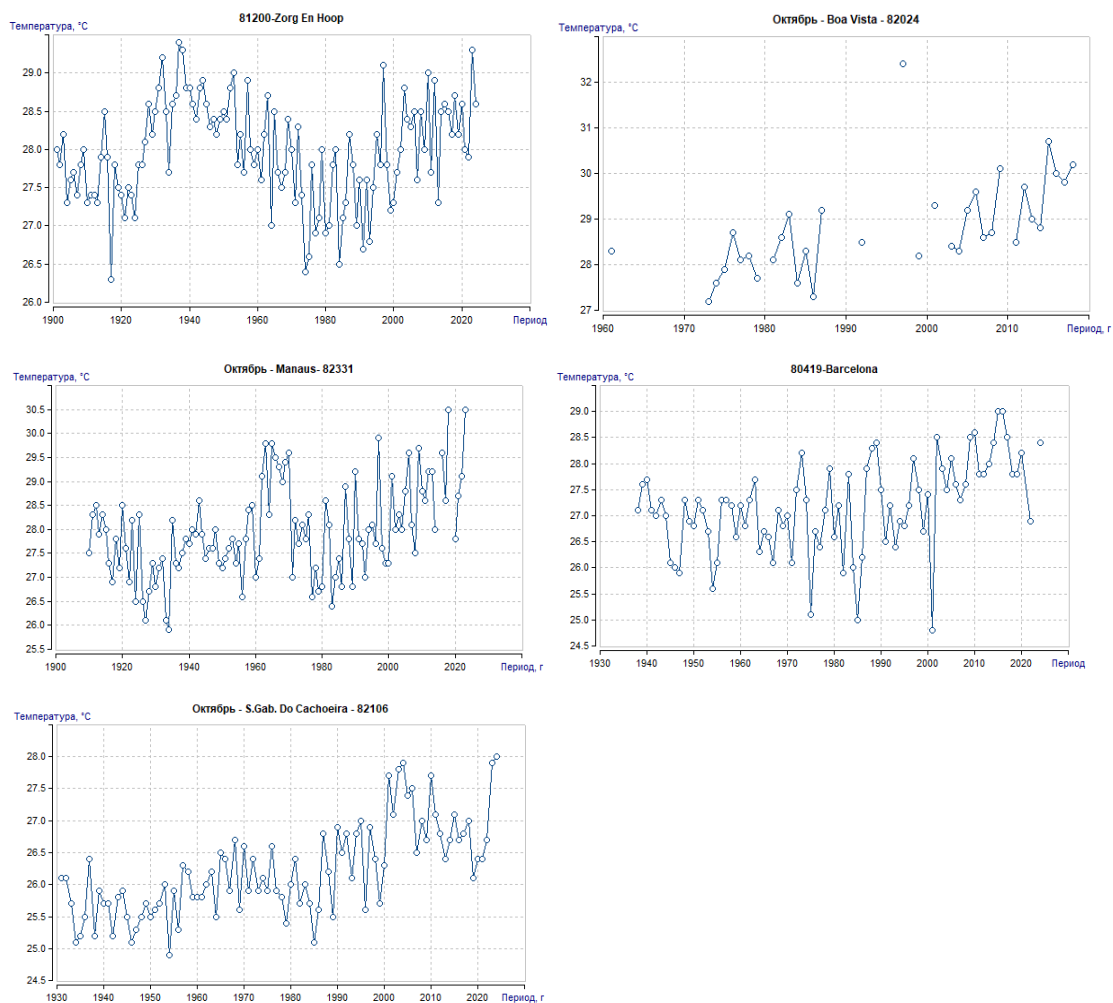


Рисунок 4.4. Многолетние серии наблюдений за средней температурой в октябре на метеорологических станциях северной части Южной Америки.

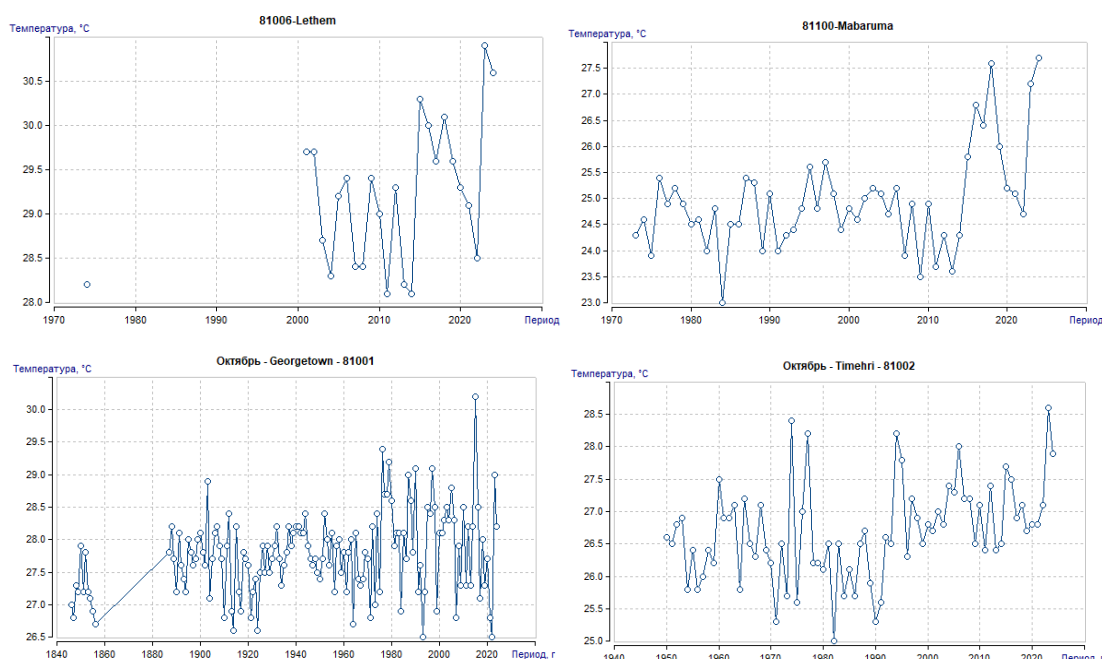


Рисунок 4.5. Многолетние серии наблюдений за средней температурой в октябре на метеорологических станциях Гайаны

На рис. 4.4 и 4.5 анализ по всем станциям показывает, что в апреле и октябре наблюдается постепенное, но резкое повышение температуры.

4.3 Моделирование многолетних рядов в пунктах

Эта часть работы связана с анализом однородности эмпирических распределений и стационарности временных рядов, восстановлением пробелов и сокращением рядов до многомерного периода года, определение расчетных климатических характеристик и их представление в географическом пространстве. Программа «Однородность» ПК «Гидрорасчеты» была использована для проведения анализа однородности и стационарности по выбранным рядам на территории. Программа «Однородность» предназначена для оценки сильно отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении по статистическим критериям Диксона и Смирновы-Граббса и однородности (стационарности) основных параметров временных рядов гидрометеорологических

характеристик: средние значения и статистические критерии Студента и Фишера.

Затем после выполнения вычислений и создания таблицы с результатами расчетов, в которой показаны: тип анализируемого экстерма (максимум или минимум); использованный критерий; рассчитанное значение статистики критериев; критическое значение статистики критерия; уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критериев; вывод об однородности или неоднородности; годы, для которых значения являются разнородными (до максимума трех лет).

Для достижения результатов были предприняты следующие шаги:

- Сбор данных - Среднемесячные ряды температурных значений для каждой станции были составлены за период 1960-2024 годов (январь, июль). Станции, имевшие недостаточные данные, были отмечены (например, $n^* < 30$ отмечены как "мало данных"). Организованные данные были сохранены в формате CSV с соответствующей колонкой.
- Тестирование однородности (Тест Диксона на аномалии) было проведено для обнаружения внезапных сдвигов (например, изменения приборов, перемещения станций). Для каждой станции тест Диксона был применен отдельно к месяцам, и были определены отклоняющие показатели. Результаты были классифицированы как "+": однородные (без отклонений) и "(+)/- [Год]" в качестве потенциальных отклонений.
- Стабильность вариации (тест Фишера) была проведена для проверки изменений в изменчивости температуры во времени. Это было сделано путем разбивки каждой серии на два равных периода (например, 1960-1992 и 1993-2024 годы) и расчета отклонений (σ^2) для обоих под периодов. Коэффициент F-Фишера ($F = \sigma^2_1 / \sigma^2_2$) был вычислен, и было проведено сравнение с критическими значениями ($\alpha = 0,05^*$), где "+": стабильная вариативность (F_1), "(+)F-значение": увеличенная вариация и "(-) F-значение": уменьшенная вариация.
- Средняя стабильность (t-тест Student) была проведена для обнаружения

изменений в долгосрочной средней температуре. Было проведено сравнение средних (μ) тех же двух под периодов, что и в тесте Фишера, а также расчет t-статистики с учетом неравных отклонений. Результаты были классифицированы как "+": стабильное среднее (без значительного смещения), "(+)t-значение": значительное потепление и "()-t-значение": значительное охлаждение.

- затем была составлена таблица, в которой были показаны все результаты и проведенный анализ.

В таблице 4.4 приведены результаты оценки однородности и стационарности многолетних температурных рядов апреле и октябре в соответствии со статистическими критериями.

Таблица 4.4

Результаты оценки однородности и стационарности многолетних рядов температур апреля и октября по статистическим критериям

Код станции	Критерии (апрель)			Критерии (октябрь)		
	Диксона	Фишера	Стьюдента	Диксона	Фишера	Стьюдента
80419	+	-	(-)2.4	+	(-)1,6	(+)3,5
80435	+	-	+	+	+	-
80444	+	+	-	+	(+)4,0	+
80453	+	-	+	+	-	+
80457	-1998min	+	+	+	+	+
80462	+	+	+	+	-	+
81001	+	-	(+)4.7	+	-	(-)2,3
81002	+	+	-	+	+	(-)1,5
81005	+	(+)3.8	+	+	(+)4,4	+
81006	+	+	+	+	+	+
81010	мало данных (n=10)			мало данных (n=10)		
81058	мало данных (n=9)			мало данных (n=9)		
81080	мало данных (n=2)			мало данных (n=20)		
81100	+	+	+	+	-	+
81200	+	(-)3,0	+	+	+	+
81202	+	(+)4,9	+	+	-	+
81225	+	+	+	+	+	+
82024	+	+	+	+	(+)4,9	(+)4,6
82099	мало данных (n=13)			мало данных (n=11)		
82106	+	+	-	+	(-)1,2	-
82240	+	мало данных (n=16)		мало данных (n=14)		
82331	+	+	-	+	(+)4,8	(-)2,0

Из анализа таблицы 3.4 было выявлено несколько ключевых закономерностей.

- Стационарные станции - примерно 40% станций показали полную стационарность. Следующие станции были стационарными в течение апреля и октября: 80453 (Тумеремо), 80462 (Санта-Елена), 81006 (Летем) (несмотря на то, что $n=27$), 81100 (Мабарума) и 81225 (Зандерий).
- в таблице показаны тенденции в таких городских районах, как Джорджтаун (81001), в которых наблюдается сильное потепление в апреле ($+4,7\sigma$), но неожиданное похолодание в октябре ($-2,3\sigma$), в то время как на станциях в Амазонии, таких как Манаус (82331), наблюдается резкое увеличение дисперсии ($+4,8\sigma$ в октябре), что, вероятно, связано с обезлесением. Прибрежные станции Венесуэлы демонстрируют особенно резкие сезонные контрасты: в Барселоне (80419) в октябре было зафиксировано потепление ($+3,5\sigma$), а в апреле похолодание ($-2,4\sigma$), что свидетельствует об изменении взаимодействия океана и атмосферы.

Затем были рассчитаны шаги для распространения краткосрочных температурных рядов на долгосрочный период и проанализированы результаты.

- Сбор данных - была проведена компиляция неполных температурных рядов за январь и июль с метеорологических станций. Были определены опорные станции с полными долгосрочными записями (N) за те же месяцы, и была подготовлена матрица данных; n = доступные годы наблюдений на целевой станции, N = полный период опорных рядов, R = коэффициенты корреляции между целевой и опорной станциями.
- Корреляционный анализ - затем были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (R) между короткими целевыми рядами (n лет) и соответствующими эталонными рядами и полными эталонными рядами

(N лет). Подтвержденная сила корреляции соответствовала минимальному порогу ($R \geq 0,85$).

Таблица 4.5

Результаты приведения непродолжительных рядов к многолетнему периоду

Код станции	апрель			октябрь		
	n	N	R	n	N	R
80444	102	105	0,95	101	106	0,90
80453	65	74	0,92-0,93	60	74	0,88
80457	63	64	0,87			
80462	70	82	0,92-0,97	69	81	0,90-0,97
81005	50	74	0,91-0,96	49	80	0,89-0,99
81006	26	82	0,92-0,98	25	53	0,88-0,96
81010	10	94	0,90-0,95	10	94	0,91-0,96
81100	52	74	0,96	52	74	0,96
82024				34	74	0,87-0,99
82099	12	26	0,94	11	83	0,88-0,91
82240	15	84	0,92	15	115	0,89-0,95
82331				112	113	0,88

В таблице 4.5 приведены результаты кратковременных наблюдений за температурой за более длительные периоды за апрель и октябрь на нескольких станциях. Такие станции, как Сьюдад-Боливар (80444) и Мабарума (81100), демонстрируют высоконадежные расширения с почти идеальными корреляциями ($R \geq 0,95$) и достаточным количеством лет наблюдений ($n > 50$), что делает их идеальными для анализа климатических тенденций. Напротив, станции с короткими записями ($n < 20$), такие, как Эбони (81010) и Макапа (82099), или с более низкой корреляцией, такие как Пуэрто-Аяучо (80457; $R = 0,87$). В апреле корреляции сильнее, чем в октябре, и это может быть связано с переходными погодными условиями. Исключение составляет станция Камаранг (81005), где наблюдаются обратные тенденции, вероятно, под влиянием сезона дождей и географии.

4.4. Обобщение показателей не стационарности по территории.

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, были представлены на графиках, а затем на

картах. Результаты в виде пространственных распределений приведены по месяцам.

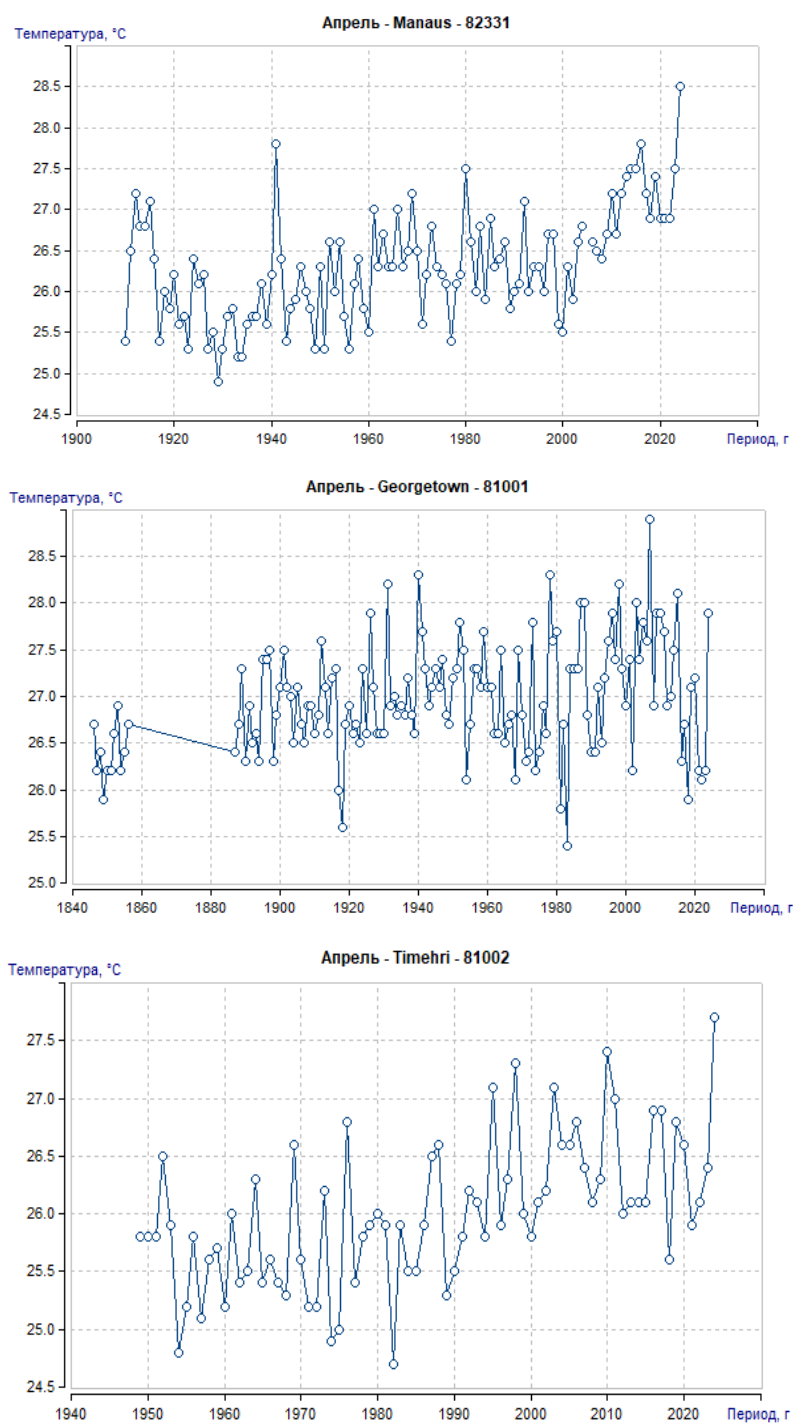


Рисунок 4.6. Графики - распределение показателей нестационарных апрельских моделей за весь период наблюдений.

На всех трех станциях, показанных на рисунке 4.6, в апреле наблюдается

тенденция к повышению температуры.

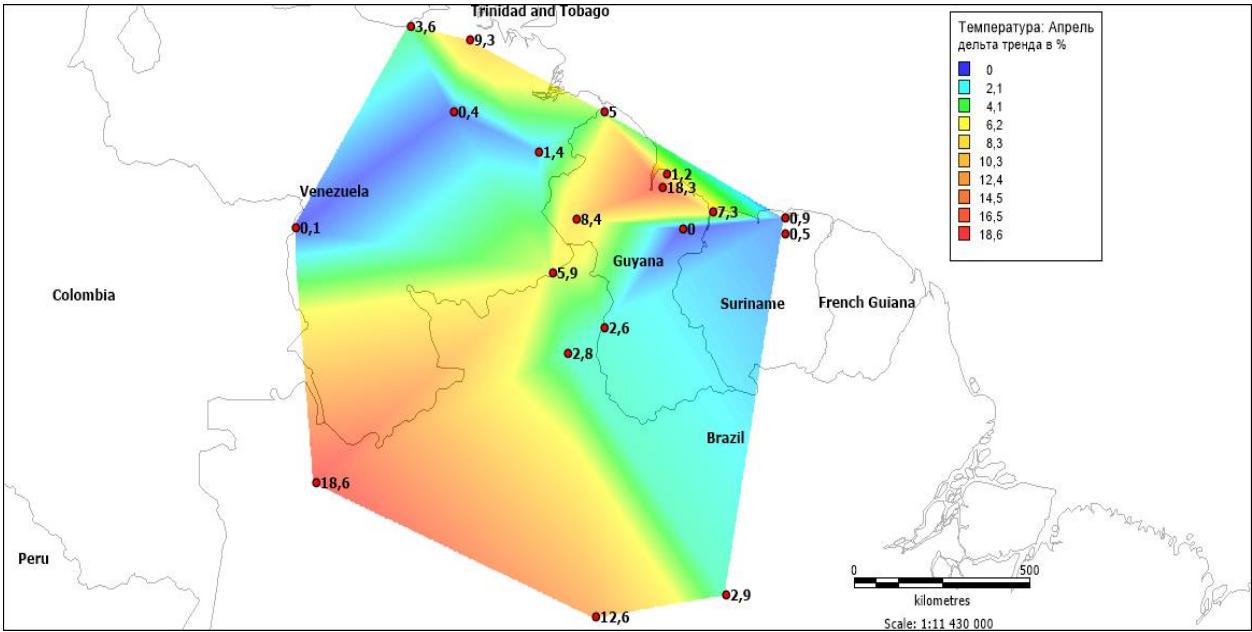


Рисунок 4.7. Распределение по территории показателей нестационарных моделей апреле Δtr в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

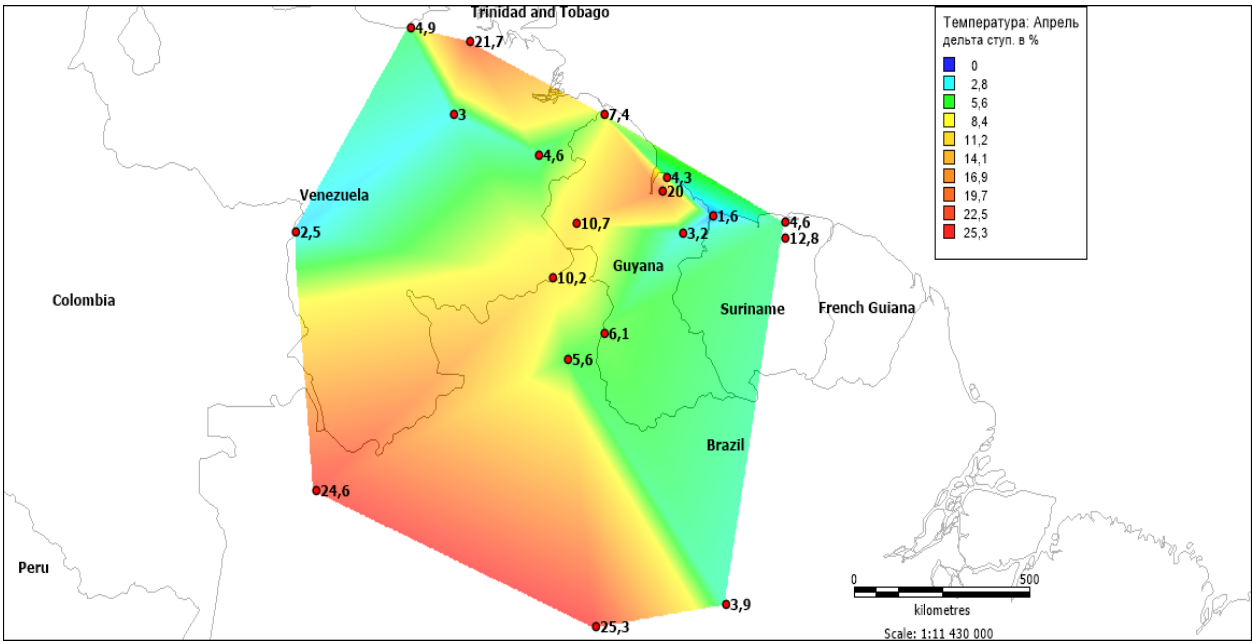


Рисунок 4.8. Распределение по территории показателей нестационарных моделей апреле $\Delta ст$ в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

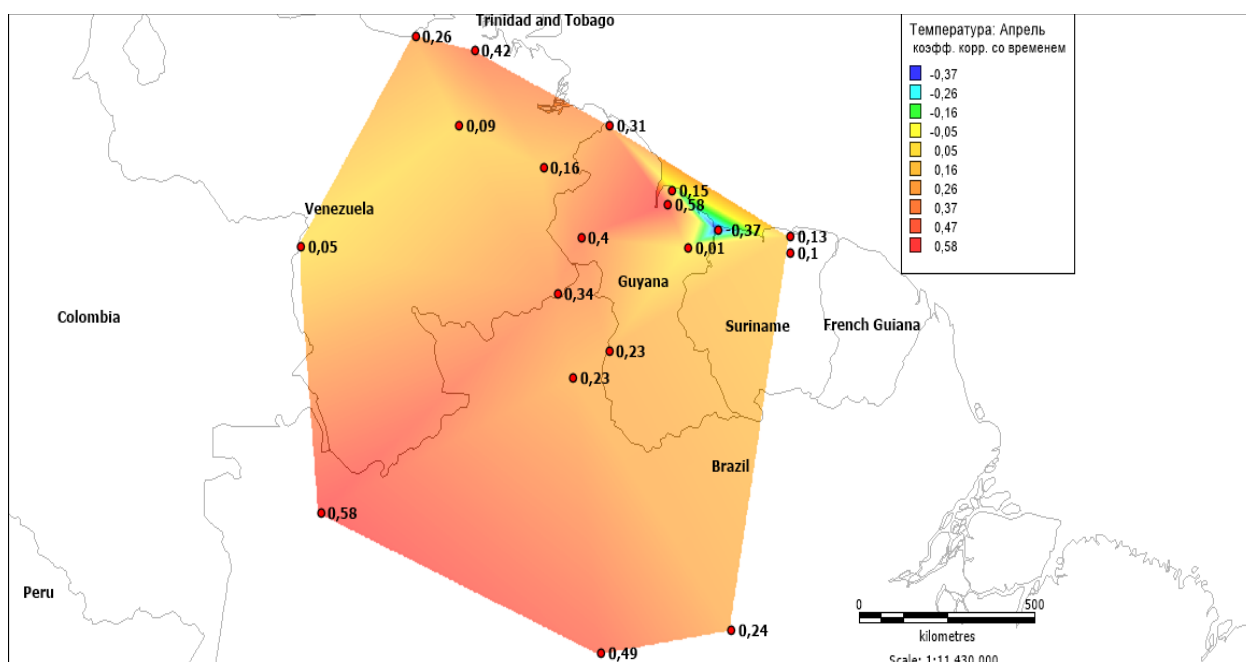


Рисунок 4.9. Распределение по территории показателей нестационарных моделей апреле коэффициент корреляции (R) за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

Анализ карт на рисунках 4.7- 4.9 показывает, что в апреле произошли изменения в Северо-восточном и юго-западном регионах, и они выделены красным цветом. Регионы, выделенные синим цветом на северо-западе и юго-востоке, демонстрируют наименьшие изменения. Коэффициент корреляции был высоким во всех регионах (красный), за исключением Северо-Восточного побережья (синий).

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, были представлены на графиках, а затем на картах. Результаты в виде пространственных распределений приведены по месяцам.

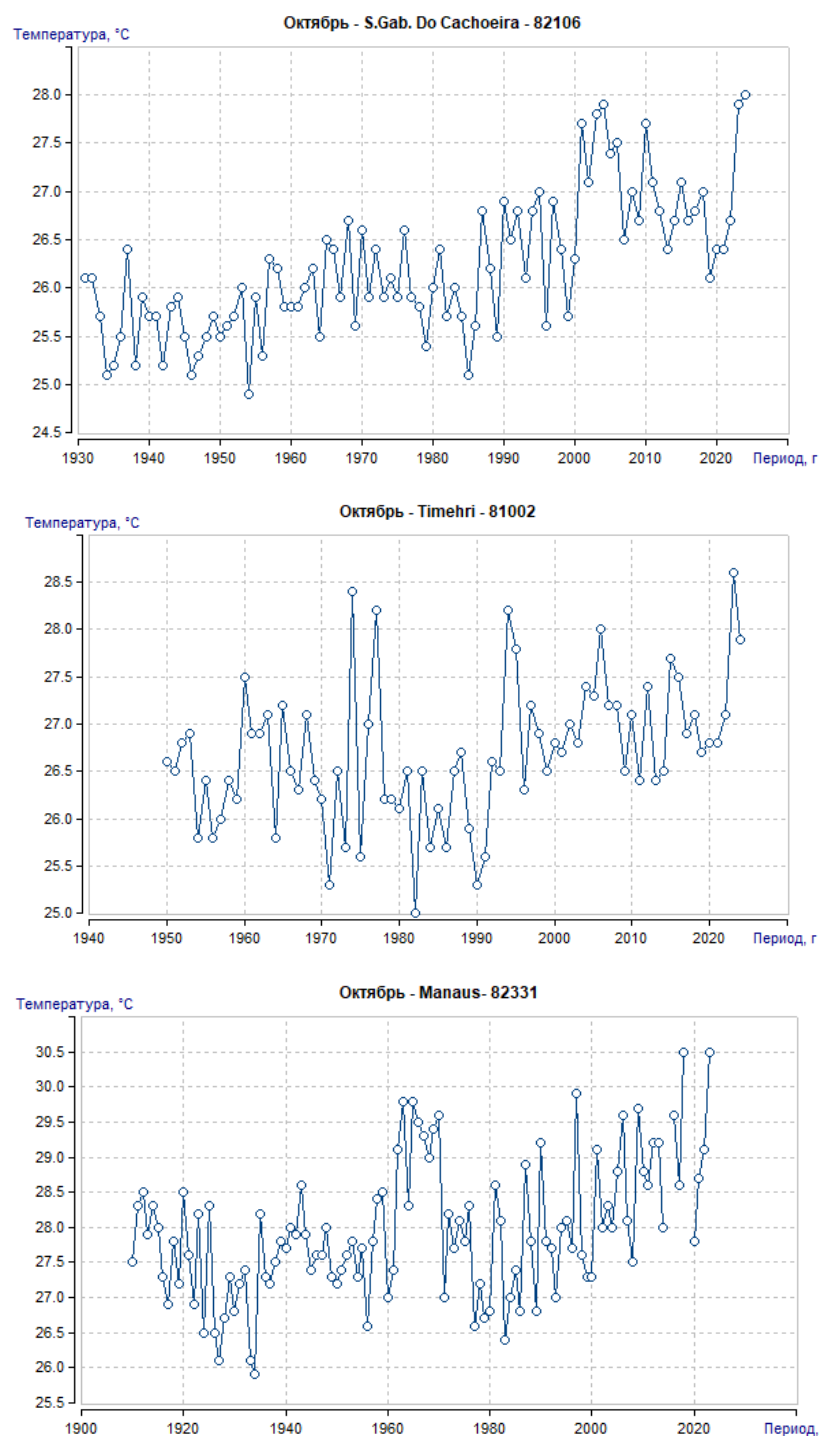


Рисунок 4.10 - Графики - распределение показателей нестационарных октябрьских моделей за весь период наблюдений.

На всех трех станциях, показанных на рисунке 4.10, в октябрь наблюдается тенденция к повышению температуры.

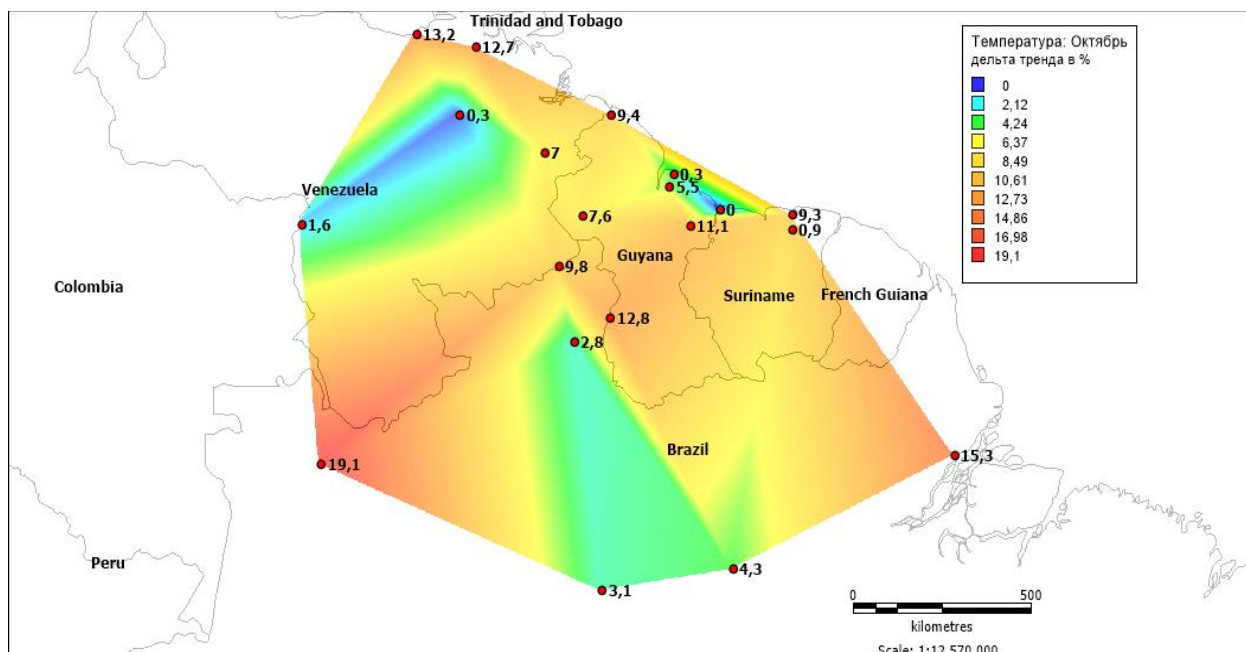


Рисунок 4.11 - Распределение по территории показателей нестационарных моделей октябрь Δtr в % по территории за весь период наблюдений (1960-2024 гг.)

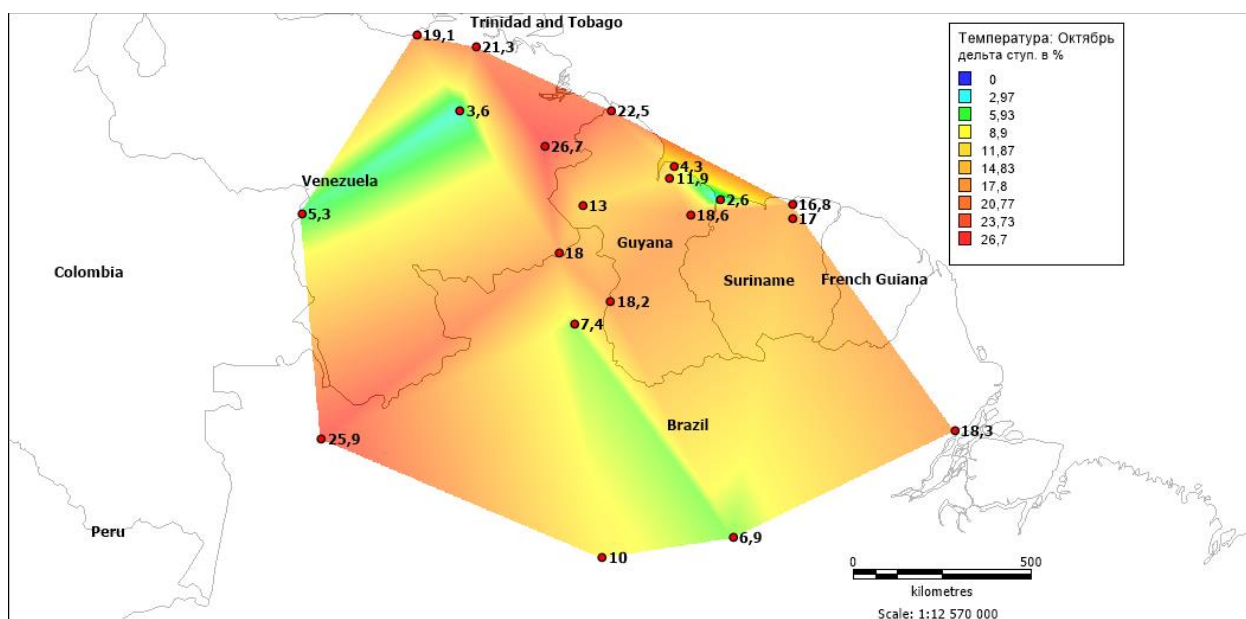


Рисунок 4.12 - Распределение по территории показателей нестационарных моделей октябрь $\Delta ст$, % за весь период наблюдений (1960-2024 гг.).

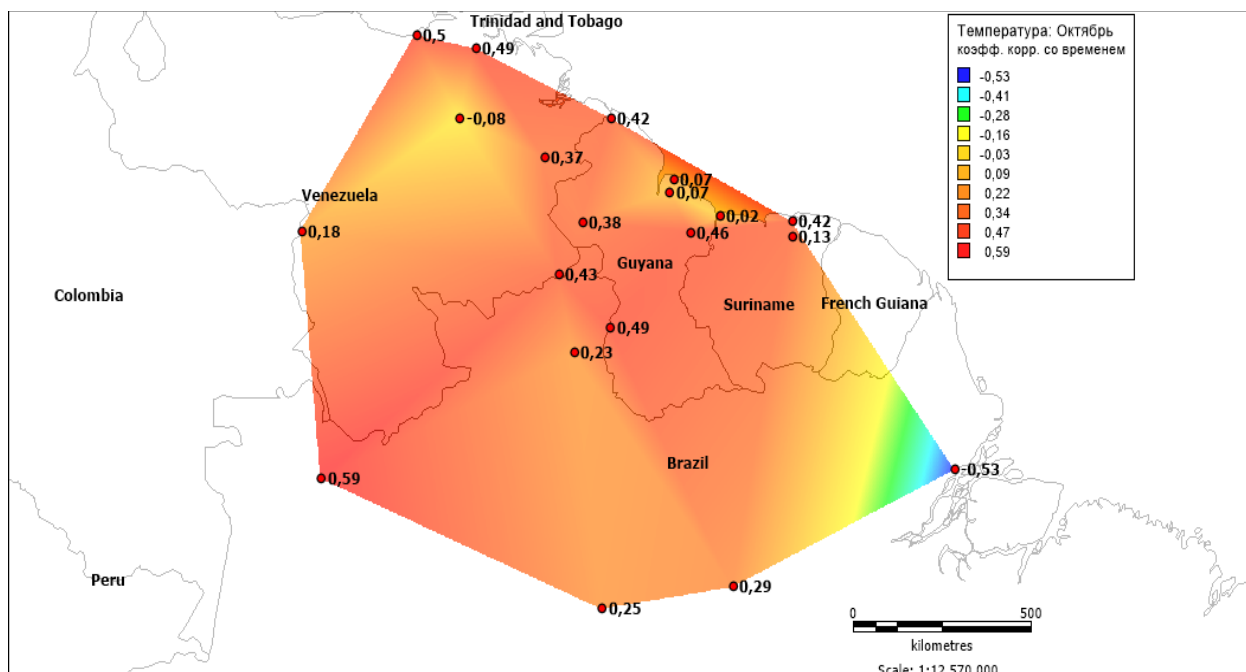


Рисунок 4.13 - Распределение по территории показателей нестационарных моделей октябрь за коэффициент корреляции (R) весь период наблюдений(1960-2024 гг.).

Анализ карт на рис. 4.11-4.13 показывает, что в октябре на северо-востоке, северо-западе и в некоторых частях центральных и южных районов произошли незначительные изменения. Все прилегающие районы претерпели изменения и выделены красным цветом. Корреляции коэффициентов были сильными во всех областях, за исключением региона на западе, который выделен синим цветом.

4.5. Количественная оценка изменения температур

Анализ изменений климата требует изучения температурных сдвигов как с помощью абсолютных, так и относительных показателей, чтобы лучше понять их последствия. В этой части главы изменения температуры были рассчитаны в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) и среднеквадратичное отклонение (СКО) (σ). Изменения, рассчитанные в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), обеспечивают осязаемый и реальный контекст, который связывает изменения температуры с

физическими воздействиями; нарушения экосистем, последствия для сельского хозяйства и риски для здоровья человека. Колебания температуры существенно различаются в разных регионах, что делает стандартные отклонения (σ) важным дополнительным показателем. Стандартные отклонения нормализуют изменения относительно местных климатических условий, отличая ожидаемые колебания от статистически значимых аномалий. Температурная изменчивость существенно отличается в разных регионах, что делает стандартные отклонения (σ) важным дополнительным показателем. Стандартные отклонения нормализуют изменения, связанные с местными климатическими условиями, и позволяют отличить ожидаемые колебания от статистически значимых аномалий. В совокупности эти показатели позволяют проводить полное и комплексное исследование температурных тенденций.

Пространственные закономерности этих изменений были затем нанесены на карты и показаны на рис. 4.14-4.18

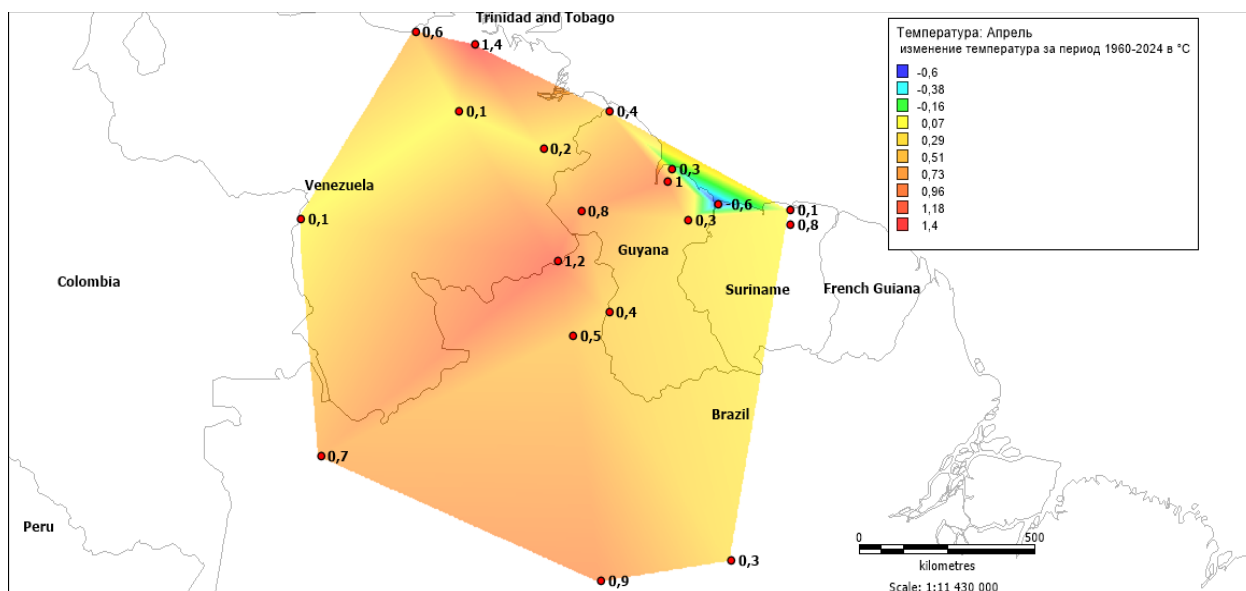


Рисунок 4.14. Апрель - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в град. С

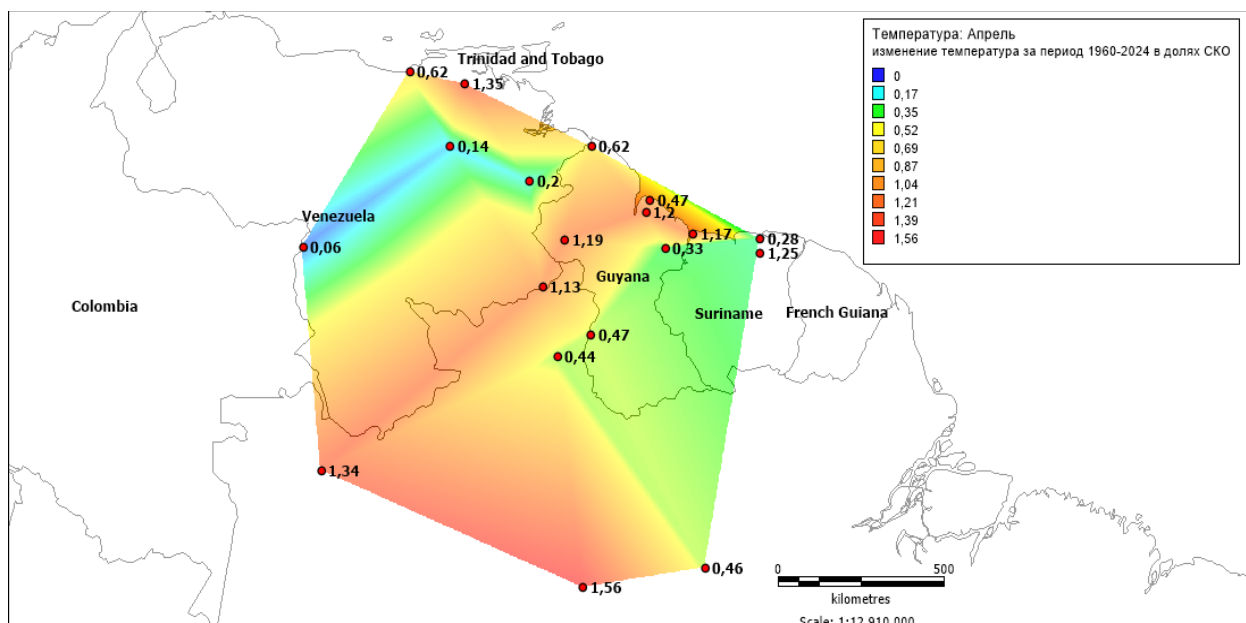


Рисунок 4.15. Апрель - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО

Анализ карт на рис. 4.14 и 4.15 показывает, что в течение месяца Апрель наблюдались изменения температуры (град. С) в центральном регионе, выделенном красным цветом. Наименьшие изменения были на северо-восточном побережье, выделенном синим цветом. Температурные изменения в долях СКО были заметны в центральном регионе, а наименьшие изменения были отмечены в юго-восточном и северо-западном регионах, выделенных синим цветом.

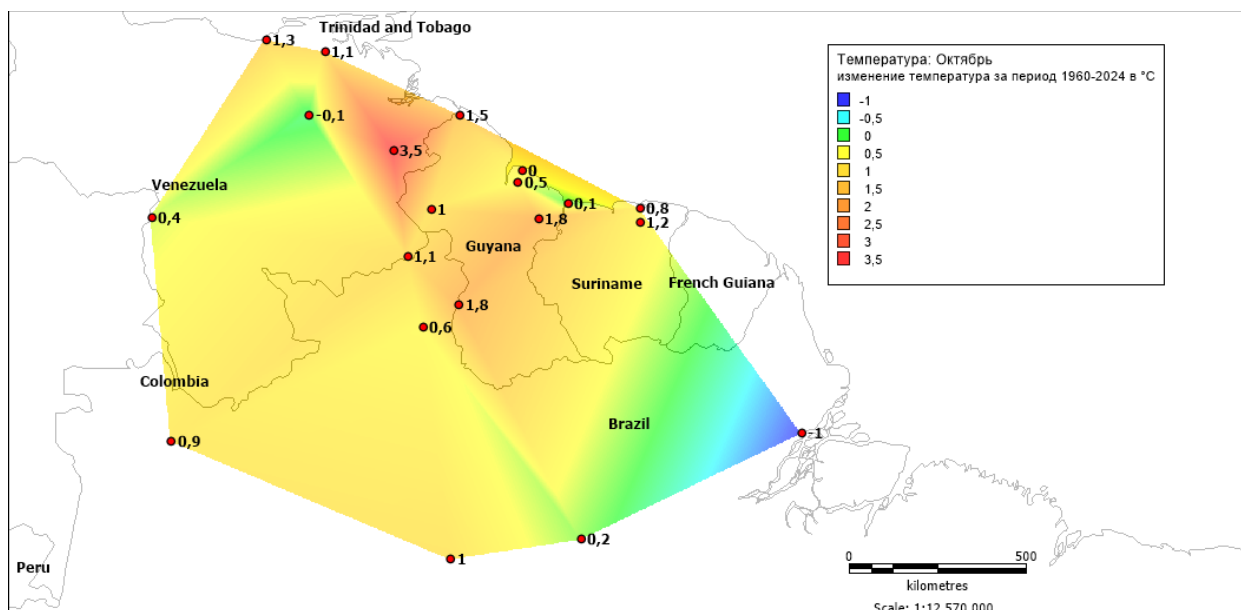


Рисунок 4.16. Октябрь - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в град. С

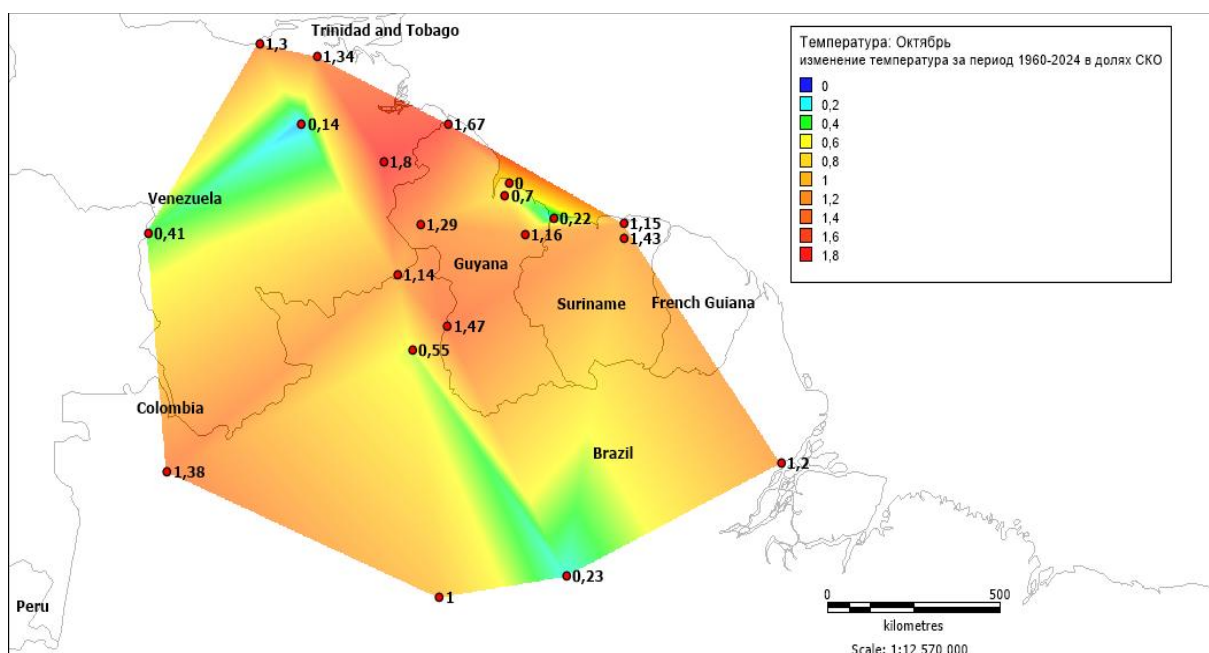


Рисунок 4.17. Октябрь - распределение показателей изменения температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО

Из анализа рис. 4.16–4.17, самые высокие переменные изменений выделены красным цветом, а наименьшие изменения можно увидеть выделенными синим цветом для апреля и октября. Для апреля можно увидеть, что наблюдалось повышение температуры (°C) в центральных регионах. Для СКО, рис. 4.17, и наименьшие изменения были в северо-западных и юго-

восточных регионах. Апрель знаменует собой переход от влажных условий к сухим во многих тропических регионах. Уменьшение облачности позволяет большему количеству солнечной радиации достигать поверхности, повышая температуру. Для октября в регионе Ориноко наблюдаются наибольшие изменения, в то время как наименьшие изменения ($^{\circ}\text{C}$) были обнаружены на западе. На рис. 4,9 можно увидеть, что температуры были высокими в центральных регионах.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ЯНВАРЕ И ИЮЛЕ

5.1 Пространственные климатические закономерности

Северная часть Южной Америки характеризуется тропическим муссонным климатом, который характеризуется четко выраженными влажными и сухими сезонами.

Сезон дождей приносит обильные осадки из-за зоны межтропической конвергенции (ITCZ) и притока влаги из Атлантики, причем пик осадков приходится на июнь вдоль побережья Гайаны и Суринама и на июль по всему бассейну Амазонки. В сухой сезон, напротив, выпадает значительно меньше осадков, особенно в прибрежных районах Венесуэлы и в саваннах Рупунуни в Гайане. В прибрежных районах Венесуэлы выпадает от 800 до 1200 мм осадков в год, но количество осадков сократилось, что можно объяснить ослаблением пассатов. Между тем, на побережье Гайаны количество осадков составляет примерно 2000-3000 мм в год, и оно стало более влажным, а частые ливни высокой интенсивности увеличивают риск наводнений, как это было во время наводнения в Джорджтауне и Суринаме в 2021 году. В бассейне Амазонки, который и без того является одним из самых влажных регионов (2500-4000 мм осадков в год), в июле выпало больше осадков, что сопровождалось такими экстремальными явлениями, как рекордное наводнение в Манаусе в 2022 году. И наоборот, саванна Рупунуни столкнулась с более засушливыми условиями, с сокращением годового количества осадков на 8% и более неустойчивыми сезонами дождей.

Эти наблюдаемые тенденции выпадения осадков свидетельствуют о сдвигах в сроках наступления муссонов и более поздних сезонах дождей в районах Гайаны и Венесуэлы, но более ранних сезонах засухи в северной Бразилии. Эти изменения в количестве осадков обусловлены природными факторами, такими как атлантическая многодекадная осцилляция (АМО), и ключевую роль в этом играют ENSO: теплые фазы АМО увеличивают

количество осадков в Гайане и Суринаме, в то время как Эль-Ниньо усиливает засуху в прибрежных районах Венесуэлы и северной Бразилии, а также антропогенными факторами, такими как вырубка лесов в Амазонии и плохо спланированная урбанизация.

Рассчитанные значения многолетнего среднего количества осадков в январе приведены в табл.5.1, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы, трендовой дельты в %, ступенчатой дельты в %, коэффициентов корреляции во времени, изменение температуры за период 1960-2024 годов в градусах. С - изменение температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО.

Таблица 5.1.

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменение количества осадков в январе

Осадки - январь								
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	дельта тренда в %	дельта ступ. в %	коэфф. корр. со временем	изменение тем-ры за период 1960-2024 в мм	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО
80419	Barcelona	10.1	-64.7	0.2	2	-0.07	-6.6	0.14
80435	Maturin	9.8	-63.2	0.5	2.2	0.1	15.5	0.81
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	0.1	2.2	0.04	3.1	0.86
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	0.1	1.3	-0.05	-8.7	0.15
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	1.3	4.3	-0.16	-18.8	0.31
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	0.8	2.8	0.13	32.3	0.06
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.2	2.9	0.06	41	0.47
81002	Timehri	6.5	-58.3	0	3.5	0.03	39.3	0.09
81005	Kamarang	5.8	-60.5	21.7	2.5	0.62	85.7	0.27
81006	Lethem	3.37	-59.79	6.8	6.7	-0.36	-183.6	0.45
81080	Kaeteur Falls	5.18	-59.48	0	0.1	-0.02	-9.5	0.06
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	0	1.4	0.01	-60.3	0.25
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0	1.5	0	-34.8	0.19
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	1.1	3.1	-0.15	-25.2	0.15
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.4	3.2	-0.08	-29.9	0.18
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	0.4	1.3	-0.09	-7.4	0.36
82099	Macapa	0.1	-51.1	1.8	3	-0.19	-84.5	0.34
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	0	0.8	0.01	5.4	0.38
82240	Parintins	-2.6	-56.7	0.8	1.8	0.13	66	0.35
82331	Manaus	-3.1	-60	0	2	-0.02	-6.8	0.18

Рассчитанные значения многолетнего среднего количества осадков в июле приведены в табл.5.2, которая также содержит названия станций, их код ВМО и координаты станций в виде широты, долготы, трендовый дельты в %, ступенчатой дельты в %, коэффициентов корреляции во времени, изменение температуры за период 1960-2024 годов в градусах. С - изменение температуры за период 1960-2024 гг. в долях СКО.

Таблица 5.2.

Названия и коды метеостанций, их широта, долгота и изменение количества осадков в июле

Осадки - Июль								
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	дельта тренда в %	дельта ступ. в %	коэфф. корр. со временем	изменение тем-ры за период 1960-2024 в мм	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО
80419	Barcelona	10.1	-64.7	1.9	3.4	-0.19	-41	0.42
80435	Maturin	9.8	-63.2	2.4	3.5	-0.22	-56	0.64
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	7.7	10.9	-0.39	-113.3	1.03
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	3.8	7.3	-0.27	-60.8	0.97
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	1.7	2.3	-0.18	-80.4	0.63
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	2.3	5.6	0.21	71.9	0.38
81001	Georgetown	6.8	-58.2	0.3	1.7	-0.08	-26.4	0.09
81002	Timehri	6.5	-58.3	1.8	2.2	-0.19	0	0.04
81005	Kamarang	5.8	-60.5	7.1	8	-0.37	-191.3	0.48
81006	Lethem	3.37	-59.79	5.5	9.1	-0.33	-148.7	0.9
81080	Kaieteur Falls	5.18	-59.48	3.9	0.7	-0.28	-114	0.27
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	0.1	3.2	0.04	19.1	0.35
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	0.5	9.8	0.1	30.7	0.7
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	1.5	3.5	-0.18	-58.8	0.47
81225	Zanderij	5.47	-55.2	0.1	1.2	0.03	9.7	0.1
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	2.4	5.5	-0.22	-86.3	0.5
82099	Macapa	0.1	-51.1	1.1	2.9	-0.15	-37.8	0.08
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	1.6	3.8	-0.18	-53.2	0.92
82240	Parintins	-2.6	-56.7	0.3	6.9	0.07	17.8	0.66
82331	Manaus	-3.1	-60	0.1	2	-0.1	30.7	0.7

Анализ рисунков 5.1 и 5.2 показывает изменения количества осадков по всему региону. Можно видеть, что наблюдался сильный сезонный контраст для станций: Джорджтаун (81001), который значительно прогрелся в январе (+41) и остыл в июле (-26,4). В Камаранге (81005) в июле наблюдалось резкое похолодание (-191,3), что стало самым большим падением в наборе

данных. Региональные особенности в прибрежных регионах показали смешанные тенденции с некоторым похолоданием (Барселона, Матурин), а в бассейне Амазонки в июле наблюдалось потепление в Манаусе (+30,7), что контрастирует с похолоданием в близлежащем Паринтине (-86,3). В Летеме (81006) наблюдалось резкое похолодание как в январе (-183,6), так и в июле (-148,7), а в Санта-Елене (80462) в июле наблюдалось необычное потепление (+71,9).

При стандартном выводе статистически значимые изменения ($|\sigma| > 0,8$) наблюдались в нескольких местах. Сьюдад-Боливар (80444) демонстрирует значительное похолодание в июле (-113,3, 1,03 σ), в то время как Тумеремо (80453) приближается к этому показателю с июльским похолоданием (-60,8, 0,97 σ). Изменения были менее заметными, если рассматривать их с точки зрения местных климатических изменений - июльское потепление в Санта-Елене (80462) +71,9°С составляет всего 0,38°С, а январское потепление в Джорджтауне (81001) +41°С составляет всего 0,47°С, что соответствует ожидаемым естественным колебаниям. Данные также указывают на регионы с высокой изменчивостью, такие как Летем (81006), где резкие абсолютные изменения (-183,6 в январе) соответствуют сдвигам на 0,9 σ , что подтверждает действительно экстремальные местные климатические отклонения.

5.2. Анализ графиков многолетних колебаний

Прежде чем приступить к моделированию временных рядов, необходимо проанализировать графики долгосрочных наблюдений. Примеры таких графиков для 5 метеостанций по регионам приведены на рис.5.1 и 5.2.

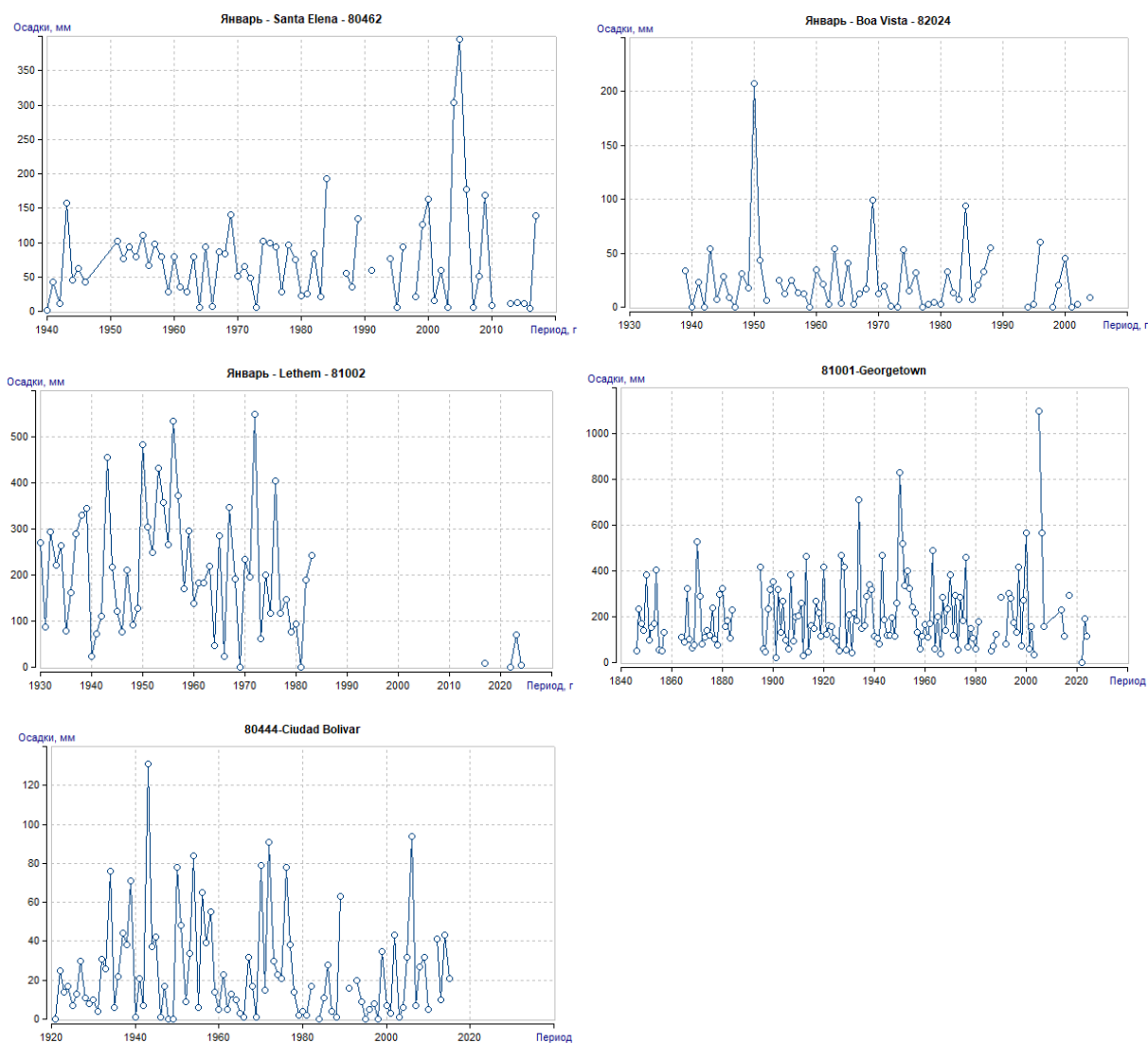


Рисунок 5.1. Многолетние серии наблюдений за средней температурой января на метеорологических станциях

Анализ графиков на рис. 5.1 показывает, что существенных изменений в тенденциях выпадения осадков не произошло, но видно, что их интенсивность увеличивается.

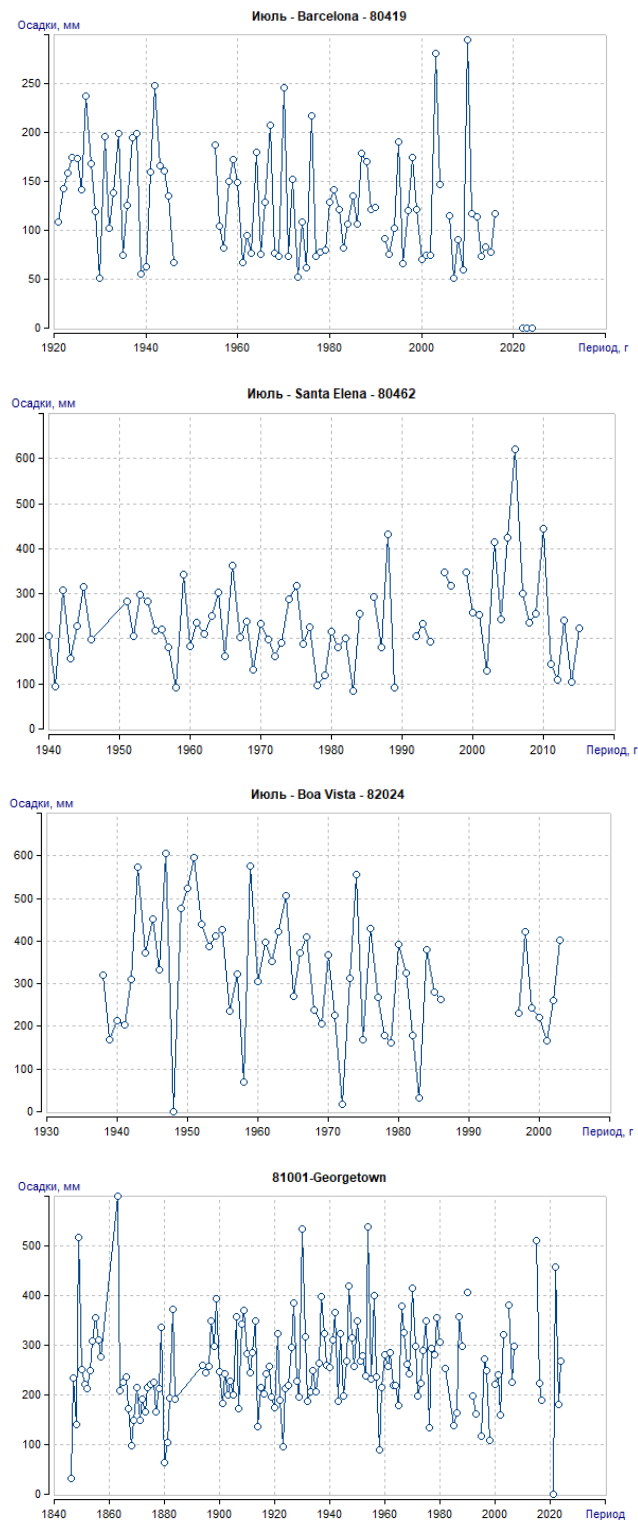


Рисунок 5.2. Многолетняя серия наблюдений за средней температурой июля на метеорологических станциях

Анализ графиков на рис. 5.2 показывает, что существенных изменений в тенденциях выпадения осадков не произошло, но видно, что их интенсивность увеличивается.

5.3 Моделирование многолетних рядов в пунктах

Эта часть работы связана с анализом однородности эмпирических распределений и стационарности временных рядов, восстановлением пробелов и сокращением рядов до многомерного периода года, определение расчетных климатических характеристик и их представление в географическом пространстве. Программа «Однородность» ПК «Гидрорасчеты» была использована для проведения анализа однородности и стационарности по выбранным рядам на территории. Программа «Однородность» предназначена для оценки сильно отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении по статистическим критериям Диксона и Смирновы-Граббса, и однородности (стационарности) основных параметров временных рядов гидрометеорологических характеристик: средние значения и статистические критерии Студента и Фишера.

Затем после выполнения вычислений и создания таблицы с результатами расчетов, в которой показаны: тип анализируемого экстремала (максимум или минимум); использованный критерий; рассчитанное значение статистики критериев; критическое значение статистики критерия; уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критериев; вывод об однородности или неоднородности; годы, для которых значения являются разнородными (до максимума трех лет).

Для достижения результатов были предприняты следующие шаги:

- Сбор данных - ряды среднемесячных осадков для каждой станции были составлены за период 1960-2024 гг. (январь, июль). Станции с недостаточными данными были помечены (например, *n* < 30 отмечены как «слишком мало данных»). Организованные данные были сохранены в формате CSV с соответствующим столбцом.
- Проверка однородности (тест аномалии Диксона) была проведена для

обнаружения внезапных сдвигов (например, смена приборов, перемещение станции). Для каждой станции тест Диксона применялся отдельно к месяцам, и были определены выбросы. Результаты были классифицированы как «+»: однородные (без выбросов) и «(+)/- [Год]» как потенциальные выбросы.

- Проверка стабильности вариации (точный тест Фишера) была проведена для проверки изменений в изменчивости осадков с течением времени. Это было сделано путем разделения каждой серии на два равных периода (например, 1960-1992 и 1993-2024) и расчета выбросов (σ^2) для обоих подпериодов. Коэффициент Фишера F ($F = \sigma^2_1 / \sigma^2_2$) был рассчитан и сравнен с критическими значениями ($\alpha = 0,05$), где «+»: стабильная изменчивость ($F < 1$), «(+) F -значение»: повышенная изменчивость и «(-) F -значение»: пониженная изменчивость.
- Средняя стабильность (t-критерий Стьюдента) была выполнена для обнаружения изменений в долгосрочной средней температуре. Средние значения (μ) тех же двух подпериодов, что и в тесте Фишера, были сравнены, и t-статистика была рассчитана с учетом неравных дисперсий. Результаты были классифицированы как «+»: стабильное среднее (без существенного сдвига), «(+) t -value»: значительное потепление и «(-) t -value»: значительное похолодание.
- Затем была составлена таблица, показывающая все результаты и выполненный анализ.

В таблице 5.3 приведены результаты оценки однородности и стационарности многолетних рядов осадков в январе и июле в соответствии со статистическими критериями.

Таблица 5.3

Результаты оценки однородности и стационарности многолетних рядов
осадков января и июля по статистическим критериям

Код станции	Критерии (январь)			Критерии (июль)		
	Диксона	Фишера	Стьюдента	Диксона	Фишера	Стьюдента
80419	(-)1,2	-	+	+	+	(+)3.1
80435	+	+	+	+	+	+
80444	+	+	+	+	+	+
80453	+	+	+	+	+	+
80457	+	+	+	+	+	+
80462	(+)4,9	-	+	(+)4,5	-	+
81001	+	-	+	+	+	+
81002	(-)4,7	(-)1,3	+	+	+	+
81005	+	(+)3,5	+	+	+	(-)2,6
81006	+	+	(+)4,4	+	+	+
81010	мало данных (n=1)			мало данных (n=10)		
81058	мало данных (n=4)			мало данных (n=9)		
81080	+	+	+			
81100	+	+	+	+	+	+
81200	+	+	+	+	+	+
81202	+	+	+	+	+	+
81225	+	+	+	+	+	+
82024	(+)4,9	(+)4,4	+	+	+	(-)2,5
82099	+	+	+	+	+	+
82106	+	+	+	+	+	+
82240	+	+	+	(-)2,1	+	+
82331	+	+	+	+	+	+

Анализ таблицы на рис. 5.3 позволяет оценить однородность и постоянство многолетних данных об осадках за январь и июль на севере Южной Америки с использованием трех статистических тестов: критерия Диксона (выбросы), критерия Фишера (стабильность дисперсии) и t-критерия Стьюдента (стабильность среднего значения). Большинство станций были полностью однородными и стационарными как в январе, так и в июле, что указывает на постоянный характер выпадения осадков в регионе. Станциями, которые в январе демонстрировали заметную нестационарность, были Камаранг (81005), Санта-Элена (80462) и Боа-Виста (82024). Похолодание наблюдается в Тимехри (81002). В июле в Барселоне (80419) наблюдается тенденция к потеплению, а в Камаранге (81005) и Боа-Виста (82024) - к

похолоданию.

Затем были рассчитаны шаги для расширения краткосрочного ряда осадков до долгосрочного периода и проанализированы результаты.

- Сбор данных - были составлены неполные ряды осадков за январь и июль с метеорологических станций. Были определены опорные станции с полными многолетними записями (N) за те же месяцы и подготовлена матрица данных; n = доступные годы наблюдений на целевой станции, N = полный период опорного ряда, R = коэффициенты корреляции между целевой и опорной станциями.
- Корреляционный анализ - затем были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (R) между коротким целевым рядом (n лет) и соответствующим опорным рядом и полным опорным рядом (N лет). Подтвержденная сила корреляции соответствовала минимальному пороговому значению ($R \geq 0,85$).

Таблица 5.4

Результаты приведения непродолжительных рядов к многолетнему периоду

Код станции	январь			июль		
	n	N	R	n	N	R
80453	70	72	0,88			
80457				58	62	0,89
81001	145	158	0,88-0,93			
81002	57	159	0,88-0,95	55	61	0,87
81005				33	51	0,87
81006	58	68	0,90			
81100	57	88	0,85-0,90			
81200	42	87	0,86-0,91	45	52	0,92

Анализ таблицы 5.4 показывает, что для большинства станций, как правило, существуют сильные корреляции ($R > 0,85$), что указывает на надежный потенциал реконструкции. Станции с наиболее сильными корреляциями были 81002 (Тимехри), 81006 (Летем), 81200 (Зорг-эн-Хооп) и умеренными корреляциями на станциях 81100 (Мабарума) и 81200 (Зорг-эн-

Хооп).

5.4 Обобщение показателей не стационарности по территории.

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, были представлены на графиках, а затем на картах. Результаты в виде пространственных распределений приведены по месяцам.

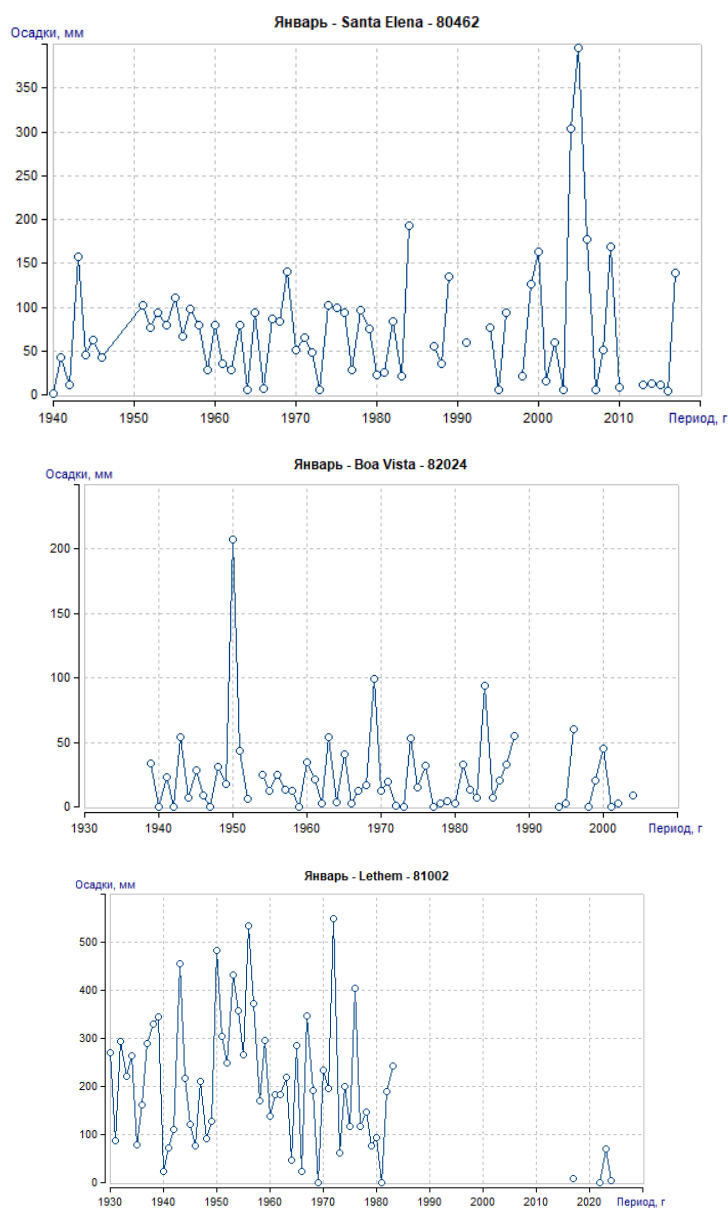


Рисунок 5.1. Графики - распределение показателей нестационарных январских моделей за весь период наблюдений.

Анализ рисунка 5.1 показывает, что существенных тенденций выпадения осадков нет, но они бывают спорадической интенсивности.

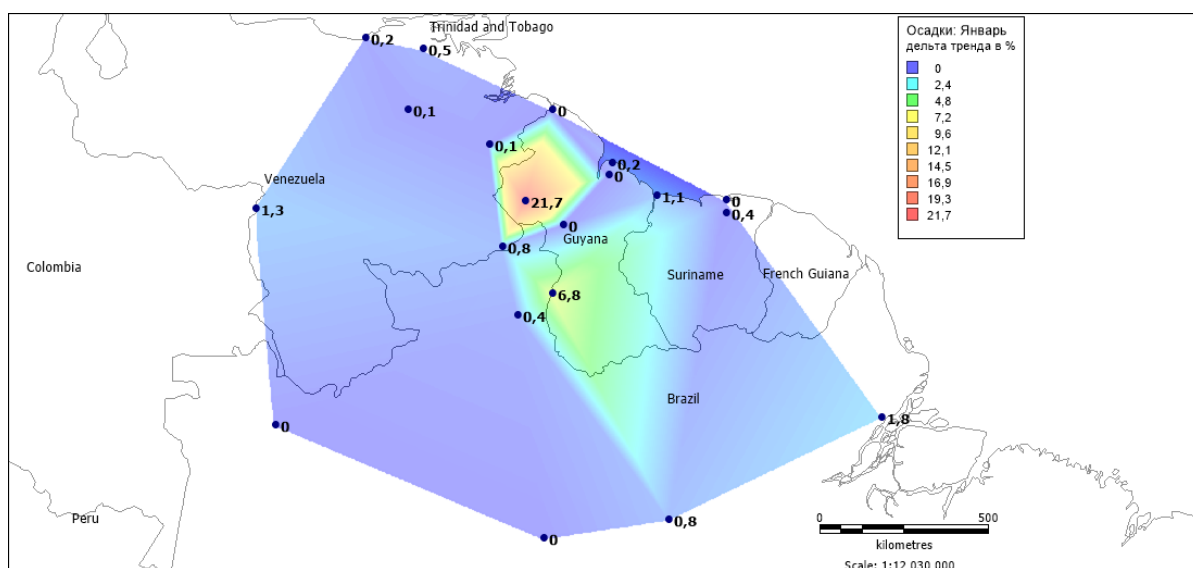


Рисунок 5.3. Распределение по территории показателей нестационарных моделей января Δtr , % за весь период наблюдений.

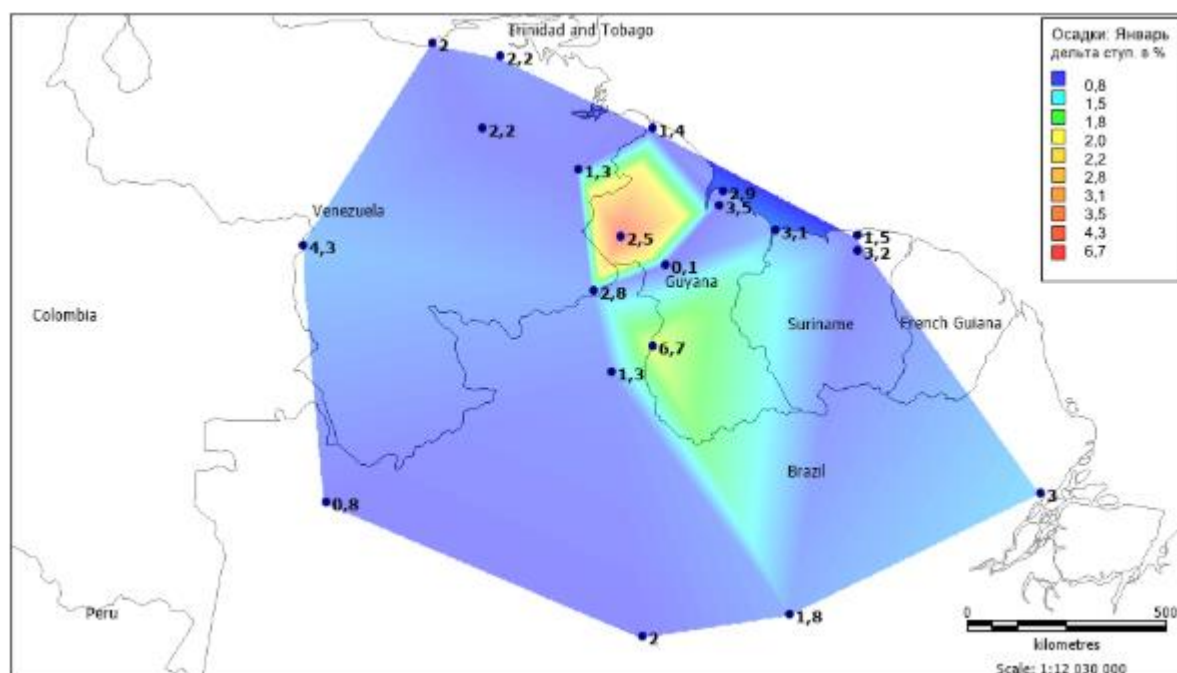


Рисунок 5.4. Распределение по территории показателей нестационарных моделей января Δst , % за весь период наблюдений.

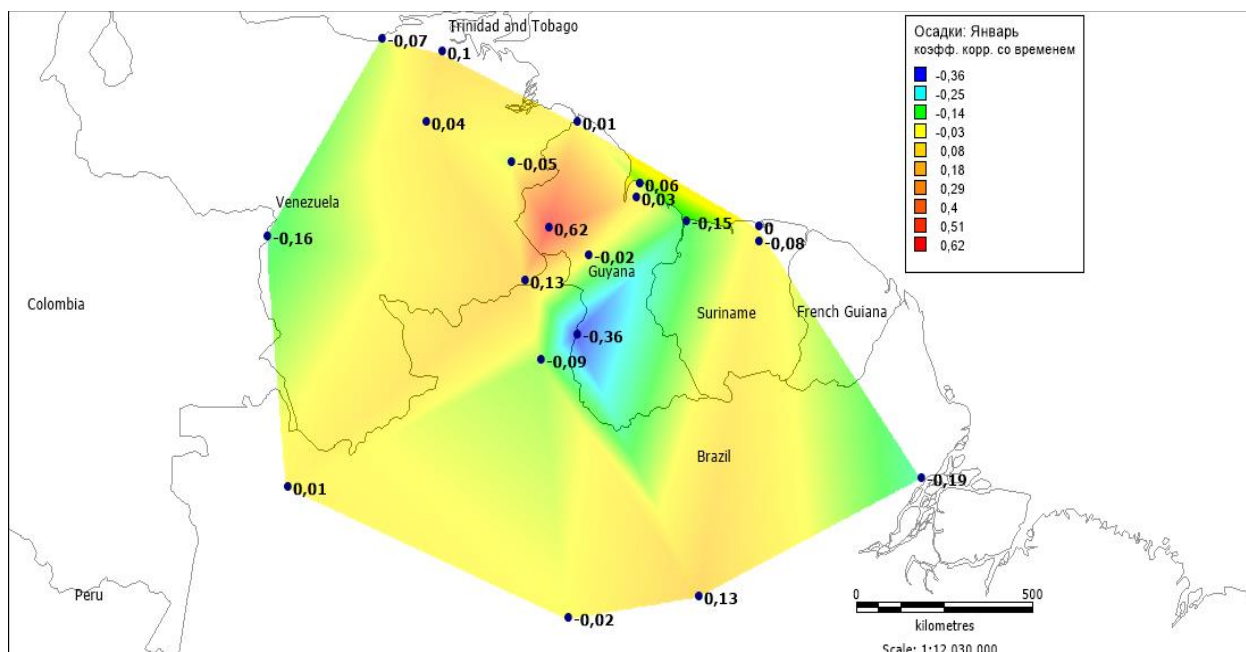


Рисунок 5.5. Распределение по территории показателей нестационарных моделей января з коэффициент корреляции (R) а весь период наблюдение

Анализ карт на рис. 5.3-5.5 показывает, что изменения произошли в центральных регионах, и они выделены красным цветом, а наименьшие изменения произошли в регионах, выделенных синим цветом. Корреляция коэффициентов наиболее выражена на Гайанском щите и наиболее слабая в саваннах.

Показатели эффективности нестационарных моделей, полученные в предыдущем исследовании, были представлены на графиках, а затем на картах. Результаты в виде пространственных распределений приведены по месяцам

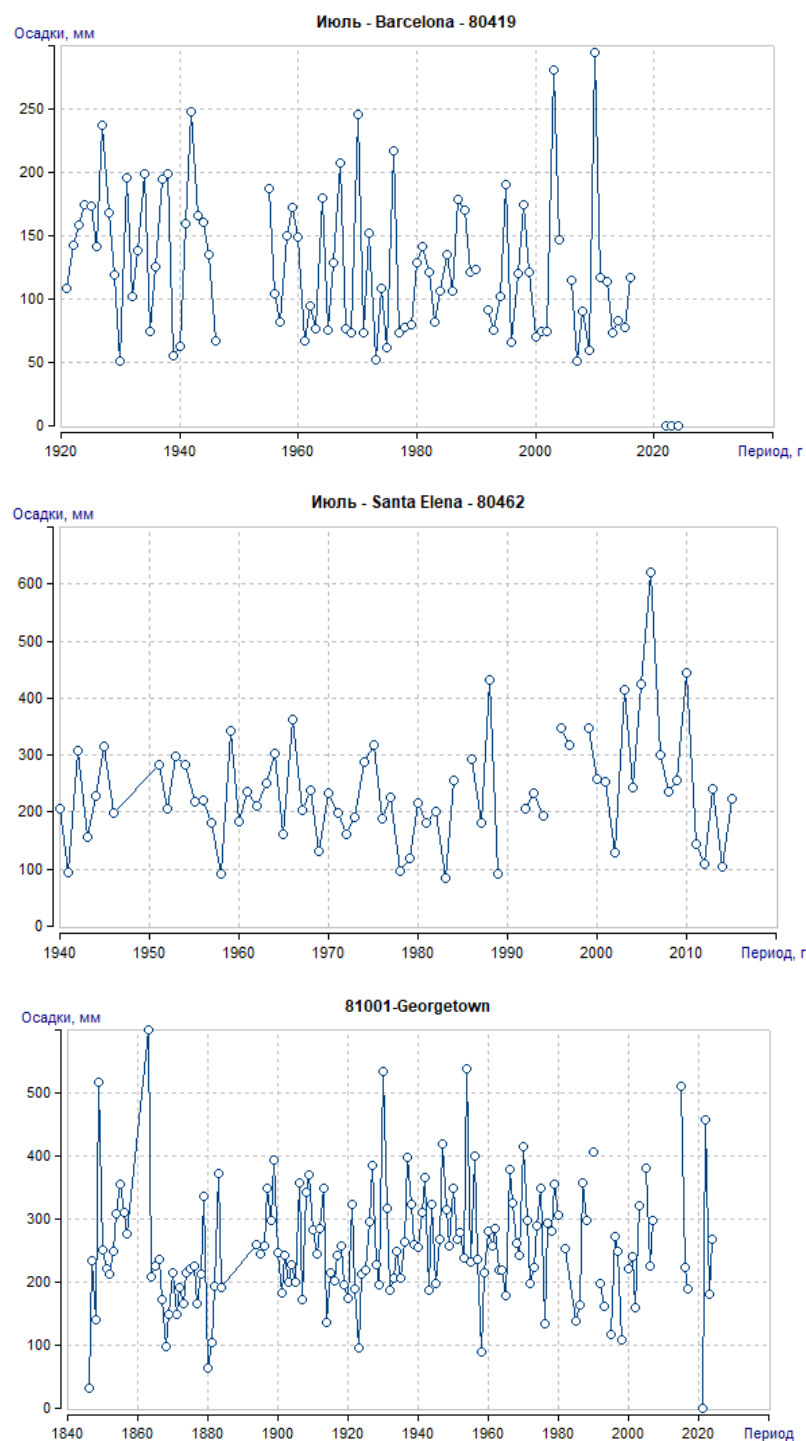


Рисунок 5.6. Многолетняя серия наблюдений за средней температурой июля на метеорологических станциях

Анализ рисунка 5.1 показывает, что существенных тенденций выпадения осадков нет, но они бывают спорадической интенсивности.

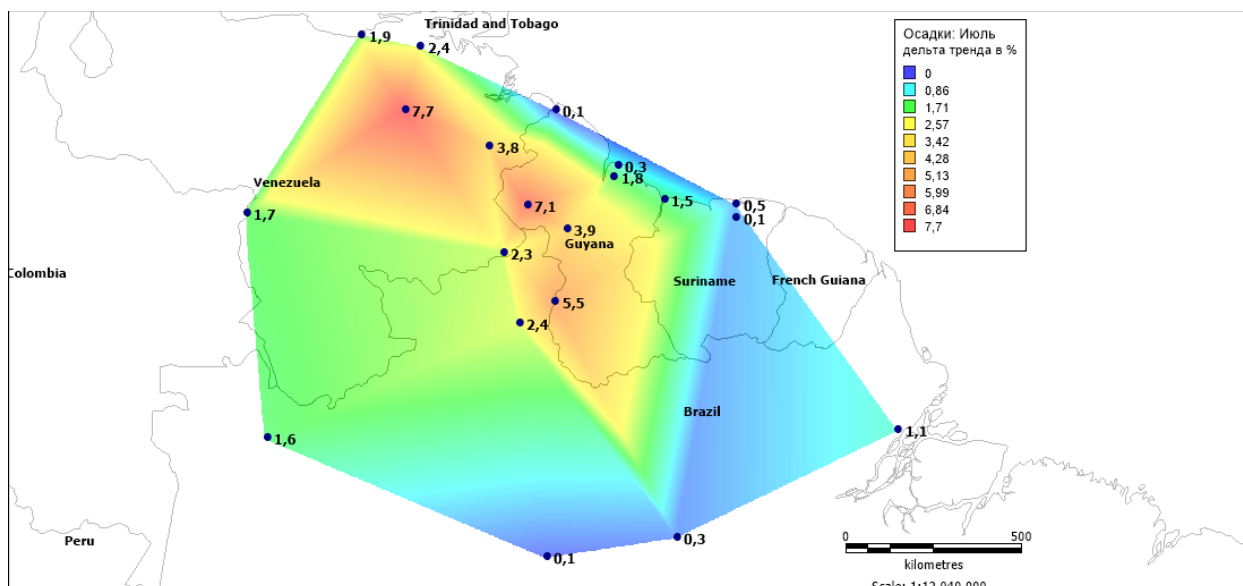


Рисунок 5.7. Распределение по территории показателей нестационарных моделей июле Δtr , % за весь период наблюдений.

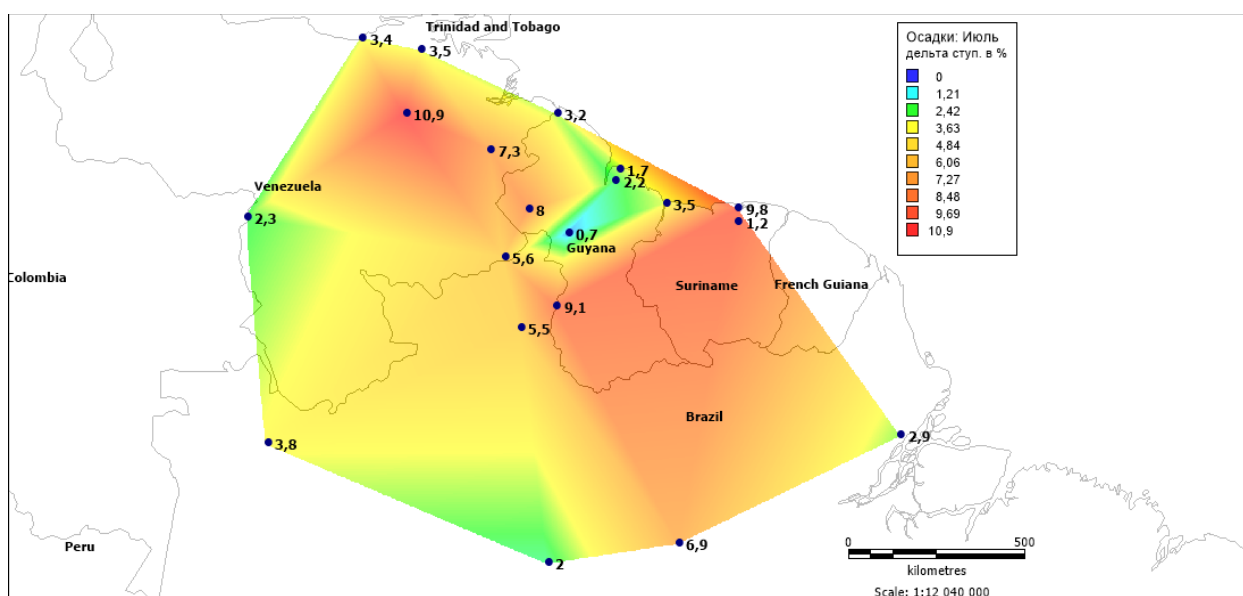


Рисунок 5.8. Распределение по территории показателей нестационарных моделей июле $\Delta ст$, % за весь период наблюдений.

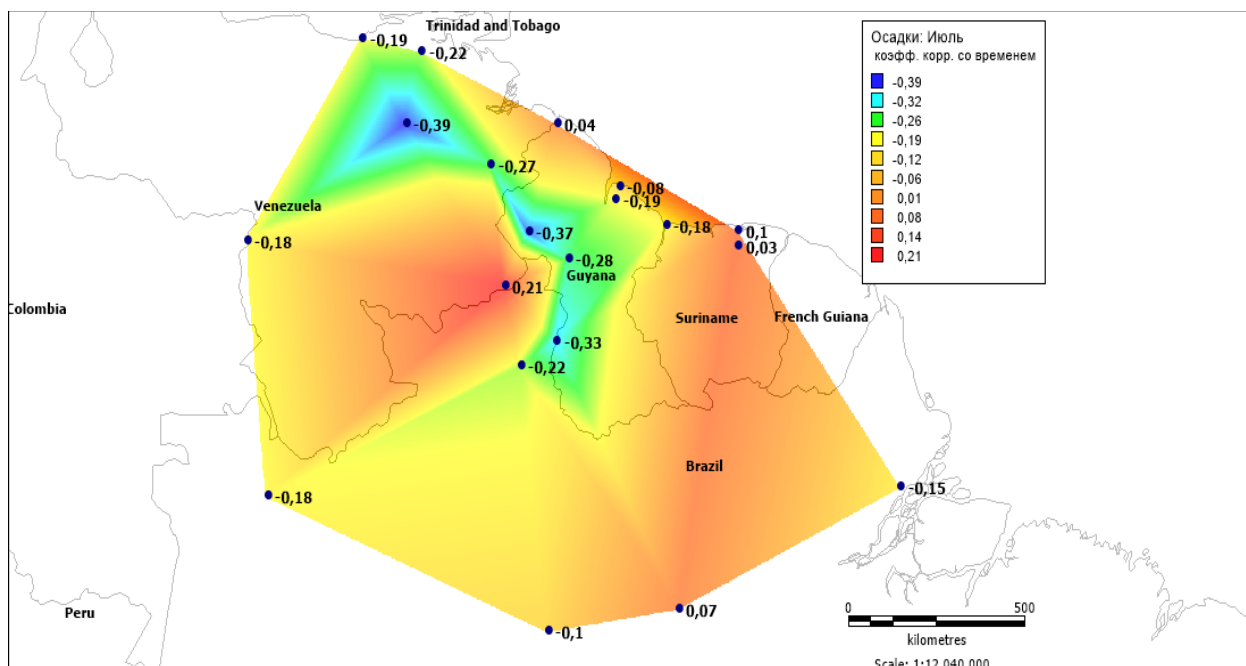


Рисунок 5.9. Распределение по территории показателей нестационарных моделей января с коэффициент корреляции (R) а весь период наблюдения

Анализ карт на рис. 5.7-5.9 показывает, что в центральном регионе, выделенном красным цветом, наблюдались изменения в количестве осадков. В прибрежных районах на западе наблюдались небольшие изменения. Корреляция коэффициентов была самой сильной в западных регионах и самой слабой в щитовых регионах Оринокко и Гайаны.

5.5 Количественная оценка изменений количества осадков

Рассчитанные значения среднего многолетнего количества осадков в январе и июле приведены в табл.5.5 и 5.6.

Таблица 4.6

Изменение температур за период 1960-2024 в град. С , в долях СКО - Январь

Осадки - январь					
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	изменение тем-ры за период 1960-2024 в мм	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО
80419	Barcelona	10.1	-64.7	-6.6	0.14
80435	Maturin	9.8	-63.2	15.5	0.81
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	3.1	0.86
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	-8.7	0.15
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	-18.8	0.31
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	32.3	0.06
81001	Georgetown	6.8	-58.2	41	0.47
81002	Timehri	6.5	-58.3	39.3	0.09
81005	Kamarang	5.8	-60.5	85.7	0.27
81006	Lethem	3.37	-59.79	-183.6	0.45
81080	Kaieteur Falls	5.18	-59.48	-9.5	0.06
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	-60.3	0.25
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	-34.8	0.19
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	-25.2	0.15
81225	Zanderij	5.47	-55.2	-29.9	0.18
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	-7.4	0.36
82099	Macapa	0.1	-51.1	-84.5	0.34
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	5.4	0.38
82240	Parintins	-2.6	-56.7	66	0.35
82331	Manaus	-3.1	-60	-6.8	0.18

Таблица 4.7

Изменение температур за период 1960-2024 в град. С , в долях СКО - Июль

Осадки - Июль					
Код Станции ВМО	Название Станции	Широта (N)	Долгота (E)	изменение тем-ры за период 1960-2024 в мм	изменение тем-ры за период 1960-2024 в долях СКО
80419	Barcelona	10.1	-64.7	-41	0.42
80435	Maturin	9.8	-63.2	-56	0.64
80444	Ciudad Bolivar	8.2	-63.6	-113.3	1.03
80453	Tumeremo	7.3	-61.45	-60.8	0.97
80457	Puerto Ayacucho	5.6	-67.6	-80.4	0.63
80462	Santa Elena	4.6	-61.1	71.9	0.38
81001	Georgetown	6.8	-58.2	-26.4	0.09
81002	Timehri	6.5	-58.3	0	0.04
81005	Kamarang	5.8	-60.5	-191.3	0.48
81006	Lethem	3.37	-59.79	-148.7	0.9
81080	Kaieteur Falls	5.18	-59.48	-114	0.27
81100	Mabaruma	8.2	-59.78	19.1	0.35
81200	Zorg En Hoop	5.82	-55.2	30.7	0.7
81202	Nickerie-Vlieg	5.95	-57.03	-58.8	0.47
81225	Zanderij	5.47	-55.2	9.7	0.1
82024	Boa Vista	2.8	-60.7	-86.3	0.5
82099	Macapa	0.1	-51.1	-37.8	0.08
82106	S.Gab. Do Cachoeira	-0.1	-67.1	-53.2	0.92
82240	Parintins	-2.6	-56.7	17.8	0.66
82331	Manaus	-3.1	-60	30.7	0.7

Пространственные закономерности этих изменений были затем нанесены на карты и показаны на рис. 5.10 -5.13

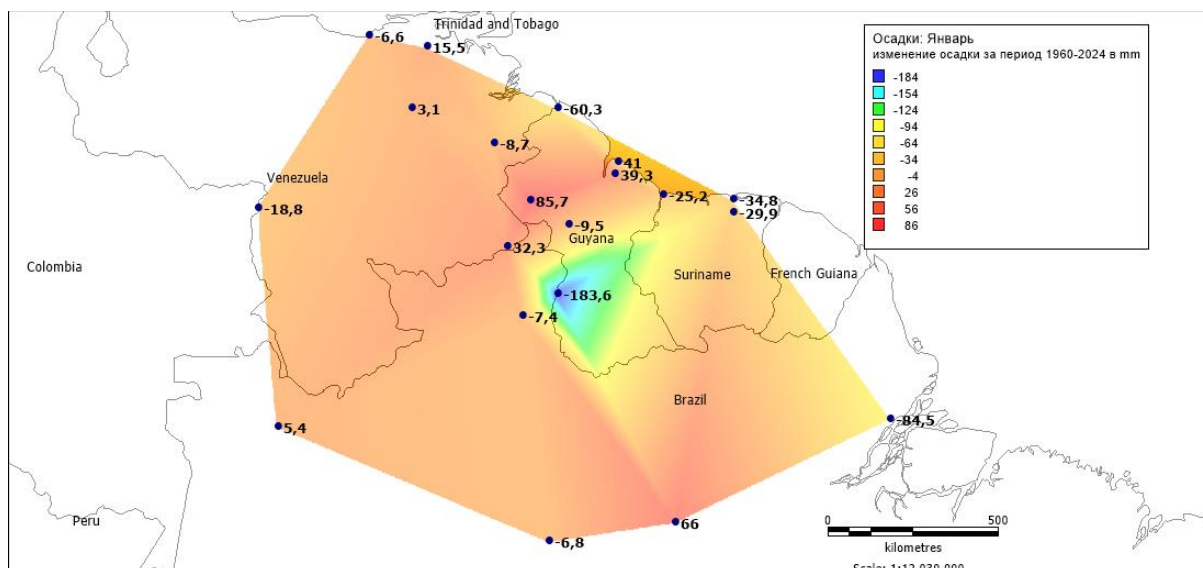


Рисунок 5.10. Январь -распределение показателей изменения количества осадков за период 1960-2024 гг. в мм

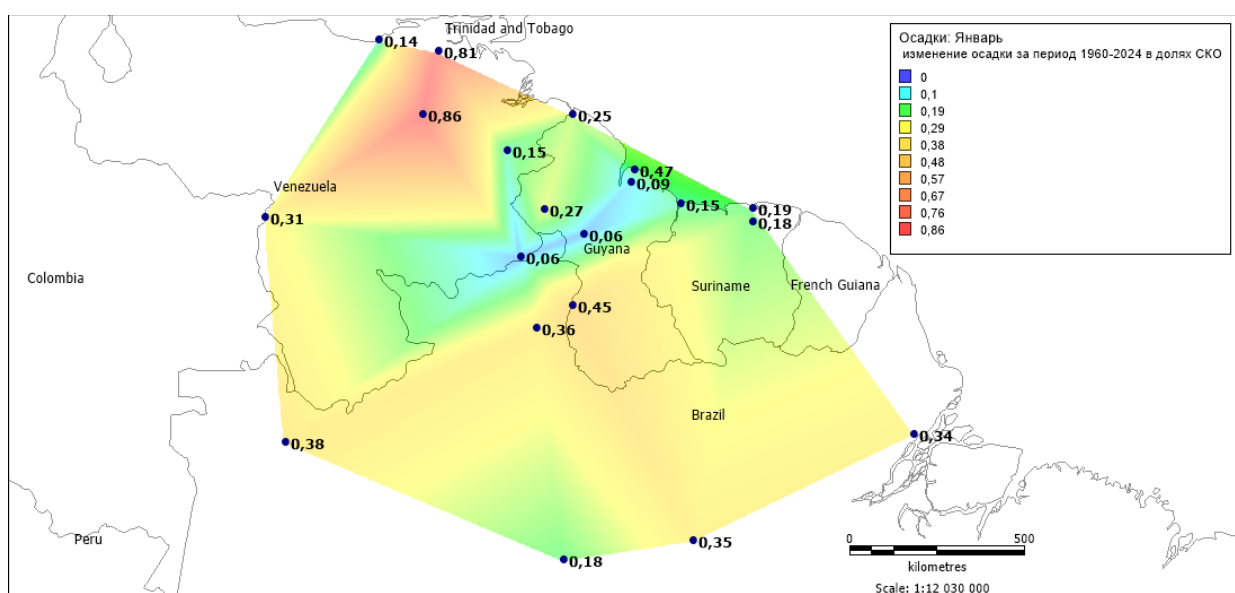


Рисунок 5.11. Январь - распределение показателей изменения количества осадков за период 1960-2024 гг. в долях СКО

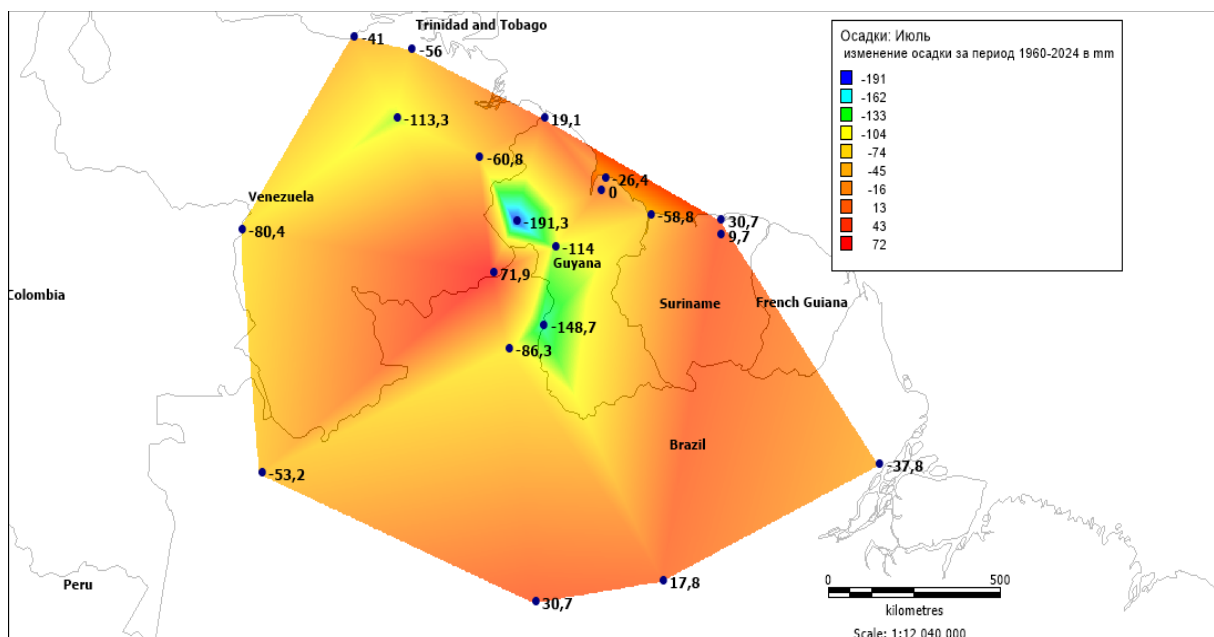


Рисунок 5.12. Июль - распределение показателей изменения количества осадков за период 1960-2024 гг. в мм

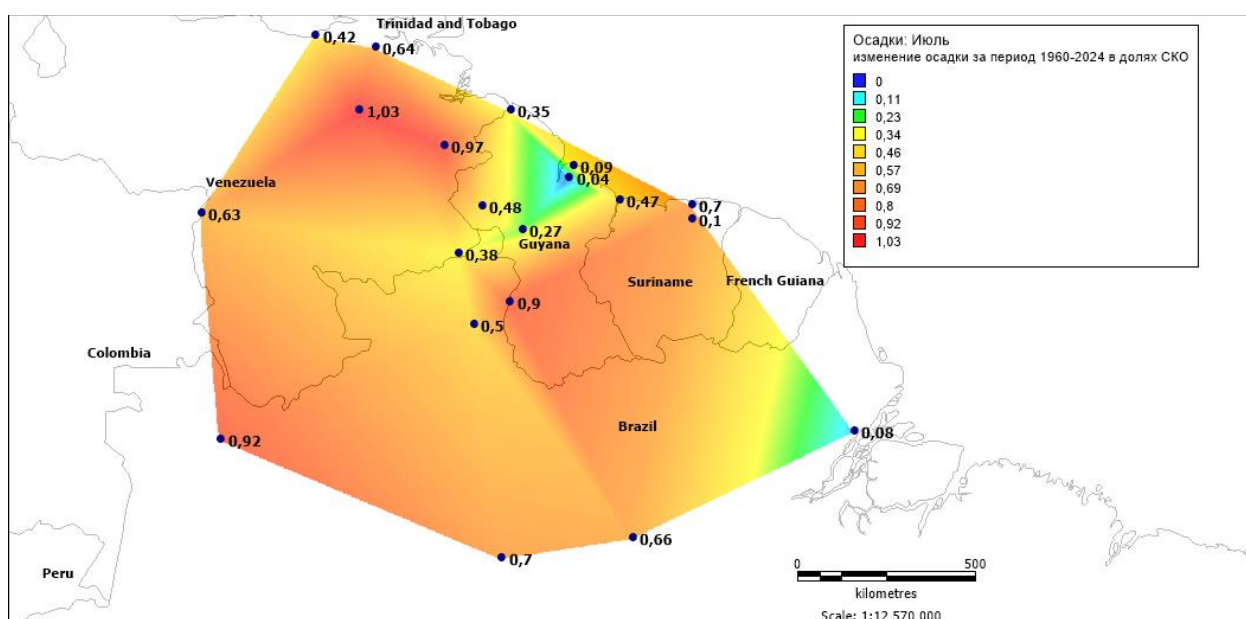


Рисунок 5.13. Июль - распределение показателей изменения количества осадков за период 1960-2024 гг. в долях СКО

Из анализа рис. 5.10–5.11 самые высокие переменные изменений выделены красным цветом, а наименьшие изменения можно увидеть выделенными синим цветом для января и июля. Для января можно увидеть, что наблюдалось увеличение количества осадков. Рис. 5.10 показывает, что

только один регион, регион саванны, не имел никаких серьезных изменений, в то время как стандартные изменения вывода отражают, что наибольшие изменения были на северо-западе. Для июля наименьшие изменения были в центральной саванне и Гайанском щите. Стандартные изменения вывода были в западных регионах и на побережье Гайаны. Отсутствие изменений для месяцев января и июля на большинстве станций связано с тем, что в этом районе постоянно выпадают осадки в течение года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате детального анализа данных, собранных с 20 метеорологических станций в Гайане и близлежащих странах в период с 1950 по 2024 год, были получены четкие доказательства того, что изменение климата оказывает значительное и заметное воздействие на различные регионы страны в засушливый (январь/апрель) и влажный (июль/октябрь) периоды времени года. Потепление в прибрежных районах Джорджтауна и Тимехри было заметным, и это можно объяснить эффектом городского теплового острова (Urban Heat Island, UHI). Джорджтаун и Тимехри являются крупными городскими центрами, где бетон, асфальт и редкая растительность удерживают тепло. Повышение температуры поверхности моря в тропической части Атлантического океана вызывает предупреждение на побережье, особенно в засушливые сезоны, когда влияние океана наиболее сильно.

Ослабление пассатов может также уменьшить приток прохлады к океану, что позволяет более тепловому воздуху преобладать в регионах. Во внутренних районах страны наблюдался некоторый заметный рост. В этом регионе эти изменения связаны с вырубкой лесов и изменением землепользования в таких областях, как внутренние саванны (Рупунуни) и лесные массивы, в которых наблюдается потеря растительности, снижение суммарного испарения и повышение температуры поверхности суши. Сдвиги в переносе влаги, при которых изменения в системе южноамериканских муссонов могут привести к более тепловому и сухому воздуху в северные регионы в сезон дождей.

Благодаря построенным графикам многолетних рядов и их последующему анализу были выявлены априорные закономерности климатической изменчивости, которые указывают на постепенное изменение климата в этом регионе. Одним из основных результатов этого исследования является устойчивое повышение средних температур на протяжении десятилетий. Графики показывают тенденцию к повышению средней

температуры. Это постепенное потепление оказывает влияние на состояние прибрежных экосистем, а также на зависящую от них деятельность человека, такую как рыболовство, туризм и сельское хозяйство.

В дополнение к повышению температуры в прибрежных районах Гайаны и бассейна Амазонки наблюдается увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Эти экстремальные явления оказывают разрушительное воздействие на местные сообщества, инфраструктуру и природные ресурсы, усиливая уязвимость населения прибрежных районов и/или их способность адаптироваться к изменению климата.

В заключение, проанализированные данные с 20 метеорологических станций Гайаны убедительно свидетельствуют о том, что изменение климата наиболее ощутимо сказывается на прибрежных районах страны. Эти результаты подтверждают настоятельную необходимость принятия конкретных мер по смягчению последствий изменения климата в этом регионе. Необходимы скоординированные действия, включая стратегии адаптации, сокращения выбросов и продвижения устойчивых методов защиты прибрежных экосистем, тропических лесов Амазонки и зависящих от них сообществ. В исследовании подчеркивается важность решения проблемы изменения климата как глобальной проблемы, которая требует сотрудничества различных заинтересованных сторон, включая правительства, международные организации, местные сообщества и общество в целом. Только благодаря комплексному и основанному на сотрудничестве подходу мы можем гарантировать устойчивое будущее для будущих поколений, тем самым защищая бесценное биоразнообразие и уникальные экосистемы Гайаны.

Основные выводы работы состоят в следующем

- Сформирован архив многолетних рядов среднемесячных температур воздуха и осадков по 20 метеостанциям с 1960 по 2024 гг.
- Построены карты пространственных распределений изменений температур воздуха во все сезоны года в °C и в долях СКО из которых следует, что изменения составляют в среднем 1-2°C как на побережье, так и на материке (Гайанский щит). В долях СКО наибольшие значения вблизи экватора, где они превышают 2.0.
- Построены карты пространственных распределений изменений осадков во все сезоны года в мм и в долях СКО из которых следует, что изменения составляют в среднем 70-80 мм. В долях СКО наибольшие значения вблизи бассейна реки Ориноко, где они превышают 1.0.
- Изменения средних температур на станциях различны и колеблются от 0 до 1,7 °C в сезон дождей и от 1,5 до +3,5 °C в сухой сезон.
- Превышение изменений по отношению к естественной изменчивости (СКО) наблюдается вблизи экватора и в бассейне Амазонки во все сезоны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018. – 91 с.

Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 145 с.

Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012 – 180 с.

MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). – MapInfo Corporation, Troy, New York, 2003.

Национальное управление океанических и атмосферных исследований [NOAA]. Климатические данные онлайн: исторические данные о температуре и осадках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>, свободный.

Всемирный банк. Портал знаний об изменении климата: тенденции по Гайане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>, свободный.

НАСА. Прогнозирование мировых энергетических ресурсов (POWER): данные о температуре и осадках со спутников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/>, свободный.

Центр климатических рисков. Данные об осадках CHIRPS: высокое разрешение [Электронный ресурс]. – Университет Калифорнии, Санта-Барбара. – Режим доступа: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>, свободный.

Университет Восточной Англии. CRU TS: долгосрочные климатические тенденции [Электронный ресурс]. – Исследовательский климатический отдел. – Режим доступа: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>, свободный.

Всемирный банк. Портал знаний об изменении климата: панель данных по Гайане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>, свободный.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН [FAO]. ClimWat: исторические данные станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>, свободный.

Карибский институт метеорологии и гидрологии [CIMH]. Бюллетени климата CARICOM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rcc.cimh.edu.bb/climate-bulletins/>, свободный.