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 «Климатические изменения температуры воздуха и осадков на севере Южной Америке»

Исполнитель **Ниаматали Таня Катрина**

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА

Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

подпись

кандидат географических наук, доцент
Абанников Виктор Николаевич

«29» мая 2019г.

Санкт–Петербург
2019

Оглавление

Введение 3

1.Обзор климатических изменений температуры воздуха и осадков в Северо-Восточном регионе Южной Америке 4

1.1Описание климатических условий в Северо-Восточном регионе Южной Америке 4

1.2 Климатические особенности температуры воздуха и осадков на северо-востоке Южной Америкой 5

1.3 Будущие климатические изменения температур воздуха и осадков на северо-востоке Южной Америкой 14

2.База климатических данных и её анализ 17

2.1Обоснование выбора климатических характеристик и пунктов наблюдений 17

2.2 Оценка качества, однородности и стационарности климатических данных 20

2.3 Результаты оценки однородности и стационарности температур воздуха и осадков 25

2.4 Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду с оценкой эффективности приведения и качества восстановленных данных 33

3 Оценка климатических изменений температур воздуха 39

3.1 Пространственные закономерности норм и изменчимости температуры воздуха 39

3.2Моделирование временных рядов температуры воздуха 43

3.3Пространственные закономерности показателей нестационарности температур воздуха 46

3.4 Оценка климатических изменений норм температуры воздуха 53

4Оценка климатических изменений осадков 61

4.1Закономерности норм и изменчимости осадков 61

4.2Моделирование временных рядов осадков 65

4.3Оценка климатических изменений норм осадков 67

Заключение 72

Список использованной литературы: 74

Введение

Погода представляет собой мгновенное состояние естественных атмосферных процессов, которые характеризуются комплексом таких показателей, как температура воздуха, осадки, скорость ветра, влажность и атмосферное давление. Климат определяется как среднее состояние погоды в течение продолжительного периода времени. Если климат изменяется, то это изменение надо выявлять и объяснять.

Эта бакалаврская работа будет сосредоточена на климатических характеристиках, главным образом температуре воздуха и осадках в северо-восточном регионе Южной Америки. Для достижения результатов, поставленных в этой работе, были собраны данные по четырнадцати метеорологическим станциям, расположенным в Бразилии, Венесуэле, Гайане, Суринаме и Французской Гвиане. После получения данных по перечисленным метеостанциям для достижения поставленной в работе цели по оценке современного изменения климата необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать базу данных среднемесячных температур воздуха и осадков за длительный период, предназначенную для оценки текущего изменения климата;
- проанализировать однородность эмпирических распределений и стационарность параметров исходных рядов наблюдений по статистическим критериям;
- восстановить пропуски наблюдений и привести ряды наблюдений за температурой воздуха и осадками к многолетнему периоду;
- оценить текущие климатические изменения температуры воздуха и осадков с использованием трех конкурирующих моделей: модели стационарной выборки, модели линейного тренда и модели ступенчатых изменений;
- осуществить пространственные обобщения показателей нестационарности и определить насколько изменились нормы.

1.Обзор климатических изменений температуры воздуха и осадков в Северо-Восточном регионе Южной Америке

1.1Описание климатических условий в Северо-Восточном регионе Южной Америке

Климат - это статистика погоды за длительные периоды времени. Климат определяется метеорологическими факторами, такими как влажность, температура, атмосферное давление, а также осадки и многими другими. Для оценки климата в данной работы будут учитываться температура и осадки. Климат территории определяется ее географическим положением, то есть долготой и широтой [Дроздов и др., 1989].

Область, выбранная на территории Южной Америки, может быть охарактеризована как тропический климат тропических лесов, также известный как экваториальный климат.

Регион проведения исследований включает территорию следующих стран: Бразилия, Гайана, Французская Гвиана, Суринам и Венесуэла. Этот район в целом можно отнести к тропической климатической зоне и классифицировать как «тропический влажный» и «тропический влажный и сухой» климат. На основе классификации климатов Кёппена этот регион в отношении рассматриваемых метеорологических станций можно классифицировать следующим образом: Бразилия – это тропическая саванна (Aw), Гайана – экваториальная зона (Af), Французская Гвиана – зона с муссонным климатом (Am), Суринам –область с экваториальным климатом (Af) и Венесуэла – это тропическая саванна (Aw). На рисунке 1.1 показана

климатическая карта классификации Кёппена для Южной Америки. [https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_South_America#Climate]

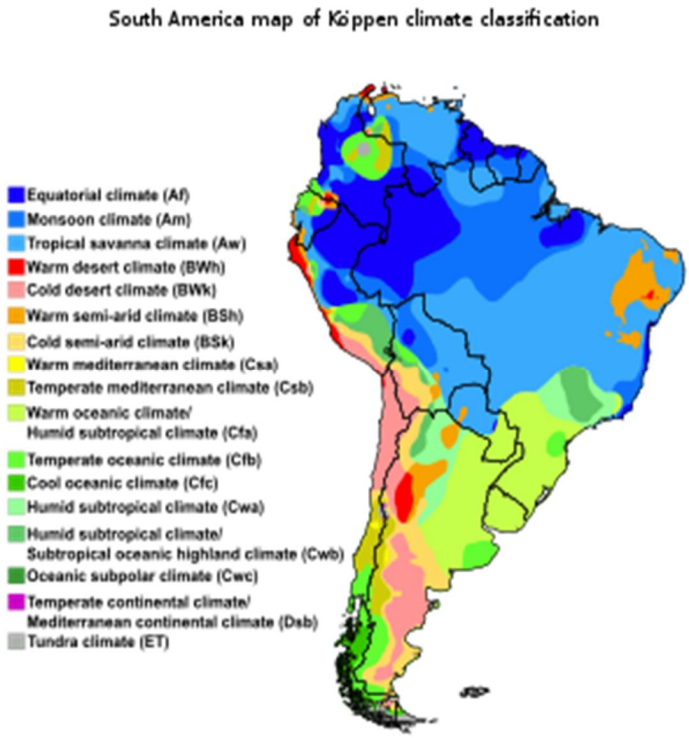


Рисунок1.1–Климатическая карта классификации Кёппена для Южной Америки.

1.2 Климатические особенности температуры воздуха и осадков на северо-востоке Южной Америкой

Отобранные для северо-восточного региона Южной Америки страны находятся в зоне тропического климата. Эта климатическая зона характеризуется среднегодовой температурой от 24°C до 28°C, Северо-восточный регион также имеет среднее количество годовых сумм осадков от 1500 мм до 2500 мм.

Ниже приводится анализ текущих особенностей климата для стран северо-восточного региона Южной Америки, включающего выбранные для исследования метеорологические станции.

Бразилия

Бразилия занимает 48% территории Южной Америки, причем большую часть востока южноамериканского континента, его географический центр, а также различные острова в Атлантическом океане. Хотя 90% территории страны находится в тропической зоне, климат Бразилии значительно варьирует от преимущественно тропического на севере (экватор пересекает устье р.Амазонки) до умеренного пояса ниже тропика Козерога (23°27), который пересекает страну на широте города Сан-Паулу. Бразилия имеет пять климатических зон: экваториальная, тропическая, полузасушливая, тропическая высокогорная и субтропическая.

Температуры вдоль экватора высоки и в среднем выше 25°C (77°F), но не достигают летних экстремумов до 40°C (104 °F) в умеренных зонах. Сезонные колебания температуры вблизи экватора практически отсутствуют, хотя иногда может быть достаточно прохладно для ношения куртки, особенно в дождь. В другой части страны зимой (июнь – август) к югу от тропика Козерога бывают морозы, а в горных районах, таких как Парана, Рио-Гранде-ду-Сул и Санта-Катарина, выпадает снег. Температуры в городах Сан-Паулу, Белу-Оризонти и Бразилиа умеренные (обычно между 15 и 30 °C или 59 и 86 °F), несмотря на их относительно низкую широту, из-за их высоты около 1000м (3281 футов). Рио-де-Жанейро, Ресифи и Сальвадор на побережье имеют теплый климат, со средними температурами в пределах от 23 до 27 °C (73,4 до 80,6 °F), но подвержены влиянию постоянных пассатов. Южные города Порту-Алегри и Куритиба имеют субтропический климат, аналогичный климату в некоторых частях Соединенных Штатов и Европы, а зимой температура может опускаться ниже нуля.

Количество осадков варьирует в широких пределах. Большая часть Бразилии имеет умеренное количество осадков от 1000 до 1500 миллиметров (39,4 и 59,1 дюйма) в год, причем большая часть осадков выпадает зимой (в период с декабря по апрель) к югу от экватора. В Амазонии, как известно,

влажный климат с осадками, как правило, более 2000 мм (78,7 дюйма) в год и их количество достигает 3000 миллиметров (118.1 в) в западной части Амазонии и в районе Белен. Менее широко известно, что, несмотря на высокие годовые осадки, влажные леса Амазонки имеют трех - пятимесячный сухой сезон, сроки которого варьируют в зависимости от местоположения к северу или югу от экватора.

Высокие и относительно регулярные осадки в бассейне Амазонки резко контрастируют с сухостью полупустынного северо-востока, где осадков мало, а в среднем раз в семь лет наблюдаются сильные засухи. Северо-восток - самая сухая часть страны. Этот регион также является самой жаркой частью Бразилии, где в сухой сезон с мая по ноябрь были зарегистрированы температуры более 38°C (100 °F). Тем не менее, область полупустынной растительности, используемой в основном для не столь интенсивного скотоводства, зеленеет, когда идет дождь. Большая часть центра и запада страны получает от 1500 до 2000 мм (от 59,1 до 78,7 дюйма) осадков в год, с выраженным сухим сезоном в середине года, в то время как юг большую часть года существует без отчетливого сухого сезона.

Метеорологические станции, которые используются в настоящих исследованиях расположены в северо-восточной части Бразилии. Эти станции находятся в зоне тропических саванн, которая также известна как тропическая влажная и сухая зона. В этой зоне среднегодовые температуры составляют 24□ и средние за год осадки равны 60 мм. [https://web.archive.org/web/20101206014542/http://www.brazil.org.uk/brazilinbrief/climate.html]

Гайана

Гайана, расположенная недалеко от экватора, имеет тропический климат, и температура не сильно меняется в течение всего года. В течение года наблюдается два сезона дождей: с декабря по начало февраля и с конца апреля до середины августа. Хотя температура никогда не становится очень

высокой, сочетание тепла и влажности может временами казаться угнетающим. Вся территория находится под воздействием северо-восточных пассатов, а в полдень и днем морские бризы приносят прохладу побережью. Гайана находится к югу от путей карибских ураганов, и ни один из них, как известно, не поразил страну.

Температуры в Джорджтауне довольно постоянны, со средним максимумом 32 °C (89.6 °F) и средним минимумом 24 °C (75.2 °F) в самый жаркий месяц (июль), и средним диапазоном от 23 до 29 °C (от 73.4 до 84.2 °F) в феврале, самом холодном месяце. Самая высокая температура в столице составила 37.7°C (99.9 °F) и низкая 16.6 °C (61.9 °F). Влажность в среднем составляет 70 процентов круглый год. Во внутренних районах, вдали от сдерживающего воздействия океана, наблюдаются несколько более широкие колебания дневной температуры, а в ночное время регистрируются показания на уровне 12 °C (53.6 °F). Влажность во внутренних областях также немного ниже, в среднем около 60 процентов.

Осадки являются самыми обильными на северо-западе и самыми наименьшими на юго-востоке и внутри страны. Суммы годовых осадков на побережье вблизи границы с Венесуэлой составляют около 2500 мм (98,4 дюйма), далее на восток от 2000 мм в Новом Амстердаме до 1500 мм (78,7 и 59,1 дюйма) в саванне Рупунуни на юге Гайаны. В районах на северо-восточной стороне гор, которые подвержены влиянию пассатов, в среднем выпадает 3500 мм (137,8 дюйма) осадков в год. Хотя осадки выпадают в течение всего года, около 50 процентов годового их количества выпадает в летний сезон дождей, который продолжается с мая по конец июля вдоль побережья и с апреля по сентябрь в глубине территории. В прибрежных районах второй сезон дождей длится с ноября по январь. Осадки обычно выпадают в виде сильных дневных ливней или гроз. Пасмурные дни редки; большинство дней включают от четырех до восьми часов чистого неба с утра до полудня. Большинство метеорологических станций Гайаны расположены в основном вдоль побережья. Климат в основном теплый и влажный. В Гайане

имеет место два влажных сезона, первый из которых обычно наблюдается в период с мая по июль, а второй сезон проходит с ноября по январь. Средняя годовая температура колеблется в Гайане в пределах 25□ - 27.5□ и эти температуры еще увеличились на 0.3°C с 1960 года при скорости роста 0.07°C за десятилетие. [https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Guyana#Climate]

Французская Гвиана

Страна расположена в пределах шести градусов от экватора и имеет достаточно плоский рельеф. Климат Французской Гвианы жаркий и угнетающе влажный круглый год. В течение большей части года осадки значительны из-за влияния внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) и ее мощных грозовых ячеек. В большинстве районов Французской Гвианы наибольшие осадки выпадают с декабря по июнь или июль и составляют, как правило, более 330 мм или 13 дюймов в месяц. В период с августа по ноябрь в восточной части страны наблюдается "сухой" сезон с 30 мм или 1,18 дюйма осадков за месяц в сентябре и октябре. Такое внутригодовое распределение осадков характерно для многих районов страны, в результате чего восточная часть Французской Гвианы имеет тропический муссонный климат по классификации Кёппена, а на западе в районе Сен-Лоран-дю-Марони имеет место климат тропических лесов (Af). Таким образом, Французская Гвиана характеризуется вариацией температур от 23°C до 34.5°C и средней суммой годовых осадков в 2500 мм. [https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine-in-French-Guiana]

Суринам

Суринам является самой маленькой независимой страной в Южной Америке. Расположенный на Гвианском щите, он находится в основном между широтами 1° и 6°N, и долготами 54° и 58°W располагаясь от 2 до 5 градусов к северу от экватора, Суринам имеет очень жаркий и влажный

тропический климат, и температуры не сильно различаются в течение года. Средняя относительная влажность воздуха составляет от 80% до 90%. Средняя температура воздуха здесь колеблется от 29 до 34 градусов по Цельсию (84 до 93 градусов по Фаренгейту). Из-за высокой влажности, фактические температуры ощущаются выше до 6 градусов по Цельсию (11 градусов по Фаренгейту), чем наблюденные. В году два сезона дождей: с апреля по август и с ноября по февраль. Имеется также два сухих сезона: с августа по ноябрь и с февраля по апрель. Метеорологические станции, выбранные для настоящего исследования в Суринаме расположены в экваториальном климатическом поясе. В Суринаме средняя годовая температура воздуха наблюдается в диапазоне от 25°C до 27.5°C. Являясь восточным соседом Гайаны, в Суринаме также имеют место два влажных сезона в те же месяцы, что и в Гайане с суммами осадков 250-400 мм и 150-200 мм соответственно. [https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Suriname]

Венесуэла

Климат Венесуэлы характеризуется как тропический и изотермический в результате ее географического положения вблизи экватора, но из-за топографии и доминирующего направления ветра, несколько типов климата имеют место, которые могут быть такими же, как в умеренных широтах, и даже полярных регионах. Широта оказывает незначительное влияние на климат Венесуэлы, но высота над уровнем моря резко меняет его, в частности температуру, достигая значений, сильно отличающихся в зависимости от наличия различных тепловых поясов. По высоте выделяются следующие климатические зоны.

Очень жаркий климат, характеризующийся очень высокими температурами выше 26°C (79 °F), причем осадки колеблются от небольших (менее 300 мм) до значительных (более 3300 мм). Этот климат можно найти

на высотах ниже 300 м и в низинах, таких как Лос-Льянос, дельта Ориноко, бассейн Маракайбо, бассейн Ориноко, прибрежные равнины и острова и он охватывает почти всю страну. Эта климатическая зона присутствует в таких городах, как Маракайбо, Пунто Фиджо, Сьюдад-Гуаяна, Порламар, Пуэрто-Ла-Крус, Баринас, Тукупита, Кумана, Матурин, Анако, Сьюдад-Боливар, Кабимас, Эль-Виджа и других.

Теплый климат имеет место на высотах от 300 до 650 м. Он характеризуется температурами от 23°C (73 °F) до 26 °C (79 °F) и осадками, которые варьируются от 300-700 мм до более, чем 3300 мм. Этот климат наблюдается в нижних предгорьях и плато в Гийанском нагорье, в Венесуэльском прибрежном хребте, регионе Коро и венесуэльских Андах. Города, в которых есть эта климатическая зона - это Баркисимето, Маракай, Валенсия, Гуаренас-Гватеатр, Сан-Хуан-де-Лос-Моррос, Чаральваль, Валера, Баринитас, Сан-Антонио-дель-Тахира, Кибор и другие.

Прохладный климат характеризуется температурой между 18°C (64°F) и 23°C (73°F) и осадками, которые варьируют от 300-700 мм до более, чем 3300 мм. Он наблюдается в горных районах страны на высотах от 650 до 1350 - 1600 м. Эта климатическая зона присутствует в таких городах, как Мерида, Сан-Кристобаль, Каракас, Санаре, Вилла де Кура, Эхидо, Трухильо, Эскук, Рубио, Товар, Боконо, Дуака , Бежума, Лос-Текес, Ниргуа, Санта-Елена-де-Уайрен и другие.

Мягкий или умеренный климат имеет место в горных районах между 1350-1600 м и 2400 м. Он характеризуется температурами от 13°C (55°F) до 18°C (64°F) и осадками, которые варьируют от 300-700 мм до более чем 3300 мм за год. Эта климатическая зона присутствует в таких городах, как Мерида (верхняя ее часть), колония Товар, Сан-Антонио-де-Лос-Альтос, Эль-Джарилло, Эль-Джункито, Галипан, Тимотес, Ла-Грата, Табай, Ла-Мукуи и другие

Холодный климат характеризуется температурой в диапазоне от 8°C (46°F) до 13°C (55°F), причем осадки колеблются от 300-700 мм до более, чем 3300 мм за год. Этот климат имеет место в горных районах на высотах 2400-3200 м, в частности, в Сьерра-де-Периджа, Кордильера-де-Мерида, и на больших высотах в Венесуэльском прибрежном хребте и высоких теуфиях (Монте-Рорайма, Кукенан, Серро-Марауака, Чиманта-Массиф). Эта климатическая зона присутствует в таких городах, как Мукучи, Чачопо и Лос-Невадос.

Очень холодный климат имеет место в районе Венесуэльских Анд на высотах от 3200 до 4150 м. Он характеризуется температурами от 3° C (37° F) до 8°C (46°F) и осадками, которые колеблются от 300-700 мм до 1800-2500 мм в год. Эта климатическая зона присутствует в таких городах, как Apartaderos и Llano del Hato. Название этого климата также известно, как páramo.

Морозный климат находится на самых высоких участках в Венесуэльских Андах между 4150 и 4700 м, где температура составляет от 0°C (32°F) до 3°C (37°F). Эта климатическая зона присутствует исключительно в Сьерра-Неваде-де-Мерида, Сьерра-де-ла-Кулата и Сьерра-де-Санто-Доминго.

Ледниковый климат характеризуется средними температурами ниже 0° C (32°F) в течение всего года, он наблюдается на самых высоких вершинах Венесуэлы в Кордильере-де-Мерида, таких как Пико Боливар, Пико Гумбольдт, Пико Ла Конча, Пико Бонпланд, Пико Эспехо, Пико Мукуньюке и Пико Пьедрас Бланкас. Только на Пико Боливара и Пико Гумбольдта сохраняются ледники в течение всего года, а другие пики подвергаются воздействию условий нивальной зоны.

Согласно климатической классификации Кёппена в Венесуэле имеют место следующие климатические типы.

Группа A: Тропический климат.

Это самый распространенный и характерный климат страны. Наблюдаемые температуры выше 18°C (64°F) и осадки имеют место в течение большей части года.

Климат тропической саванны (Aw)

Его можно найти по всей стране, преобладает над Лос-Льяносом и к северу от региона Гуаяна, а также в некоторых частях страны. Сухой сезон имеет место с декабря по март с ежегодным количеством осадков от 600 до 1500 мм.

Тропический муссонный климат (Am)

Наблюдается в регионе Гуаяна, дельте Ориноко, к западу от Зулии, в предгориях Андского и Прибрежного районов, на полуострове Пария и в районе Барловенто с осадками от 1600 до 2500 мм в год и засушливым периодом всего 45 дней.

Климат тропического леса (Af)

Он имеет место на юге в дельте р.Ориноко, в области Эль-Тама на западе Венесуэлы и к югу от озера Маракайбо. Осадки превышают 2500 мм и сухой сезон не наблюдается.

Группа B: сухой климат.

В этом типе климата испарение превышает количество осадков. В Венесуэле этот климат характерен для пустынных и засушливых прибрежных районов с годовой температурой выше 18°C. Холодный полузасушливый тип этого климата встречается на возвышенных участках Анд.

Горячий пустынный климат (BWh)

Его можно обнаружить на полуострове Гуахира, полуострове Парагуана, полуострове Арайя и на большей части островного региона.

Горячий полузасушливый климат (BSh)

Он наблюдается в северной части государства Зулия, большей части области штата Лара и штата Фалькон, прибрежной зоны, островного региона и некоторых полузасушливых районов в Венесуэльских Андах.

Холодный полузасушливый (BSk)

Такой климат может наблюдаться в замкнутых умеренных областях высоких Андских долин Кордильеры-де-Мерида.

Метеорологические станции, информация по которым используется в работе, расположены в климатической зоне тропической саванны. Среднегодовая температура на этих метеостанциях выше 18°C и ежегодные осадки начинаются от 600-1500 мм. [https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Venezuela]

1.3 Будущие климатические изменения температур воздуха и осадков на северо-востоке Южной Америкой

Изменение климата может быть представлено как изменения параметров статистических распределений погодных условий за многолетний период. Для региона северо-восточной части Южной Америки на основе различных исследований, проведенных различными организациями, получено, что температура будет увеличиваться и изменения осадков будут иметь место.

В больших масштабах темпы изменений среднегодовых температур в латиноамериканском регионе на 21 век прогнозируются на уровне 0,2-2,0°C (Carter and Hulme, 2000) по сценарию с низким уровнем выбросов (B1), произведенному в рамках Специального доклада МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ). Рост температуры за счет потепления может составлять от 2 до 6°C для случая больших выбросов парниковых газов (сценарий A2). Большинство моделей общей циркуляции атмосферы (GCM) производят

аналогичные прогнозы для температурных изменений на глобальной основе, а прогнозируемые изменения осадков остаются крайне неопределенными.

Для исследований влияния важно иметь прогноз параллельных изменений температуры и осадков в региональном масштабе. Различные сценарии изменения климата для Латинской Америки были выдвинуты на основе прогнозов GCM по сценарию IS92a. Большинство из этих региональных сценариев основаны на экспериментах по GCM, которые оцениваются с помощью статистических методов. Сценарии изменения климата в Мексике предполагают, что климат в Мексике будет более сухим и теплым [Perez, 1997]. Несколько гидрологических районов Мексики очень уязвимы для снижения количества осадков и более высоких температур [Mendoza et al., 1997]. Региональный сценарий изменения климата для центральной Аргентины в ответ на удвоение CO_2 по сценарию IS92 на 2050 год, также полученный с помощью статистического подхода при уменьшении пространственного разрешения, показывает меньшее увеличение минимальной температуры по сравнению с максимальной, и большим увеличением летом, чем зимой, что приводит к росту сезонных амплитуд [Solman and Nuñez, 1999]. Кроме того, по регионам прогнозируется снижение осадков, и летом (12%) больше, чем в зимние месяцы (5%). Этот результат подчеркивает важное следствие в изменении режима ливней над регионом: значительное снижение количества осадков, прогнозируемое в сезон дождей, серьезно повлияет на влажность почвы, следовательно, на сельскохозяйственное производство в регионе.

Несколько сценариев изменения климата для других частей Латинской Америки основаны на линейной интерполяции результатов GCM для оценки повышения температуры воздуха и осадков [Mata, 1996; Carril et al., 1997; Hofstadter and Bidegain, 1997, Paz Rada et al., 1997 , Centella et al., 1998; MARENA, 2000]. В случае Коста-Рики [MINAE-IMN, 2000] в соответствии со

сценарием IS92a на 2100 год результаты показывают небольшое увеличение осадков в юго-восточном регионе Карибского бассейна и большое снижение, близкое к 25%, в северо-западной части Тихого океана область, край.

На основе исследования, проведенного Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), температуры, вероятно, увеличатся от 0.6□ до 1.0□ в период 2020-2029 гг. Хотя за период 2090-2099 гг., среднее увеличение температуры будет от 3°C до 4.5°C. По другим оценкам средняя температура в регионе северо-восточной части Южной Америки будет около 29.5°C к 2040 году. Количество осадков ожидается в пределах ±20% или ±30%.

По отдельным странам предполагается увеличение температуры и осадков в Бразилии и Гайане. При этом температура в Бразилии увеличится от 3.0°C до 4°C. Температура в Гайане увеличится от 0.9°C до 3.3°C в 2060 году и в 2090 году увеличится в диапазоне от 1.4°C до 5.0°C. Осадки в Гайане могут увеличиться к 2090 году до 20%, тогда как в Бразилии осадки могут как увеличится на 20%, так и уменьшится на 20%.

2.База климатических данных и её анализ

2.1Обоснование выбора климатических характеристик и пунктов наблюдений

Информация о расположении метеостанций на рассматриваемой территории была получена с сайта Королевского Метеорологического Института Нидераландов(KNMI- The Royal Netherland Meteorological Institute) [http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi.someone]. На рисунке 2.1 приведено расположение метеостанций и их пятизначные коды по классификации ВМО на рассматриваемой территории северо-востока Южной Америки.

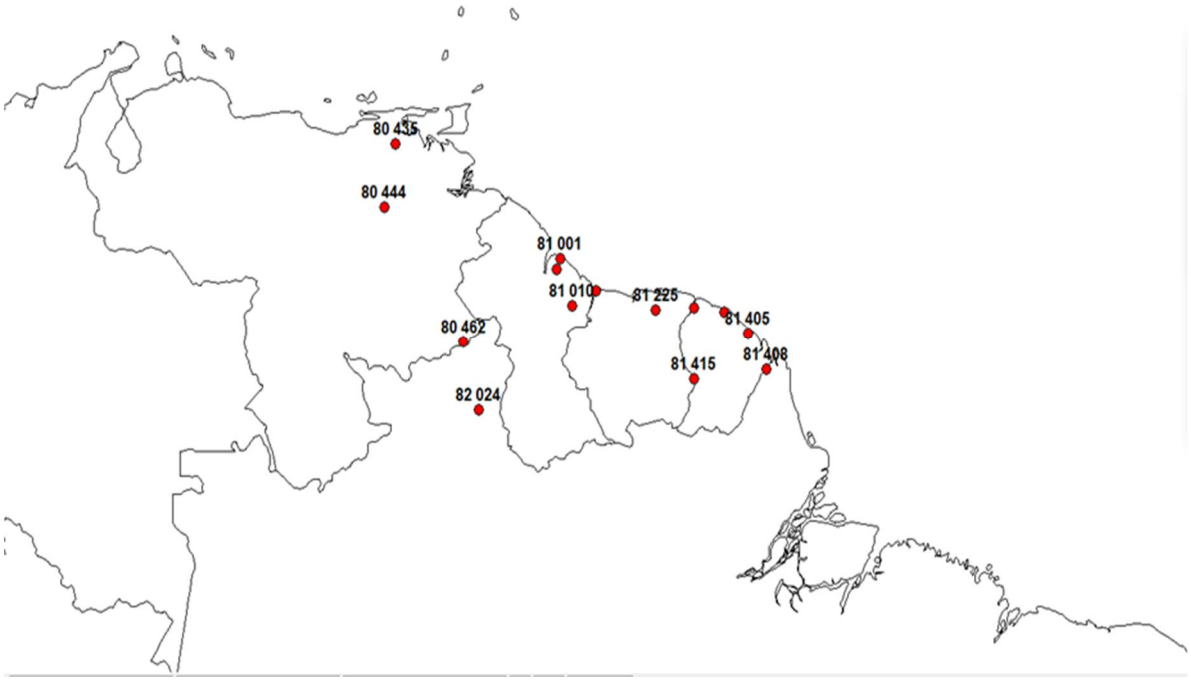


Рисунок 2.1– Расположение метеостанций для территории северо- востока Южной Америки

В настоящей работе используются данные среднемесячных приземных температур воздуха и сумм месячных осадков на 14 метеорологических станциях на территории северо-востока Южной Америки. В табл.2.1

приведены координаты метеостанций с наблюдениями за температурой воздуха и периоды наблюдений, а в табл.2.2 – за осадками.

Таблица 2.1 – Продолжительности и периоды наблюдений за среднемесячной температурой воздуха по 14 метеорологическим станциям на территории северо-востока Южной Америки.

Код поста	Наименование	Широта, град	Долгота, град	Период наблюдений	Продолжи-тельность в годах
80435	Maturin	9.8000	-63.2000	1951 - 2017	67
80444	Ciudad Bolivia	8.1500	-63.5500	1950 - 2017	68
80462	Santa Elena D	4.6000	-61.1200	1941 - 2016	76
81001	Georgetown	6.8000	-58.1500	1900 - 2017	118
81002	Timehri	6.5000	-58.2500	1953 - 2018	66
81010	Ebini	5.5700	-57.7800	1971 - 1980	10
81202	Nickeri	5.9500	-57.0300	1931 - 2000	70
81225	Zanderij	5.4500	-55.2000	1952 - 2018	67
81401	Saint- Laurent	5.5000	-54.0300	1961 - 2018	58
81403	Iracoubo	5.4000	-53.1000	1971 - 2000	30
81405	Cayenne/Rocha	4.8300	-52.3700	1950 - 2018	69
81408	Saint Georges	3.8800	-51.8000	1961 - 2018	58
81415	Maripasoula	3.6300	-54.0300	1961 - 2018	58
82024	Boa Vista	2.8200	-60.6500	1961 - 2018	58

Как следует из таблицы 2.1, наибольшая продолжительность наблюдений составляет 118 лет на метеорологической станции Georgetown и наименьшая 10 лет на метеостанция Ebini.

Таблица 2.2 – Продолжительности и периоды наблюдений за осадками по 14 метеорологическим станциям на территории северо-востока Южной Америки.

Код поста	Наименование	Широта, град	Долгота, град	Период наблюдений	Продолжи-тельность в годах
80435	Maturin	9.8000	-63.2000	1921 - 2017	97
80444	Ciudad Bolivia	8.1500	-63.5500	1921 - 2017	97
80462	Santa Elena D	4.6000	-61.1200	1940 - 2017	78
81001	Georgetown	6.8000	-58.1500	1900 - 2017	118
81002	Timehri	6.5000	-58.2500	1951 - 2004	54
81010	Ebini	5.5700	-57.7800		0
81202	Nickeri	5.9500	-57.0300	1904 - 2000	97
81225	Zanderij	5.4500	-55.2000	1952 - 2018	67
81401	Saint-Laurent	5.5000	-54.0300	1961 - 2003	43

81403	Iracoubo	5.4000	-53.1000		0
81405	Cayenne/Rocha	4.8300	-52.3700	1900 - 2018	119
81408	Saint Georges	3.8800	-51.8000	1961 - 2004	44
81415	Maripasoula	3.6300	-54.0300	1960 - 2004	45
82024	Boa Vista	2.8200	-60.6500	1939 - 2004	66

Как следует из таблицы 2.2, наибольшая продолжительность наблюдений составляет 119 лет на метеорологической станции Cayenne/Rocha и наименьшая 44 года на метеостанция Saint Georges. На двух метеостанциях Ebini и Iracoubo наблюдения за осадками отсутствуют.

2.2 Оценка качества, однородности и стационарности климатических данных

Анализ однородности и стационарности является первым шагом для дальнейших исследований по оценке региональных изменений климата, которую планируется осуществить для температуры воздуха и осадков на территории северо-востока Южной Америка. Анализ однородности и стационарности позволяет с одной стороны проверить надежность исходной информации на наличие ошибочных данных и больших погрешностей, а с другой стороны – сделать предварительные выводы о статистической значимости таких изменений за отдельные интервалы времени.

Первым шагом исследования является оценка однородности эмпирических распределений метеорологических характеристик, которая

может нарушаться из-за резко отклоняющихся от общей совокупности максимальных и минимальных значений. Оценка однородности рядов метеорологических наблюдений осуществляется на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ заключается в выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений. Для оценки статистической значимости однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: критерии Смирнова-Граббса и Диксона. Существуют три основные причины такой неоднородности:

а) резко отклоняющиеся метеорологические величины особые условия формирования, например, сформированы тайфунами;

б) экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая определяется по эмпирической формуле при включении его в общую последовательность наблюдений;

в) резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

Последовательность оценки однородности состоит в том, что вначале сомнительные резко отклоняющие от эмпирического распределения максимумы проверяются по статистическим критериям и в случае отклонения гипотезы однородности устанавливается ее причина на основе генетического анализа.

Особенность критериев оценки однородности Смирнова - Граббса и Диксона состоит в том, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции. В тоже время эмпирические распределения отдельных метеорологических характеристик, особенно осадков, имеют большую асимметрию, и в ряде случаев, во временных рядах может иметь место

статистически значимая автокорреляция между смежными членами ряда ($r(1)$). Для учета таких особенностей метеорологической информации были проведены работы по расширению таблиц статистических критериев наиболее часто применяемых в гидрометеорологии (критерии Диксона, Стьюдента, Фишера).

Статистики критериев Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки *(Yn):*

$$D1n = (Yn-Yn-1)/(Yn-Y1), \quad (2.1)$$

$$D2n = (Yn-Yn-1)/(Yn-Y2), \quad (2.2)$$

$$D3n = (Yn-Yn-2)/(Yn-Y2), \quad (2.3)$$

$$D4n = (Yn-Yn-2)/(Yn-Y3), \quad (2.4)$$

$$D5n = (Yn-Yn-2)/(Yn-Y1), \quad (2.5)$$

б) для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки *(Y1):*

$$D11 = (Y1-Y2)/(Y1-Yn), \quad (2.6)$$

$$D21=(Y1-Y2)/(Y1-Yn-1), \quad (2.7)$$

$$D31 = (Y1-Y3)/(Y1-Yn-1), \quad (2.8)$$

$$D41= (Y1-Y3)/(Y1-Yn-2), \quad (2.9)$$

$$D51 = (Y1-Y3)/(Y1-Yn), \quad (2.10)$$

где: $Y1 < Y2 < \ldots < Yn$, и n – объем выборки.

Оценка однородности по критериям состоит в сравнении расчетного значения статистики критерия, полученной по эмпирических данным, с ее критическим значением из таблиц или номограмм при заданном уровне значимости, объеме выборки, коэффициентах автокорреляции и асимметрии. Уровень значимости обычно задается равным 5 %, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95 %. В результате гипотеза однородности может быть принята в том случае, если расчетное значение статистики меньше соответствующего критического.

Обобщенные для асимметричного распределения Пирсона 3 типа с учетом внутрирядной связанности критерии Диксона имеют следующие особенности. Значимая асимметрия в анализируемых выборках приводит к увеличению критических значений статистик, определенных для исходного нормального распределения, если проверяется максимальное значение ряда, и к уменьшению критических значений этих статистик при проверке минимального члена ряда. Влияние автокорреляции на статистики критериев не столь существенно, как асимметрии. При этом, чем больше асимметрия, тем в большей степени сказывается влияние автокорреляции. Поэтому, если использовать критерии Диксона основанные на нормальном распределении, можно допустить существенную ошибку. Ошибка состоит в том, что можно принять минимальное отклоняющееся значение принадлежащим к данной совокупности, тогда как в действительности оно является неоднородным и принадлежит к другому распределению и, наоборот, считать аномальным одно или несколько максимальных значений, тогда как они принадлежат тому же асимметричному распределению.

При оценке стационарности средних значений и дисперсий для последовательных частей ряда применяются критерии Стьюдента и Фишера также обобщенные для особенностей гидрометеорологической информации. Анализ по этим критериям осуществляется после того, как проведена оценка на отсутствие резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на

значения средних значений и особенно дисперсий. Для оценки стационарности дисперсий и средних значений, соответственно по критериям Фишера и Стьюдента, временной ряд разбивается на две или несколько подвыборок одинаковой или разной длины. Причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности. По каждой под выборке вычисляются значения средних (Y_{cpj}) и дисперсий ($\sigma^2 j$), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$F = \sigma^2_j / \sigma^2_{j+1} . \qquad (2.11)$$

при $\sigma^2_j > \sigma^2_{j+1}$. где $\sigma^2_j, \sigma^2_{j+1}$ – соответственно дисперсии двух следующих друг за другом подвыборок (j и $j+1$) объемом n_1 и n_2 .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости α (%). если расчетное значение статистики критерия меньше критического ($F<F^*$) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок (n_1 и n_2).

Критические значения статистики Фишера (F^*) находятся в зависимости от уровня значимости α(%), коэффициентов внутрирядной (r(1)) и межрядной корреляции (R) при равных объемах двух выборок ($n_x = n_y$).

Критические значения статистики Стьюдента определяются при равных объемах выборок из таблицы или рассчитываются по уравнению:

$$t'_\alpha = C_t \cdot t_\alpha . \qquad (2.12)$$

где: t'_α – критическое значение статистики Стьюдента при наличии автокорреляции;

t_α – критическое значение статистики Стьюдента для случайной совокупности при том же числе степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$;

C_t – переходный коэффициент. определяемый в зависимости от коэффициента автокорреляции, определяемый по таблице.

Оценка стационарности по критерию Стьюдента осуществляется также путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, гипотеза об однородности (стационарности) не отклоняется.

2.3 Результаты оценки однородности и стационарности температур воздуха и осадков

Результаты оценки однородности эмпирических распределений и оценки стационарности дисперсий и средних значений среднемесячных температур воздуха с января по декабрь по статистическим критериям Диксона (Д), Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) приведены в таблице 2.3. Знак «+» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия, равен или более 5%, а «-», если он равен или менее 1%, т.е. в этих случаях нулевая гипотеза или достаточно надежно принимается или также надежно отклоняется.

Знак «(+)» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия, меньше 5%, но больше или равен 3%. Знак «(-)», если этот уровень значимости менее 3%, но больше 1%.

Таблица 2.3 - Результаты оценки однородности среднемесячных температур воздуха и осадков по критериям Диксона (Д), Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст), М – номер месяца

Станция	Критерии (температура)				Критерии (осадки)		
	Д	Ф	Ст	М	Д	Ф	Ст
80435 Maturin	+	+	+	1	+	+	+
	-	-	-	2	+	+	+
	+	-	+	3	+	-	+
	+	-	+	4	+	-	+
	+	-	+	5	+	+	+
	+	-	-	6	+	+	+
	+	-	-	7	+	-	+
	+	+	-	8	+	+	+
	+	-	+	9	+	+	+
	+	-	+	10	+	+	+
	+	-	+	11	+	-	-
	+	+	-	12	+	+	+
80444 Ciudad Bolivia	+	+	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	-	+
	+	+	+	3	+	+	+
	+	+	+	4	+	-	+
	+	+	+	5	+	-	+
	+	+	+	6	+	+	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	+	8	+	-	+
	+	+	+	9	+	-	+
	+	+	+	10	+	+	+
	+	+	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
80462 Santa Elena D	+	+	+	1	+	-	+
	+	-	+	2	+	+	+
	+	+	+	3	+	-	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	-	+	5	+	+	+
	+	+	+	6	+	-	+
	+	-	+	7	+	-	+
	+	+	+	8	+	-	+
	+	+	+	9	+	+	+
	+	-	+	10	+	+	+
	+	-	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
81001 Georgetown	+	+	+	1	+	-	+
	+	+	+	2	+	+	+
	+	+	+	3	+	-	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	+	+	+
	+	+	+	6	+	+	+

	+	-	+	7	+	+	+
	+	-	-	8	-	+	+
	+	-	-	9	-	-	+
	+	-	-	10	+	+	+
	+	-	-	11	+	+	+
	+	+	-	12	+	+	+
81002 Timehri	+	+	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	-	-
	+	+	+	3	+	+	+
	+	-	+	4	+	+	+
	+	-	+	5	+	+	+
	+	+	+	6	+	+	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	+	8	+	+	+
	+	+	+	9	+	-	+
	+	+	+	10	+	+	+
	+	+	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
81010 Ebini	+			1			
	+			2			
	+			3			
	+			4			
	+			5			
	+			6			
	+			7			
	+			8			
	+			9			
	+			10			
	+			11			
	+			12			
81202 Nickeri	+	-	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	-	+
	+	+	+	3	+	-	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	+	+	+
	+	+	+	6	+	-	+
	+	-	+	7	+	+	+
	+	-	-	8	+	+	+
	+	-	+	9	+	-	+
	+	+	+	10	+	-	+
	+	+	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
81225 Zanderij	+	+	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	+	+
	+	+	+	3	+	+	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	+	+	+
	-	+	+	6	+	+	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	+	8	+	+	+

	+	+	+	9	+	+	+
	+	+	+	10	+	-	+
	+	+	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	-	+
81401 Saint-Laurent	+	-	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	+	+
	+	+	+	3	+	+	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	+	-	+
	+	-	+	6	+	+	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	+	8	+	+	+
	+	-	+	9	+	+	+
	+	+	+	10	+	+	+
	+	+	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
81403 Iracoubo	+	+	+	1			
	-	-	+	2			
	+	+	-	3			
	+	+	-	4			
	+	+	-	5			
	+	+	+	6			
	+	+	+	7			
	+	+	+	8			
	+	+	-	9			
	+	+	+	10			
	+	+	+	11			
	+	+	+	12			
81405 Cayenne/ Rocha	+	+	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	+	+
	+	+	-	3	+	-	-
	+	+	-	4	+	-	+
	+	+	-	5	+	-	+
	+	+	+	6	+	-	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	+	8	+	+	+
	+	+	-	9	+	+	+
	+	+	-	10	+	+	+
	+	+	-	11	+	-	+
	+	+	-	12	+	+	-
81408 Saint Georges	+	+	+	1	+	+	+
	+	+	-	2	+	+	+
	+	-	+	3	+	+	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	+	+	+
	+	+	+	6	+	+	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	-	8	+	+	+
	+	+	-	9	+	+	+
	+	+	-	10	+	+	+

	+	+	-	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
81415 Maripasoula	+	+	+	1	+	+	+
	+	+	+	2	+	+	+
	+	+	+	3	+	+	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	-	+	+
	+	+	+	6	+	+	+
	+	+	+	7	+	+	+
	+	+	+	8	+	+	+
	+	+	+	9	+	+	+
	+	+	+	10	+	+	+
	+	+	+	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+
82024 Boa Vista	+	+	-	1	+	-	+
	+	-	-	2	+	-	+
	+	+	+	3	+	-	+
	+	+	+	4	+	+	+
	+	+	+	5	+	+	+
	+	+	-	6	+	-	+
	+	-	-	7	+	+	-
	+	-	-	8	+	+	+
	+	+	-	9	+	+	+
	+	-	-	10	+	-	+
	+	+	-	11	+	+	+
	+	+	+	12	+	+	+

Из данных таблицы 2.3 следует, что экстремумы эмпирических распределений, оцененные по критериям Диксона, практически для всех метеостанций и месяцев однородны за исключением февраля (метеостанции Maturin и Iracoubo) и июня (метеостанция Zanderij при уровне значимости, соответствующему расчетному значению статистики критерия равном 3.1%).

Поэтому можем считать, что процент однородных случаев по критерию Диксона составляет 95.1%, что практически соответствует заданному уровню значимости в 5%. По критериям Фишера и Стьюдента число выявленных случаев нестационарности намного больше и общее число нестационарных рядов температур по дисперсиям (критерий Фишера) 32 из 156 (или 20%), а по критерию Стьюдента с нестационарными средними 35 рядов (или 22%). Для осадков нестационарными по дисперсиям являются 35 рядов (22%), а по средним значениям всего 5 случаев (3%).

Поэтому можно сделать предварительный вывод, что ряды температур нестационарны по средним примерно в 20% случаев и это нестационарность скорее всего обусловлена влиянием изменения климата. Ряды же осадков по средним значениям являются практически стационарными и скорее всего изменение климата на них практически не сказывается. Дисперсия является нестационарной примерно в 20% случаев как для рядов температур воздуха, так и рядов осадков. Анализ временных рядов позволил сделать вывод, что подобная нестационарность дисперсий обусловлена пропусками наблюдений, которые необходимо восстанавливать по рядам-аналогам.

В качестве примера на рисунке 2.2 приведено эмпирическое распределение среднемесячной температуры за июнь месяц на метеостанции Zanderij с неоднородным максимумом.

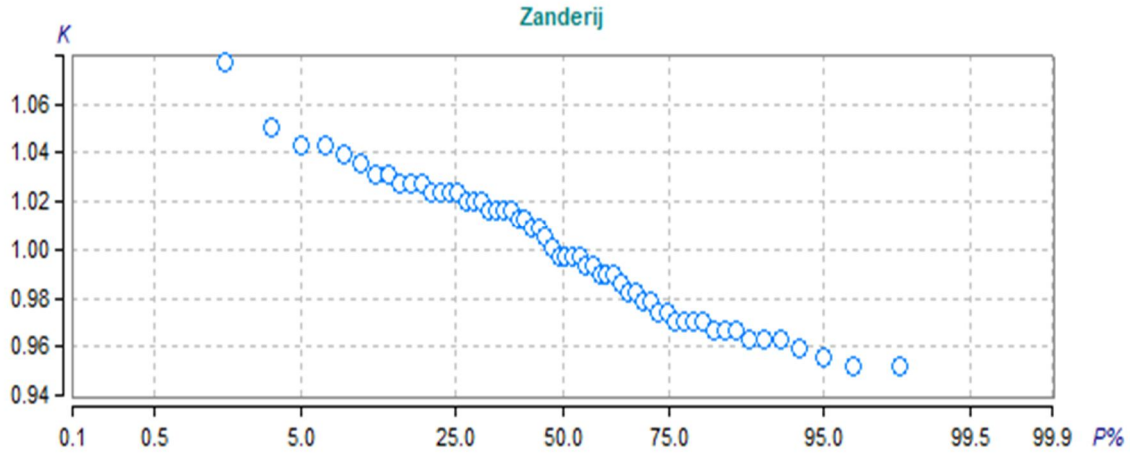


Рисунок 2.2 - Эмпирическое распределение среднемесячной температуры воздуха июля с неоднородным максимумом на метеостанции Zanderij.

На рисунках 2.3-2.5 приведены примеры нестационарных рядов температур воздуха по средним и дисперсиям.

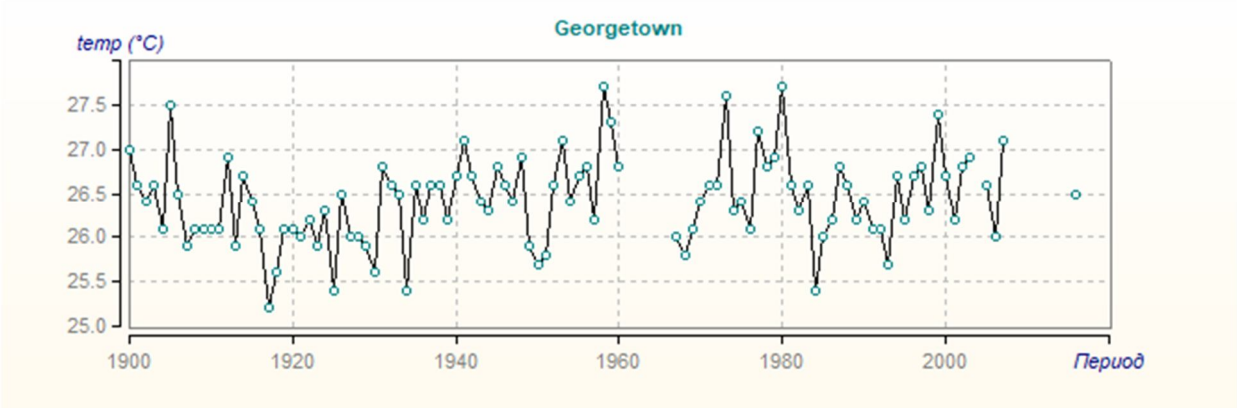
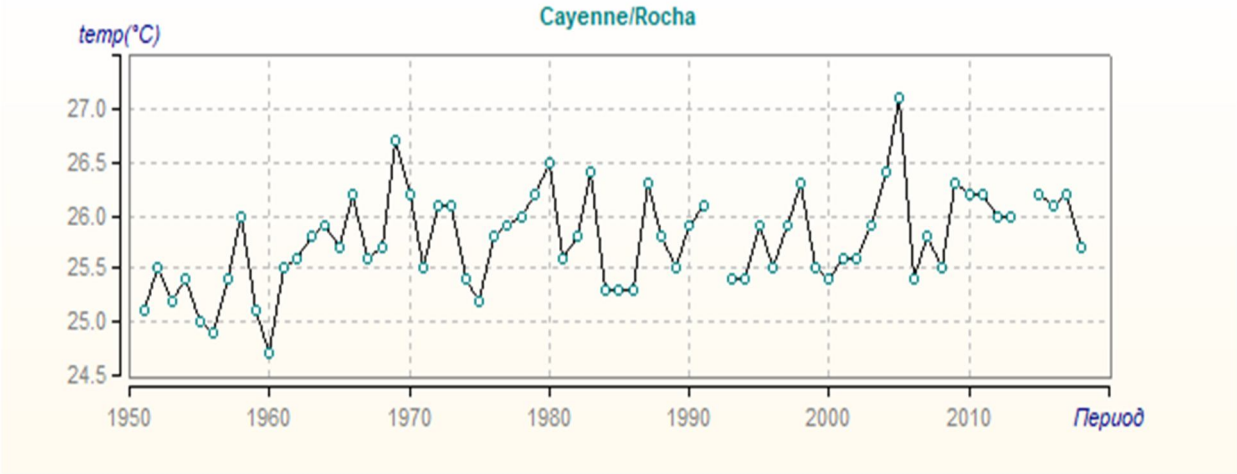


Рисунок 2.3– Нестационарный ряд среднемесячной температуры воздуха января по станции Georgetown.



Рисунка 2.4 – Нестационарный ряд среднемесячной температуры воздуха июня по станции Cayenne/Rocha.

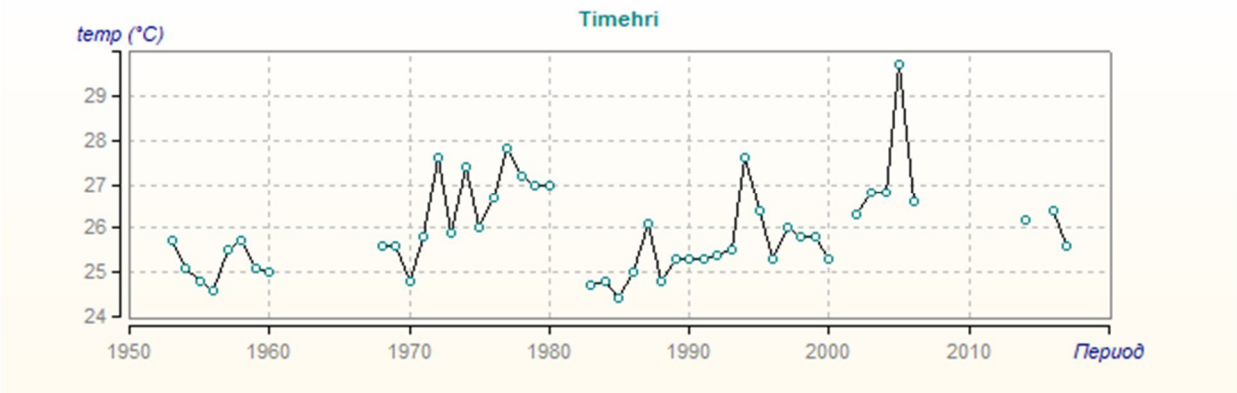


Рисунок.2.5– Нестационарный ряд среднемесячной температуры воздуха декабря по станции Timehri.

Как видно из рис.2.5, как раз пропуски данных и обусловили нестационарность дисперсий для этого случая.

Для осадков в качестве примера на рисунке 2.6 приведено эмпирическое распределение осадков мая на метеостанции Maripasoula с неоднородным максимумом.

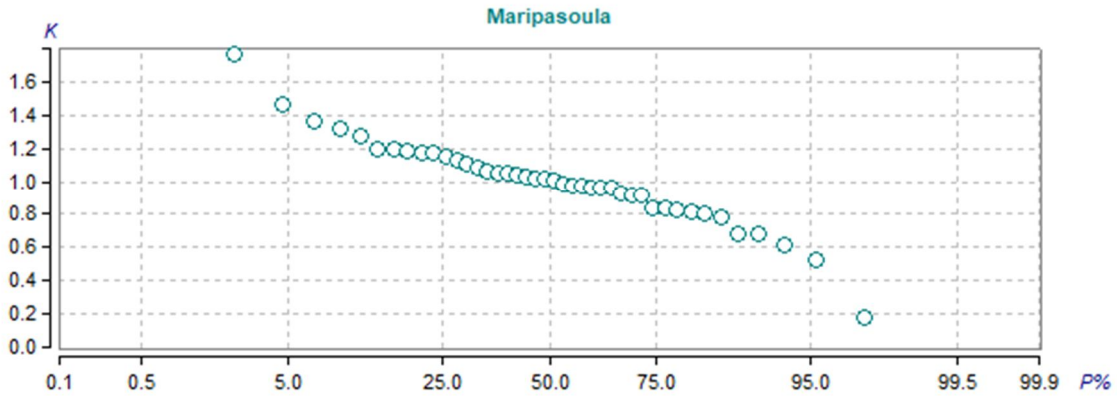


Рисунок 2.6 – Эмпирическое распределение осадков мая с неоднородным максимумом на метеостанции Maripasoula.

На рисунках 2.7-2.9 даны примеры нестационарных рядов осадков по средним и дисперсиям.

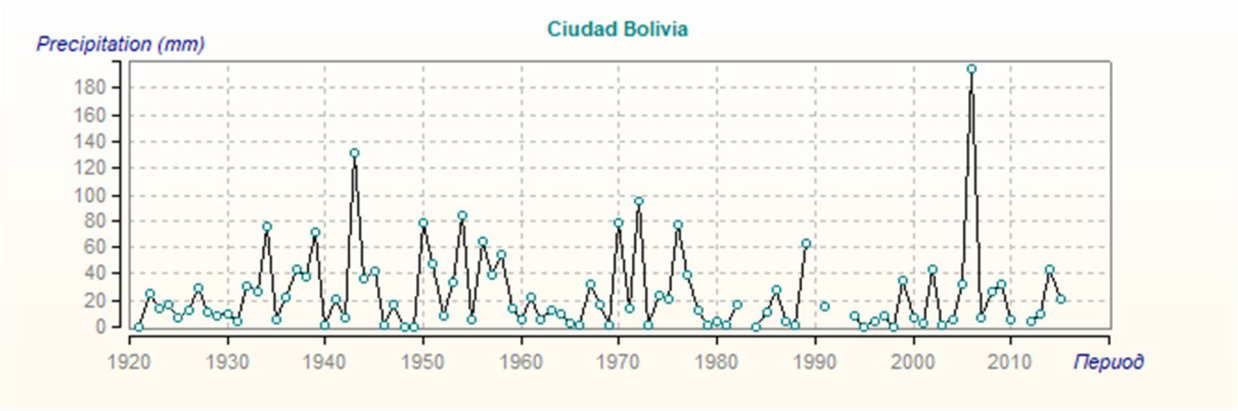


Рисунок 2.7 – Нестационарный ряд сумм осадков января по станции Ciudad Bolivia.

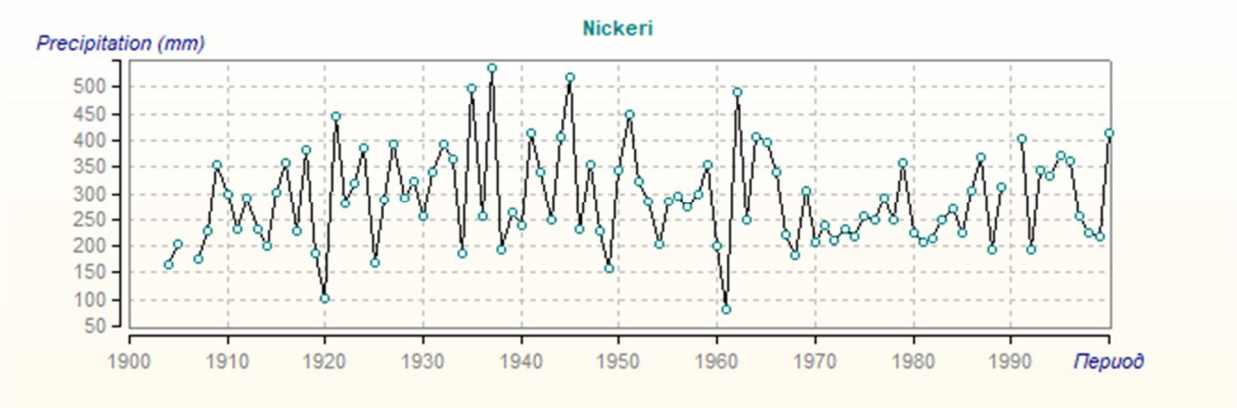


Рисунок 2.8 – Нестационарный ряд сумм осадков июня по станции Nickeri.

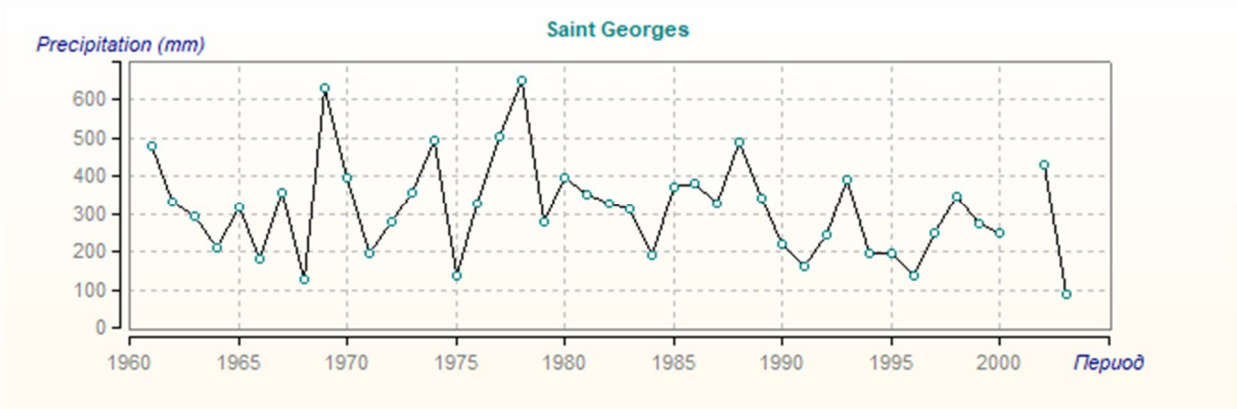


Рисунок.2.9 –Нестационарный ряд сумм осадков декабря по станции Saint Georges

Анализ временных рядов на рис. 2.7-2.9 показывает, что нестационарность дисперсий обусловлена отдельными экстремумами и небольшой продолжительностью рядов.

2.4 Восстановление пропусков и приведение рядов к многолетнему периоду с оценкой эффективности приведения и качества восстановленных данных

Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов к многолетнему период даны в таблице 2.4 для температур воздуха и в таблице 2.5 для осадков. В таблицах приводится число наблюденных лет («n»), число лет после восстановления («N»), диапазон коэффициентов корреляции уравнений по которым осуществлялось

восстановление («R») и число пунктов-аналогов, привлеченных для восстановления («m»). Минимальные пороговые значения коэффициентов корреляции для температуры воздуха задавались 0,8, для осадков 0,7.

Таблица 2.4 – Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов температур воздуха к многолетнему периоду.

Код	**Станция**	**Январь**				**Февраль**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80444	Ciudad Bolivia	60	65	0,81-0,88	4	62	63	0,82	3
80462	Santa Elena D	69	71	0,88	3	70	70		
81001	Georgetown	102	104	0,84	2	103	117	0,83-0,94	3
81002	Timehri	48	49	0,84	3	51	53	0,88-0,92	4
81010	Ebini	10	119	0,94-0,99	8	10	119	0,87-0,99	7
81202	Nickeri	69	87	0,81-0,96	8	69	88	0,88-0,99	11
81225	Zanderij	59	59			58	64	0,81-0,85	5
81401	Saint-Laurent	47	67	0,83-0,95	9	48	88	0,88-0,96	8
81403	Iracoubo	30	87	0,84-0,94	10	30	88	0,85-0,98	9
81408	Saint Georges	51	67	0,80-0,90	9	51	68	0,88-0,93	4
81415	Maripasoula	51	54	0,86-0,89	5	52	53	0,89	3
82024	Boa Vista	36	87	0,80-0,88	7	34	88	0,82-0,93	8
Код	**Станция**	**Март**				**Апрель**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80462	Santa Elena D	70	75	0,83-0,87	7	70	71	0,83	3
81001	Georgetown	102	119	0,89-0,93	7	99	113	0,81-0,96	7
81002	Timehri	49	52	0,89-0,91	5	47	60	0,86-0,92	6
81010	Ebini	10	118	0,84-0,95	8	9	9		
81202	Nickeri	65	87	0,81-0,92	7	68	82	0,85-0,94	8
81225	Zanderij	61	62	0,87	3	64	N		
81401	Saint-Laurent	50	119	0,81-0,93	8	50	68	0,80-0,95	8
81403	Iracoubo	30	88	0,82-0,95	9	30	87	0,84-0,95	9
81405	Cayenne/Rocha	67	68	0,84	3	68	68		
81408	Saint Georges	50	88	0,82-0,96	8	51	68	0,80-0,89	3
81415	Maripasoula	53	67	0,83-0,89	6	53	53		
82024	Boa Vista	35	58	0,83-0,84	6	35	70	0,82-0,83	4
Код	**Станция**	**Май**				**Июнь**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
81001	Georgetown	102	102			101	119	0,82-0,93	11
81002	Timehri	50	52	0,81	2	50	50		
81010	Ebini	9	9			10	119	0,82-0,98	9
81202	Nickeri	69	70	0,91	3	69	88	0,80-0,91	8
81401	Saint-Laurent	47	47			49	68	0,82-0,96	6
81403	Iracoubo	30	76	0,82-0,91	7	30	72	0,81-0,85	7
81405	Cayenne/Rocha	68	68			66	67	0,90	1
81408	Saint Georges	50	68	0,85-0,91	2	51	67	0,94	2
81415	Maripasoula	49	51	0,89	3	51	67	0,84-0,94	7
Код	**Станция**	**Июль**				**Августа**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
81001	Georgetown	102	108	0,85-0,91	6	101	114	0,81-0,90	6
81002	Timehri	48	52	0,84-0,92	8	50	64	0,81-0,94	6

81010	Ebini	10	118	0,88-0,98	9	9	9		
81202	Nickeri	68	83	0,81-0,96	8	68	86	0,81-0,93	8
81401	Saint-Laurent	47	66	0,84-0,94	9	48	56	0,83-0,95	7
81403	Iracoubo	30	76	0,82-0,95	7	30	39	0,81	3
81405	Cayenne/Rocha	67	67			66	67	0,92	2
81408	Saint Georges	51	57	0,86-0,89	6	51	67	0,87-0,92	4
81415	Maripasoula	48	56	0,84-0,92	5	49	63	0,80-0,91	3
82024	Boa Vista	34	34			35	50	0,827	3
Код	**Станция**	**Сентябрь**				**Октябрь**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80462	Santa Elena D	70	71	0,83	3	69	69		
81001	Georgetown	104	113	0,88-0,92	6	103	115	0,89	3
81002	Timehri	51	61	0,80-0,84	6	51	52	0,80	3
81010	Ebini	9	9			10	58	0,81-0,94	5
81202	Nickeri	68	87	0,87-0,92	7	68	87	0,86-0,93	9
81225	Zanderij	60	62	0,807	2	58	62	0,81-0,94	5
81401	Saint-Laurent	48	65	0,84-0,87	7	47	65	0,82-0,97	10
81403	Iracoubo	30	87	0,81-0,89	8	30	87	0,87-0,96	10
81405	Cayenne/Rocha	67	67			64	66	0,82	2
81408	Saint Georges	51	67	0,88-0,90	5	50	87	0,82-0,94	7
81415	Maripasoula	50	65	0,81-0,87	4	51	53	0,87-0,91	4
82024	Boa Vista	36	36			33	46	0,85-0,88	5
Код	**Станция**	**Ноябрь**				**Декабрь**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80462	Santa Elena D	67	67			67	68	0,92	3
81001	Georgetown	102	116	0,82-0,89	7	100	101	0,83	3
81002	Timehri	49	60	0,82-0,95	6	47	57	0,81-0,86	7
81010	Ebini	10	10			9	51	0,88-0,89	8
81202	Nickeri	69	87	0,89-0,95	8	68	84	0,82-88	7
81401	Saint-Laurent	47	57	0,84-0,85	5	47	51	0,84-0,90	6
81403	Iracoubo	30	51	0,86-0,89	4	30	44	0,83-0,86	3
81405	Cayenne/Rocha	67	67			66	67	0,87	3
81408	Saint Georges	52	67	0,87-0,92	3	52	65	0,82-0,89	4
81415	Maripasoula	51	65	0,88-0,89	4	49	51	0,88-0,89	4
82024	Boa Vista	34	64	0,86-0,91	6	31	47	0,83	3

Как следует из данных табл.2.4, с помощью процедуры восстановления пропусков и приведения рядов температур воздуха к многолетнему периоду среднее число лет наблюдений увеличилось:

- для января с 53 до 76, на 23 года;
- для февраля с 53 до 80, на 27 лет;
- для марта с 54 до 83, на 29 лет;
- для апреля с 54 до 68, на 14 лет;
- для мая с 53 до 60, на 7 лет;
- для июня с 53 до 80, на 27 лет;
- для июля с 50 до 72, на 22 года;

- для августа с 51 до 62, на 11 лет;
- для сентября с 54 до 66, на 12 лет;
- для октября с 53 до 71, на 18 лет;
- для ноября с 53 до 65, на 12 лет;
- для декабря с 51 до 62, на 11 лет.

При этом увеличение продолжительности составило от 7 лет в мае до 29 лет в марте, а общая продолжительность рядов увеличилась с 51-54 лет до 60-83 лет, т.е. в среднем в 1.5 раза.

Таблица 2.5 – Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов осадков к многолетнему периоду.

Код	**Станция**	**Январь**				**Февраль**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80444	Ciudad Bolivia	90	92	0,71-0,76	4	89	89		
80462	Santa Elena D	66	116	0,81-0,83	3	65	107	0,74-0,86	7
81001	Georgetown	101	116	0,81-0,92	7	103	106	0,70	2
81002	Timehri	37	82	0,74-0,97	8	36	106	0,71-0,72	4
81202	Nickeri	96	111	0,72-0,96	8	96	100	0,86	2
81225	Zanderij	57	119	0,71-0,94	9	54	75	0,71-0,83	7
81401	Saint-Laurent	41	114	0,77-0,88	8	40	40		
81405	Cayenne/Rocha	75	86	0,71-0,75	4	76	78	0,71-0,87	4
81408	Saint Georges	42	99	0,74	2	43	44	0,79	2
81415	Maripasoula	44	62	0,81	2	44	110	0,71-0,86	4
Код	**Станция**	**Март**				**Апрель**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80444	Ciudad Bolivia	84	93	0,76-0,94	4	91	93	0,85	3
80462	Santa Elena D	65	71	0,94-0,97	3	67	67		
81001	Georgetown	102	109	0,70-0,74	3	99	117	0,73-0,92	6
81002	Timehri	38	110	0,81-0,92	7	34	119	0,77-0,97	8
81202	Nickeri	96	116	0,75-0,95	7	96	117	0,73-0,92	7
81225	Zanderij	57	119	0,74-0,88	6	60	98	0,81-0,92	7
81401	Saint-Laurent	42	58	0,73	2	41	118	0,71-0,94	6
81405	Cayenne/Rocha	76	79	0,72-0,72	3	73	78	0,85-0,97	3
81408	Saint Georges	43	79	0,72-0,79	4	43	78	0,74-0,89	2
81415	Maripasoula	44	74	0,75-0,81	5	44	69	0,71-0,80	4
82024	Boa Vista	56	63	0,76	3	56	70	0,71-0,76	7
Код	**Станция**	**Май**				**Июнь**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
81002	Timehri	38	52	0,74-0,81	4	38	102	0,72	1
81225	Zanderij	55	59	0,75-0,82	4	54	58	0,75	3
81401	Saint-Laurent	40	63	0,72-0,84	3	40	40		

Код	Станция	Июль				Августа			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80462	Santa Elena D	67	69	0,71	2	66	66		
81001	Georgetown	100	100			99	108	0,71-0,91	5
81002	Timehri	34	34			37	108	0,72-0,92	5
81202	Nickeri	95	95			94	98	0,72-0,82	2
81408	Saint Georges	41	41			41	53	0,7-0,72	4
82024	Boa Vista	55	62	0,73	2	56	61	0,79	1
Код	**Станция**	**Сентябрь**				**Октябрь**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80444	Ciudad Bolivia	90	91	0,74	3	91	91		
80462	Santa Elena D	64	73	0,79-0,86	5	67	77	0,70-0,77	7
81001	Georgetown	99	99			99	116	0,75-0,75	5
81002	Timehri	32	99			34	59	0,72	2
81202	Nickeri	95	97	0,87	3	94	94		
81225	Zanderij	56	56			55	60	0,79	3
81401	Saint-Laurent	41	51	0,76	3	41	78	0,73-0,87	4
81405	Cayenne/Rocha	74	74			75	78	0,79-0,89	5
81408	Saint Georges	42	52	0,70-0,82	5	40	78	0,73	0
81415	Maripasoula	42	43	0,89	3	43	43		
82024	Boa Vista	53	53			54	59	0,77-0,84	5
Код	**Станция**	**Ноябрь**				**Декабрь**			
		n	N	R	m	n	N	R	m
80462	Santa Elena D	65	65			65	71	0,72-0,84	3
81001	Georgetown	98	98			98	103	0,71-0,72	3
81002	Timehri	35	67	0,72-0,81	7	37	98	0,72	1
81202	Nickeri	95	95			95	96	0,71	2
81401	Saint-Laurent	39	53	0,84	2	39	39		
81405	Cayenne/Rocha	74	77	0,78	2	74	74		
81415	Maripasoula	43	77	0,73-0,82	2	36	36		
82024	Boa Vista	55	57	0,73	3	51	67	0,72	1

Как следует из данных табл.2.5, с помощью процедуры восстановления пропусков и приведения рядов осадков к многолетнему периоду среднее число лет наблюдений увеличилось:

- для января с 65 до 100, на 35 лет;
- для февраля с 65 до 86, на 21 год;
- для марта с 66 до 88, на 24 года;
- для апреля с 64 до 93, на 29 лет;
- для мая с 44 до 58, на 14 лет;
- для июня с 44 до 67, на 23 года;
- для июля с 65 до 67, на 2 года;
- для августа с 66 до 82, на 16 лет;
- для сентября с 62 до 72, на 10 лет;

- для октября с 63 до 76, на 13 лет;
- для ноября с 63 до 74, на 11 лет;
- для декабря с 62 до 73, на 11 лет.

При этом увеличение продолжительности составило от 2 лет в июле до 35 лет в январе, а общая продолжительность рядов увеличилась в основном с 62-66 лет до 72-100 лет, т.е. в среднем почти в 1.5 раза.

3 Оценка климатических изменений температур воздуха

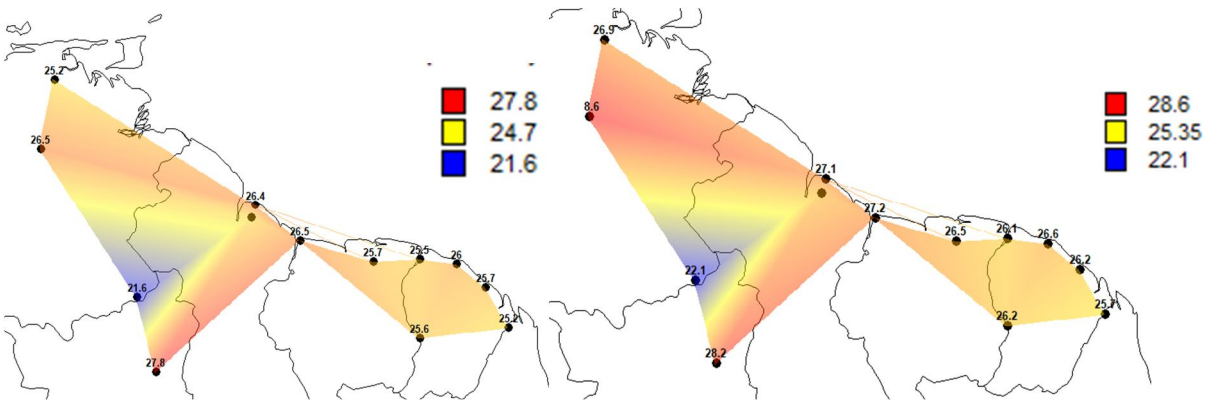
3.1 Пространственные закономерности норм и изменчимости температуры воздуха

Нормы и стандартные отклонения (СКО) среднемесячных температур воздуха за 4 характерных месяца сезонов года и в среднем за год, вычисленные по наблюденным данным, приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1 – Нормы (Ср.) и СКО среднемесячных и среднегодовых температур воздуха

Код	январь		апрель		июль		октябрь		год	
	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО
80435	25,2	0,8	26,9	1,0	26,0	0,8	26,8	0,8	26,1	0,6
80444	26,5	0,8	28,6	0,7	27,0	0,5	28,2	0,6	27,4	0,4
80462	21,6	0,8	22,1	0,8	20,8	0,6	21,9	0,8	21,6	0,,4
81001	26,4	0,5	27,1	0,6	26,8	0,5	28,0	0,6	27,0	0,4
81002	25,3	0,8	26,4	1,0	26,2	0,9	27,0	1,1	26,3	0,8
81202	26,5	0,4	27,2	0,4	27,2	0,4	28,1	0,4	27,2	0,3
81225	25,7	0,8	26,5	0,8	26,5	0,8	27,8	1,0	26,7	0,9
81401	25,5	0,4	26,1	0,4	26,2	0,5	27,2	0,6	26,2	0,3
81403	26,0	0,5	26,6	0,5	26,0	0,6	26,9	0,6	26,4	0,5
81405	25,7	0,5	26,2	0,4	25,8	0,4	26,7	0,4	26,1	0,4
81408	25,2	0,5	25,7	0,4	25,7	0,4	26,8	0,6	25,8	0,4
81415	25,6	0,8	26,2	0,6	26,0	0,6	27,1	0,6	26,3	0,6
82024	27,8	0,75	28,2	1,0	26,5	0,7	28,8	1,0	27,9	0,6

Пространственные распределения норм и СКО температур воздуха приведены на рис.3.1-3.4.



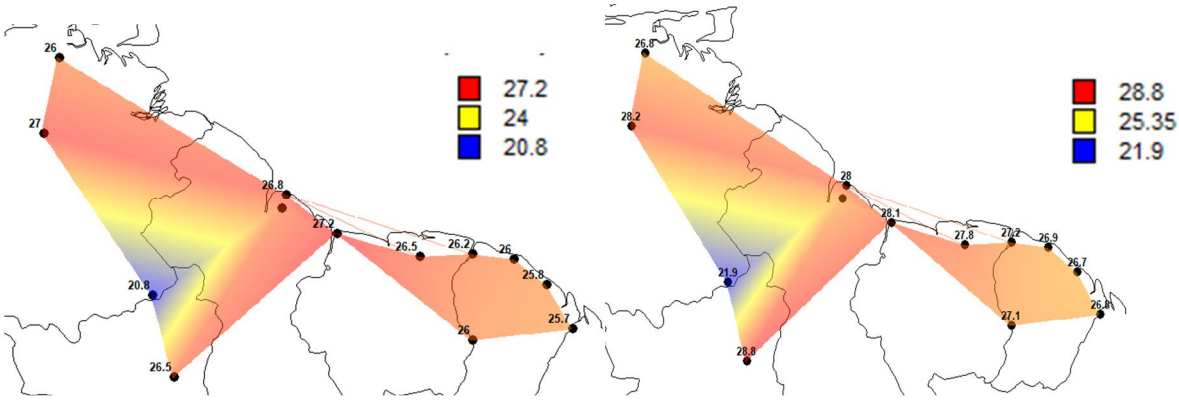


Рисунок.3.1.–Пространственные распределения норм среднемесячных температур воздуха (слева направо и сверху вниз): января, апреля, июля и октября.

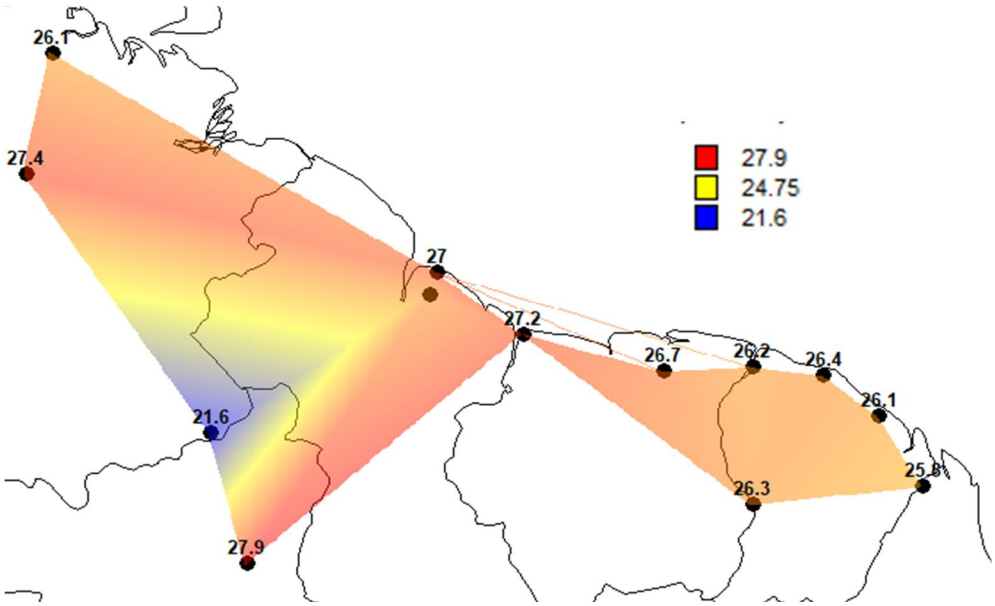
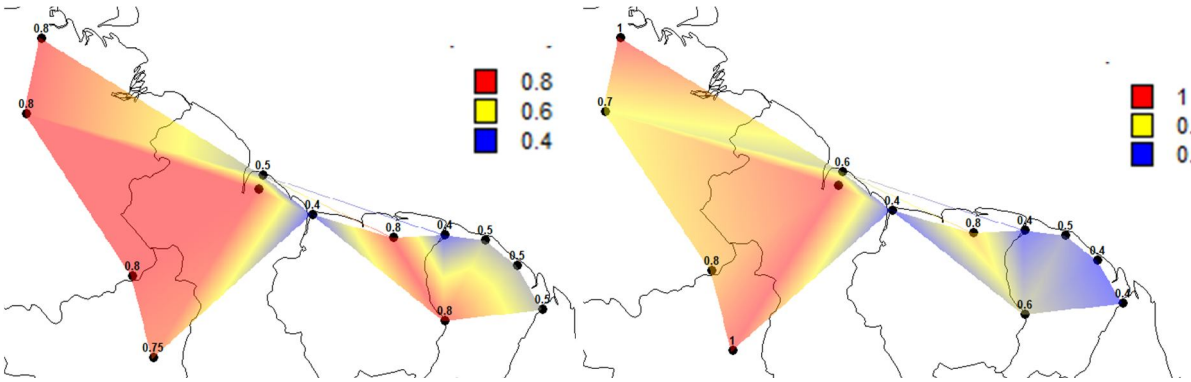


Рисунок.3.2–Пространственное распределения норм среднегодовых температур.



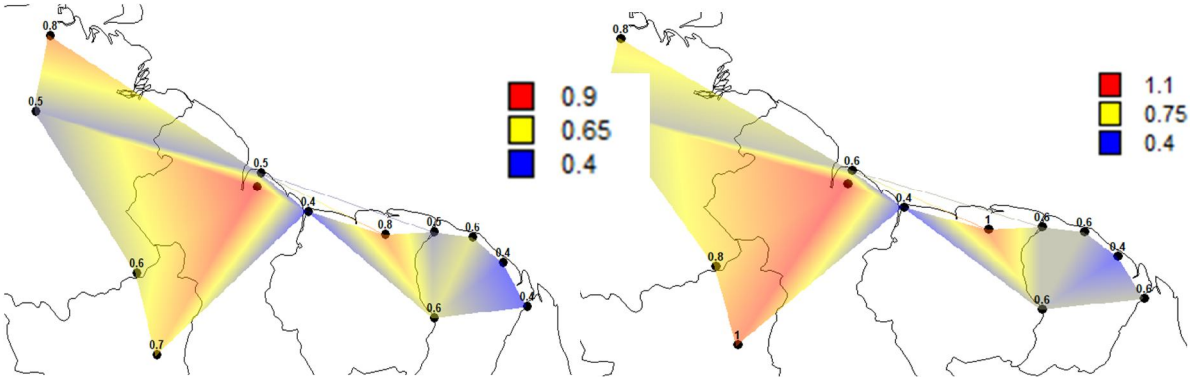


Рисунок.3.3– Пространственные распределения СКО среднемесячных температур воздуха (слева направо и сверху вниз): января, апреля, июля и октября.

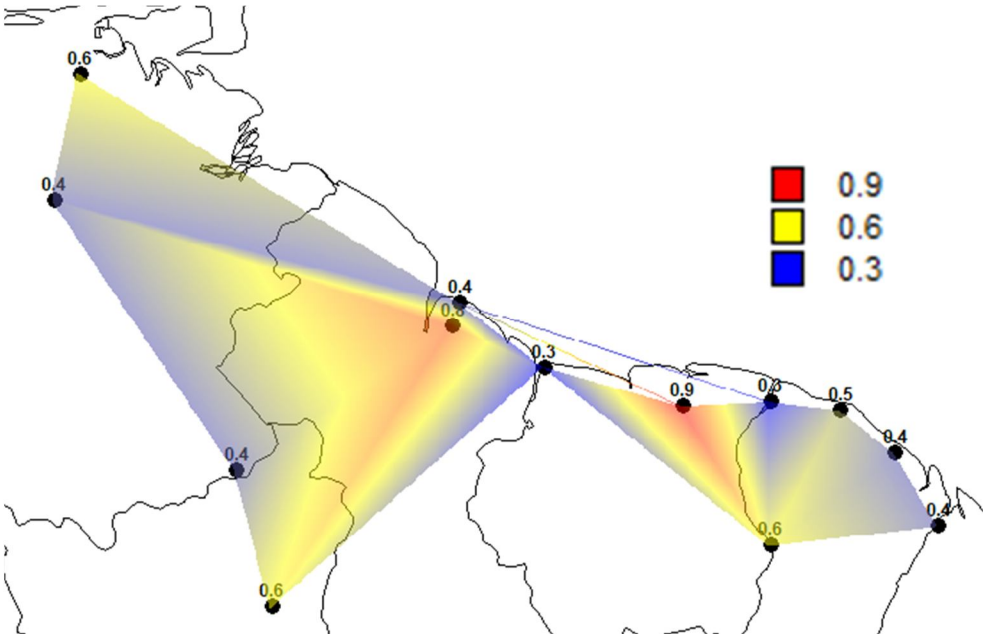
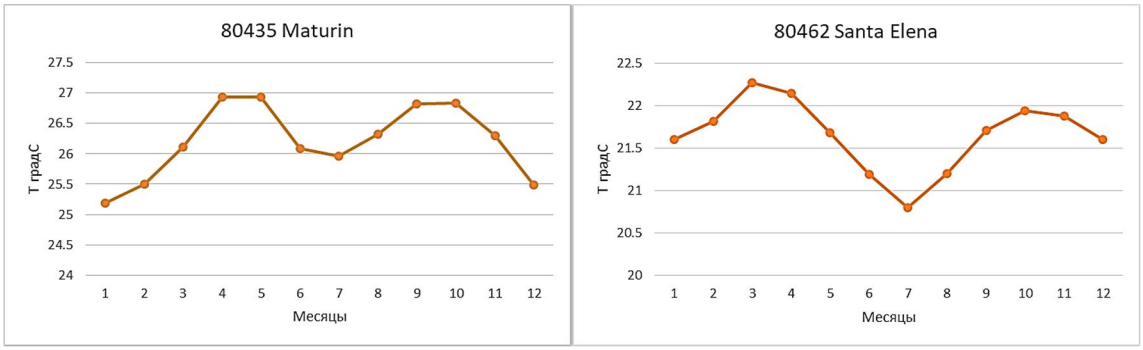


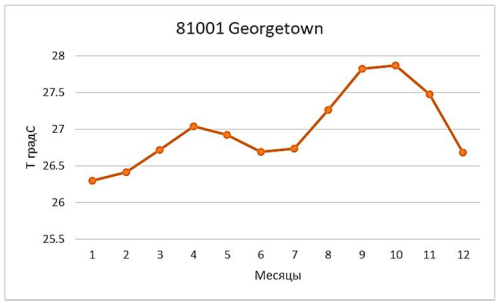
Рисунок.3.4– Пространственное распределения СКО среднегодовых температур.

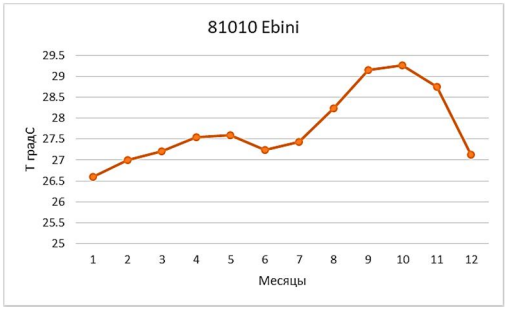
Из анализа и рассмотрения рис.3.1 – 3.4 следует, что нормы температур изменяются по территории не существенно, в основном на 2-3°С. Исключение составляет метеостанция 80462 Санта Елена на юго-востоке Венесуэлы, где температура на 5-7°С ниже во все характерные месяцы и за год. Наибольшие температуры во все сезоны кроме летнего обычно внутри материка. Естественная многолетняя изменчивость температур на побережье обычно меньше, и в холодное полугодие (осень, зима, весна) меньше даже в 2 раза, чем в глубине материка.

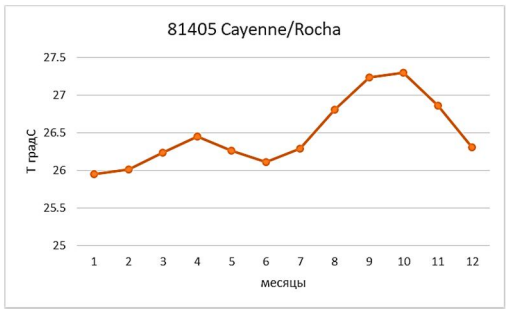
Внутригодовые климатические распределения температур воздуха приведены на рис.3.5 для метеостанций с наиболее продолжительными рядами наблюдений, находящихся в разных частях рассматриваемой территории.

Можно выделить два основных типа внутригодового хода температур воздуха. Первый тип, представленный станциями 80435, 80462, 82024 имеет два максимума температур внутри года. Первый весенний максимум относится к марту – апрелю, второй осенний к сентябрю – октябрю. В некоторых случаях, как на северных станциях, весенний максимум несколько больше осеннего. В другом случае – они примерно одинаковые, как для станции 82024, находящейся в глубине континента на юге (северо-восток Бразилии). Особенность этих станций в том, что они расположены в глубине континента. Второй тип внутригодового распределения температур относится к прибрежным станциям (81001, 81010 и 81405), в которых имеет место только один в году максимум, приходящийся на осень, а весенний подъем температур практически не проявляется. Для всех рассматриваемых станций характерен летний минимум температур. Амплитуда годового хода температур очень небольшая и составляет по данным среднемесячных норм температур всего 2,0 - 2,5°С. Примерно такого же порядка составляет и многолетняя изменчивость или размах многолетних колебаний температур при среднем СКО 0,6-0,7°С. Поэтому, если долгопериодные климатические изменения будут превышать даже полградуса Цельсия, то для данной территории это уже достаточно много.









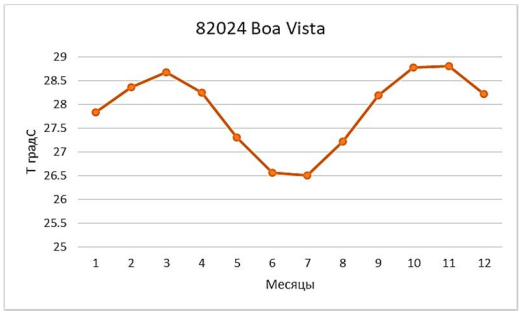


Рисунок.3.5.– Средние многолетние внутригодовые колебания температур воздуха.

3.2Моделирование временных рядов температуры воздуха

Аппроксимация временных рядов осуществлялась как для наблюденных температур воздуха, так и для приведенных к многолетнему периоду. Для оценки устойчивости полученных результатов были проведено моделирование для временных рядов разной продолжительности с разным годом начала наблюдений: с самого раннего года наблюдений, с 1950 года и с 1960 года, который характеризует последний период наблюдений (1960 – 2017 гг.).

Результаты устойчивых и эффективных ($\Delta>10\%$) показателей эффективности нестационарных моделей приведены в табл.3.2 для характерных месяцев всех четырех сезонов года: январь, апрель, июль, октябрь.

Таблица 3.2

Оценка эффективных и устойчивых показателей нестационарности моделей временных рядов

код	Δтр	Δст	Год ст.	R	код	Δтр	Δст	Год ст.	R
январь					апрель				
80435	17,1	24,5	2003	0,56	80435	6,7	19,7	2003	0,36
80462	4,7	14,2	1998	0,30	81225	0,2	17,7	1972	0,07
81225	3,1	29,2	1973	0,25	81403	22,6	23,9	1986	0,63
81403	13,3	14,3	1990	0,50	81415	4,2	19,2	1981	-0,29
81415	2,3	16,1	1981	-0,25	октябрь				
82024	12,3	18,3	1998	0,49	80435	10,2	18,7	2001	0,44
июль					80462	9,8	17,5	1995	0,43
80435	19,3	24,7	2004	0,59	81010	18,4	21,5	1987	0,58
80462	9,9	17,5	1997	0,43	81202	6,6	15,9	1990	0,36
81202	8,7	15,8	1987	0,41	81225	10,8	31,4	1995	0,58
81225	3,8	30,3	1971	0,27	81408	32,6	36,2	1992	0,74
81401	4,2	19,9	1981	-0,29	82024	17,5	20,3	1987	0,57
81403	38,1	37,7	1990	0,79					
81415	2,3	20,8	1981	-0,22					
82024	20,5	19,5	1983	0,61					

Результаты табл.3.2 свидетельствуют, что более эффективными в основном являются нестационарные модели ступенчатых изменений, т.к. Δ % для них больше. Это же показывают и временные графики, приведенные на рис.3.6-3.9 для некоторых нестационарных рядов.

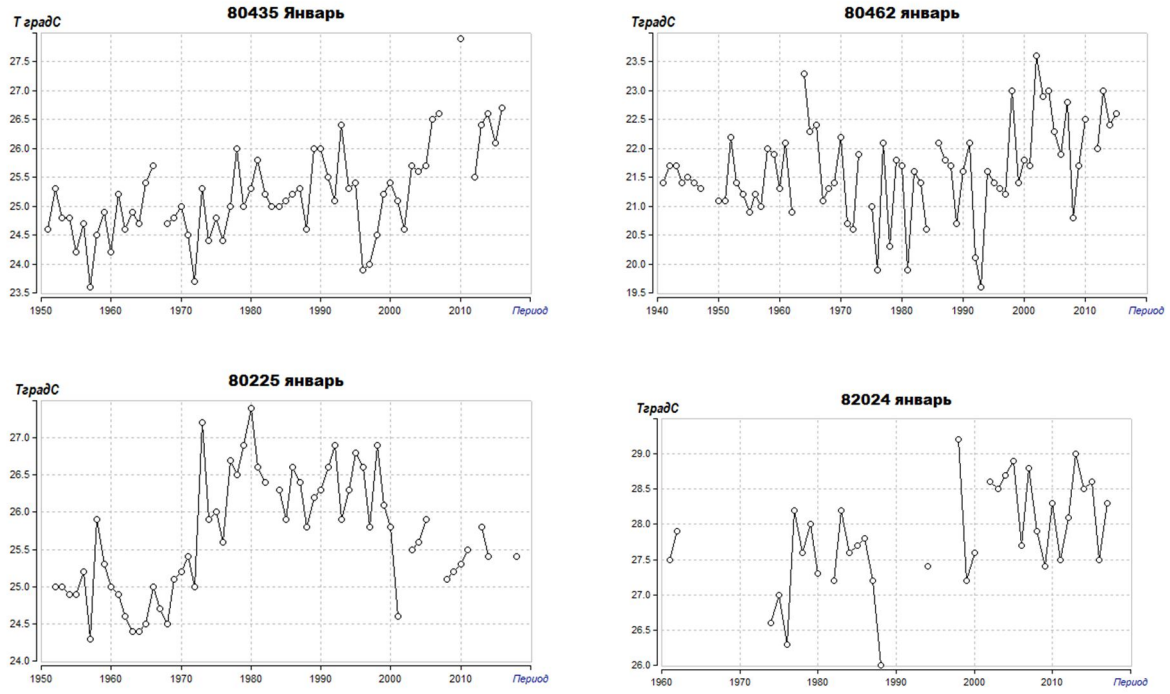
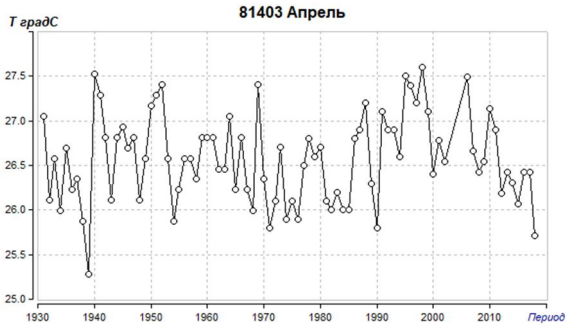


Рисунок.3.6.– Нестационарные ряды среднемесячных температур января



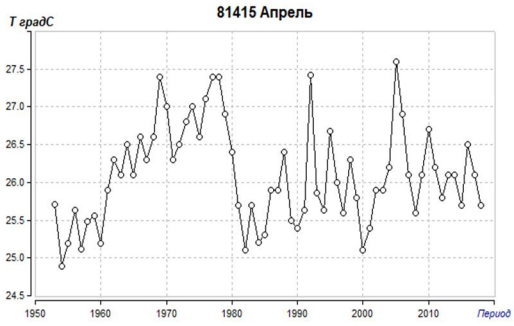
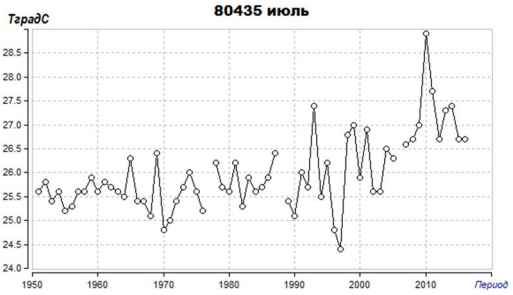
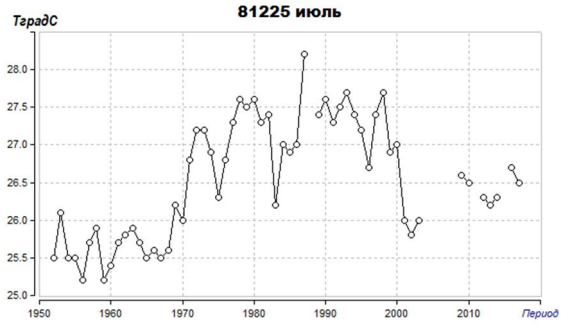
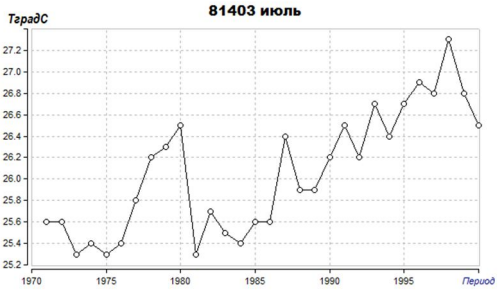


Рисунок.3.7. – Нестационарные ряды среднемесячных температур апреля







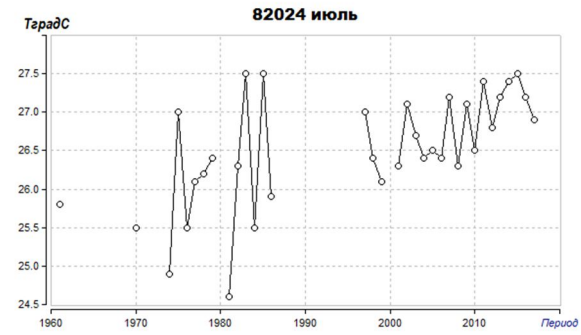
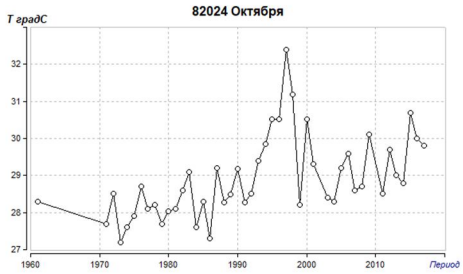
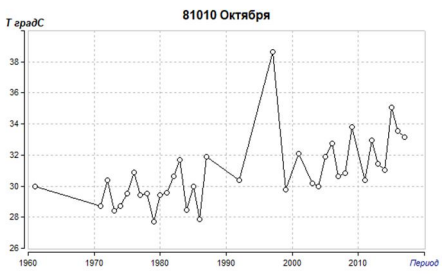


Рисунок.3.8. – Нестационарные ряды среднемесячных температур июля





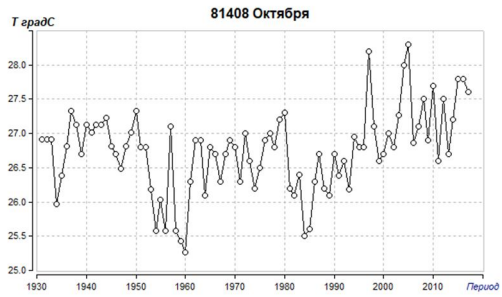


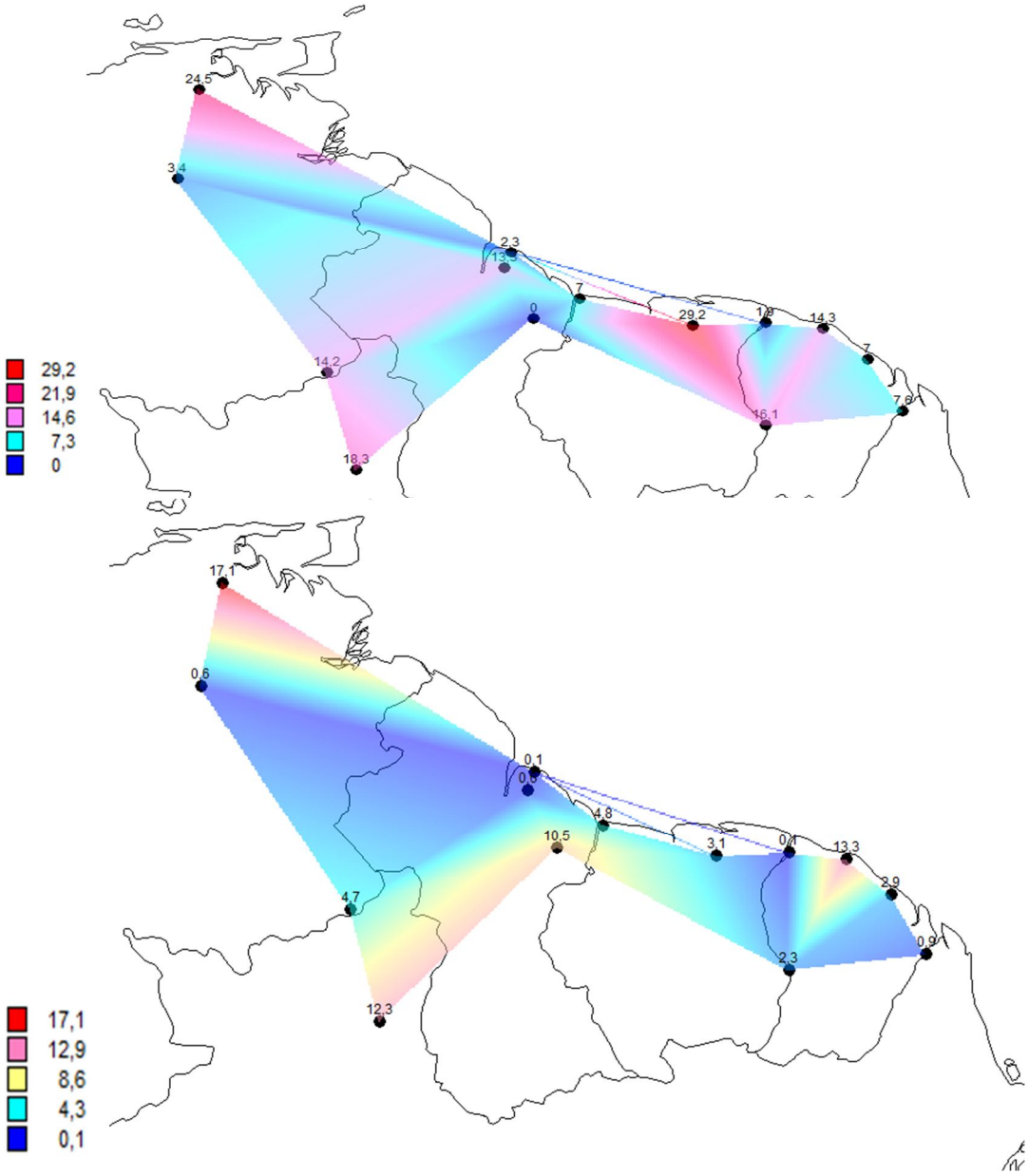
Рисунок.3.9.– Нестационарные ряды среднемесячных температур октября

Из анализа результатов табл.3.2 и графиков рис.3.6-3.9 можно сделать вывод, что модель ступенчатых изменений является более эффективной для аппроксимации временных рядов, чем модель тренда. Отличие от стационарной модели для эффективных нестационарных моделей с $\Delta>10$ % в среднем составляет 22% для модели ступенчатых изменений (при максимуме $\Delta=38$ %) и в среднем составляет 12% для модели линейного тренда (при максимуме $\Delta=38$ %). Поэтому можно считать, что модель ступенчатых изменений среднего значения почти в 2 раза эффективнее, чем модель линейного тренда. Практически всегда имеет место рост температур воздуха в последний период наблюдений, хотя дата ступенчатого увеличения температуры варьирует в широком диапазоне (табл.3.2) от начала 1980х годов до начала 2000х годов. Для метеостанции 81225 (Зандери, Суринам), как следует из рис.3.6-3.9 в последние годы (примерно с 2000-го) имеет место резкое аномальное падение температуры практически во все месяцы года.

3.3Пространственные закономерности показателей нестационарности температур воздуха

Карты пространственных закономерностей показателей эффективности Δ% для нестационарных моделей ступенчатых изменений и тренда, а также

коэффициенты корреляции линейных трендов приведены на рис.3.10-3.13 для характерных месяцев года.



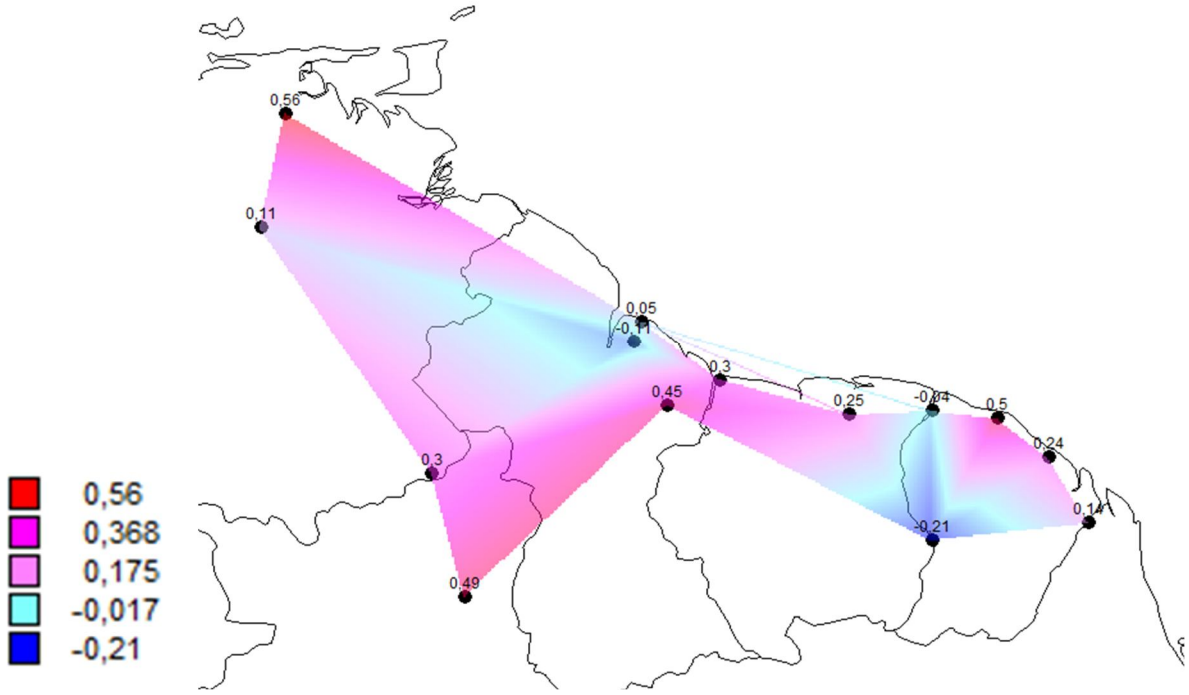
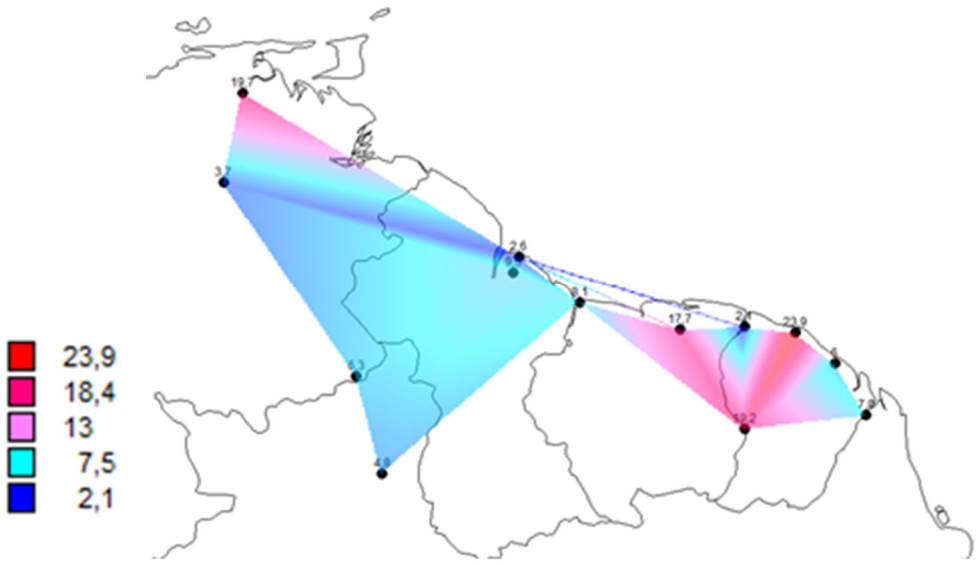
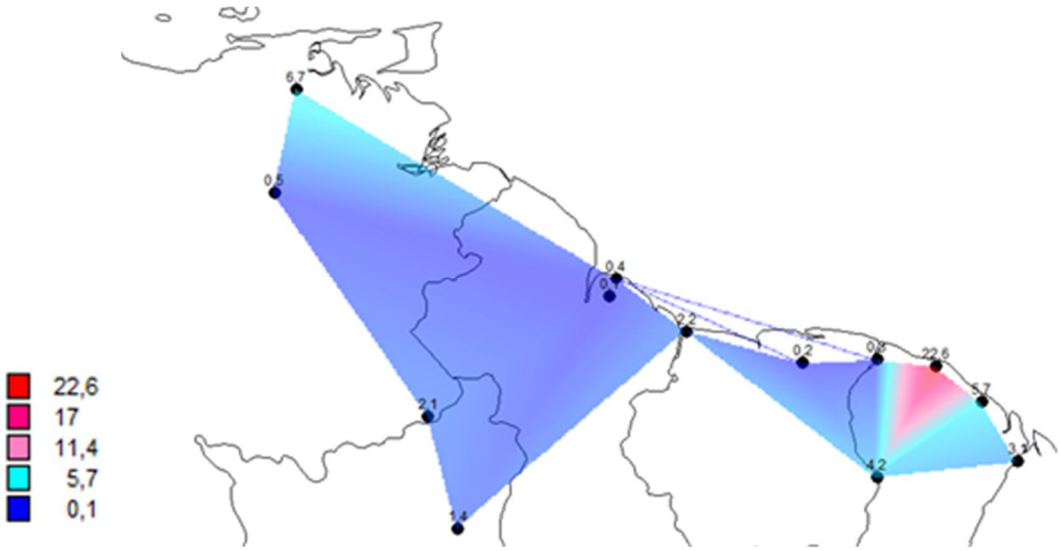


Рисунок.3.10.– Показатели нестационарных моделей температур января (сверху вниз): Δст, Δтр, R.

Как следует из пространственного распределения наиболее существенные изменения температур января (рис.3.10) имеют место на 6 метеостанциях: 80435 около моря на севере Венесуэлы, затем две станции в глубине континента (80462, 82024 в Венесуэле и Бразилии), затем существенный рост на станции 81225 (Суринам) вблизи побережья и рядом, а также рядом с ней станция 81403 (Французская Гвиана), а также нестационарность, обусловленная падением температуры на станции 81415 в глубине континента на юге.


23,9
18,4
13
7,5
2,1


22,6
17
11,4
5,7
0,1

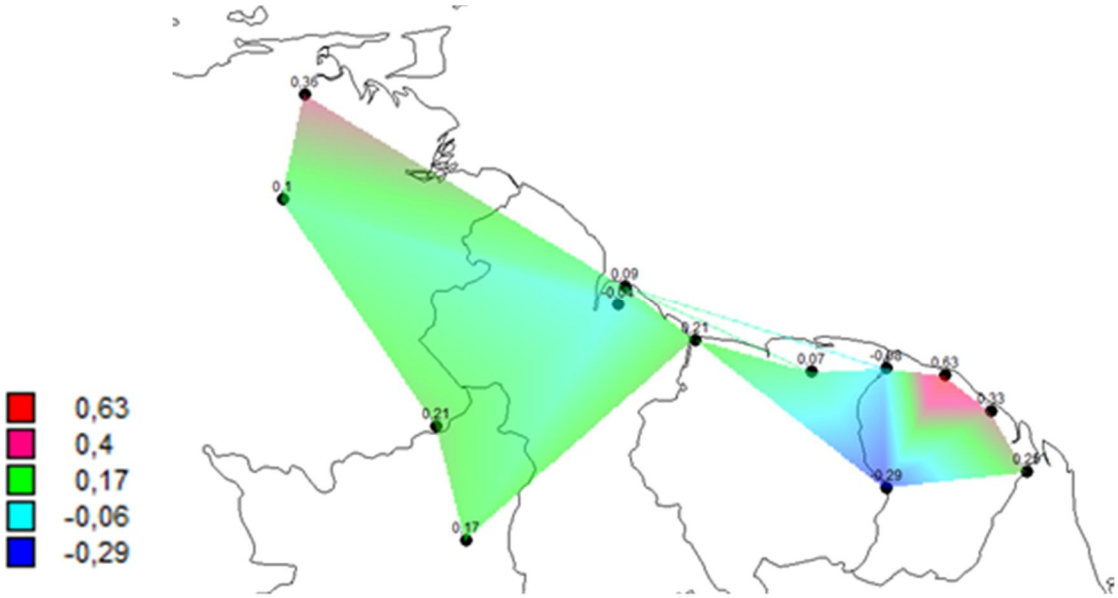
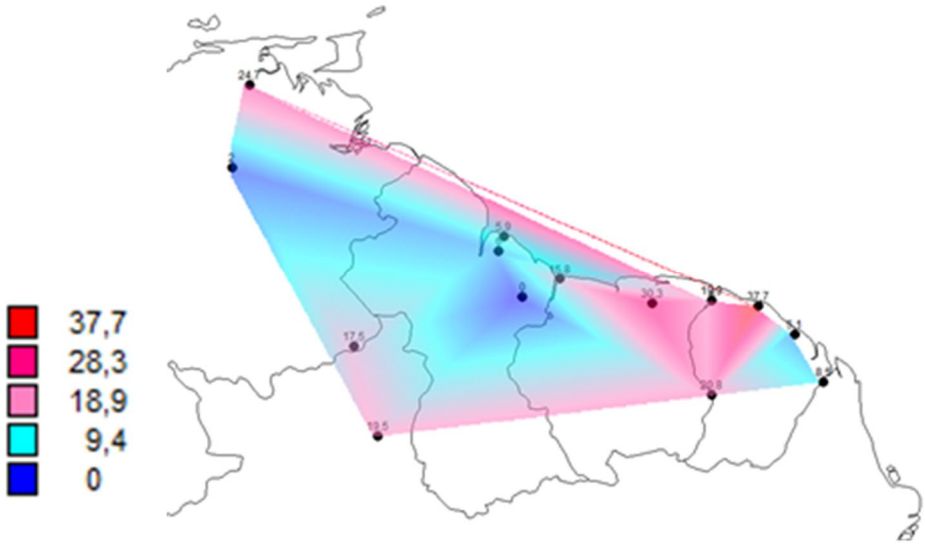

0,63
0,4
0,17
-0,06
-0,29

Рисунок.3.11.– Показатели нестационарных моделей температур апреля (сверху вниз): Δст, Δтр, R.

Пространственное распределение показателей нестационарных моделей апреля несколько отличается от распределения тех же характеристик в январе, особенно из-за того, что исчезают нестационарные модели внутри континента. Однако площадь, занимаемая нестационарными моделями меньше, хотя наиболее существенные изменения температур апреля имеют место также на метеостанции 80435 около моря на севере Венесуэлы и падение температуры также на станции 81415 в глубине континента на юге. Рост температур на станция 81225 (Суринам) вблизи побережья и рядом с ней рост на станции 81403 (Французская Гвиана).



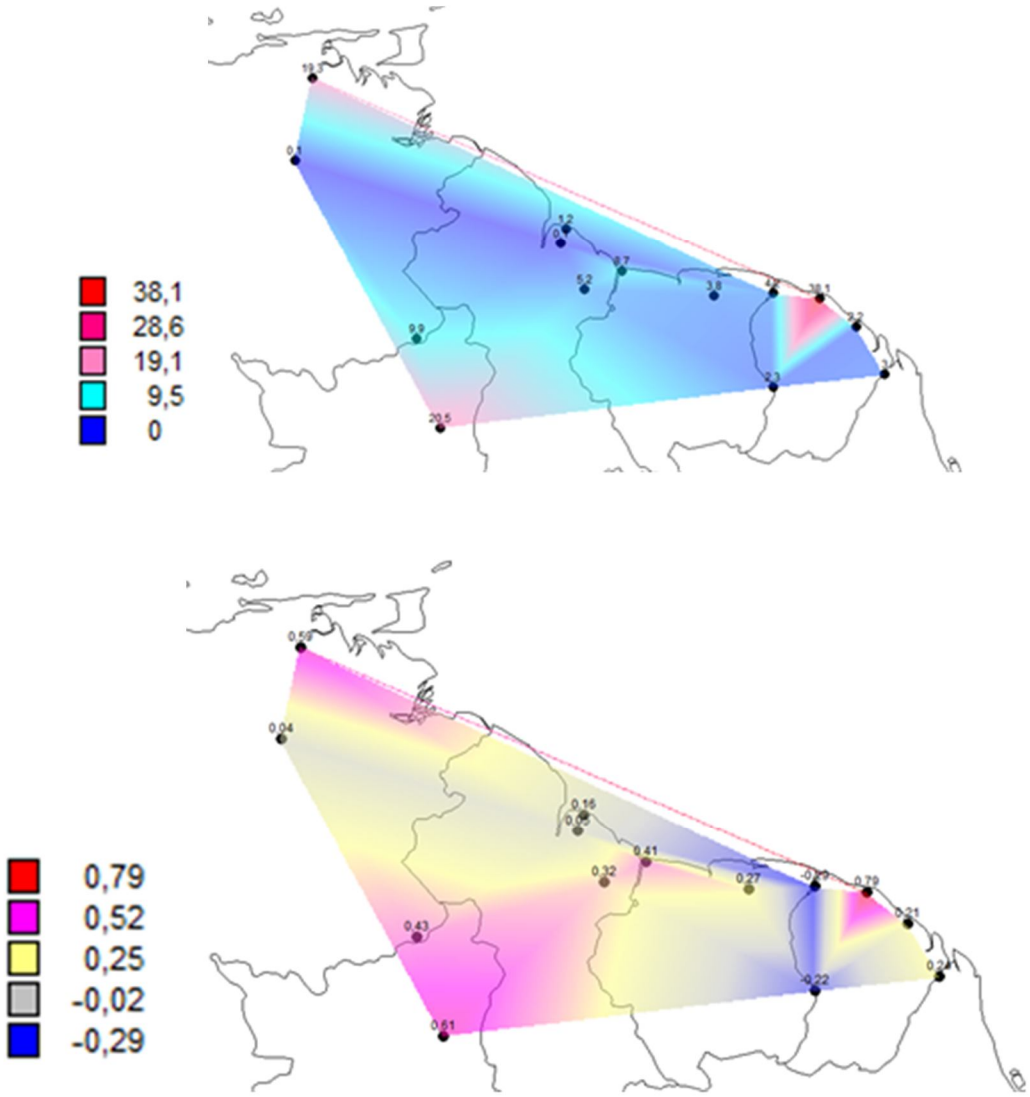
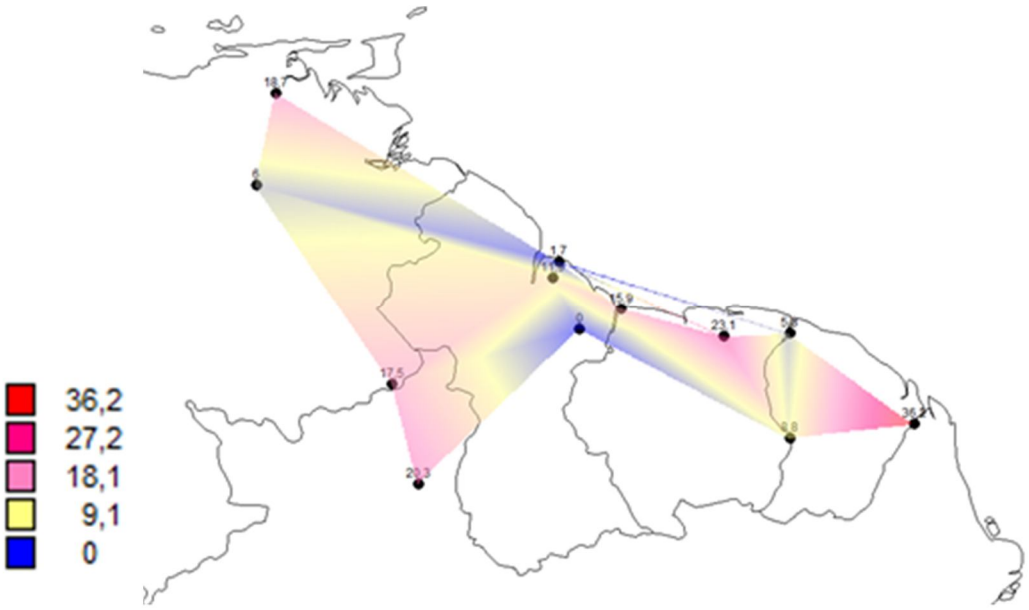
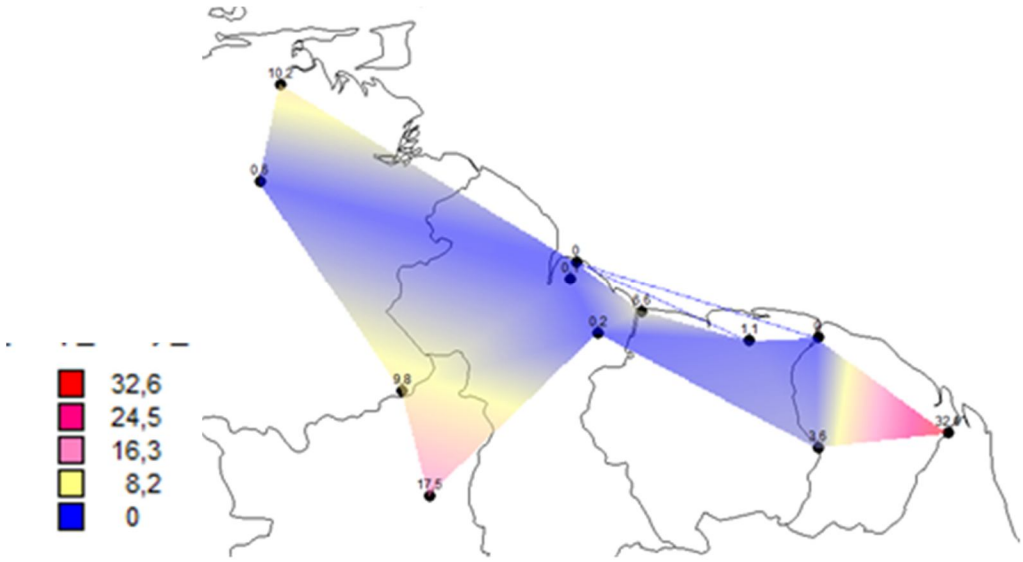


Рисунок.3.12.– Показатели нестационарных моделей температур июля (сверху вниз): Δст, Δтр, R.

Как следует из пространственного распределения наиболее существенные изменения температур июля имеет место на 8 метеостанциях: 80435 около моря на севере Венесуэлы, затем две станции в глубине континента (80462,82024 в Венесуэле и Бразилии). 81202 около моря на северо-западе Суринама, затем существенный рост на станции 81225 (Суринам), а также 3 станции во Французской Гвиане (81403,81405, и 81415).


36,2
27,2
18,1
9,1
0


32,6
24,5
16,3
8,2
0

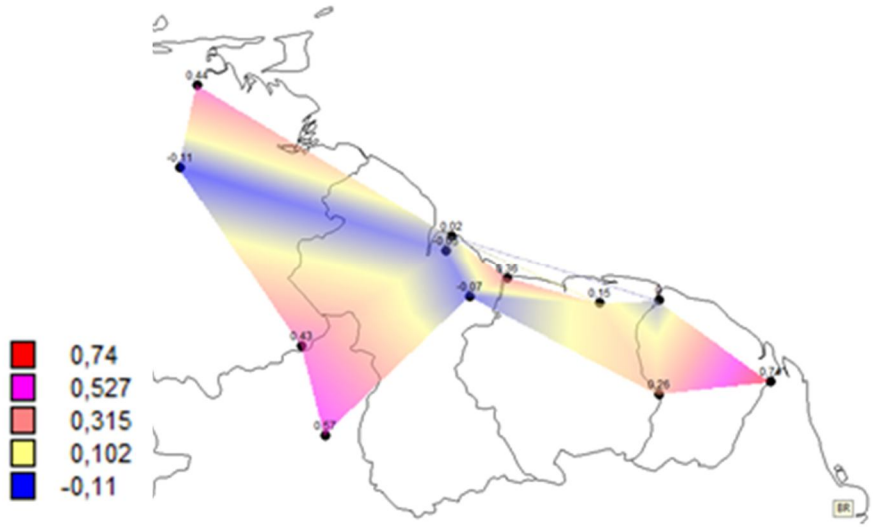


Рисунок.3.13.– Показатели нестационарных моделей температур октября (сверху вниз): Δст, Δтр, R.

Как следует из пространственного распределения наиболее существенные изменения температур октября имеют место на 9 метеостанциях: 80435 около моря на севере Венесуэлы, затем две станции в глубине континента (80462,82024 в Венесуэле и Бразилии). Станции 81001 вблизи побережья и 81002 (в Гайане). Затем 81202 около моря на северо-западе Суринама, также рядом с ней существенный рост на станции 81403 (Французская Гвиана). На станциях 81405 и 81415 также существенный рост и на самой восточной метеостанция во Французский Гвиане (81408).

3.4 Оценка климатических изменений норм температуры воздуха

В связи с тем, что все наблюдаемые изменения имеют место в основном после 1990 года, принято решение определить климатические нормы за два периода: с начала наблюдений по 1996 г. ($T1_{ср}$) и с 1997 г. по 2017 г. ($T2_{ср}$). Разность этих норм $\Delta T_{ср}=T2_{ср}- T1_{ср}$ и будет являться количественной мерой характеристики климатического изменения температуры воздуха.

Для января и декабря как характерных месяцев зимнего и весеннего сезонов нормы за два периода времени и их разности приведены в табл.3.3. В этой же таблице дополнительно приведены и нормы за весь период наблюдений ($T_{ср}$) и СКО, которое позволяет оценить превышает или нет $\Delta T_{ср}$ его одинарное значение. Также в табл.3.3 приведены случаи отклонения гипотезы стационарности средних значений двух частей ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости α=5% (знак «-») и ярким цветом выделены ситуации з\статистически значимых $\Delta T_{ср}$: когда отклоняется гипотеза стационарности по критерию Стьюдента и когда $\Delta T_{ср}$ >=СКО.

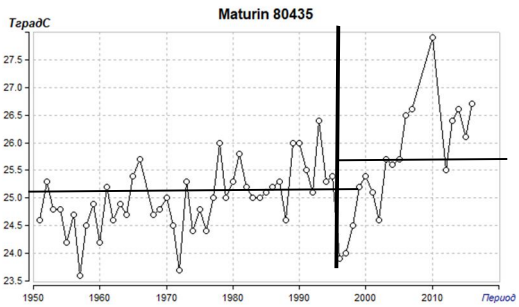
Таблица 3.3.

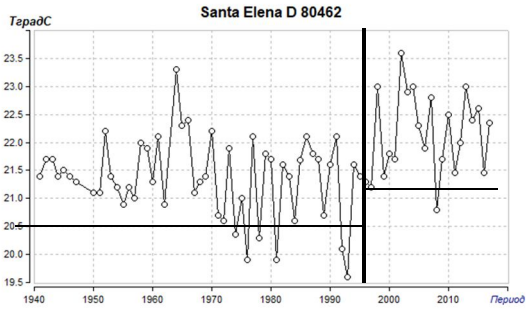
Оценка изменения норм температур ($\Delta T_{ср}$) за два полупериода: с начала наблюдений до 1996 г. ($T1_{ср}$) и с 1997 г. по 2017 г. или последний год наблюдений ($T2_{ср}$) в °С (для января и апреля).

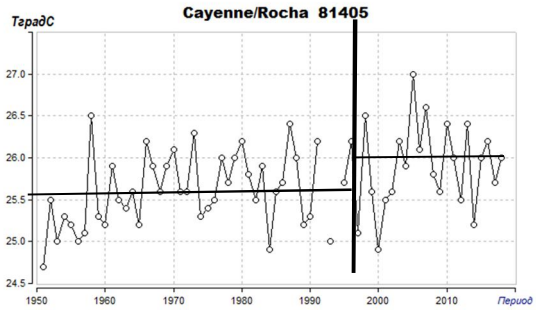
Код станции	$T1_{ср}$	$T2_{ср}$	$\Delta T_{ср}$	$T_{ср}$	СКО	Критерий Стьюдента
Январь						
80435	25,0	25,8	**+0,8**	25,2	0,8	
80444	26,4	26,8	+0,4	26,5	0,8	
80462	21,4	22,3	**+0,9**	21,6	0,8	-
81001	26,4	26,7	+0,3	26,4	0,5	
81002	25,2	25,8	+0,1	25,3	0,8	
81202	26,4	26,9	+0,3	26,5	0,4	
81225	25,7	25,6	-0,1	25,7	0,8	
81401	25,4	25,5	+0,1	25,5	0,4	
81403	25,9	26,5	+0,6	26,0	0,5	
81405	25,6	25,9	**+0,3**	25,7	0,5	-
81408	25,1	25,3	+0,2	25,2	0,5	
81415	25,6	25,6	0,0	25,6	0,8	
82024	27,4	28,2	**+0,8**	27,8	0,75	-
Апрель						
80435	26,7	27,5	**+0,8**	26,9	1,0	-
80444	28,6	28,7	+0,1	28,6	0,7	
80462	22,0	22,5	+0,5	22,1	0,8	
81001	27,1	27,5	+0,4	27,1	0,6	
81002	26,3	26,7	+0,4	26,4	1,0	
81202	27,1	27,6	**+0,5**	27,2	0,4	-
81225	26,5	26,3	-0,2	26,5	0,8	
81401	26,1	26,1	0,0	26,1	0,4	
81403	26,1	27,2	**+0,8**	26,6	0,5	-

81405	26,1	26,4	**+0,3**	26,2	0,4	-
81408	25,6	25,8	+0,2	25,7	0,4	
81415	26,3	26,3	0,0	26,2	0,6	
82024	28,2	28,3	+0,1	28,2	1,0	

Графики нестационарных рядов температур января и апреля, в которых изменение средних норм равны или превышают СКО, приведены на рис.3.14-3.15.







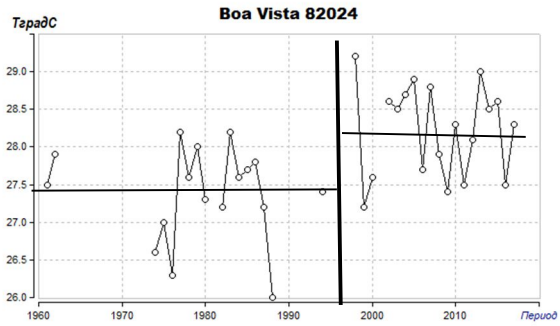
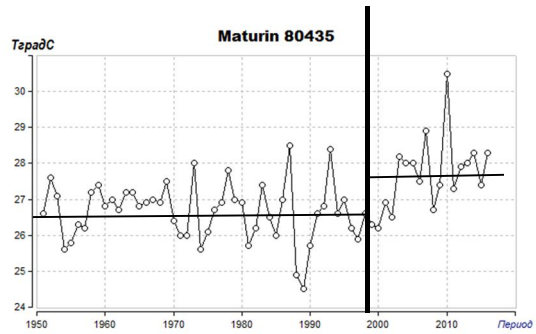


Рисунок.3.14.– Многоление ряды со статистически значимым изменением норм температур в январе.



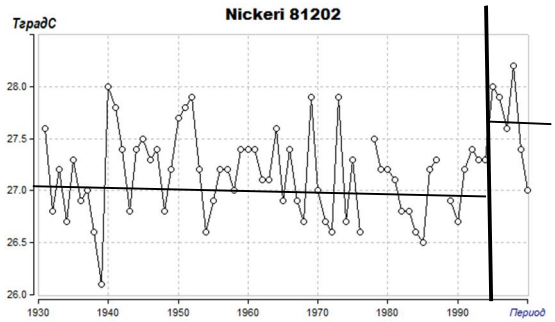


Рисунок.3.15.– Многоление ряды со статистически значимым изменением норм температур в апреле.

Пространственное распределение $\Delta T_{ср}$ для января приведено на рис.3.16, из которого следует, что наибольший рост норм температур до 0,9°С имел место во внутренних областях континента, а на побережье рост норм составил в среднем 0,3°С и даже на одной из станций (81225) имеет место падение нормы температур, хотя всего на -0,1°С.

В апреле наибольшие изменения наблюдаются вблизи побережья (рис.3.17) и достигаю 0,8°С, а во внутренних областях – максимум 0,5°С, но в основном 0 и 0,1°С. На станции 81225 также как и в январе имеет место аномальное уменьшение норм на -0,2°С.

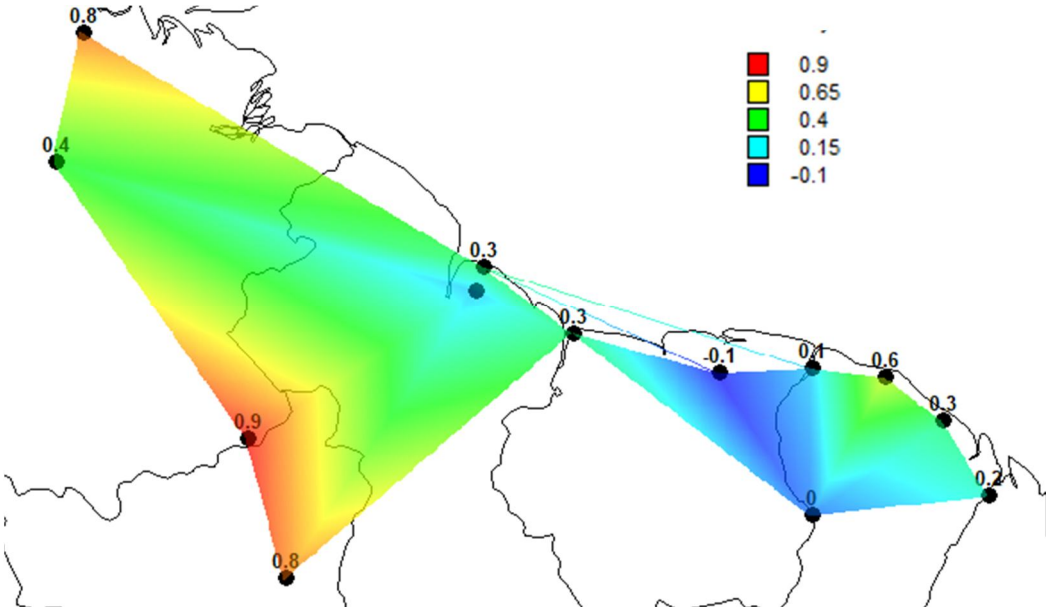


Рисунок.3.16.– Пространственное распределение $\Delta T_{ср}$ для температуры января.

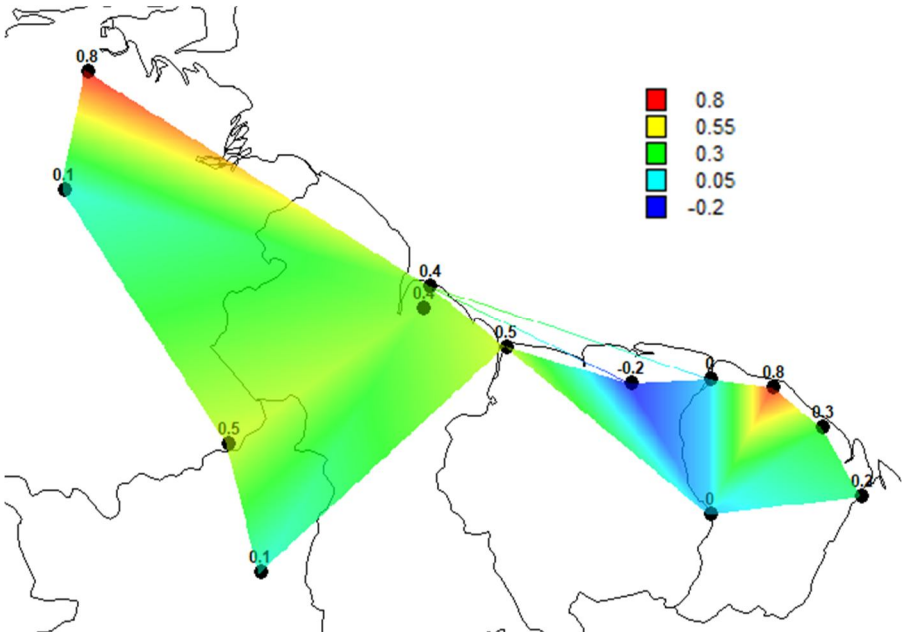


Рисунок.3.17– Пространственное распределение $\Delta T_{ср}$ для температуры апреля.

Рассчитанные нормы температур за две части временных рядов и их разности для других месяцев года и для среднегодовых значений приведены в табл.3.4.

Таблица 3.4.

Оценка изменения норм температур ($\Delta T_{ср}$) за два полупериода: с начала наблюдений до 1996 г. ($T1_{ср}$) и с 1997 г. по 2017 г. или последний год наблюдений ($T2_{ср}$) в °С (для июля, октября и года).

код	июль			октябрь			год		
	$T1_{ср}$	$T2_{ср}$	$\Delta T_{ср}$	$T1_{ср}$	$T2_{ср}$	$\Delta T_{ср}$	$T1_{ср}$	$T2_{ср}$	$\Delta T_{ср}$
80435	25,7	26,7	**1,0**	26,6	27,4	**0,8**	26,0	26,6	0,6
80444	27,0	27,1	0,1	28,1	28,2	0,1	27,4	27,5	0,1
80462	20,6	21,3	**0,7**	21,7	22,6	**0,6**	21,6	22,0	**0,4**
81001	26,8	27,1	0,3	27,9	28,3	0,4	27,0	27,4	0,4
81002	26,1	26,6	0,5	26,9	27,3	0,4	26,2	26,4	0,2
81202	27,1	27,6	0,5	28,0	28,6	**0,6**	27,2	27,3	0,1
81225	26,5	26,5	0,0	27,9	27,6	-0,3	26,6	27,3	0,7
81401	26,2	26,2	0,0	27,1	27,3	0,2	26,2	26,2	0,0
81403	25,9	26,8	0,9	26,7	27,7	1,0	26,2	27,0	0,8
81405	25,7	26,1	**0,4**	26,6	27,2	**0,6**	26,0	26,4	**0,4**
81408	25,6	25,9	0,3	26,5	27,3	**0,8**	25,7	26,1	**0,4**
81415	26,0	26,0	0,0	26,9	27,4	**0,5**	26,2	26,4	0,2
82024	26,0	26,8	**0,8**	28,2	29,4	**1,2**	27,3	28,3	**1,0**

Графики некоторых нестационарных рядов с разделением ряда на две части приведены на рис.3.18- 3.19.

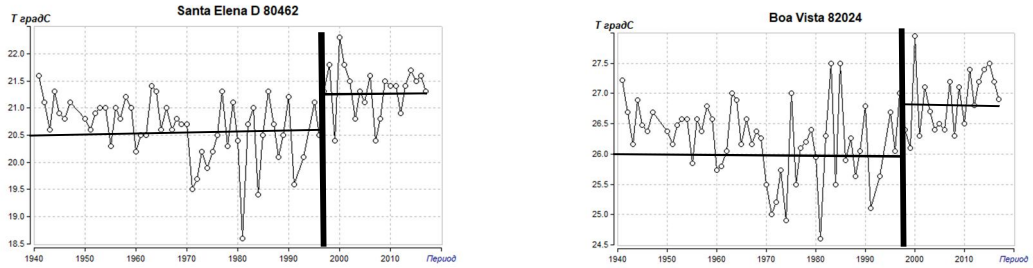


Рисунок.3.17– Многолетние ряды со статистически значимым изменением норм температур в июле.

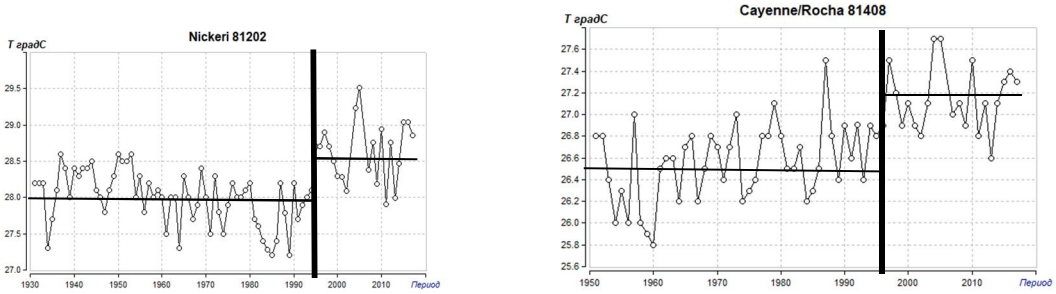


Рисунок.3.18– Многолетние ряды со статистически значимым изменением норм температур в октябре.

Пространственные распределения разностей норм для июля, октября и года приведены на рис.3.19-3.21.

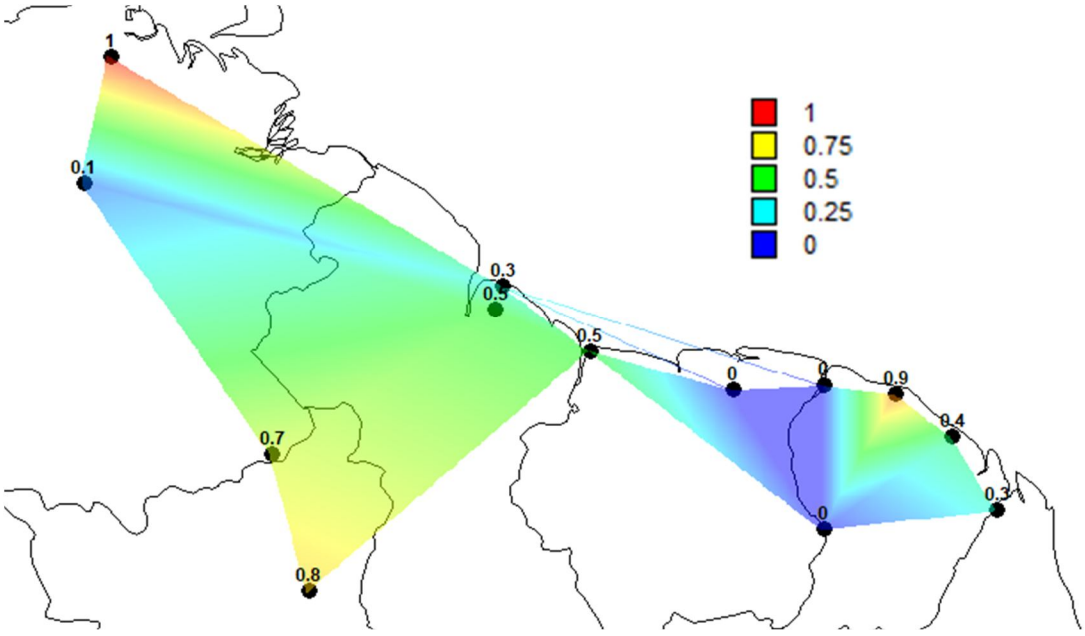


Рисунок.3.19– Пространственное распределение $\Delta T_{ср}$ для температуры июля.

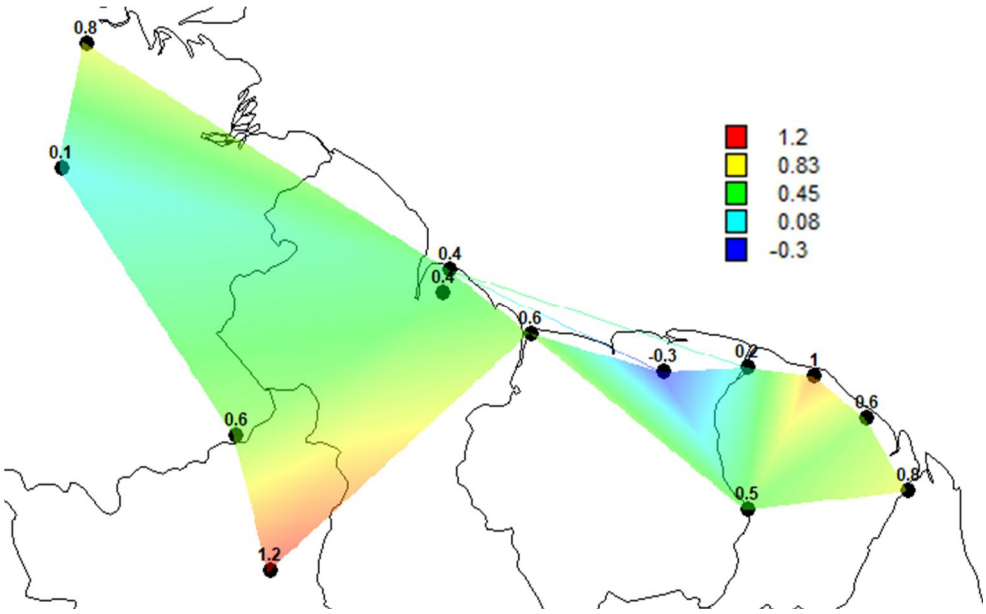


Рисунок.3.20 –Пространственное распределение $\Delta T_{ср}$ для температуры октября.

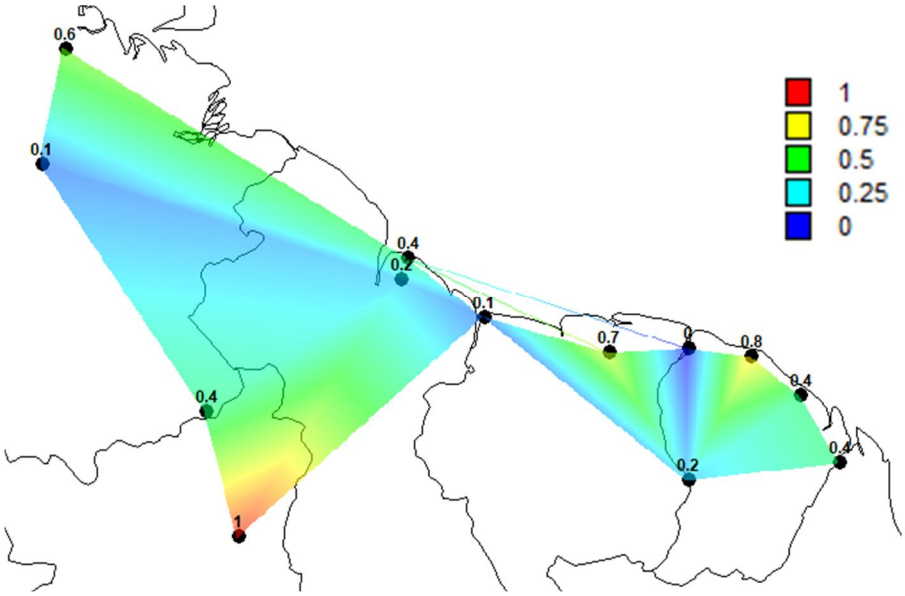


Рисунок.3.21– Пространственное распределение $\Delta T_{ср}$ для среднегодовых температур.

Пространственные распределения $\Delta T_{ср}$ для июля и октября похожи с максимальным локальным ростом температур на севере, внутри континента и на побережье на территории французской Гвианы. Пространственное

распределение разности норм годовых температур также близко к среднемесячным.

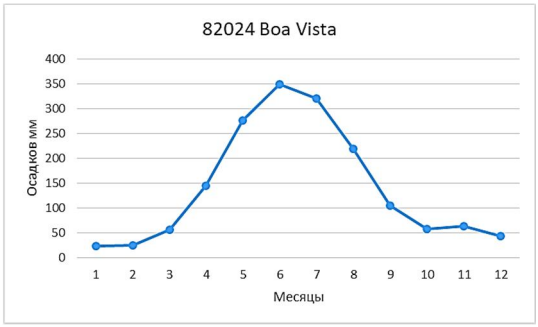
Практически во все сезоны наибольший рост норм температур имеет место на станции 80435, находящейся на северо-востоке Венесуэлы ($\Delta T_{ср}$ =0,8°C в январе, апреле, октябре и $\Delta T_{ср}$ =1,0°C в июле). Также значительно растут нормы температур во все сезоны на станции 82024, находящейся в Бразилии внутри континента ($\Delta T_{ср}$ =0,8°C в январе и июле и $\Delta T_{ср}$ =1,2°C в октябре, а в апреле норма температур практически не изменяется). Еще одной станцией на которой имеет место значимое повышение нормы температруы во все сезоны является станция 80462, расположенная на внутри континента на юго-востоке Венесуэлы ($\Delta T_{ср}$ =0,9°C в январе, $\Delta T_{ср}$ =0,5°C в апреле, $\Delta T_{ср}$ =0,7°C в июле и $\Delta T_{ср}$ =0,6°C в октябре). Большие изменения норм имеют место и еще на одной станции 81403, находящейся на побережье во французской Гвиане ($\Delta T_{ср}$ =0,6°C в январе, $\Delta T_{ср}$ =0,8°C в апреле, $\Delta T_{ср}$ =0,9°C в июле и $\Delta T_{ср}$ =1,0°C в октябре). На этих четырех станциях повышение температур наблюдается практически во все сезоны года и в среднем равно 0,8°C, что существенно для этого региона и сопоставимо с естественной изменчивостью. На остальных станциях температура повышалась по-разному в разные сезоны года.

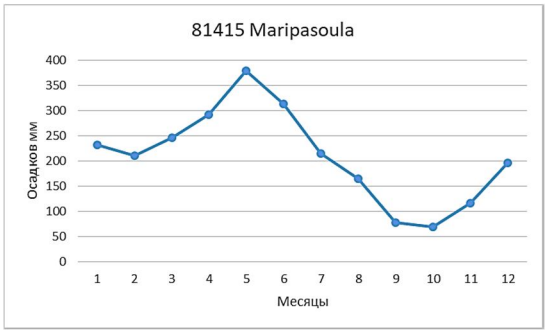
В среднем на всех станциях $\Delta T_{ср}$ =0,4°C в январе, $\Delta T_{ср}$ =0,3°C в апреле, $\Delta T_{ср}$ =0,4°C в июле и $\Delta T_{ср}$ =0,5°C в октябре. Поэтому число статистически значимых изменений норм в октябре составило 7, в июле и январе – 4, в апреле - 3.

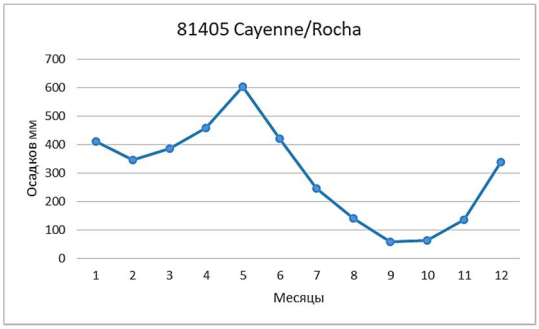
4Оценка климатических изменений осадков

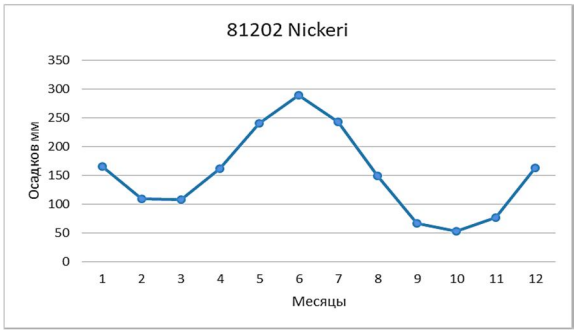
4.1Закономерности норм и изменчивости осадков

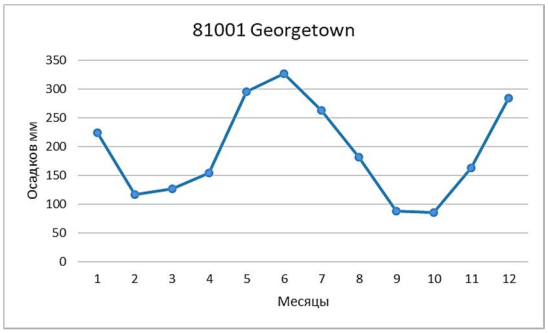
Прежде всего были рассчитаны нормы или средние многолетние значения осадков и их средние квадратические отклонения (СКО) за все месяцы года. Характерные графики внутригодовых изменений осадков приведены на рис.4.1 для отдельных метеостанций.

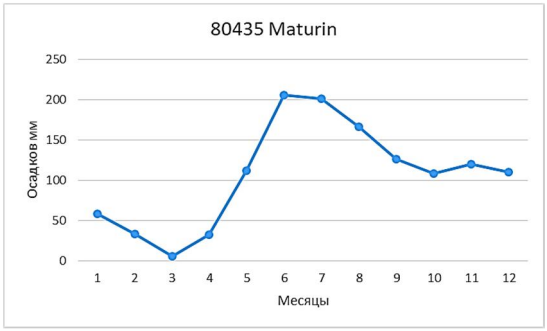












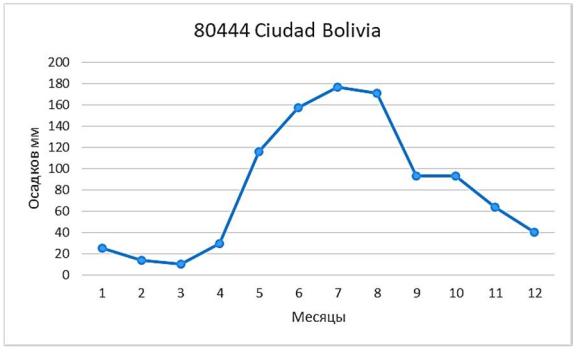


Рисунок.4.1– Внутригодовые закономерности осадков.

На рис.4.1 приведены внутригодовые климатические распределения осадков для метеостанций с наиболее продолжительными рядами наблюдений, находящихся в разных частях рассматриваемой территории. Для всех станций имеет место один наибольший максимум осадков, который наблюдается в основном в июне, но варьирует от мая до июля. Различия состоят в том, что на станциях внутри континента Boa Vista (82024), Ciudad Bolivia (80444) имеется только один хорошо выраженный летний максимум, а в остальные сезоны года осадков существенно меньше. А для станций, находящихся на побережье, имеет место еще и осенне-зимний максимум, хорошо выраженный на станции Georgetown (81001), а также на станциях Timehri (81002), Maturin (80435), Nickerie (81202). Немного отличается от остальных внутригодовое распределение осадков во Французской Гвиане, где они больше по величине, но не формируют второго зимнего максимума, хотя осадки практически монотонно растут с ноября (станции: Maripasoula (81415), Cayenne/Rocha (81405)). Минимум осадков обычно приходится на осень, хотя имеет место и второй весенний минимум на прибрежных станциях.

Рассчитанные средние многолетние осадки и СКО для характерных месяцев года приведены в табл.4.1, из которой следует, что в самом влажном месяце июле нормы осадков по территории изменяются от 173 мм на станции Bolivia (80444) до 301 мм на станции Boa Vista (82024). Обе эти станции находятся внутри континента, но одна на севере (Bolivia), а вторая (Boa Vista)

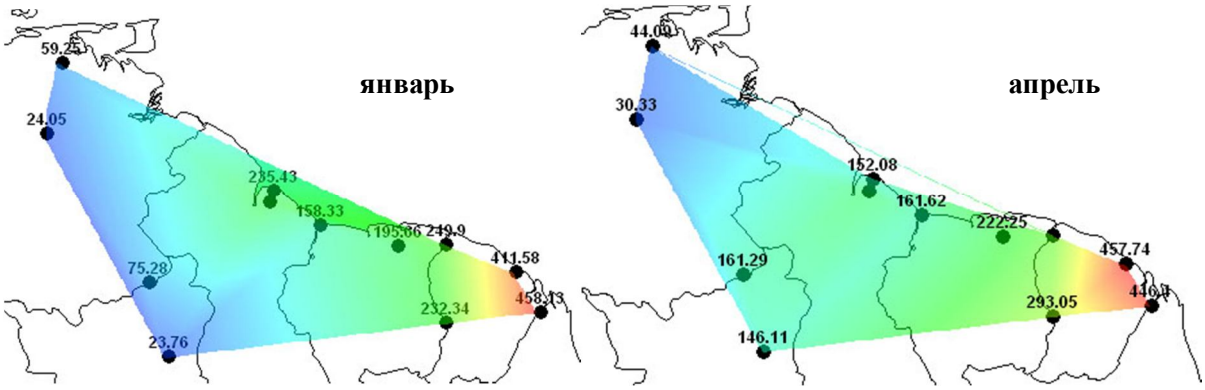
на юге рассматриваемой территории. СКО осадков за многолетний период являются очень большими и разными как для разных станций, так и для разных месяцев и в некоторых случаях даже превышают по абсолютной величине средние многолетние значения.

Для оценки пространственного распределения норм осадков были построены карты осадков за характерные месяцы года, которые приведены на рис.4.2.

Таблица 4.1

Нормы (Ср.) и СКО среднемесячных и среднегодовых осадков

Код	январь		апрель		июль		октябрь		год	
	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО
80435	59,25	45,54	44,09	38,00	203,69	72,46	108,84	49,95	103,97	12,84
80444	24,05	31,14	30,33	37,61	173,43	79,45	94,49	56,61	80,58	18,80
80462	75,28	68,89	161,29	92,75	239,46	96,61	115,27	59,19	147,83	15,76
81001	235,43	117,23	152,08	109,74	254,40	83,97	80,49	58,25	180,60	23,21
81002	212,95	127,41	196,52	141,24	287,31	88,40	133,34	68,96	207,53	29,07
81202	158,33	112,90	161,62	123,79	264,54	231,58	52,11	54,18	159,15	64,02
81225	195,66	91,34	222,25	122,24	227,08	75,71	96,92	61,64	185,48	22,52
81401	249,90	130,50	259,04	153,79	239,32	64,97	87,83	42,35	209,02	45,71
81405	411,58	217,71	457,74	246,43	245,31	78,58	65,53	55,65	295,04	83,49
81408	458,13	171,64	446,40	198,92	202,99	76,69	59,36	47,28	291,72	63,26
81415	232,34	97,69	293,05	120,70	214,28	62,87	69,72	40,26	202,35	30,99
82024	23,76	32,81	146,11	104,90	300,85	144,07	55,30	44,31	131,51	45,32



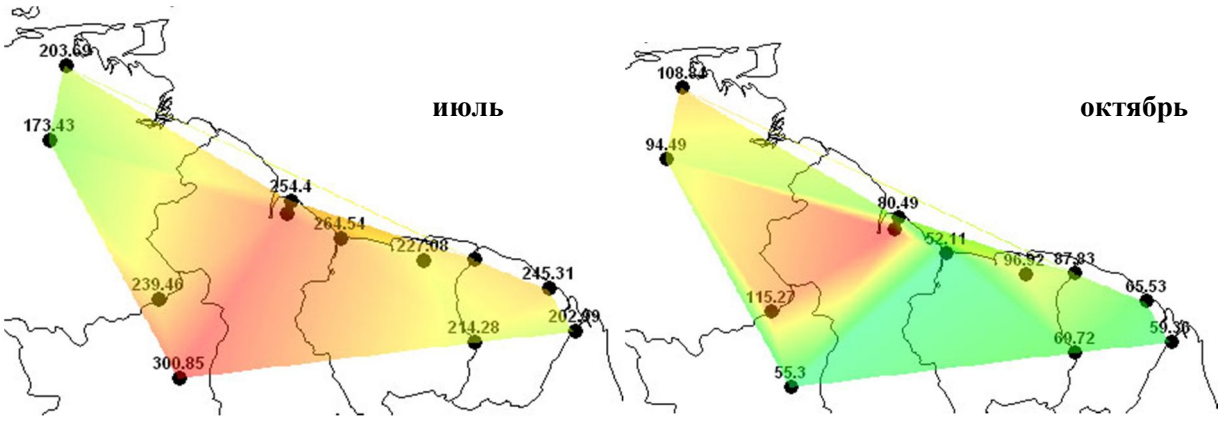
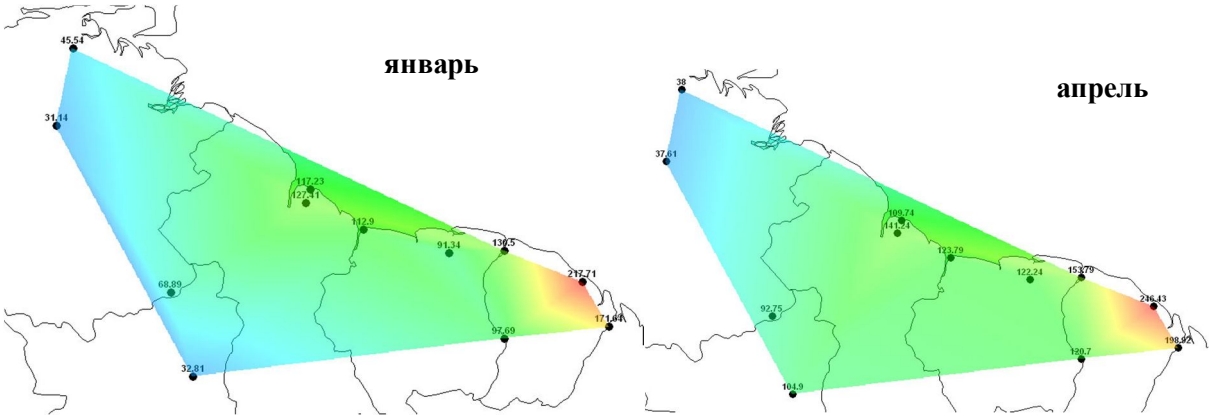


Рисунок.4.2– Пространственные распределения норм осадков характерных месяцев года.

Как следует из рис.4.2, в январе и апреле имеет место хорошо выраженная закономерность осадков в долготном направлении: на востоке у океана осадки наибольшие, а на западе наименьшие. Летом и осень максимум осадков находится в средней части рассматриваемой территории и смещен внутрь континента.

Пространственные распределения СКО осадков характерных месяцев приведены на рис.4.3.



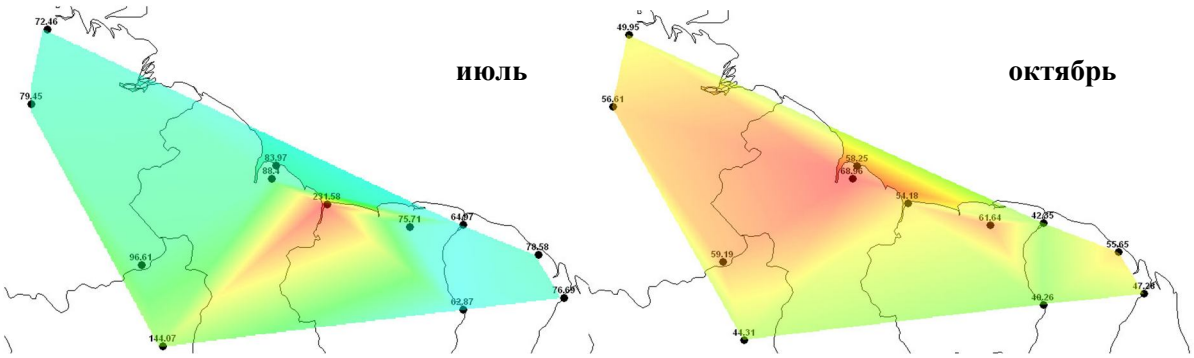


Рисунок.4.3– Пространственные распределения СКО осадков характерных месяцев года.

Как следует из рис.4.3 и сопоставления с рис.4.2, пространственные распределения СКО и норм осадков являются очень близкими за одинаковые месяцы. При этом наибольшее совпадение пространственных распределений норм и СКО наблюдается в январе и апреле. Поэтому были построены зависимости между СКО и нормами осадков, имеющие следующий вид:

$$СКО_{ян} = 0{,}377Pср_{ян} + 30{,}4, \quad R=0{,}94\ , \tag{4.1}$$

$$СКО_{ап} = 0{,}415Pср_{ап} + 35{,}4, \quad R=0{,}94\ , \tag{4.2}$$

$$СКО_{июл} = 0{,}395Pср_{июл} - 8{,}9, \quad R=0{,}67, \tag{4.3}$$

$$СКО_{окт} = 0{,}202Pср_{окт} + 36{,}0, \quad R=0{,}61, \tag{4.4}$$

где: Pср, СКО – средние многолетние (нормы0 и СКО осадков разных месяцев.

4.2Моделирование временных рядов осадков

Аппроксимация временных рядов осуществлялась как для наблюденных осадков, так и для приведенных к многолетнему периоду. Для оценки устойчивости полученных результатов были проведено моделирование для временных рядов разной продолжительности с разным годом начала

наблюдений: с самого раннего года наблюдений, с 1950 года и с 1960 года, который характеризует последний период наблюдений (1960 – 2017 гг.).

В результате не было получено ни одного случая, когда нестационарная модель является эффективной и показатель нестационарности всегда был $\Delta<10\%$. В качестве примера в табл.4.2 приведены показатели эффективности нестационарных моделей для наблюденных рядов за весь период наблюдений и за характерные месяцы года.

Таблица 4.2

Показатели эффективности нестационарных моделей временных рядов осадков за характерные месяцы года

Код	Δтр	Δст	R	Год ст.	Код	Δтр	Δст	R	Год ст.
Январь					Апрель				
80444	0	2	0,08	2004	80444	0	3	0,09	1980
80462	1	3	0,13	2004	81001	0	2	0,09	1970
81001	2	5	0,18	2004	81002	2	3	0,19	1976
81002	1	1	0,10	2000	81202	1	2	0,13	1976
81202	0	2	0,00	1977	81225	2	3	0,18	1970
81225	1	4	-0,13	1977	81401	1	5	0,14	1970
81401	1	3	-0,14	1977	81405	1	4	0,17	1970
81405	0	1	-0,03	2007	81408	1	3	0,10	1998
81415	1	4	-0,14	2002	Октябрь				
Июль					80444	1	2	0,09	1986
80435	0	1	-0,04	2006	81401	1	4	-0,11	1990
80444	5	8	-0,30	1971	81405	0	2	-0,66	1992
80462	2	6	0,21	1996	81408	1	3	-0,10	1996
81001	1	4	-0,14	1992					
81002	0	1	0,02	1974					
81202	1	1	-0,14	1974					
81225	0	3	-0,06	1983					
81401	2	7	-0,17	1988					
81405	0	3	0,04	2007					
81408	0	1	0,01	1971					
81415	0	3	-0,05	1971					
82024	2	5	-0,22	1971					

Результаты табл.4.2 свидетельствуют, что во всех случаях нестационарные модели тренда и ступенчатых изменений были неэффективны, так как Δ % для них варьирует от 0 и всего до 8%, а

коэффициенты корреляции модели линейного тренда во всех случаях являются статистически незначимыми.

4.3Оценка климатических изменений норм осадков

Для того, чтобы количественно оценить насколько изменяюся средние значения и СКО осадков ряды наблюдений были разделены на две части: с начала наблюдений до 1980 г. и с 1981 г. по 2017 г. Для каждой части временных рядов рассчитывались средние многолетние осадки: $P1_{ср}$ за период с начала наблюдений по 1980 г. и $P2_{ср}$ за период с 1981 по 2017 гг.. а также определялись их разности $\Delta P_{ср}=P2_{ср}-P1_{ср}$, которые и будет являться количественной мерой характеристики климатического изменения осадков. Для января и декабря как характерных месяцев зимнего и весеннего сезонов нормы за два периода времени и их разности приведены в табл.4.3. В этой же таблице дополнительно приведены и нормы за весь период наблюдений ($P_{ср}$) и СКО, которое позволяет оценить превышает или нет $\Delta P_{ср}$ его одинарное значение. Также в табл.4.3 приведены случаи отклонения гипотезы стационарности средних значений двух частей ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости α=5% (знак «-») и дисперсий по критерию Фишера и ярким цветом выделены ситуации статистически значимых $\Delta P_{ср}$: когда отклоняется гипотеза стационарности по критерию Стьюдента и когда $\Delta P_{ср}$ >=СКО.

Таблица 4.3.

Оценка изменения норм осадков ($\Delta P_{ср}$) за два полупериода: с начала наблюдений до 1980 г. ($P1_{ср}$) и с 1981 г. по 2017 г. или последний год наблюдений ($P2_{ср}$) в мм (для января и апреля).

Код Станций	$P1_{ср}$	$P2_{ср}$	$\Delta P_{ср}$	$P_{ср}$	СКО	Критерии Стьюдента	Критерии Фишера
Январь							
80435	55,00	63,50	+8	59,25	45,54	1,14	1,06
80444	27,01	21,08	-6	24,05	31,14	0,49	1,52
80462	65,50	85,06	+20	75,28	68,89	0,86	1,45
81001	216,27	254,58	+38	235,43	117,23	1,01	2,13
81002	217,91	208,00	-10	212,95	127,41	0,36	1,42
81202	170,70	145,95	-25	158,33	112,90	0,40	1,09
81225	202,66	188,66	-14	195,66	91,34	1,05	1,15
81401	267,70	232,15	-36	249,90	130,50	0,83	1,21
81405	409,85	413,32	+3	411,58	217,71	0,22	1,28
81408	455,40	460,85	+5	458,13	171,64	0,48	1,80
81415	242,33	222,34	-20	232,34	97,69	0,68	1,31
82024	23,85	23,68	0	23,76	32,81	0,36	1,97
Апрель							
80435	38,09	50,09	+12	44,09	38,00	1,09	1,67
80444	27,19	33,46	+6	30,33	37,61	0,94	1,44
80462	166,42	156,17	-10	161,29	92,75	0,03	1,40
81001	155,60	148,56	-7	152,08	109,74	0,28	1,34
81002	175,45	218,58	+44	196,52	141,24	0,21	1,21
81202	162,61	160,63	-2	161,62	123,79	0,46	1,19
81225	218,03	226,48	+8	222,25	122,24	0,16	1,24
81401	244,80	273,29	+28	259,04	153,79	0,57	1,04
81405	473,13	442,36	-31	457,74	246,43	0,37	1,95
81408	446,55	446,26	0	446,40	198,92	0,09	1,66
81415	303,43	282,67	-21	293,05	120,70	1,06	1,21
82024	142,45	149,78	+7	146,11	104,90	0,36	1,47

Как следует из результатов табл.4.3, все средние значения являются стационарными по критерию Стьюдента. Разности норм осадков за два полупериода во всех случаях значительно меньше СКО и притом разного знака. Наибольшая положительная разность осадков составляет +38 мм, а наибольшая отрицательная -36 мм в января, что составляет всего 0,3 от СКО. В апреле наибольшая положительная разность норм осадков +44 мм, а отрицательная -31 мм, что также составляет не более 0,3 от СКО. Поэтому

можно считать, что ряды осадков пока остаются стационарными и современное изменение климата на них еще не оказывает влияния. Графики некоторых рядов осадков января и апреля, приведены на рис.4.4 и 4.5.

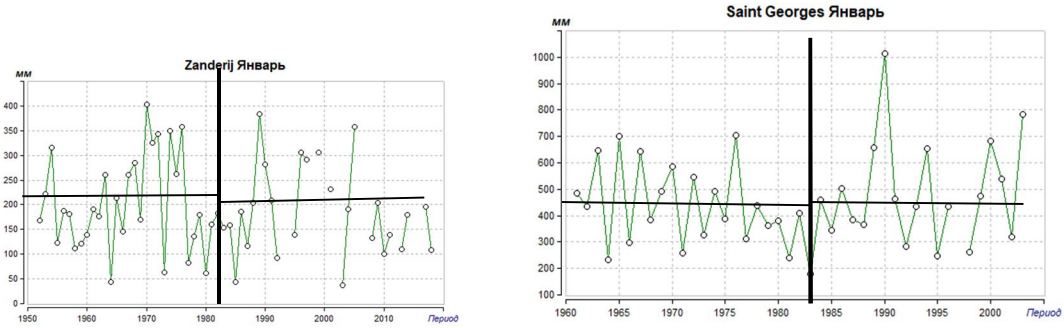


Рис.4.4– Примеры многолених рядов осадков января.

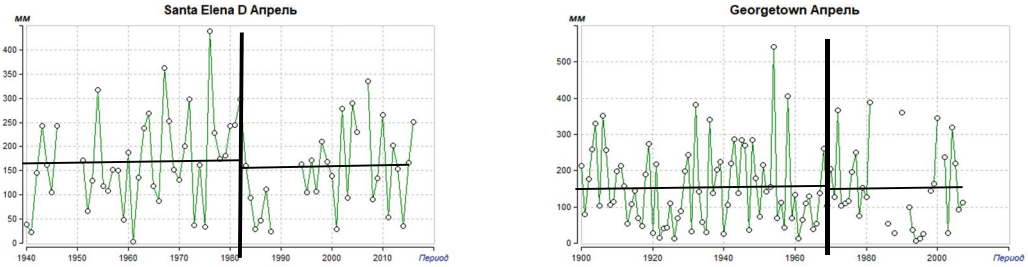


Рисунок.4.5– Примеры многолених рядов осадков апреля.

Для остальных характерных месяцев и средних за год осадков результаты сравнения средних значений за аналогичные два полупериода приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4.

Оценка изменения норм температур ($\Delta P_{ср}$) за два полупериода: с начала наблюдений до 1980 г. ($P1_{ср}$) и с 1981 г. по 2017 г. или последний год наблюдений ($P2_{ср}$) в мм (для июля, октября и года).

Код	Июль					Октябрь					Год		
	$P1_{ср}$	$P2_{ср}$	$\Delta P_{ср}$	Критерии Стьюдент	Критерии Фишера	$P1_{ср}$	$P2_{ср}$	$\Delta P_{ср}$	Критерии Стьюдента	Критерии Фишера	$P1_{ср}$	$P2_{ср}$	$\Delta P_{ср}$
80435	196	211	+15	0,77	2,56	107	111	+4	0,65	1,18	152	161	+9
80444	182	164	-19	0,84	1,02	90	99	+8	0,65	1,37	137	131	-5
80462	220	259	+39	0,88	3,19	108	122	+14	0,70	1,05	164	190	+26
81001	268	240	-29	0,10	1,18	73	88	+14	0,78	1,12	208	164	-44
81002	290	285	-5	0,23	1,31	147	119	-28	0,35	1,55	219	202	-16
81202	264	232	-33	0,06	1,35	52	54	+2	0,06	1,35	158	143	-15
81225	238	216	-22	0,64	1,17	82	111	+29	1,75	2,59	160	164	+4
81401	250	228	-22	0,47	2,05	93	83	-10	0,76	1,06	172	155	-16
81405	242	249	+7	0,84	1,22	59	72	+12	1,26	1,19	151	160	+9
81408	211	195	-16	0,66	1,15	60	59	-1	0,21	1,46	135	127	-9
81415	219	210	-9	0,67	1,51	69	71	+2	0,13	1,04	144	140	-4
82024	339	262	-77	2,44	1,60	59	51	-8	0,76	3,26	199	156	-42

Графики некоторых рядов с разделением ряда на две части приведены на рисунки.4.6 и 4.7.

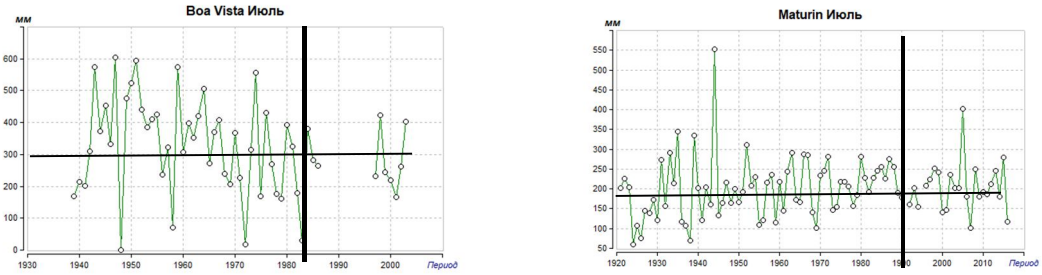


Рисунок.4.6– Примеры многолених рядов осадков июля.

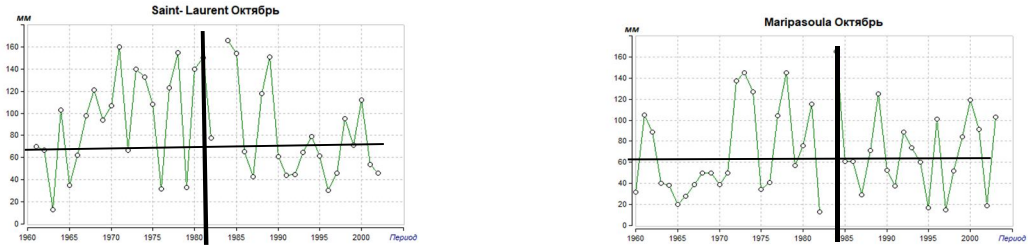


Рисунок.4.7– Примеры многолених рядов осадков октября.

Из результатов табл.4.4 следует, что наибольшая положительная разность норм осадков июля +39 мм, а наибольшая отрицательная – 77 мм. В первом случае это составляет 0,4 СКО, во втором случае 0,5СКО. Для октября наибольшая положительная разность норм осадков равна +29 мм, что составляет 0,5СКО, а наибольшая отрицательная – 28 мм, что составляет 0,4СКО. Как правило, наибольшие разности осадков характерны для станций на побережье, где и СКО наибольшие. Поэтому можно сделать вывод, что изменения осадков пока не выходят за 0,5 СКО естественной изменчивости, а их разные знаки обсловлены только естественной климатической изменчивостью, которая имеет случайный характер, а не изменением климата.

Заключение

В результате проведенного исследование были получены следующие основные результаты и выводы:

1. Сформирована региональная база климатических данных в виде многолетних рядов среднемесячных температур воздуха и осадков по 14 метеостанциям на северо-востоке Южной Америки.

2. Выполнен анализ качества и однородности данных по статистическим критериям, восстановлены пропуски наблюдений и продолжительность рядов увеличена примерно в 1,5 раза достигнув 70-80 лет, что позволяет осуществить эффективное статистическое моделирование.

3. Установлены пространственные закономерности средних многолетних значений, СКО за разные месяцы года и внутригодовых распределений температур воздуха и осадков. Получено, что нормы температур изменяются по территории не существенно, в основном на 2-3°С, примерно столько же составляет амплитуда годового хода, а СКО за многолетний период не превышает 1°С. Поэтому изменения норм температур даже на 0,5°С уже являются значительными для этого региона.

4. Во внутригодовом ходе осадков для всех станций имеет место один наибольший максимум в июне, варьирующий от мая до июля, а для метеостанций на побережье наблюдается и второй меньший осенне-зимний максимум. В самом влажном месяце июле многолетние средние осадки изменяются по территории от 173 мм до 301 мм, а СКО осадков большие и в ряде случаев превышают средние многолетние значения. В связи с тем, что пространственные распределения норм и СКО осадков подобны, были получены региональные зависимости между СКО и нормами осадков для разных месяцев с высокими коэффициентами корреляции.

5. Выполненное моделирование многолетних рядов температур показало, что практически всегда имел место рост температур в последний период в среднем с 1997г. и больше всего летом и осенью, причем в виде перехода от одних стационарных условий к другим. Поэтому получено, что нестационарные модели ступенчатых изменений в два раза эффективнее для аппроксимации, чем модели линейного тренда. Построены пространственные распределения показателей нестационарности и получено, что в среднем на всех станциях изменение средних многолетних температур ($\Delta Tср$) равно 0,4°С в январе, $\Delta Tср$ =0,3°С в апреле, $\Delta Tср$ =0,4°С в июле и $\Delta Tср$ =0,5°С в октябре. Число статистически значимых изменений норм в октябре составило 7, в июле и январе – 4, в апреле - 3.

6. Статистическое моделирование временных рядов осадков показало, что нестационарные модели неэффективны по сравнению со стационарной моделью практически во всех случаях. Изменения осадков пока не выходят за 0,5 СКО естественной изменчивости, а их разные знаки обусловлены за два полупериода только естественной климатической изменчивостью, которая имеет случайный характер, а не изменением климата.

Список использованной литературы:

1. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В.,Раевский А.Н.,Смекалова Л.К,Школьный Е.П. Климатология.–Л.:Гидрометеоиздат,1989.–568с.

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

3.Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений. –М.: Наука,2006. –173с.

4.Закс Л. Статическое оценивание.–М.:Статистика,1976.–598с.

5.Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии Часть 1, 2011г. – 144с

6. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии Часть 2, 2012г.- с. 178, Санкт-Петербург.

7. Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик», Санкт-Петербург 2018г., 90с.

8.Малинин В.Н. Статические методы анализа гидрометеорологической информации.–СПБ.:изд. РГГМУ,2008 –408с.

9.Рекомендации по статическим методам анализ однородности пространственно-временных колебаний речного стока.– Л.:Гидрометеоиздат,1984.–78с.

10.Хромов С.П., Петросянц М.П. Метеорология и климатология. –М.: Изд-во МГУ, 2001, –528с.

11. MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). –MapInfo Corporation, Troy, New York,2003. –726с.

12. Haylock M.R., Karoly D. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America, 1960-2002. The Journal of Climate,–5023pp.

13.Rauscher S.A., Seth A., Qian J.Y., Camargo S.J.2006. Domain choice in an experimental nested modeling prediction system for South America. Theoretical and Applied Climatology,– 246pp.

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

15. http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi.someone

16. https://www.geog.ox.ac.uk/research/climate/projects/undp-cp/UNDP_reports/Guyana/Guyana.hires.report.pdf

17. https://iwokramariverlodge.com/wp-content/uploads/2014/07/IwokramaClimateHyrdrologyReport.pdf

18. https://www.un-gsp.org/sites/default/files/documents/guyana.oxford.report.pdf

19.https://www.brazil.org.za/climate.html

20. https://kids.britannica.com/students/article/Venezuela/277564