



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**  
(магистерская диссертация)

На тему «Анализ тенденций временной изменчивости метеорологических  
величин на территории РФ»

Исполнитель Колинбет Людмила Владимировна ПМ-М19-1-1  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико - математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

**Сероухова Ольга Станиславовна**

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И. о. заведующего кафедрой



(подпись)

**кандидат географических наук, доцент**

(ученая степень, ученое звание)

**Абанников Виктор Николаевич**

(фамилия, имя, отчество)

«    »    2021 г.

Санкт-Петербург

2021

# Содержание

Введение.....	3
Глава 1 Методы оценки климатических изменений.....	5
1.1 Основные методы оценки климатических изменений.....	5
1.2 Методика поиска положения точек бифуркации во временных рядах...	9
Глава 2 Район исследования и архив данных.....	15
2.1 Описание района исследования.....	15
2.2 Получение архивных данных .....	17
2.3 Оценка однородности и стационарности рядов среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков. ....	27
2.3.1 Оценка однородности с помощью критериев Смирнова-Граббса..	30
2.3.2 Оценка однородности с помощью критериев Диксона .....	32
2.3.3 Оценка стационарности с помощью критерия Стьюдента.....	35
Глава 3 Анализ положения точки бифуркации во временных рядах .....	39
3.1 Анализ положения точки бифуркации во временных рядах среднегодовой температуры воздуха .....	39
3.2 Анализ положения точки бифуркации во временных рядах годовых сумм осадков.....	55
Заключение .....	69
Список литературы .....	71

## Введение

Оценка временной изменчивости климатических параметров очень важна для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения и хозяйственной деятельности. Повышение температуры приводит к таянию льдов и повышению уровня Мирового океана. Вследствие этого могут быть затоплены прибрежные регионы. Уменьшение количества осадков приводит к уменьшению массы ледников. В южном регионе России некоторые районы напрямую зависят от ледниковой воды, поступающей с Кавказских гор. Помимо сельского хозяйства в этом регионе также может пострадать сфера туризма.

Для оценки временной изменчивости климатических параметров провести специальное исследование. Для этого необходимо:

- создать архив климатических данных для исследуемого региона.
- ознакомиться с существующими методиками, позволяющими оценить как наличие климатических изменений, так и момент их наступления
- оценить однородность и стационарность выбранных рядов
- произвести расчет момента наступления точки бифуркации при помощи специальной программы
- выбрать метрику, которая наилучшим образом определяет момент наступления точки бифуркации
- осуществить графическое представление результатов расчета программы

В данной работе в качестве региона для проведения соответствующего исследования была выбрана южная часть Европейской территории Российской Федерации. На этой территории было выбрано 11 пунктов, для которых с использованием имеющихся в интернете ресурсов были созданы архивы климатических данных содержащие сведения о среднегодовых температурах воздуха и годовых суммах осадков за период с 1960 по 2020 годы. В качестве метода позволяющего одновременно оценить наличие

климатических изменений и определить момент наступления такого изменения был выбран алгоритм условно названный «Ступенька». С помощью этого алгоритма были исследованы временные ряды среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков для всех пунктов наблюдения. Полученные результаты представлены и проанализированы в тексте данной работы.

# Глава 1 Методы оценки климатических изменений

## 1.1 Основные методы оценки климатических изменений

Климатическая система Земли не является стабильной и постоянно изменяется. Эта изменчивость оценивается при помощи большого набора показателей, в который входят как характеристики атмосферы, так и показатели других природных систем и внешние факторы. При этом, период или масштаб колебаний компонент климатической системы различается очень существенно.

На любом рассматриваемом отрезке времени структура временного ряда может быть представлена ей: стационарной и нестационарной моделью – это два её основные вида. В стационарной модели главные параметры временного ряда, (дисперсия и среднее значение) неизменны во времени или, если сказать иначе, стационарны. В таком случае можно рассчитать среднее значение за многолетний период наблюдений, которое является климатической нормой.

В условиях изменения климата принято, что на небольших отдельных отрезках временного ряда колебания климатических характеристик квазистационарны. Однако кроме случайных флуктуаций во временных рядах климатических характеристик могут присутствовать и нестационарные составляющие, которые обусловлены влиянием факторов климатической системы с большими временными масштабами. Чаще всего имеют место нестационарные модели трёх основных видов:

- монотонные изменения в виде линейного тренда;
- циклические колебания;
- ступенчатые переходы от одного стационарного состояния к другому.

По факту все нестационарные изменения в нашей природе являются циклическими, причём тренд является частью цикла процесса большого

масштаба. Поэтому сейчас в науке предпочтение отдают концепции пульсирующей Вселенной, а не концепции расширяющейся Вселенной.

Если допустить, что нестационарные составляющие являются ответом климатической системы на внешнее воздействие, то проявление этого воздействия может быть двух основных видов: монотонным (тренд, циклические колебания) и ступенчатым изменением.

Монотонные изменения имеют место в равновесной системе, которая почти сразу же отвечает на направленные внешние воздействия. Механизм ступенчатых изменений характеризует неравновесную систему, которая какое-то время может сопротивляться направленным внешним воздействиям, пока их суммарный эффект не перенесет систему на новый уровень, или нейтрализовывать их. Поэтому стационарный временной ряд может быть частным случаем как равновесной, так и неравновесной системы. В равновесной это является проявлением случайных внешних воздействий, в неравновесной – периодом стабильного существования, когда система еще может противостоять внешнему воздействию, т. к. она пока достаточно инерционна.

Так же, характер изменений может зависеть от пространственного масштаба обобщения данных. Например, глобальная температура воздуха вполне может описываться монотонным трендом, так как она отражает составляющую теплового баланса всей нашей планеты. Напротив, климатические изменения осадков для определенной территории больше зависят от смена типов атмосферной циркуляции, это проявляется в виде ступенчатых переходов от одного стационарного состояния к другому.

Каждая из приведенных моделей аналитически представляется следующим образом.

Стационарная модель характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения ряда:

$$Sr(t) = const$$

$$\sigma(t) = const, \quad (1)$$

где  $Sr$  – среднее значение ряда,

$\sigma$  - среднее квадратическое отклонение ряда,

$t$  – время.

Практическая проверка неизменности во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения проводится на основе сравнения средних значений и дисперсий за две половины временного ряда по критериям Стьюдента и Фишера.

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

$$Y_{(t)} = b_1 t + b_0 \quad (2)$$

где  $b_1$  и  $b_0$  – коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов.

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента  $b_1$  или коэффициента корреляции  $R$  зависимости (2).

Статистическая значимость коэффициента корреляции определяется из условия, что расчетное значение коэффициента корреляции больше, чем критическое значение, которое определяется по таблице при заданном числе степеней свободы и уровне значимости.

Модель ступенчатых изменений аналогична двум или нескольким стационарным моделям для двух или нескольких частей временного ряда. Для каждой части ряда среднеквадратическое отклонение и среднего значения неизменны во времени:

$$\begin{aligned} Sr_1(t_1) &= const1, \sigma_1(t_1) = const1, \\ Sr_2(t_2) &= const2, \sigma_2(t_2) = const2, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Sr_1$  и  $\sigma_1$  – среднее значение и среднее квадратическое отклонение

первой части ряда;

$Sr_2, \sigma_2$  – среднее значение и среднее квадратическое отклонение второй части.

Момент ступенчатых изменений может определяться:

- визуально
- на основе дополнительной информации о дате и факторе нарушения стационарности таких как даты смены регистрирующих приборов, изменение индекса атмосферной циркуляции
- итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1 - 1) + \sigma_2^2(n_2 - 1) = \min, \quad (4)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – объемы первой и второй частей временного ряда.

При этом следует задать минимальный объем первой части ряда, например,  $n_1=10$  для которого  $n_2 = n - n_1$  и затем увеличивать  $n_1=11, 12, \dots, m$ , где:  $m = n - 10$  при котором  $n_2=10$ .

Гармоническая модель представляет временной ряд в виде суммы гармоник с разными периодами и амплитудами и может быть выражена в виде регрессионного уравнения:

$$Y_i = B_1 \sin\left(\frac{t_i}{T_1}\right) + B_2 \sin\left(\frac{t_i}{T_2}\right) + \dots + B_0, \quad (5)$$

где  $Y_i$  – рассматриваемая климатическая характеристика;  $t_i$  – годы,  $T_1$  и  $T_2$  - периоды циклов;  $B_1, B_2, \dots, B_0$  – коэффициенты, определяемые по МНК и связанные с амплитудой гармоник и их фазой.

Статистическая значимость гармонической модели определяется статистической значимостью ее коэффициентов  $B_1, B_2, \dots, B_0$ . [1]

## 1.2 Методика поиска положения точек бифуркации во временных рядах

При исследовании временных рядов может оказаться важным нахождение момента времени, соответствующего резкой смене характера господствующего процесса, т. е. точки бифуркации. При этом иногда наступление такого момента может быть достаточно легко определено визуально или установлено при графическом анализе временного ряда, но так же оно может носить «скрытый» характер.

Рассмотрим один из возможных методов «автоматического» нахождения положения точки бифуркации – метод «ступеньки».

В основе алгоритма для определения положения точки бифуркации лежит сравнение между собой различных отрезков временного ряда. Эта задача решается с помощью замены отрезков временного ряда одной из их математических моделей. В качестве таких моделей могут использоваться полиномы разных степеней, начиная от полинома нулевой степени. При таком способе каждая степень полинома определяет геометрическую форму отрезков временного ряда от одной точки бифуркации до другой.

Для полинома нулевой степени это значение, которое будет определять на графике временного ряда положение прямой линии, параллельной горизонтальной оси времени.

Для полинома первой степени - это будут отрезки прямых расположенных под различными углами относительно горизонтальной оси времени, для полинома второй степени – это будут параболы и т. д.

Таким образом, определение положения точек бифуркации состоит из следующих этапов:

- формирование на основе прямого перебора отрезков временного ряда различной длины;
- расчет параметров математической модели для таких отрезков;

- оценка успешности каждого такого разбиения с помощью одного или нескольких количественных критериев, рассчитываемых с использованием соответствующих метрик.

Рассмотрим алгоритм нахождения расположения точки бифуркации при помощи полинома нулевой степени.

В данном варианте значения всего временного ряда будут аппроксимироваться несколькими горизонтальными линиями. Граница между этими линиями и определяет место расположения точки бифуркации.

Пусть имеется временной ряд из  $N$  значений  $y(x)$ :  $[x_i, y_i]$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ . Разделим этот ряд на две части:  $[1, n_1]$  и  $[n_1+1, N]$  (при таком делении значение  $n_1$  может меняться от 2 до  $N - 1$ , а общее количество таких разбиений будет равняться  $N - 3$ ). Вычислим при каждом таком разделении для каждого отрезка два соответствующих им параметра по формулам:

$$a_0 = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{n_1} y_i, \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{1}{N_2} \sum_{i=n_1+1}^N y_i, \quad (2)$$

где  $N_1 = n_1$  и  $N_2 = N - n_1$ .

Оценим близость полученных параметров к значениям временного ряда, используя метрику  $SS$  – это аналог минимизации значения среднеквадратического отклонения тренда от значений временного ряда. Рассмотрев все  $N-3$  значений параметра  $SS$ , найдем значение  $n_1$ , при котором будет выполняться условие:

$$SS = \sum_{i=1}^{n_1} (a_0 - y_i)^2 + \sum_{i=n_1+1}^N (a_1 - y_i)^2 = \min \quad (3)$$

Найденное таким образом значение  $n_1$  и будет определять положение точки бифуркации временного ряда при использовании полинома нулевой степени и соответствующей метрики. [2]

В исследованиях проводившихся ранее [3] для определения положения точки бифуркации во временных рядах было рекомендовано использование полиномов от 1-й до 3-й степеней. В данной выпускной квалификационной работе используется полином 1-й степени.

Рассмотрим алгоритм нахождения положения точки бифуркации с использованием полинома первой степени.

Проведя разделение временного ряда на два отрезка так, как это было описано выше, вычислим для каждого отрезка две пары коэффициентов линейного временного тренда по формулам:

$$a_{11} = \frac{n_1 \sum_{i=1}^{n_1} y_i x_i - \sum_{i=1}^{n_1} y_i \sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1 \sum_{i=1}^{n_1} x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_1} x_i \right)^2} \quad (4)$$

$$a_{01} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} y_i - a_{11} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad (5)$$

$$a_{12} = \frac{(N - n_1) \sum_{i=n_1+1}^N y_i x_i - \sum_{i=n_1+1}^N y_i \sum_{i=n_1+1}^N x_i}{(N - n_1) \sum_{i=n_1+1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=n_1+1}^N x_i \right)^2} \quad (6)$$

$$a_{02} = \frac{1}{(N - n_1)} \sum_{i=n_1+1}^N y_i - a_{12} \sum_{i=n_1+1}^N x_i \quad (7)$$

Тогда расположение точки бифуркации определяется таким номером  $n_1$ , для которого выполняется следующее условие (считая, что ряд эквидистантный и можно провести следующую замену:  $x_i = i$ ):

$$SS = \sum_{i=1}^{n_1} (a_{01} + a_{11} i - y_i)^2 + \sum_{i=n_1+1}^N (a_{02} + a_{12} i - y_i)^2 = \min \quad (8)$$

Для оценки «эффективности» произведенного разделения ряда на два отрезка с использованием полиномов нулевой и первой степеней можно воспользоваться сравнением дисперсии всего ряда с суммарной дисперсией двух его отрезков, вычисленных по формуле:

$$\sigma_{\text{сум}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 \cdot N_1 + \sigma_2^2 \cdot N_2}{(N_1 + N_2 - 1)}}$$

(9)

где  $N_1$  и  $N_2$  – длина первого и второго отрезка ряда, разделенных точкой бифуркации,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – среднеквадратическое отклонение значений двух отрезков временного ряда от соответствующих им отрезков линейного тренда.

Для оценки значимости произведенного разбиения сравнивают значение критерия Фишера:

$$F = \frac{\sigma_{\text{ряда}}^2}{\sigma_{\text{сум}}^2} \quad (10)$$

с критическим значением  $F_{\text{кр}}$ .

Если значение критерия Фишера больше критического значения ( $F > F_{\text{кр}}$ ), то можно считать, что проведенное разбиение статистически значимо с заданной при определении критического значения критерия Фишера доверительной вероятностью  $\alpha$ .

Аналогичным образом с использованием метода наименьших квадратов можно рассчитать положение точки бифуркации при использовании для задания формы временных трендов коэффициенты полиномов и более высоких порядков. [С]

В качестве примера реализации описанной выше методики определения точки бифуркации рассмотрен временной ряд среднегодовых

температур воздуха для города Сочи с 1960 по 2020 гг. Попытка оценить долговременные изменения температуры за указанный период с помощью линейного тренда показывает его полную неэффективность (коэффициент детерминации равен 0.12). Не удивительно, что если применить описанную выше методику, то четко видно разбиение данного временного ряда на два участка с совершенно разными тенденциями. С 1960 по 1993 гг. идет ярко выраженное падение температуры, а с 1994 по 2020 гг. увеличение. На рисунке 1.2 представлен график функции SS описываемый формулой (8). Анализ этого графика показывает четко положение точки бифуркации для 1993 г.

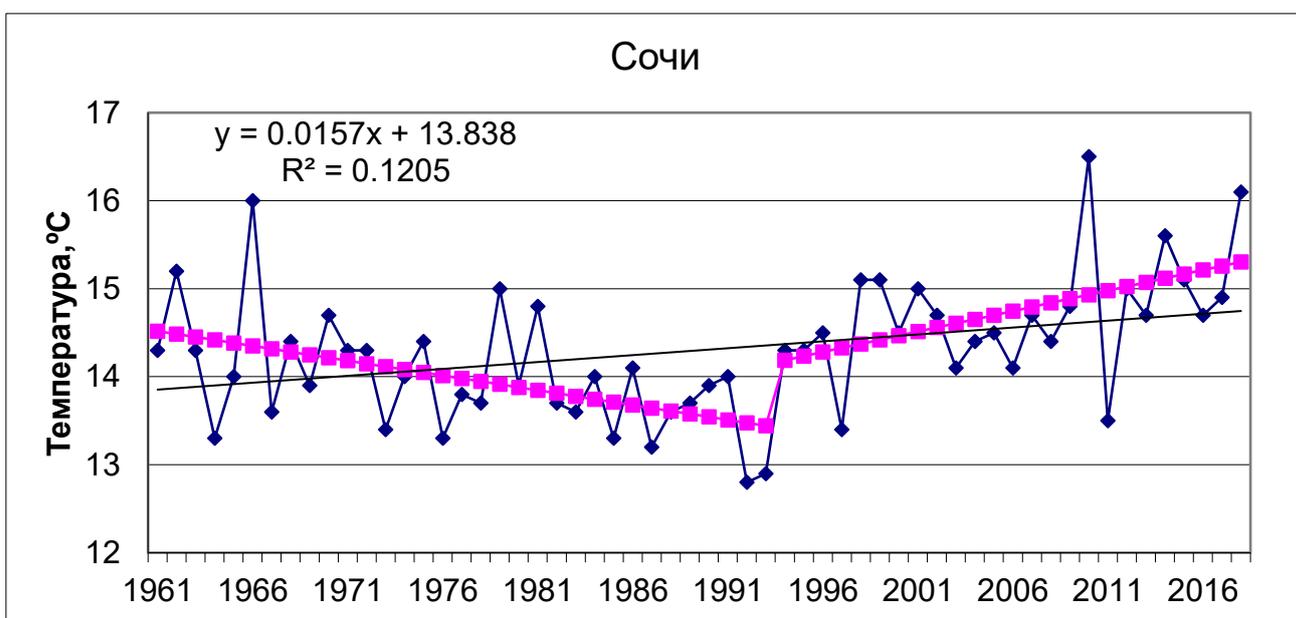


Рисунок 1.1- График среднегодовой температуры воздуха на станции Сочи

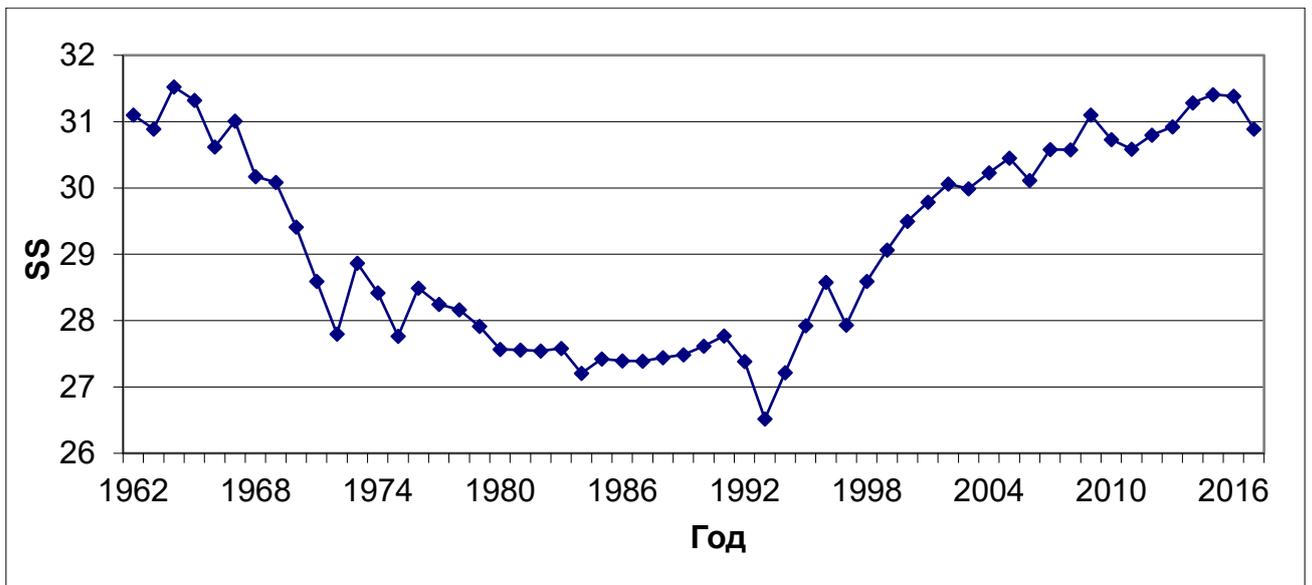


Рисунок 1.2- График значений параметра  $SS$  для временного ряда температуры воздуха на станции Сочи

## Глава 2 Район исследования и архив данных

### 2.1 Описание района исследования

В качестве региона для проведения исследования были выбраны Южный и Северо-Кавказский федеральные округа Российской Федерации. Исследуемый район находится в пределах  $42^{\circ}$  с. ш. -  $49^{\circ}$  с. ш. и  $35^{\circ}$  в. д. -  $48^{\circ}$  в. д., ограничен Каспийским, Черным и Азовским морями. Климат этого региона достаточно разнообразен. От умеренного климата, который преобладает в степной зоне, до субтропического на побережье и горного в Кавказских горах. Физическая карта региона представлена на рисунке 2.1

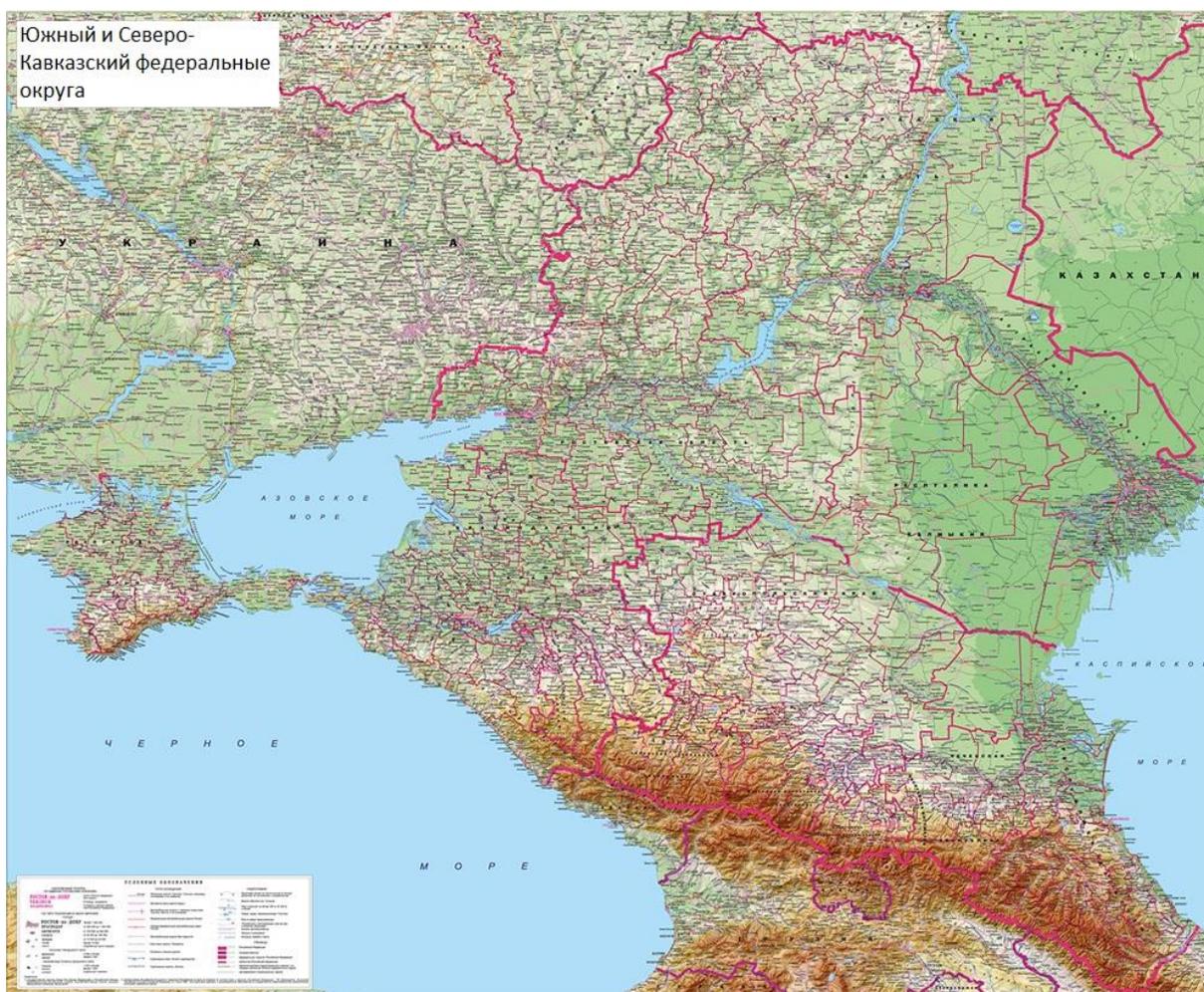


Рисунок 2.2 – Физическая карта исследуемого района

На этой территории для анализа среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков были выбраны 11 станций. Станции находятся в Республике Крым (2 станции), Краснодарском крае (3 станции), Ростовской области, Волгоградской области, Республике Калмыкия, Астраханской области, Республике Карачаево-Черкесия и Республике Дагестан. Расположение станций представлено на рисунке 2.2, географические координаты в таблице 2.1



Рисунок 2.2 - Расположение станций

Таблица 2.1 – Географические координаты станций

№	Код	Название	Широта	Долгота
1	37031	Армавир	45	41.1
2	34880	Астрахань	46.3	47.9

3	34560	Волгоград	48.8	44.4
4	33983	Керчь	45.4	36.4
5	37472	Махачкала	42.8	47.6
6	34824	Приморско-Ахтарск	46	38.2
7	37099	Сочи	43.6	39.8
8	33976	Феодосия	45	35.4
9	34646	Цимлянск	47.6	42.1
10	37126	Шаджатмаз	43.7	42.7
11	34861	Элиста	46.4	44.3

## 2.2 Получение архивных данных

Данные среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков с этих станций за период 1960-2020 были получены со справочно-информационного портала «Погода и климат» [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru). На рисунке 2.3 представлен интерфейс сайта.[4]

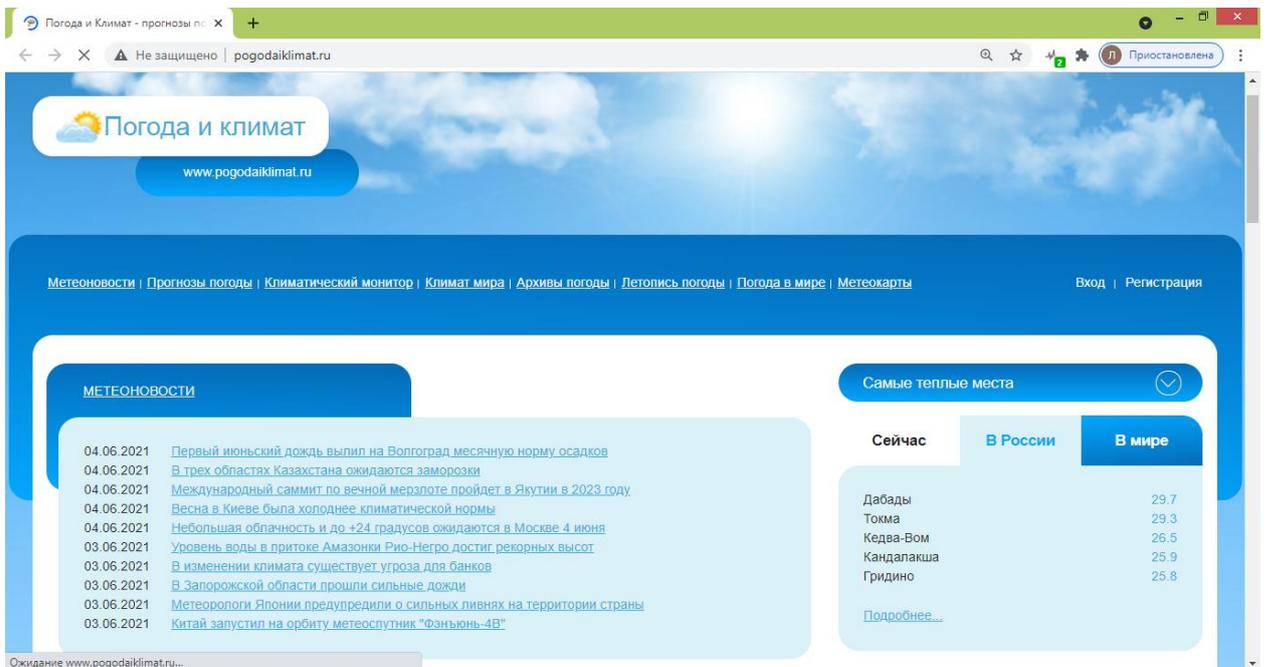


Рисунок 2.3 - Интерфейс сайта «Погода и климат»

На сайте в разделе «Летопись погоды» представлены данные более чем в 31000 пунктах наблюдений по всему миру. Для выбора интересующей станции необходимо ввести её название или код (рис. 2.4). В открывшемся окне необходимо выбрать станцию. После этого сразу открываются данные по среднемесячным и среднегодовым температурам воздуха (рис. 2.5). [X]

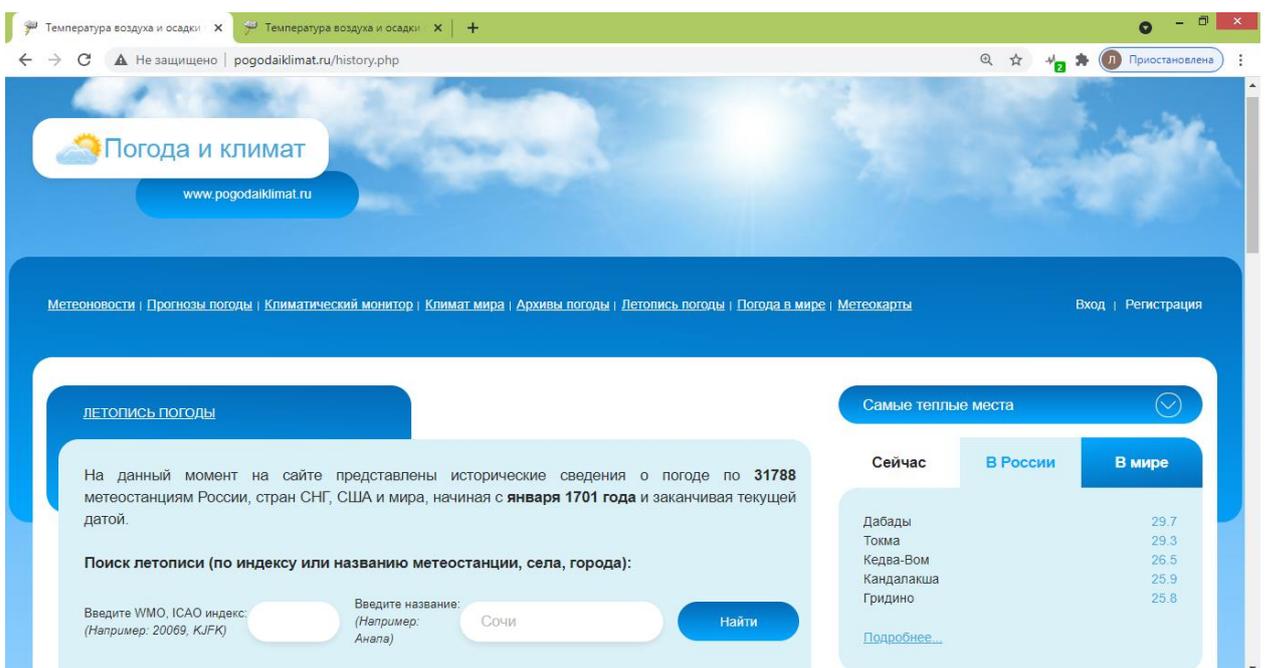


Рисунок 2.4 – Поиск архива данных

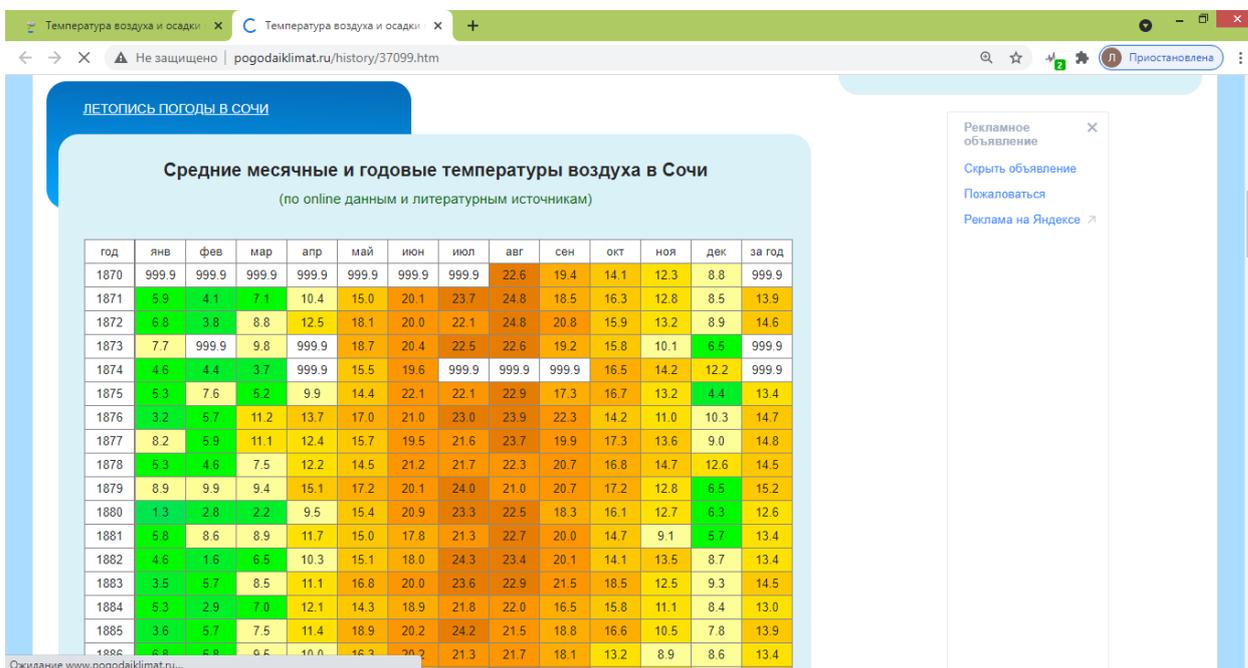


Рисунок 2.5 – Архив среднемесячных и среднегодовых температур воздуха на станции Сочи

Также на сайте представлены данные по месячным и годовым суммам выпавших осадков (рис. 2.6), максимальных суточных суммам выпавших осадков.

Температура воздуха и осадки x Температура воздуха и осадки x

Не защищено | pogodaiklimat.ru/history/37099\_2.htm

Летопись погоды в Сочи

### Месячные и годовые суммы выпавших осадков в Сочи

(по online данным и литературным источникам)

год	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	за год
1875	286	190	293	289	183	62	590	158	437	106	257	346	3196
1876	62	78	67	31	114	70	53	27	223	246	297	326	1594
1877	54	285	165	144	256	25	116	191	345	78	39	105	1803
1878	185	249	182	80	93	100	196	346	160	21	55	156	1823
1879	72	141	143	92	90	153	5	229	205	124	379	406	2037
1880	262	82	208	35	62	9	143	399	190	141	233	200	1962
1881	489	84	278	165	207	60	173	129	209	125	70	210	2198
1882	255	223	161	125	113	174	10	143	146	581	167	357	2451
1883	248	123	307	210	154	195	40	98	22	42	76	440	1954
1884	-999	234	74	312	114	124	168	266	338	177	210	147	-999
1885	177	87	224	83	59	53	132	105	76	214	180	193	1581
1886	89	123	235	119	84	168	287	210	294	246	188	47	2087
1887	87	115	411	262	108	55	67	21	57	222	223	229	1855
1888	515	192	174	134	254	102	140	111	138	191	536	351	2835
1889	179	322	349	148	120	372	204	92	139	148	203	65	2339
1890	205	80	48	70	19	117	24	7	89	162	183	162	1163
1891	211	92	96	167	35	161	251	199	348	57	138	174	1929
1892	618	237	137	353	145	63	86	210	6	107	284	541	2788

Обратная связь

- О проекте
- FAQ
- Гостевая книга

Рисунок 2.6 – Архив месячных и годовых сумм выпавших осадков на станции Сочи

Данные 11 станций о среднегодовой температуре воздуха и годовым суммам осадков из раздела сайта «Летопись погоды» были скопированы в таблицу Excel (рис. 2.7) Выбранный период наблюдения на всех станциях составляет 61 год (1960-2020гг).

Код	Название	Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Среднее
34560	Волгоград	1960	-4.3	-6.8	-4.4	7.8	13.2	21.8	24.9	21	13.5	8.1	-1.6	-1.6	7.6
		1961	-6.6	-3.4	1.1	8.8	15.2	22.6	23.4	22.8	13.6	7.6	-0.3	-2.4	8.5
		1962	-4.8	-6.6	2.8	10.9	17.3	20.6	24.2	21.6	16.4	8.7	2.3	-4.3	9.1
		1963	-9.5	-6.4	-6.2	8.5	18.9	19.5	24.6	21.4	18	8.4	2.5	-7.2	7.7
		1964	-9.4	-10.6	-5.6	6.1	14.6	21.4	23	20.4	16.6	8.8	1.1	-2.7	7
		1965	-8.4	-10	-1	5.1	15.8	21.1	24.8	22.6	17.6	5.3	0.7	0.2	7.8
		1966	-5.6	-2.4	2.2	12.5	18	20.3	26.6	24.4	15.4	9.5	1.1	-8.6	9.5
		1967	-9.4	-11.5	-2.7	12.4	20.1	19.8	22.7	23.2	14.6	10.7	2.3	-4.8	8.1
		1968	-8.6	-7.3	-0.4	9.2	18.4	21.2	21.8	22.1	16.9	6.9	-0.7	-5.6	7.8
		1969	-16	-14	-4.1	9.2	15.2	21.8	21.3	22.3	15.8	6.4	3.3	-6.6	6.2
		1970	-9.2	-3.2	0.1	11.5	16.3	19.5	25.4	20.4	15.8	7.2	1.5	-7.6	8.1
		1971	-3.1	-10.2	-3.8	7.6	15.5	20.5	25.5	22.9	19.6	7.4	4	-3.4	8.5
		1972	-16.5	-10.1	-2.6	11.8	18.3	24.7	26.7	27	17.1	9.2	2.7	-3.1	8.8
		1973	-11.8	-2.5	-1.1	11.9	17.4	20.6	21.2	19.4	11.7	8.1	0.3	-3	7.7
		1974	-10.5	-6.9	-1.3	7.3	15.9	20	22.3	20.9	17.6	12.2	2.1	-3.7	8
		1975	-3.9	-6.7	1	14.4	20.6	25.6	24.5	21.9	18.5	6.4	-0.8	-2.5	9.9
		1976	-6.4	-13.1	-5.5	10.8	14.9	19.4	19.8	21.1	14.5	1.9	-0.5	-5.1	6

Рисунок 2.7 – Архив среднемесячных и среднегодовых температур воздуха на 11 станциях

Для проведения исследования были выбраны среднегодовые температуры воздуха и годовые суммы выпавших осадков. Сформированные архивы представлены в таблицах 2.2 и 2.3

Таблица 2.2 – Архив среднегодовой температуры воздуха

Год	Порядковые номера станций в соответствии с таблицей 2.1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1960	10.5	9.8	7.6	11.6	12.2	11.4	14.5	12.5	9.3	3.2	9
1961	10.6	10.8	8.5	11.3	12.8	11.4	14.3	12.2	9.7	2.7	9.8
1962	11.6	10.9	9.1	11.9	13.3	12	15.2	12.9	10	4	10.5
1963	10.5	9.7	7.7	10.8	12	10.9	14.3	11.9	8.6	2.5	9.1
1964	9.7	9.2	7	10.2	11.7	10.3	13.3	11.2	8	2.1	8.5

1965	10.2	9.4	7.8	10.5	11.7	10.5	14	11.6	8.5	2.5	8.6
1966	12.7	11	9.5	12.6	14	12.9	16	13.8	10.7	4.6	10.8
1967	10.5	9.7	8.1	11	11.9	11.3	13.6	12.3	8.9	2	8.9
1968	11.0	9.8	7.8	11.3	12.3	11.5	14.4	12.2	9.2	2.8	9.6
1969	10.1	8.5	6.2	10	10.6	10.1	13.9	10.9	7.4	2.3	7.9
1970	11.4	10.3	8.1	11.3	12.2	11.5	14.7	12.4	9.4	2.9	9.8
1971	11.5	10.1	8.5	11.4	12.5	11.5	14.3	12.5	9.4	3	9.9
1972	10.5	9.5	8.8	10.9	11.4	11.1	14.3	11.8	9.3	2.6	9.2
1973	10.0	9.8	7.7	10.5	11.6	10.8	13.4	11.5	8.6	1.8	8.8
1974	10.8	9.9	8	11.1	12.1	11.2	14	12.1	9	2.4	9.1
1975	11.4	11	9.9	11.9	12.8	12.2	14.4	12.9	10.3	2.8	10.5
1976	9.3	8.8	6	9.6	11.3	9.7	13.3	10.4	7.3	1.7	7.5
1977	10.2	9.8	7.7	10.6	11.7	10.7	13.8	11.5	8.5	2.1	8.9
1978	10.2	9.4	7.4	10.6	11.9	10.6	13.7	11.5	8.3	2.7	8.7
1979	11.7	10.8	8.6	11.6	12.7	11.7	15	12.5	9.7	3.2	10.3
1980	10.6	9.4	7.2	10.5	12.2	10.3	13.9	11.4	7.9	2.6	8.6
1981	12.0	11.3	9.5	12.3	13.5	12.4	14.8	13.2	10.7	3.2	10.4
1982	9.8	9.4	8	10.5	11.7	10.5	13.7	11.5	8.7	2	8.8
1983	10.9	11.2	9.6	11.4	12.6	11.7	13.6	12.2	10.4	2.3	10.5
1984	10.5	9.9	7.8	11.1	12.1	11.3	14	11.9	8.9	2.3	9.1
1985	9.8	9.3	7.2	9.5	11.7	9.9	13.3	10.4	7.8	2.1	8.4
1986	11.0	10	8.3	11	12.3	11.2	14.1	11.9	9	2.8	9.4
1987	9.5	8.5	6	9.5	11.6	9.3	13.2	10.2	6.9	2.1	7.3
1988	10.2	9.9	7.9	10.7	12.6	10.8	13.6	11.6	8.5	2.2	8.9
1989	11.1	11.1	9.5	11.4	13.2	12	13.7	12.4	10.3	2.7	10.4

1990	11.4	10.9	9.3	11.7	13.2	11.9	13.9	12.9	10.2	2.6	10.5
1991	10.8	10.5	9.1	10.8	12.5	11.1	14	11.8	9.6	2.7	9.7
1992	9.7	9.6	8.3	10.3	10.9	10.6	12.8	11.3	9	0.9	9
1993	8.9	8.6	7	9.7	9.9	9.7	12.9	10.8	7.8	1.5	7.8
1994	10.7	9.3	7.6	11.3	11	11.3	14.3	12.4	8.9	2.7	9
1995	11.6	11.9	10.1	11.6	12.6	12	14.3	12.5	10.7	3.4	11
1996	11.0	9.9	7.5	10.8	12	11	14.5	11.8	8.6	3.4	9
1997	10.0	9.9	7.9	10.2	11.4	10.3	13.4	11.2	9.15	2.4	9.1
1998	11.9	10.3	8.7	11.3	12.5	11.8	15.1	12.3	9.7	3.9	10
1999	11.9	11.1	9.7	12.2	12.7	12.5	15.1	13.2	10.6	3.7	11
2000	11.3	11.2	9.3	11.4	12.6	11.9	14.5	12.5	10.2	3	10.5
2001	11.7	11.1	9.4	11.9	13	12	15	12.8	10.2	3.7	10.6
2002	11.2	10.8	9.4	11.8	12.4	11.8	14.7	12.9	10.1	3.2	10.1
2003	10.9	10.1	8	10.5	11.8	10.8	14.1	11.5	9	2.5	9.4
2004	11.3	11.5	9.7	11.6	12.8	12.1	14.4	12.6	10.3	2.7	10.5
2005	11.9	11.5	9.8	12.2	13.2	12.3	14.5	13.2	10.4	2.8	10.6
2006	11.3	10.7	9.2	11.2	12.4	11.3	14.1	12.2	9.8	3.3	10.2
2007	12.4	11.6	10.5	12.9	13.1	13.2	14.7	13.9	11.4	3.3	11.7
2008	11.6	10.8	9.7	11.9	12.5	11.9	14.4	12.8	10.2	3.1	10.4
2009	11.9	10.8	9.5	12.6	12.7	12.5	14.8	13.6	10.3	3.2	10.7
2010	13.2	12.1	10.6	13.3	13.8	13.2	16.5	14.2	11.4	5.5	11.4
2011	10.3	10.2	8.7	11.2	11.9	11.1	13.5	12.1	9.3	2.1	9.2
2012	11.8	11	8.9	12.4	13	12.2	15	13.4	10.6	3.7	10.2
2013	12.1	11.7	9.4	12.6	12.9	12.8	14.7	13.6	11	3.6	10.8
2014	11.9	11	8.3	12.4	13.1	12.2	15.6	13.4	10.3	4.5	10.2

2015	12.3	11.8	9.7	12.8	13.4	12.9	15.1	13.4	11.2	3.9	10.9
2016	11.6	11.4	9.2	12.5	12.9	12.4	14.7	13.3	10.7	3.2	10.3
2017	12.0	11.5	9.6	12.7	13.1	12.7	14.9	13.5	10.9	3.9	10.5
2018	12.9	11.3	8.9	13.1	13.3	12.9	16.1	14	10.8	4.8	10.6
2019	12.7	11.9	9.6	13.2	13.7	13.3	15.6	14.1	11.5	4.4	11.1
2020	13.0	12.2	9.9	13.3	13.7	13.5	15.8	14.3	11.5	4.3	11.5

Таблица 2.2 – Архив годовых сумм осадков

Год	Порядковые номера станций в соответствии с таблицей 2.1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1960	864	261	434	449	451	506	1893	518	338	577	360
1961	677	199	552	564	433	555	1557	558	412	620	451
1962	589	76	327	363	304	442	1523	403	289	535	258
1963	522	268	456	429	469	589	1535	365	430	669	381
1964	480	197	370	509	322	538	1520	435	454	711	364
1965	568	255	333	446	252	577	1189	428	371	539	459
1966	663	277	445	497	396	662	1525	470	432	717	453
1967	689	244	407	487	368	625	1790	393	476	825	423
1968	541	140	383	428	287	457	1510	567	409	634	277
1969	415	203	388	335	345	503	1163	319	417	580	303
1970	553	139	476	503	284	719	1685	467	432	710	320
1971	424	249	383	347	381	706	1833	320	446	520	272
1972	634	77	172	419	254	623	1346	382	266	735	252
1973	640	257	519	582	361	712	1650	533	740	742	453

1974	430	161	349	343	389	466	1326	427	461	685	358
1975	691	173	199	280	232	478	1946	281	301	699	264
1976	644	155	463	465	309	737	1375	603	478	825	266
1977	666	177	576	502	284	721	1492	583	752	951	311
1978	584	311	450	394	266	542	1442	477	572	769	349
1979	578	203	443	419	382	509	1201	421	461	586	310
1980	654	199	400	526	370	679	1902	523	519	612	332
1981	578	167	395	421	266	644	1993	520	470	822	368
1982	510	273	342	452	273	430	1277	448	476	758	273
1983	467	244	372	355	248	515	1995	446	405	712	346
1984	610	115	248	333	354	403	1401	406	342	842	294
1985	550	234	398	365	291	592	1604	357	494	730	404
1986	387	136	293	378	212	519	1016	273	320	595	242
1987	823	251	471	525	444	694	1854	602	587	698	420
1988	900	214	549	477	274	771	2252	659	583	574	392
1989	830	300	634	430	304	675	1952	388	435	656	442
1990	532	245	461	385	650	505	1561	529	425	552	412
1991	671	241	284	431	299	536	1925	682	351	484	419
1992	797	358	435	654	468	700	1836	480	508	703	424
1993	682	289	580	252	452	510	1304	261	522	560	385
1994	641	221	297	322	359	484	1554	366	333	346	319
1995	787	149	403	435	436	659	2249	435	454	686	384
1996	630	258	388	459	345	616	1721	504	517	593	434
1997	776	258	455	609	489	772	1863	700	454	597	404
1998	492	307	392	523	382	517	1180	571	403	549	305

1999	699	321	359	637	429	594	1799	529	473	500	380
2000	532	171	558	505	323	510	1455	464	470	527	336
2001	735	267	526	430	288	649	1994	503	585	580	460
2002	816	200	403	623	437	593	1899	475	398	747	437
2003	536	241	398	359	398	542	1465	498	470	582	350
2004	860	234	446	576	433	875	1704	662	702	679	463
2005	570	235	401	468	398	623	1796	592	589	763	448
2006	720	231	341	481	378	533	1887	455	408	628	328
2007	446	203	377	394	289	490	1817	478	307	602	284
2008	568	166	250	343	334	606	1566	468	418	631	488
2009	589	269	388	520	611	536	1712	488	449	809	324
2010	614	221	427	491	401	527	1553	626	581	646	432
2011	843	321	298	323	345	456	1781	389	398	707	440
2012	649	214	290	271	398	418	1354	315	323	632	289
2013	575	230	450	389	396	647	1880	320	532	720	472
2014	648	144	337	291	448	433	1527	375	382	728	325
2015	577	181	320	410	338	370	1595	450	471	482	425
2016	672	372	475	378	387	627	1695	526	575	667	407
2017	779	194	288	361	294	531	1494	391	465	667	425
2018	636	130	426	390	341	464	1616	583	452	571	406
2019	524	174	333	309	432	531	1424	341	505	582	373
2020	517	132	311	238	420	381	1004	278	446	563	253

## 2.3 Оценка однородности и стационарности рядов среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков.

Перед дальнейшей обработкой данных необходимо произвести оценку однородности и стационарности рядов.

Неоднородность, обусловленная резко отклоняющимися от общей совокупности экстремумами, может иметь несколько причин. Резко отклоняющиеся значения могут быть получены, например, при таких опасных явлениях погоды, как ураган, тайфун и т.д. Экстремум может быть обусловлен высокой погрешностью измерений. Также экстремальное событие имеет более низкую вероятность появления, чем определяющаяся по эмпирической формуле для короткого ряда наблюдений при включении экстремума во всю последовательность наблюдений. [5]

Целью данной работы является исследование временной изменчивости рядов температуры и осадков на территории Юга России, с помощью нахождения точек бифуркации. Но перед этим, необходимо проверить ряды на однородность и стационарность.

Длина рядов среднегодовой температуры воздуха составляет 61 год. В рядах нескольких станций были единичные пропуски. Для того, чтобы восстановить эти пропуски был использован метод интерполяции.

Далее для каждого ряда были рассчитаны такие статистические параметры как: среднее значение, дисперсия ( $\sigma^2$ ), автокорреляция ( $r(1)$ ), коэффициент асимметрии ( $C_s$ ), максимальное и минимальное значение. Результаты расчетов представлены в таблице 2.3 и 2.4

Таблица 2.3 Параметры рядов среднегодовой температуры воздуха

	Среднее	$r(1)$	$C_s$	$\sigma^2$	Max	Min
Армавир	11.1	0.35	0.04	0.94	13.22	8.90
Астрахань	10.4	0.34	-0.14	0.90	12.20	8.50

Волгоград	8.6	0.25	-0.42	1.17	10.60	6.00
Керчь	11.4	0.44	0.07	0.96	13.30	9.50
Махачкала	12.4	0.34	-0.50	0.66	14.00	9.90
Приморско-Архатск	11.5	0.34	-0.09	0.95	13.50	9.30
Сочи	14.3	0.28	0.47	0.62	16.50	12.80
Феодосия	12.4	0.42	-0.05	0.97	14.30	10.20
Цимлянск	9.6	0.36	-0.29	1.27	11.50	6.90
Шаджатмаз	3.0	0.34	0.54	0.74	5.50	0.90
Элиста	9.7	0.27	-0.34	1.03	11.70	7.30

Наибольшие средние и максимальные значения среднегодовой температуры воздуха приходятся на станции Сочи и Феодосия, а наименьшие средние и минимальные значения приходятся на Волгоград и Цимлянск.

Таблица 2.4 Параметры рядов годовых сумм осадков

	Среднее	r(1)	Cs	$\sigma^2$	Max	Min
Армавир	627	0.12	0.30	14895	900	387
Астрахань	219	-0.01	0.02	4012	372	76
Волгоград	399	0.04	0.12	8651	634	172
Керчь	431	0.14	0.27	9249	654	238
Махачкала	364	-0.01	0.86	7101	650	212
Приморско-Архатск	571	0.13	0.42	11456	875	370
Сочи	1622	-0.07	-0.06	76493	2252	1004
Феодосия	464	0.21	0.14	11332	700	261
Цимлянск	458	0.02	0.75	10059	752	266
Шаджатмаз	651	0.25	0.10	11246	951	346

Элиста	368	0.05	-0.18	4654	488	242
--------	-----	------	-------	------	-----	-----

Наибольшие средние и максимальные значения годовых сумм осадков приходятся на станции Сочи и Шаджатмаз, а наименьшее среднее и минимальное значение приходятся на Астрахань.

Автокорреляция показывает степень связи внутри ряда. Чем ближе значение автокорреляции к нулю, тем больше вероятность того, что элементы ряда распределены случайным образом. Для оценки статистической значимости коэффициента автокорреляции берётся доверительный интервал, включающий в себя удвоенную случайную погрешность. Доверительные интервалы для автокорреляций не содержат нулевое значение, поэтому для рядов температуры коэффициенты автокорреляции являются статистически значимыми. А для коэффициентов асимметрии доверительные интервалы, с учётом удвоенной случайной погрешности, включают в себя нулевое значение, поэтому являются статистически не значимыми.

Коэффициент асимметрии характеризует несимметричность выборки, а знак коэффициента показывает направление хвостов распределения ряда. И при этом, чем больше значение коэффициента асимметрии, тем больше влияние автокорреляции.

Отличие распределения рядов температуры от случайного распределения можно оценить по статистике t-критерия для степени свободы  $n-2$ . Проверятся нулевая гипотеза об отсутствии внутрирядной связи. И при уровне значимости 5% для рядов температуры  $t > t_{кр}$  поэтому нулевая гипотеза отклоняется. [5]

$$t = r(1) * \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r(1)^2} \quad (1)$$

### 2.3.1 Оценка однородности с помощью критериев Смирнова-Граббса

Для оценки статистической значимости однородности используют критерии Диксона и Смирнова-Граббса. Критерии Смирнова-Граббса служат нахождения неоднородности в рядах путём исследования статистической значимости резко отклоняющихся экстремумов в эмпирическом распределении. И в отличие от критериев Диксона, в них экстремумы исследуются относительно среднего значения ряда.

$$G_I = (Y_{cp} - Y_I) / \sigma_y \quad (2)$$

где:  $G_n$  – критерий Смирнова-Граббса для максимального члена

$Y_{cp}$  – среднее значение

$\sigma_y$  – среднеквадратичное отклонение

Критерий Смирнова-Граббса показывает отношение разницы между экстремумом и средним значением к разбросу значений в виде среднеквадратичного отклонения. Вычисляется этот критерий по отдельности как для максимального, так и для минимального члена выборки. Результаты расчетов критериев Смирнова-Граббса представлены в таблицах 2.5 и 2.6.

Расчётные значения критериев Смирнова-Граббса сравниваются с табличными критическими значениями. Критические значения зависят от объёма выборки, коэффициента асимметрии, автокорреляции и уровня значимости. Уровень значимости  $\alpha$  взят как 5%.

Таблица 2.5 Критерии Смирнова-Граббса для рядов среднегодовой температуры воздуха

Станция	$G_n$ макс	$G_n$ крит.	Вывод	$G_1$ мин	$G_1$ крит.	Вывод
Армавир	2.19	3.01	Однороден	2.26	3	Однороден

Астрахань	1.86	3.11	Однороден	2.04	2.94	Однороден
Волгоград	1.86	3.45	Однороден	2.39	2.77	Однороден
Керчь	1.93	3.04	Однороден	1.95	2.93	Однороден
Махачкала	1.97	3.29	Однороден	3.07	2.71	Не однороден
Приморско- Архатск	2.01	3.11	Однороден	2.30	2.94	Однороден
Сочи	2.74	3.55	Однороден	1.97	2.39	Однороден
Феодосия	1.96	2.99	Однороден	2.21	2.99	Однороден
Цимлянск	1.70	3.33	Однороден	2.38	2.82	Однороден
Шаджатмаз	2.96	3.55	Однороден	2.38	2.39	Однороден
Элиста	1.92	3.34	Однороден	2.41	2.83	Однороден

Расчётные значения меньше критических, что свидетельствует об отсутствии резко отклоняющихся экстремумов и однородности рядов. Но в ряде температур станции Махачкала критерий G1 для минимальных значений больше критического значения. Значит, в ряде присутствует неоднородность. Эта неоднородность вызвана вызвана минимальным ума в 1993 году, тогда на станции Махачкала была наименьшая среднегодовая температура 9,9 °С.

Таблица 2.6 Критерии Смирнова-Граббса для рядов годовых сумм осадков.

Станция	Gn макс	Gn крит.	Вывод	G1 мин	G1 крит.	Вывод
Армавир	2.23	3.37	Однороден	1.97	2.84	Однороден
Астрахань	2.42	3.05	Однороден	2.25	3.00	Однороден
Волгоград	2.53	3.17	Однороден	2.44	2.97	Однороден
Керчь	2.32	3.32	Однороден	2.00	2.86	Однороден

Махачкала	3.39	4.02	Однороден	1.80	2.00	Однороден
Приморско-Архатск	2.84	3.50	Однороден	1.88	2.77	Однороден
Сочи	2.28	3.15	Однороден	2.24	2.98	Однороден
Феодосия	2.22	3.18	Однороден	1.91	2.93	Однороден
Цимлянск	2.93	3.42	Однороден	1.91	2.10	Однороден
Шаджатмаз	2.83	3.14	Однороден	2.88	2.88	Однороден
Элиста	1.76	3.26	Однороден	1.84	2.92	Однороден

В рядах рядов годовых сумм осадков при помощи критериев Смирнова-Граббса неоднородность не была выявлена.

### 2.3.2 Оценка однородности с помощью критериев Диксона

Наряду с критериями Смирнова-Граббса, для оценки однородности использовались критерии Диксона. Для максимального члена ранжированной выборки:

$$D1n=(Yn-Yn-1)/(Yn-Y1) \quad (3)$$

$$D2n=(Yn-Yn-1)/(Yn-Y2) \quad (4)$$

$$D3n=(Yn-Yn-2)/(Yn-Y2) \quad (5)$$

$$D4n=(Yn-Yn-2)/(Yn-Y3) \quad (6)$$

$$D5n=(Yn-Yn-2)/(Yn-Y1) \quad (7)$$

Для минимального:

$$D11=(Y1-Y2)/(Y1-Yn) \quad (8)$$

$$D21=(Y1-Y2)/(Y1-Yn-1) \quad (9)$$

$$D31=(Y1-Y3)/(Y1-Yn-1) \quad (10)$$

$$D41=(Y1-Y3)/(Y1-Yn-2) \quad (11)$$

$$D51=(Y1-Y3)/(Y1-Yn) \quad (12)$$

где:  $Y_n$  – максимальный член ранжированного ряда

$Y_1$  – минимальный член ранжированного ряда

Как видно из расчётных формул, для расчёта используются только крайние, экстремальные значения ранжированного ряда. В знаменателе разница между крайними значениями, используется вся ширина выборки. А в числителе только смежные члены, которые находятся рядом друг с другом. И их разница, всегда меньше, чем разность между крайними значениями. Чем больше разница между смежными членами в области максимума (минимума), тем больше критерий Диксона. Поэтому критерий Диксона определяет резко выбивающиеся значения ряда, без учёта среднего значения, как было в критериях Смирнова-Граббса. Результаты расчетов критериев Диксона представлены в таблицах 2.7 и 2.8

Таблица 2.7 Расчётные значения критериев Диксона для рядов среднегодовой температуры воздуха

Станции	D1n	D2n	D3n	D4n	D5n	D11	D12	D13	D14	D15
Армавир	0.06	0.06	0.09	0.10	0.08	0.09	0.09	0.15	0.15	0.14
Астрахань	0.03	0.03	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03
Волгоград	0.02	0.02	0.11	0.11	0.11	0.00	0.00	0.04	0.05	0.04
Керчь	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03
Махачкала	0.05	0.06	0.09	0.10	0.07	0.17	0.18	0.26	0.26	0.24
Приморско-Архатск	0.05	0.05	0.08	0.08	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Сочи	0.11	0.11	0.14	0.15	0.14	0.03	0.03	0.12	0.13	0.11
Феодосия	0.02	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Цимлянск	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.09	0.09	0.11	0.11	0.11
Шаджатмаз	0.15	0.18	0.23	0.24	0.20	0.13	0.15	0.21	0.22	0.17

Элиста	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.05	0.05	0.12	0.12	0.11
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

По критериям Диксона для станций Махачкала и Шаджатмаз расчётные значения для минимального члена ранжированного ряда были больше критических значений. Что говорит о наличии неоднородности в ряде температуры. Неоднородность на станции Махачкала была вызвана минимальным значением в 1993 г, тогда на станции была отмечена наименьшая среднегодовая температура 9,9 °С. Неоднородность на станции Шаджатмаз вызвана минимальным значением в 1992 г, тогда на станции была отмечена наименьшая среднегодовая температура 0,9 °С.

Таблица 2.8 Расчётные значения критериев Диксона для рядов годовых сумм осадков

Станции	D1n	D2n	D3n	D4n	D5n	D11	D12	D13	D14	D15
Армавир	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.05	0.06	0.08	0.08	0.07
Астрахань	0.05	0.05	0.17	0.20	0.17	0.00	0.00	0.14	0.16	0.13
Волгоград	0.12	0.12	0.13	0.15	0.13	0.06	0.07	0.19	0.19	0.16
Керчь	0.04	0.04	0.08	0.08	0.07	0.03	0.04	0.08	0.09	0.08
Махачкала	0.04	0.04	0.08	0.08	0.07	0.03	0.04	0.08	0.09	0.08
Приморско-Архатск	0.09	0.09	0.39	0.40	0.37	0.05	0.05	0.09	0.13	0.08
Сочи	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21	0.02	0.03	0.08	0.08	0.07
Феодосия	0.00	0.00	0.21	0.24	0.21	0.01	0.01	0.13	0.16	0.13
Цимлянск	0.04	0.04	0.09	0.09	0.09	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Шаджатмаз	0.18	0.23	0.25	0.25	0.19	0.22	0.27	0.28	0.28	0.23
Элиста	0.02	0.03	0.11	0.11	0.10	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07

По критериям Диксона для станций Махачкала и Шаджатмаз расчётные значения для минимального члена ранжированного ряда были больше критических значений. Что говорит о наличии неоднородности в ряде температуры. Неоднородность на станции Махачкала была вызвана минимальным значением в 1993 г, тогда на станции была отмечена наименьшая среднегодовая температура 9,9 °С. Неоднородность на станции Шаджатмаз вызвана минимальным значением в 1992 г, тогда на станции была отмечена наименьшая среднегодовая температура 0,9 °С.

Нужно отметить тот факт, что длина рядов всего 61 год. Если бы использовался ряд с большей продолжительностью, то наиболее вероятно, что экстремумы на станциях Махачкала и Шаджатмаз были бы сглажены.

### 2.3.3 Оценка стационарности с помощью критерия Стьюдента

С помощью программы «Ступенька», в ряде температур находились точки бифуркации, в которых происходило изменение характера протекающего процесса. Ряд разделялся на две выборки по точке бифуркации, и для каждой из них рассчитывалось своё среднее значение, и дисперсия. И на основе этих данных рассчитывался t-критерий Стьюдента, который характеризует стационарность средних значений.

$$t = \frac{Y_{\text{срI}} - Y_{\text{срII}}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (13)$$

где: n – объёмы последовательных выборок

$\sigma^2$  – дисперсия

$Y_{\text{ср}}$  - средние значения

Результаты расчетов средних значений и дисперсии представлены в таблицах 2.9 и 2.10

Таблица 2.9 Разделение рядов среднегодовой температуры воздуха на две выборки

Станция	Год раздела	n1	Сред. 1	$\sigma^2$	n2	Сред. 2	$\sigma^2$
Армавир	1976	16	10.8	0.58	45	11.2	1.02
Астрахань	1999	39	10.0	0.66	22	11.2	0.30
Волгоград	1999	39	8.1	1.03	22	9.4	0.37
Керчь	1994	34	10.9	0.59	27	12.0	0.46
Махачкала	1992	32	12.2	0.51	29	12.6	0.80
Приморско-Архатск	1998	38	11.1	0.64	23	12.3	0.50
Сочи	1994	34	14.0	0.44	27	14.8	0.50
Феодосия	1994	34	11.9	0.66	27	13.0	0.68
Цимлянск	1976	16	9.1	0.69	45	9.7	1.39
Шаджатмаз	1982	22	2.7	0.46	39	3.1	0.87
Элиста	1998	38	9.3	0.84	23	10.5	0.35

Таблица 2.10 Разделение рядов годовых сумм осадков на две выборки

Станция	Год раздела	n1	Сред. 1	$\sigma^2$	n2	Сред. 2	$\sigma^2$
Армавир	1987	27	578	11199	34	667	14680
Астрахань	1989	29	202	3692	32	234	3935
Волгоград	1987	27	392	8921	34	404	8626
Керчь	1997	37	431	7187	24	430	5015
Махачкала	1990	30	327	4875	31	400	6775
Приморско-Архатск	1987	27	572	9995	34	570	12952
Сочи	1987	27	1544	72533	34	1750	15582 8

Феодосия	2011	51	477	10825	10	397	9398
Цимлянск	1989	29	453	13305	32	463	7406
Шаджатмаз	1986	26	696	11572	35	617	8596
Элиста	1987	27	339	4651	34	391	3559

Для расчёта критических значений критерия Стьюдента учитывается значение автокорреляции, поскольку сравниваются две последовательные неравномерные выборки. Результаты расчетов критерия Стьюдента и вывод представлены в таблицах 2.11 и 2.12

Таблица 2.11 Оценка стационарности средних значений рядов среднегодовой температуры воздуха

Температура	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Армавир	-1.40	2.82	ряд стационарен
Астрахань	-6.40	2.78	ряд не стационарен
Волгоград	-5.37	2.48	ряд не стационарен
Керчь	-5.87	3.18	ряд не стационарен
Махачкала	-1.50	2.78	ряд стационарен
Приморско-Архатск	-6.06	2.78	ряд не стационарен
Сочи	-4.45	2.58	ряд не стационарен
Феодосия	-5.14	3.08	ряд не стационарен
Цимлянск	-1.83	2.84	ряд стационарен
Шаджатмаз	-1.64	2.78	ряд стационарен
Элиста	-5.82	2.54	ряд не стационарен

Таблица 2.12 Оценка стационарности средних значений рядов годовых сумм осадков

Температура	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Армавир	-2.95	2.18	ряд не стационарен
Астрахань	-1.97	2.00	ряд стационарен
Волгоград	-0.52	2.04	ряд стационарен
Керчь	0.07	2.22	ряд стационарен
Махачкала	-3.67	2.00	ряд не стационарен
Приморско-Архатск	0.08	2.20	ряд стационарен
Сочи	-2.28	2.10	ряд не стационарен
Феодосия	2.22	2.38	ряд стационарен
Цимлянск	-0.37	2.02	ряд стационарен
Шаджатмаз	3.02	2.00	ряд не стационарен
Элиста	-3.13	2.06	ряд не стационарен

Расчётные значения критерия Стьюдента сравниваются с критическими значениями. В случаях, когда расчётное значение больше критического это свидетельствует об отсутствии стационарности т.к. имело место изменение среднего значения. Ряд разделялся по точке бифуркации, где происходила смена процесса, а значит, в результате смены изменялись и средние значения.

# Глава 3 Анализ положения точки бифуркации во временных рядах

## 3.1 Анализ положения точки бифуркации во временных рядах среднегодовой температуры воздуха

С помощью методики описанной в главе 1 пункте 2 с помощью программы «Ступенька» было определено положение точки бифуркации во временных рядах температуры воздуха и осадков для каждой из одиннадцати выбранных станций. Пример результатов расчета программы представлен на рисунке 3.1

Год	Описание	Евклид	СКО	Манхэт	Относит.	Результат
1960	№ ступеньки =>	50	59	16	34	
1961	Мин. сумма =>	6.207359257	0.808129342	34.26523547	0.063917	
1962	Для ступеньки:					
1963	Сред. 1 =>	11.03135593	11.03135593	10.80364583	10.596078	
1964	Сред. 2 =>	12.85833333	12.85833333	11.19351852	11.714815	
1965	Общая	Евклид	СКО	Манхэт	Относит.	
1966	длина					
1967	временного					
1968	ряда:	61				
1969						
1970						
1971						
1972	N1=	1				
1973	N2=	61				
1974	СРЕДНЕЕ	11.091				
1975	СКО	0.969				
1976	ДИСПЕРСИЯ	0.94				
1977						
1978						
1979						
1980	N1=	1				
1981	N2=	59	59	16	34	
1982	СРЕДНЕЕ	11.031	11.031	10.803	10.596	
1983	СКО	0.927	0.927	0.763	0.819	
1984	ДИСПЕРСИЯ	0.86	0.86	0.583	0.67	
1985						

Рисунок 3.1 - Пример результатов расчета программы «Ступенька»

На первом листе программы в колонку А заносятся значения исследуемого метеорологического параметра, в колонку В заносятся года.

Далее программа запускается и в колонках С-Л выводится результат расчета для четырех метрик: евклидоваго расстояния, СКО, манхэттенского

расстояния и относительного расстояния. В ячейках, представленных на рисунке 3.2. в первой строке выводится номер точки бифуркации. В строках 4 и 5 находятся оптимальные значения двух средних значений, при которых сумма квадратов отклонений этих значений от значений временного ряда будет минимальным. В строке 2 находятся значение суммы квадратов отклонений этих двух средних значений. В строке 10 находятся значение длины временного ряда. В строках с 13 по 17 приводятся статистические характеристики всего временного ряда: номер первой и последней точки, среднее значение, среднеквадратическое отклонение, дисперсия.

	C	D	E	F	G
1	№ ступеньки =>	59	59	16	34
2	Мин. сумма =>	6.20735926	0.808129342	34.2652355	0.063917
3	Для ступеньки:				
4	Сред. 1 =>	11.0313559	11.03135593	10.8036458	10.596078
5	Сред. 2 =>	12.8583333	12.85833333	11.1935185	11.714815
6		Евклид	СКО	Манхет	Относит
7	Общая				
8	длина				
9	временного				
10	ряда:	61			
11					
12					
13	N1=	1			
14	N2=	61			
15	СРЕДНЕЕ	11.091			
16	СКО	0.969			
17	ДИСПЕРСИЯ	0.94			

Рисунок 3.2 – Фрагмент результатов расчета программы

В строках 21-25 приводятся статистические характеристики от первой точки до точки бифуркации. В строках 29-33 - статистические характеристики от точки бифуркации до конечной точки. В строке 38

выводится значение среднеквадратического отклонения ступеньки, в строке 40 – среднеквадратическое отклонение всего ряда. (рис. 3.3)

	C	D	E	F	G
13 N1=		1			
14 N2=		61			
15 СРЕДНЕЕ		11.091			
16 СКО		0.969			
17 ДИСПЕРСИЯ		0.94			
18					
19					
20					
21 N1=		1	1	1	1
22 N2=		59	59	16	34
23 СРЕДНЕЕ		11.031	11.031	10.803	10.596
24 СКО		0.927	0.927	0.763	0.819
25 ДИСПЕРСИЯ		0.86	0.86	0.583	0.67
26					
27					
28					
29 N1=		60	60	17	35
30 N2=		61	61	61	61
31 СРЕДНЕЕ		12.858	12.858	11.193	11.714
32 СКО		0.164	0.164	1.021	0.77
33 ДИСПЕРСИЯ		0.027	0.027	1.042	0.593
34					
35					
36					
37 Сигма					
38 ступеньки:		0.905128756	0.905128756	0.95222998	0.7909875
39 Сигма					
40 ряда:		0.969	0.969	0.969	0.969
41					

Рисунок 3.3 – Характеристики ступеньки

В колонках I,J,K,L выводится аппроксимация временного ряда двумя линейными трендами. (рис. 3.4) Это данные используются для построения графика двух линейных трендов

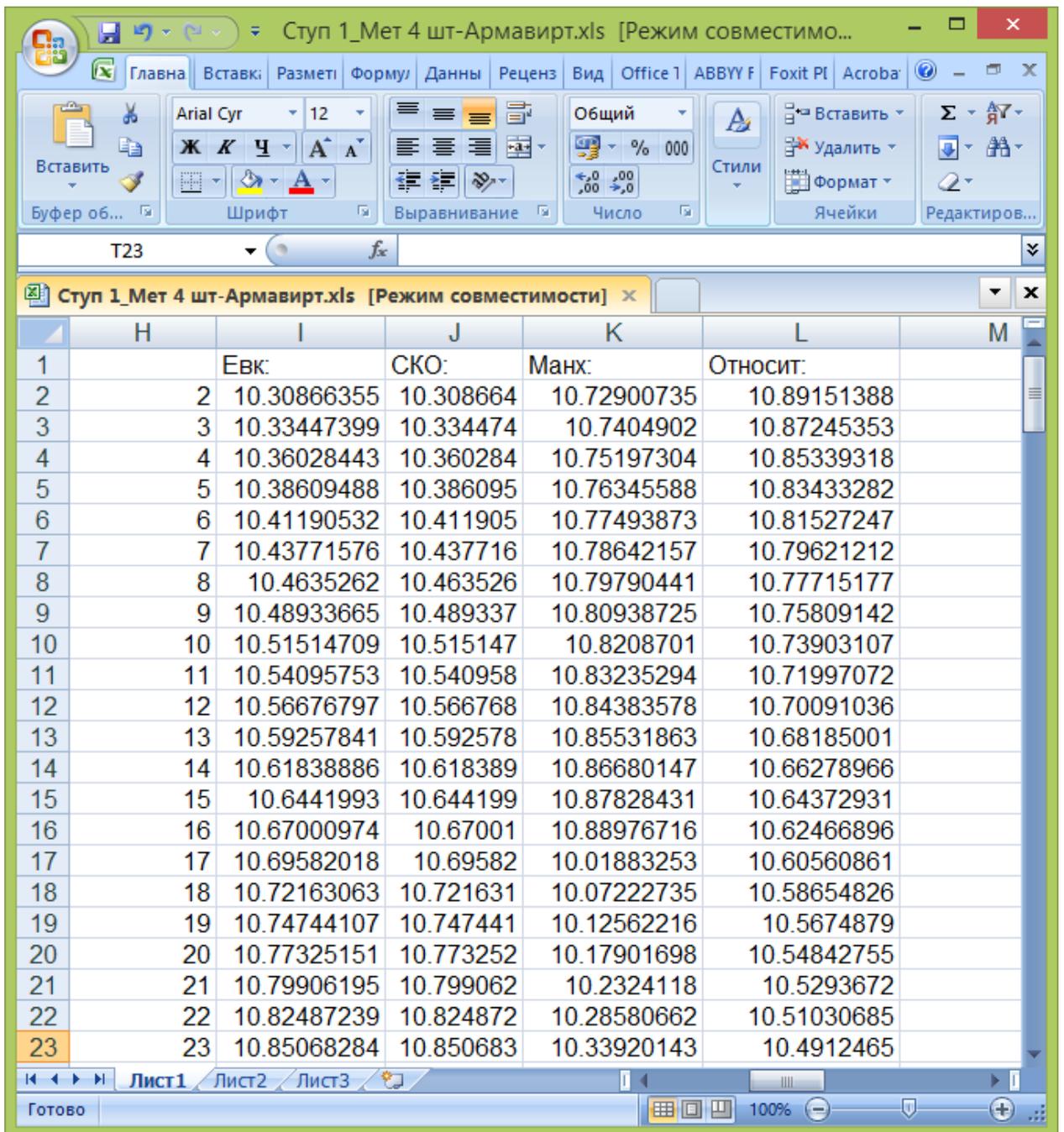


Рисунок 3.4 – Аппроксимация временного ряда двумя линейными трендами

Положение точки бифуркации разделило ряд на две части, для каждой из которых был построен временной тренд. Для удобства анализа полученных результатов по этим данным были построены графики температуры на каждой станции. На графике выводится временной тренд для каждой части и общий линейный тренд для всего ряда, его уравнение и коэффициент детерминации.

На рисунке 3.5 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Армавир. Точка бифуркации здесь приходится на 1976 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1975 (16 лет) и 1976-2020 гг (45 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается повышение среднегодовой температуры. Тренды отрезков также указывают на повышение температуры, но после 1975 г. произошло скачкообразное падение температуры, а тенденция на повышение заметно усилилась: в первый период градиент составляет 0,01 градуса на год, второй период в 5 раз больше, т. е. 0,05 градуса в год.

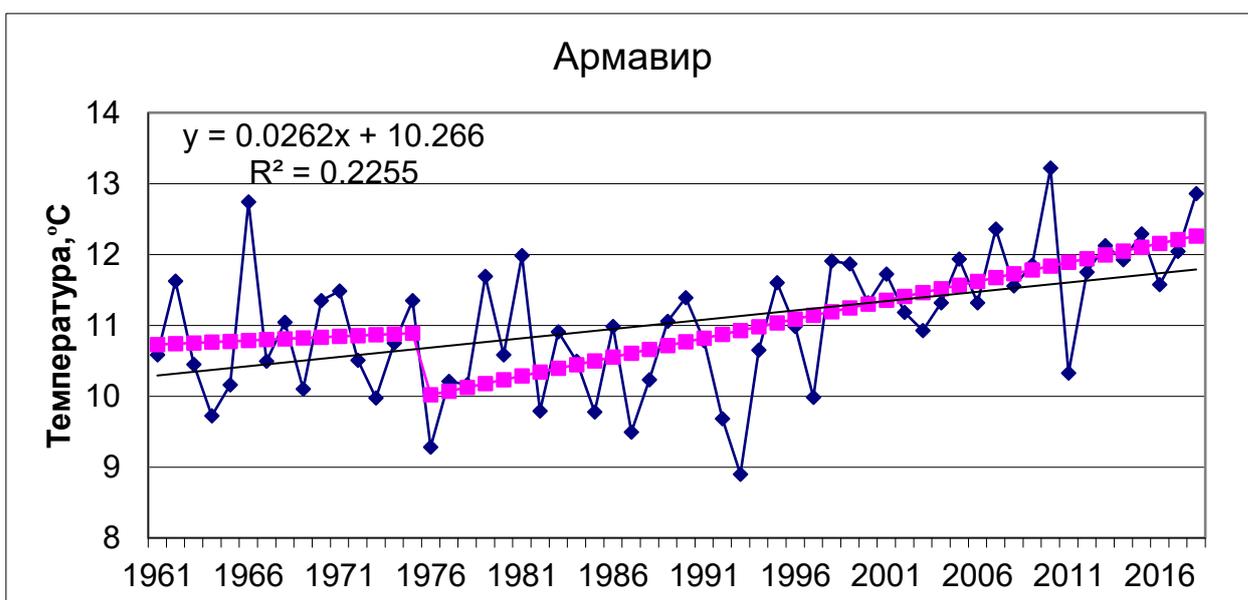


Рисунок 3.5 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Армавир

На рисунке 3.6 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Астрахань. Точка бифуркации здесь приходится на 1999 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1998 (39 лет) и 1999-2020 гг (22 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается повышение среднегодовой температуры. В первый период повышение среднегодовой температуры очень слабое, но после 1998 г. произошёл скачкообразный рост температуры, и повышение заметно усилилось: в первый период градиент составляет 0,004 градуса в год, второй период в 10 раз больше, т. е. 0,04 градуса в год.



Рисунок 3.6 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Астрахань

На рисунке 3.7 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Волгоград. Точка бифуркации здесь приходится на 1999 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1998 (39 лет) и 1999-2020 гг (22 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают совсем другую картину. В первый период повышение среднегодовой температуры очень слабое, после 1998 г. произошёл скачкообразный рост температуры, но тенденция сменилась на ещё более слабое падение: в первый период градиент составляет 0,01 градуса на год, второй период -0,001 градуса в год.

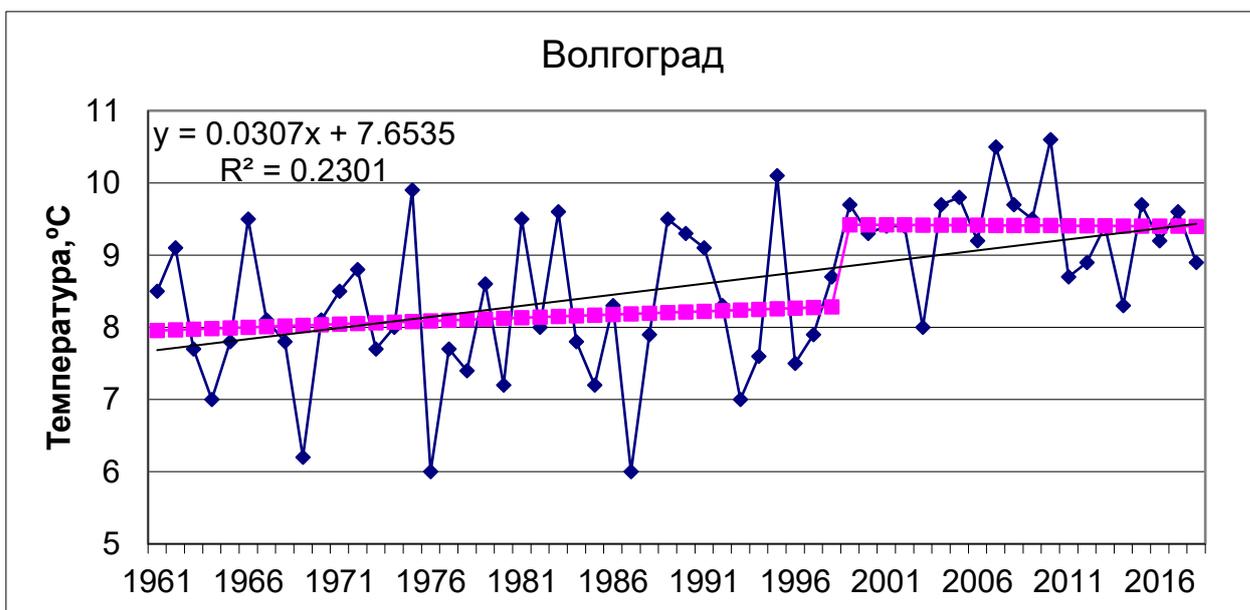


Рисунок 3.7 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Волгоград

На рисунке 3.8 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Керчь. Точка бифуркации здесь приходится на 1994 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1993 (34 года) и 1994-2020 гг (27 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают несколько иную картину. В первый период наблюдается падение температуры. После 1993 г. тенденция сменилась на повышение. В первый период градиент составляет  $-0,02$  градуса в год, второй период  $0,08$  градуса в год.

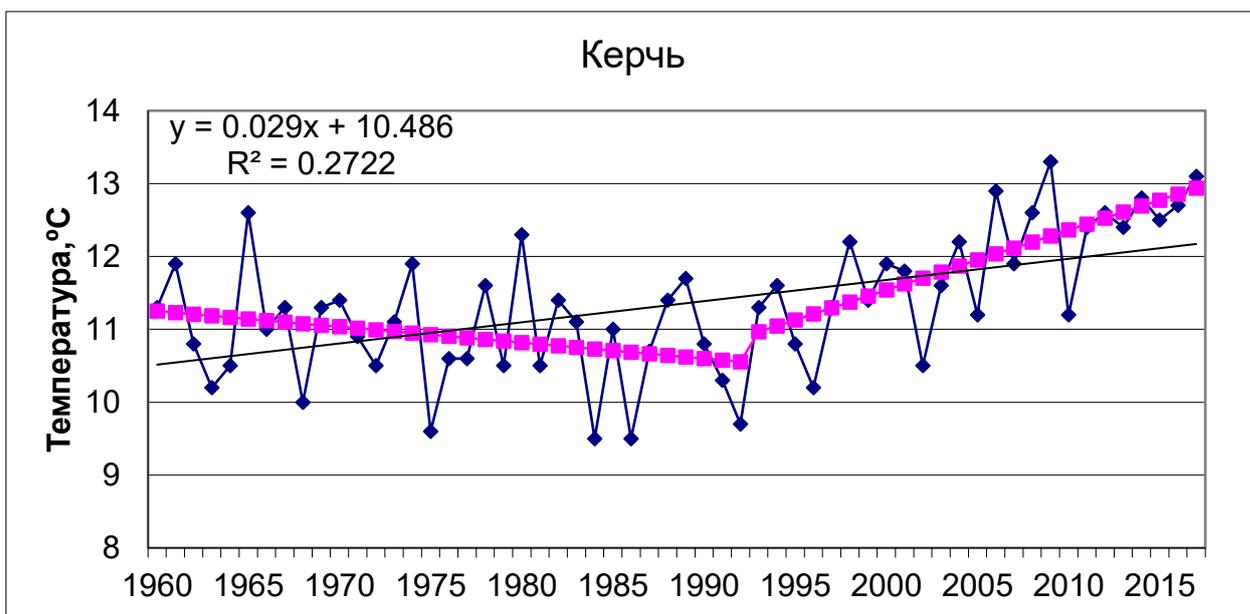


Рисунок 3.8 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Керчь

На рисунке 3.9 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Махачкала. Точка бифуркации здесь приходится на 1992 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1991 (16 лет) и 1992-2020 гг (45 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков также показывают повышение, но после 1991 г. произошло скачкообразное падение температуры, а тенденция на повышение заметно усилилась: в первый период градиент составляет 0,01 градуса на год, второй период в 8 раз больше, т. е. 0,08 градуса в год.

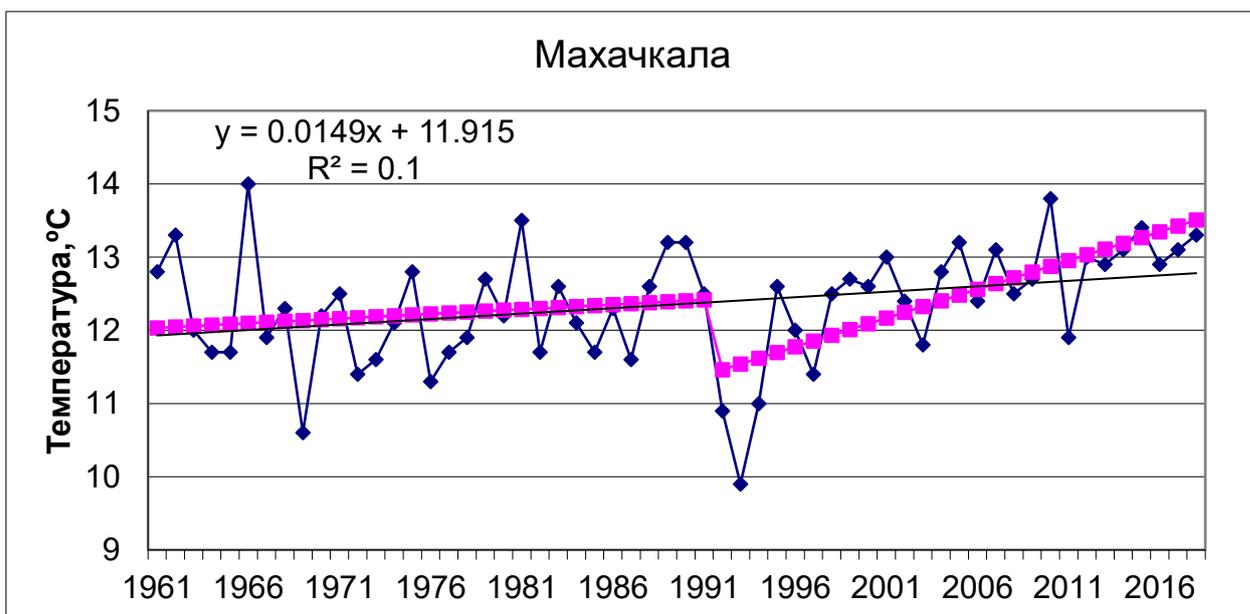


Рисунок 3.9 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Махачкала

На рисунке 3.10 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Приморско-Архатск. Точка бифуркации здесь приходится на 1998 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1997 (38 лет) и 1998-2020 гг (23 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают несколько иную картину. В первый период наблюдается падение температуры. После 1997 г. произошёл скачкообразный рост температуры, и тенденция сменилась на повышение. В первый период градиент составляет -0,01 градуса в год, второй период 0,06 градуса в год.

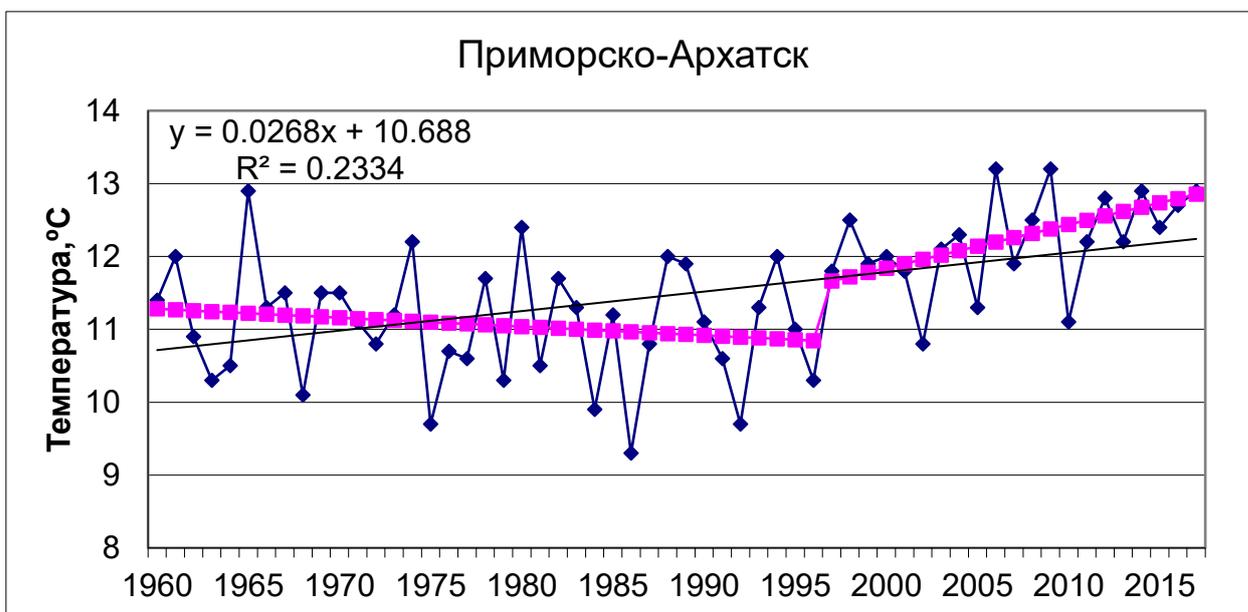


Рисунок 3.10 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Приморско-Архатск

На рисунке 3.11 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Сочи. Точка бифуркации здесь приходится на 1994 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1993 (34 года) и 1994-2020 гг (27 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают несколько иную картину. В первый период наблюдается падение температуры. После 1993 г. произошёл скачкообразный рост температуры, и тенденция сменилась на повышение. В первый период градиент составляет -0,03 градуса в год, второй период 0,04 градуса в год.

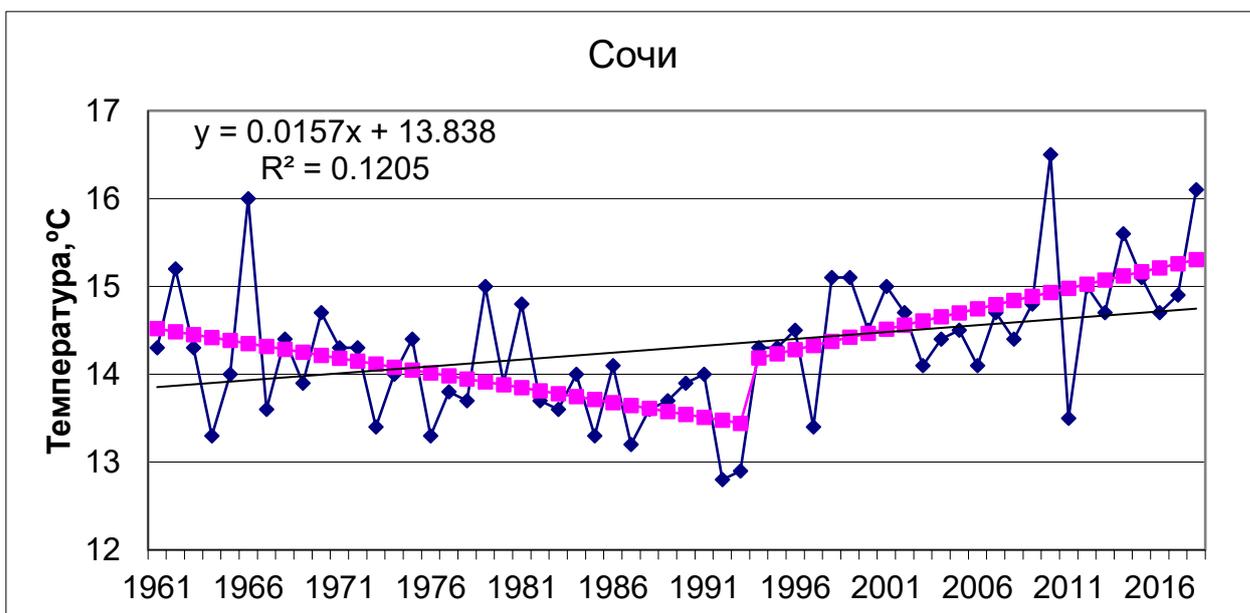


Рисунок 3.11 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Сочи

На рисунке 3.12 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Феодосия. Точка бифуркации здесь приходится на 1994 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1993 (34 года) и 1994-2020 гг (27 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают несколько иную картину. В первый период наблюдается падение температуры. После 1993 г. произошёл скачкообразный рост температуры, и тенденция сменилась на повышение. В первый период градиент составляет -0,03 градуса в год, второй период 0,08 градуса в год.

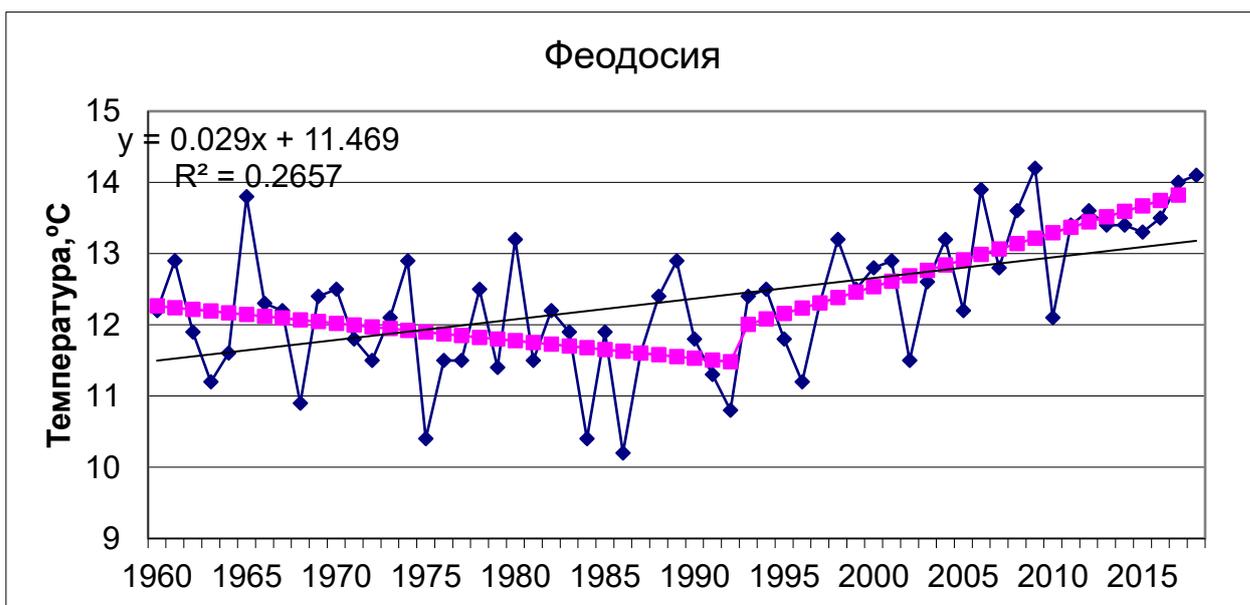


Рисунок 3.12 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Феодосия

На рисунке 3.13 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Цимлянск. Точка бифуркации здесь приходится на 1976 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1975 (16 лет) и 1976-2020 гг (45 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды

отдельных отрезков также показывают повышение, но после 1975 г. произошло скачкообразное падение температуры, а тенденция на повышение заметно усилилась: в первый период градиент составляет 0,002 градуса на год, второй период 0,06 градуса в год.

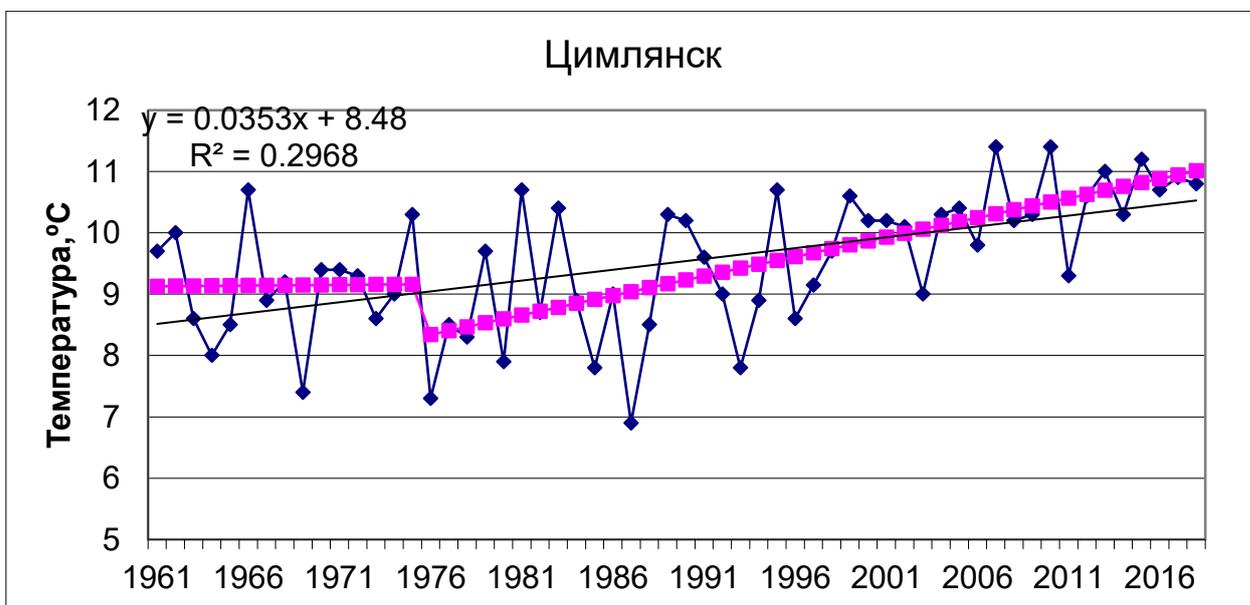


Рисунок 3.13 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Цимлянск

На рисунке 3.14 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Шаджатмаз. Точка бифуркации здесь приходится на 1982 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1981 (22 года) и 1982-2020 гг (39 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают несколько иную картину. В первый период наблюдается падение температуры. После 1981 г. тенденция сменилась на повышение. В первый период градиент составляет -0,02 градуса в год, второй период 0,06 градуса в год.

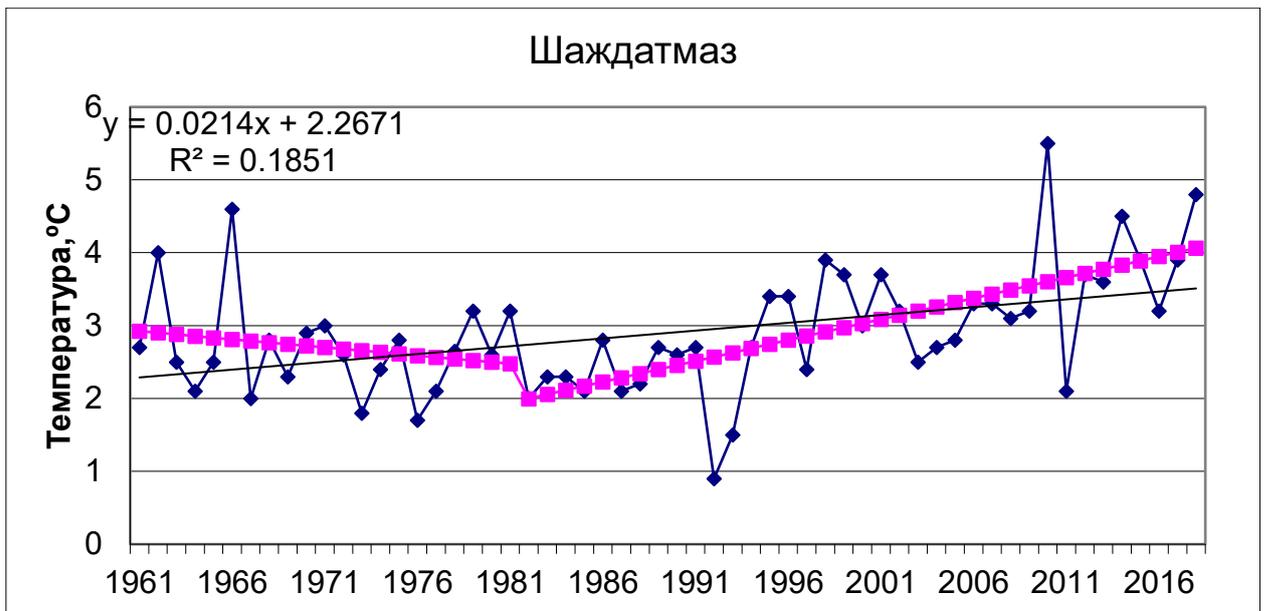


Рисунок 3.14 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Шаджатмаз

На рисунке 3.15 представлен график среднегодовой температуры воздуха на станции Элиста. Точка бифуркации здесь приходится на 1998 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1997 (38 лет) и 1998-2020 гг (23 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры. Тренды отдельных отрезков показывают несколько иную картину. В первый период наблюдается слабое падение температуры. После 1997 г. произошёл скачкообразный рост температуры, и тенденция сменилась на повышение. В первый период градиент составляет  $-0,002$  градуса в год, второй период  $0,04$  градуса в год.

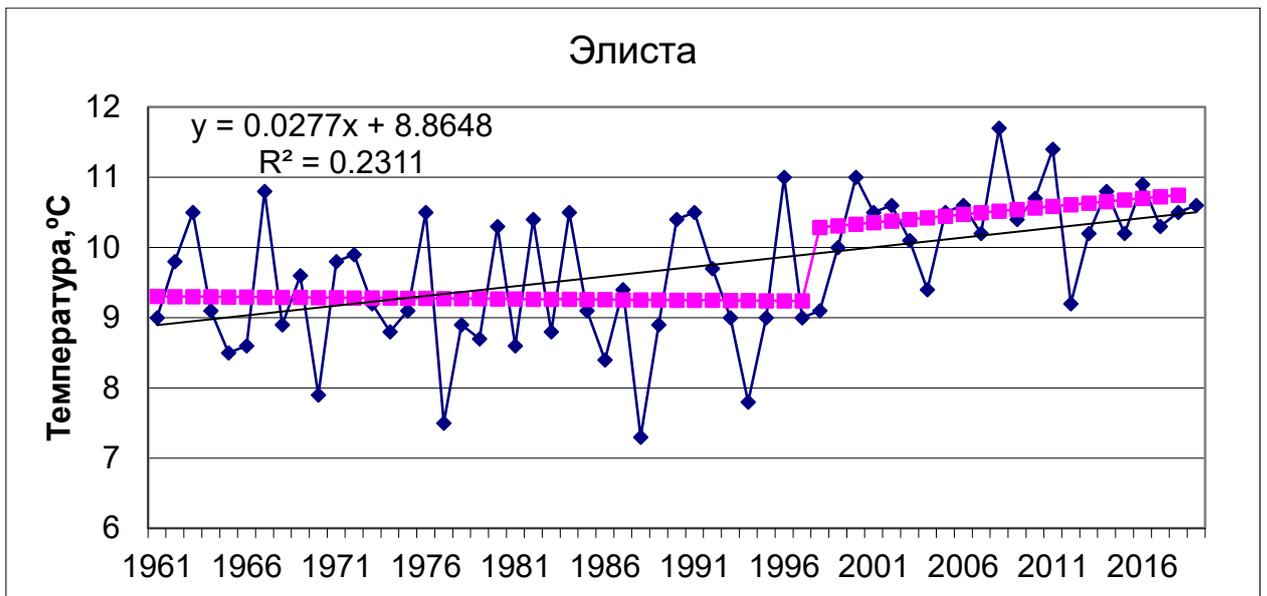


Рисунок 3.15 – График среднегодовой температуры воздуха на станции Элиста

Для удобства анализа полученных результатов были составлены таблицы. Анализируя их можно сделать вывод, что на шести станциях наблюдается понижение температуры в первый период и рост во второй. На станции Волгоград наблюдается рост температуры в первый период во второй период. На станциях Армавир, Астрахань и Цимлянск наблюдается рост температуры на всех отрезках

Таблица - Тенденция температур на исследуемых станциях

Станция	Положение точки бифуркации, год	Коэффициент детерминации для глобального линейного тренда, R2	Тенденция №1 Увеличение темп-ры +; Уменьшение темп-ры -	Тенденция №2 Увеличение темп-ры +; Уменьшение темп-ры -	Линейный тренд Увеличение темп-ры +; Уменьшение темп-ры -
Армавир	1976	0,23	+	+	+
Астрахань	1999	0,30	+	+	+
Волгоград	1999	0,23	+	-	+
Керчь	1994	0,01	-	+	+

Махачкала	1992	0,10	+	+	+
Приморско-Архатск	1998	0,23	-	+	+
Сочи	1994	0,12	-	+	+
Феодосия	1994	0,29	-	+	+
Цимлянск	1976	0,30	+	+	+
Шаджатмаз	1982	0.17	-	+	+
Элиста	1998	0,23	-	+	+

Анализируя распределение по территории дат наступления точки бифуркации в рядах среднегодовой температуры воздуха, которое для наглядности представлено на рисунке 3.15, можно отметить, что характер долговременной тенденции температуры на 8 станциях изменился в период 1992-1999 гг. На станциях Шаджатмаз, Цимлянск и Армавир и точки бифуркации приходятся на 1981 и 1976 гг. соответственно. Можно также отметить, что эти три станции находятся в центре исследуемой территории.

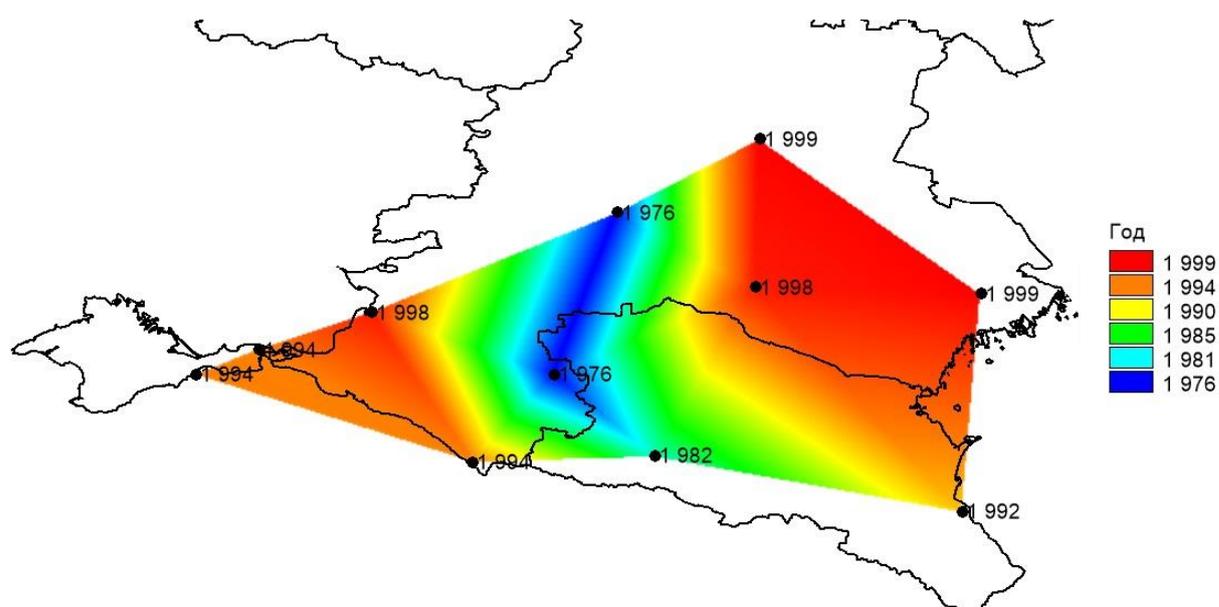


Рисунок 3.15 - Распределение по территории дат наступления точки бифуркации в рядах среднегодовой температуры воздуха

### **3.2 Анализ положения точки бифуркации во временных рядах годовых сумм осадков**

Для удобства анализа полученных результатов по этим данным были построены графики температуры на каждой станции. На графике выводится временной тренд для каждой части и общий линейный тренд для всего ряда, его уравнение и коэффициент детерминации.

На рисунке 3.16 представлен график годовых сумм осадков на станции Армавир. Точка бифуркации здесь приходится на 1987 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1986 (27 лет) и 1987-2020 гг (34 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение суммарного количества осадков. Тренды отрезков показывают совершенно другую картину. И на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Такое различие связано с тем, что после 1986 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков, из-за этого общий тренд выявляет устойчивое увеличение. Тенденция уменьшения осадков в первый период несколько ниже, чем во второй: градиент составляет  $-3,8$  мм в год и  $-4,4$  мм в год соответственно

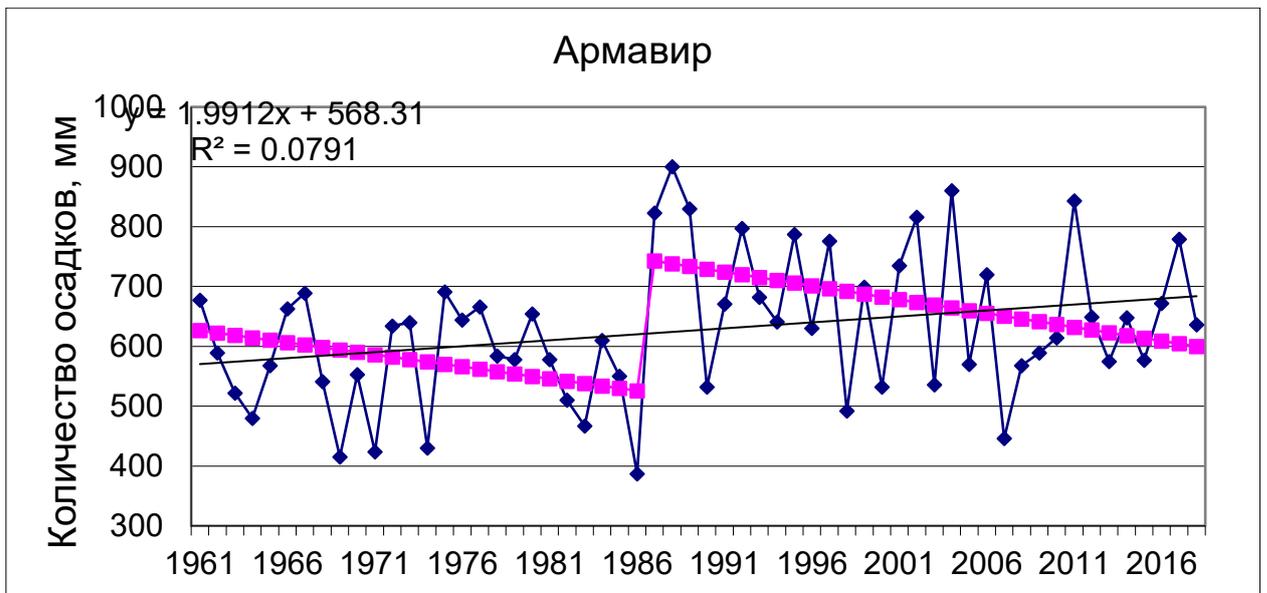


Рисунок 3.16 – График годовых сумм осадков на станции Армавир

На рисунке 3.17 представлен график годовых сумм осадков на станции Астрахань. Точка бифуркации здесь приходится на 1989 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1988 (29 лет) и 1989-2020 гг (32 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается повышение суммарного количества осадков. Тренды отрезков показывают совершенно другую картину. И на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Такое различие связано с тем, что после 1988 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков. Тенденция уменьшения осадков в первый период значительно слабее, чем во второй: градиент составляет  $-0,1$  мм в год и  $-2,7$  мм в год соответственно

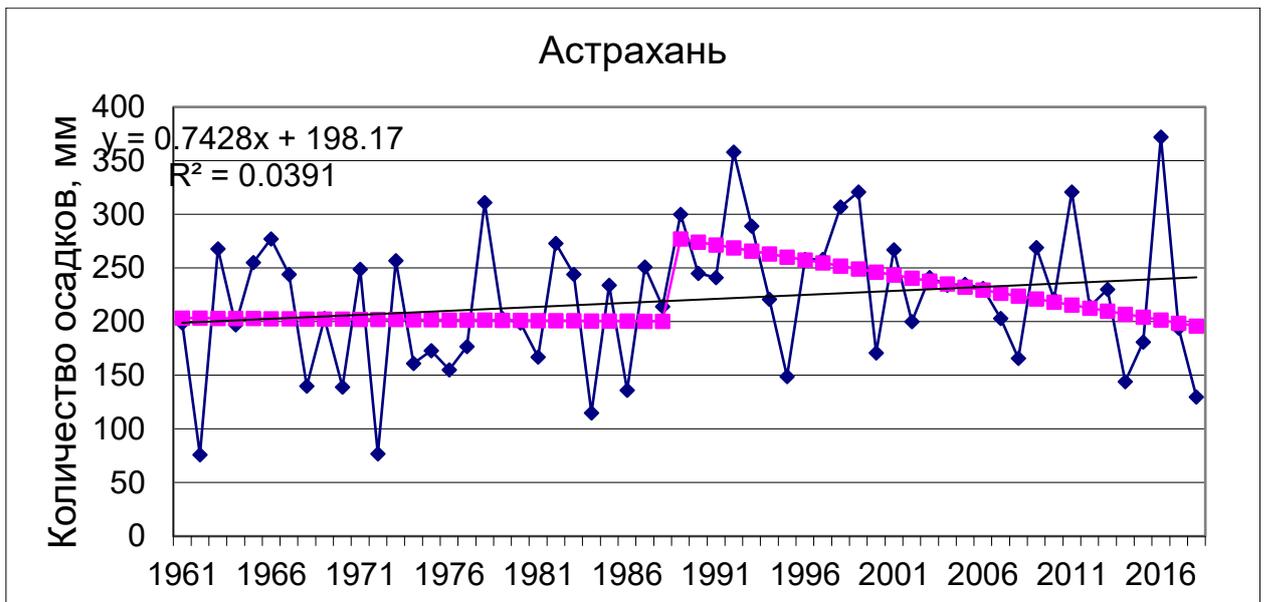


Рисунок 3.17 – График годовых сумм осадков на станции Астрахань

На рисунке 3.18 представлен график годовых сумм осадков на станции Волгоград. Точка бифуркации здесь приходится на 1987 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1986 (27 лет) и 1987-2020 гг (34 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается уменьшение суммарного количества осадков. На этой станции тренды отрезков не противоречат общему временному тренду, и на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Однако после 1986 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков. Тенденция уменьшения осадков в первый период несколько слабее, чем во второй: градиент составляет -2,6 мм в год и -4,4 мм в год соответственно

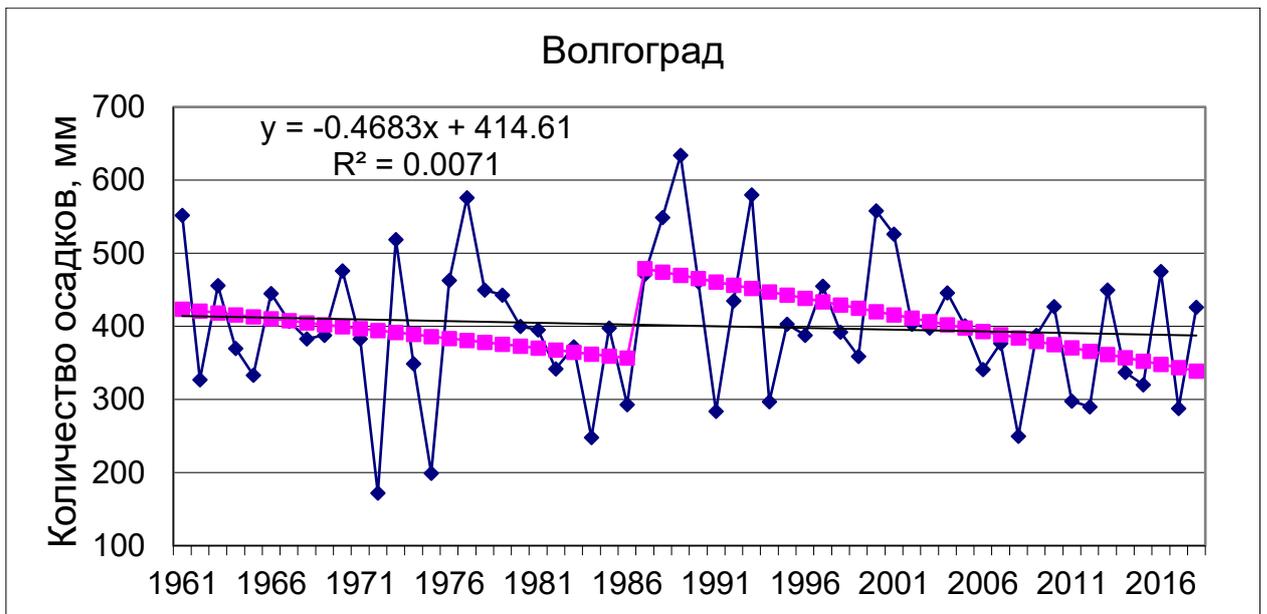


Рисунок 3.18 – График годовых сумм осадков на станции Волгоград

На рисунке 3.19 представлен график годовых сумм осадков на станции Керчь. Точка бифуркации здесь приходится на 1997 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1996 (37 лет) и 1987-2020 гг (24 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается уменьшение суммарного количества осадков. На этой станции тренды отрезков не противоречат общему временному тренду, и на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Однако после 1986 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков. Тенденция уменьшения осадков заметно усилилась во второй период: в первый период градиент составляет -1,1 мм в год, во второй период в 10 раз больше -11,6 мм в год

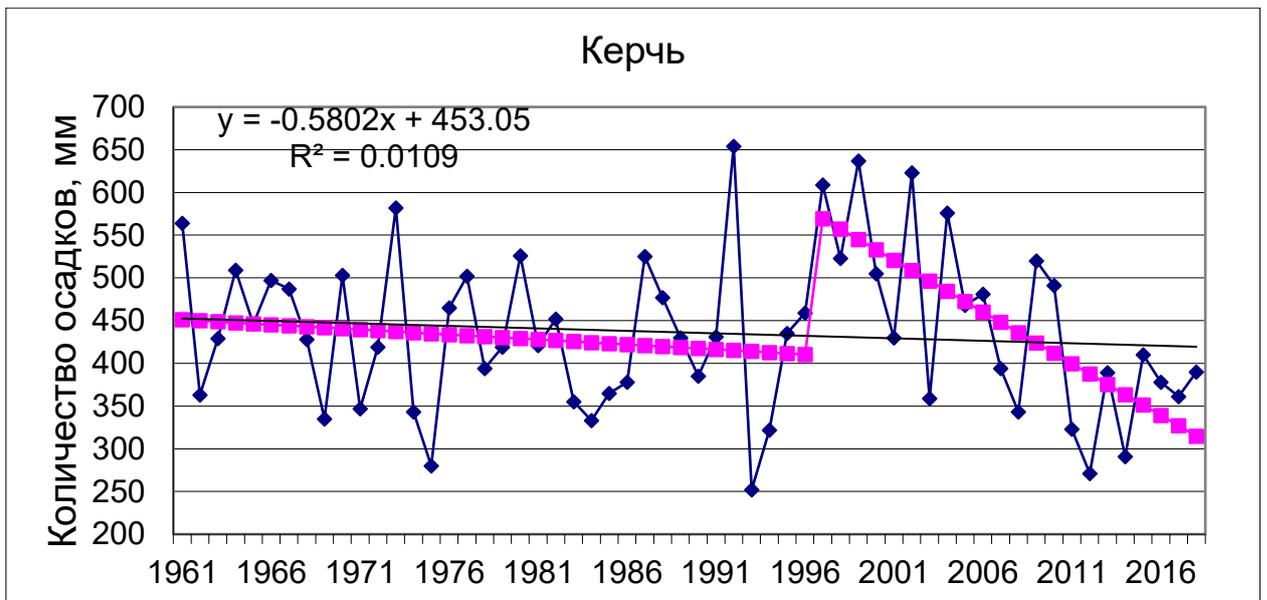


Рисунок 3.19 – График годовых сумм осадков на станции Керчь

На рисунке 3.20 представлен график годовых сумм осадков на станции Махачкала. Точка бифуркации здесь приходится на 1990 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1989 (30 лет) и 1990-2020 гг (31 год).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается уменьшение суммарного количества осадков. На этой станции тренды отрезков не противоречат общему временному тренду, и на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Однако после 1989 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков. Тенденция уменьшения осадков в первый период несколько сильнее, чем во второй: градиент составляет  $-2,9$  мм в год и  $-1,9$  мм в год соответственно.

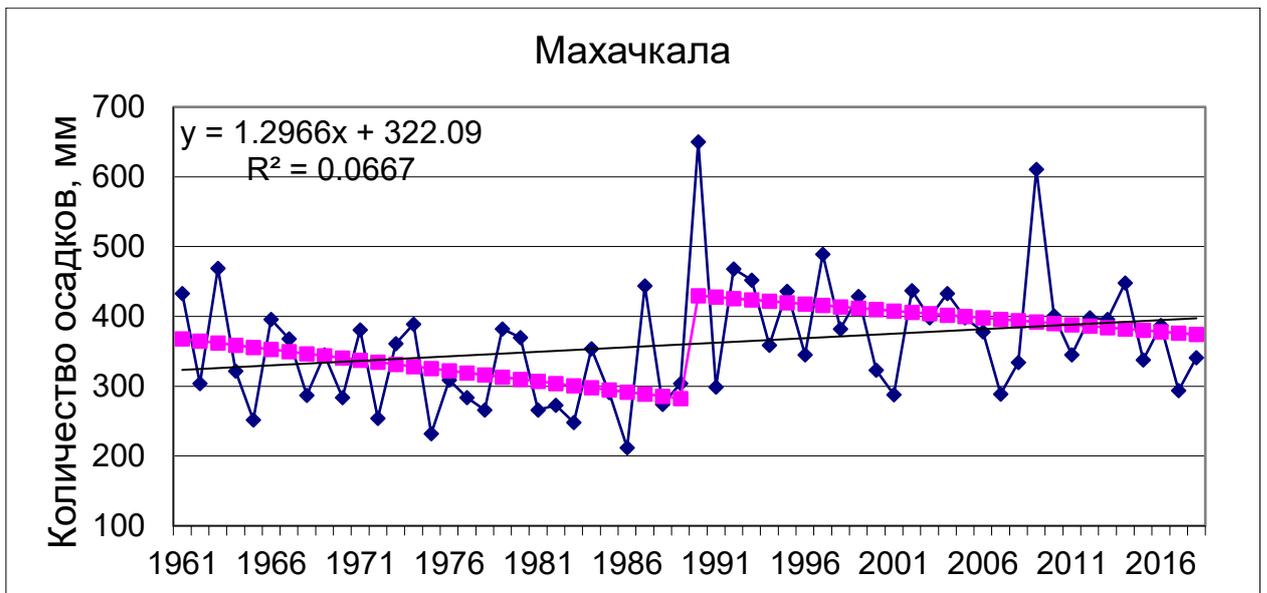


Рисунок 3.20 – График годовых сумм осадков на станции Махачкала

На рисунке 3.21 представлен график годовых сумм осадков на станции Приморско-Архатск. Точка бифуркации здесь приходится на 1987 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1986 (27 лет) и 1987-2020 гг (34 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается уменьшение суммарного количества осадков. На этой станции тренды отрезков не противоречат общему временному тренду, и на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Однако после 1986 г. произошёл скачкообразный рост количества осадков. Тенденция уменьшения осадков заметно усилилась во второй период: в первый период градиент составляет  $-0,5$  мм в год, во второй период в 10 раз больше  $-5,4$  мм в год

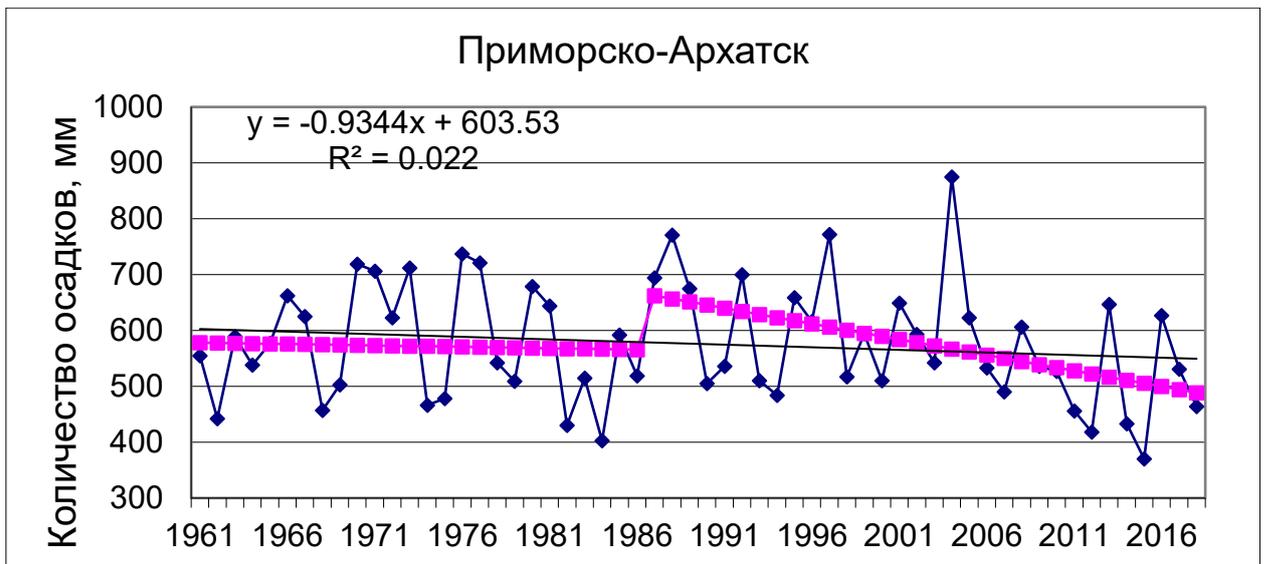


Рисунок 3.21 – График годовых сумм осадков на станции Приморско-Архатск

На рисунке 3.22 представлен график годовых сумм осадков на станции Сочи. Точка бифуркации здесь приходится на 1987 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1986 (27 лет) и 1987-2020 гг (34 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение суммарного количества осадков. Тренды отрезков показывают совершенно другую картину. И на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Такое различие связано с тем, что после 1986 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков, из-за этого общий тренд выявляет устойчивое увеличение. Тенденция уменьшения осадков заметно усилилась во второй период: в первый период градиент составляет -2,3 мм в год, во второй период в 5 раз больше -11,6 мм в год.

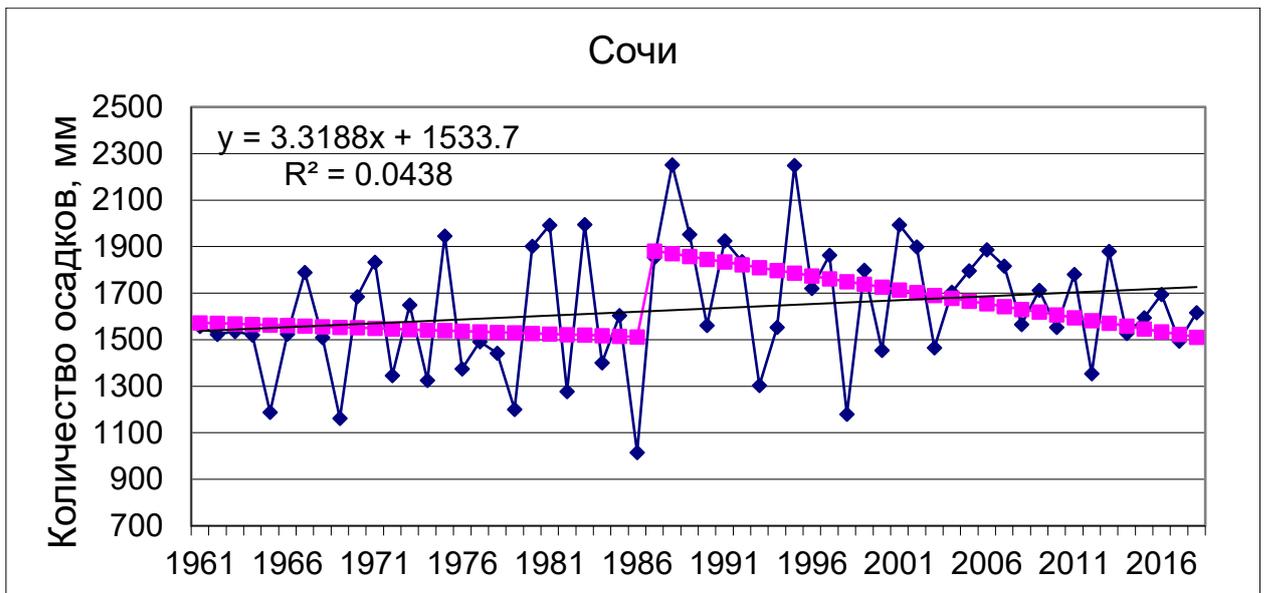


Рисунок 3.22 – График годовых сумм осадков на станции Сочи

На рисунке 3.23 представлен график годовых сумм осадков на станции Феодосия. Точка бифуркации здесь приходится на 2011 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-2010 (50 лет) и 2011-2020 гг (11 лет).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение суммарного количества осадков. На этой станции тренды отрезков не противоречат общему временному тренду, и на первом и на втором отрезке имеется тенденция на увеличение количества осадков. Однако после 2010 г. произошло скачкообразное падение суммарного количества осадков. Тенденция увеличения осадков в первый период в чуть слабее, чем во второй: градиент составляет 2,0 мм в год и 3,3 мм в год соответственно.

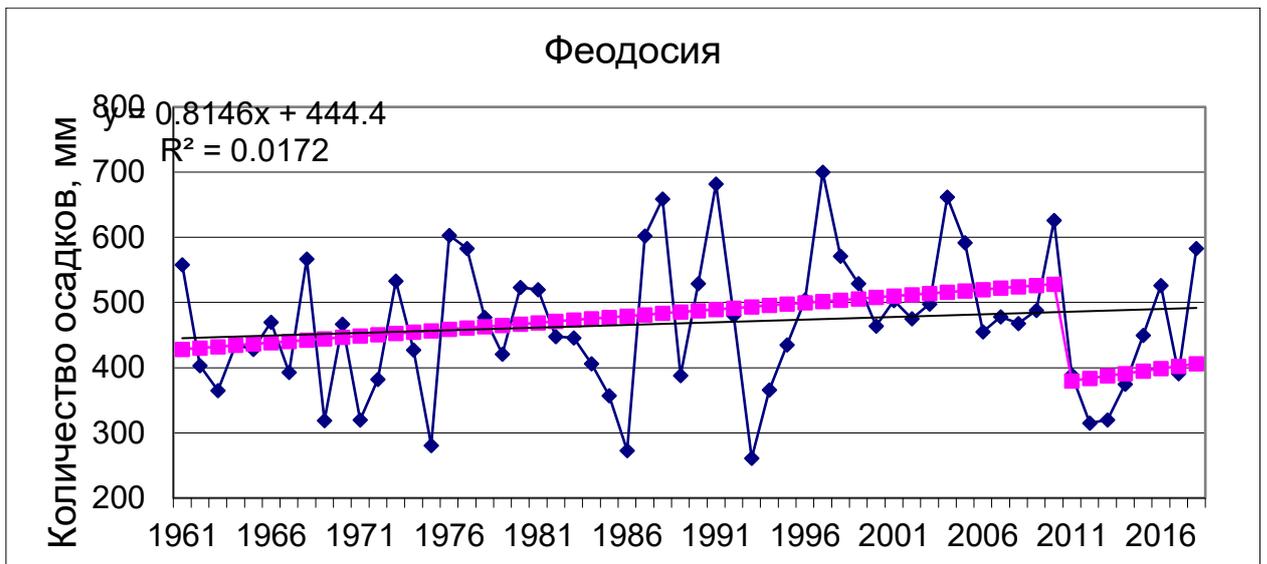


Рисунок 3.23 – График годовых сумм осадков на станции Феодосия

На рисунке 3.24 представлен график годовых сумм осадков на станции Цимлянск. Точка бифуркации здесь приходится на 1989 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1988 (29 лет) и 1989-2020 гг (32 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение суммарного количества осадков. На этой станции тренды отрезков не противоречат общему временному тренду, и на первом и на втором отрезке имеется тенденция на увеличение количества осадков. Однако после 1988 г. произошло скачкообразное падение суммарного количества осадков. Тенденция увеличения осадков в первый период в 5 раз сильнее, чем во второй: градиент составляет 4,1 мм в год и 0,8 мм в год соответственно.

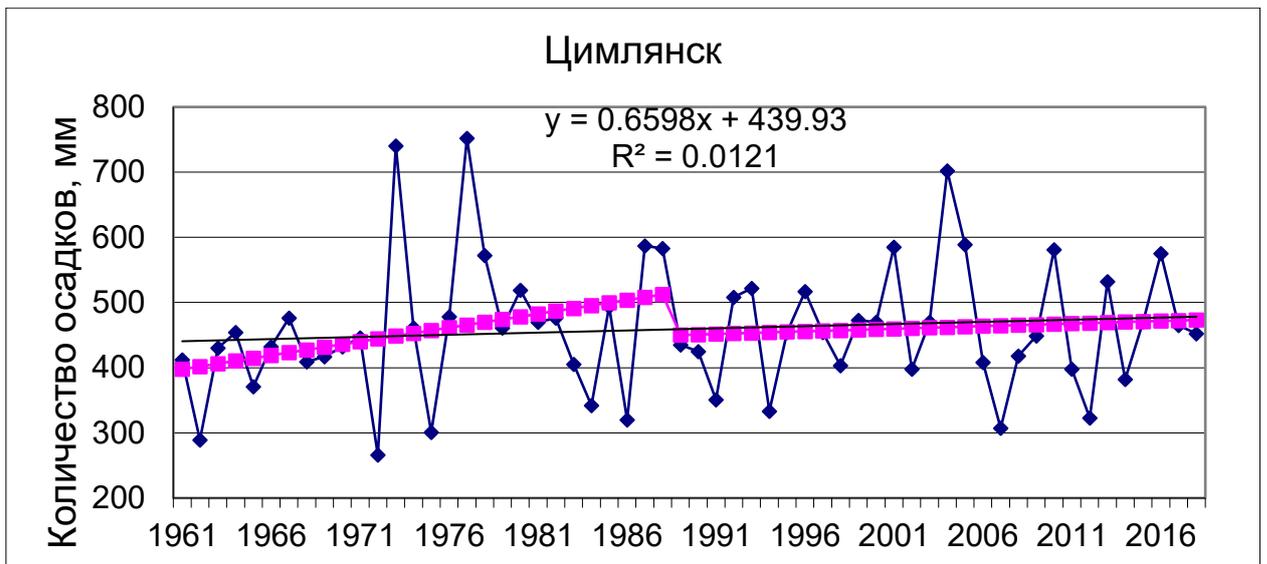


Рисунок 3.24 – График годовых сумм осадков на станции Цимлянск

На рисунке 3.25 представлен график годовых сумм осадков на станции Шаджатмаз. Точка бифуркации здесь приходится на 1986 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1985 (26 лет) и 1986-2020 гг (35 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое уменьшение суммарного количества осадков. Тренды отрезков показывают совершенно другую картину. И на первом и на втором отрезке имеется тенденция на увеличение суммарного количества осадков. Такое различие связано с тем, что после 1986 г. произошло сильное скачкообразное падение количества осадков, из-за этого общий тренд выявляет устойчивое уменьшение. Тенденция увеличения осадков в первый период в 3 раза выше, чем во второй: градиент составляет 6.6 мм в год и 1,9 мм в год соответственно

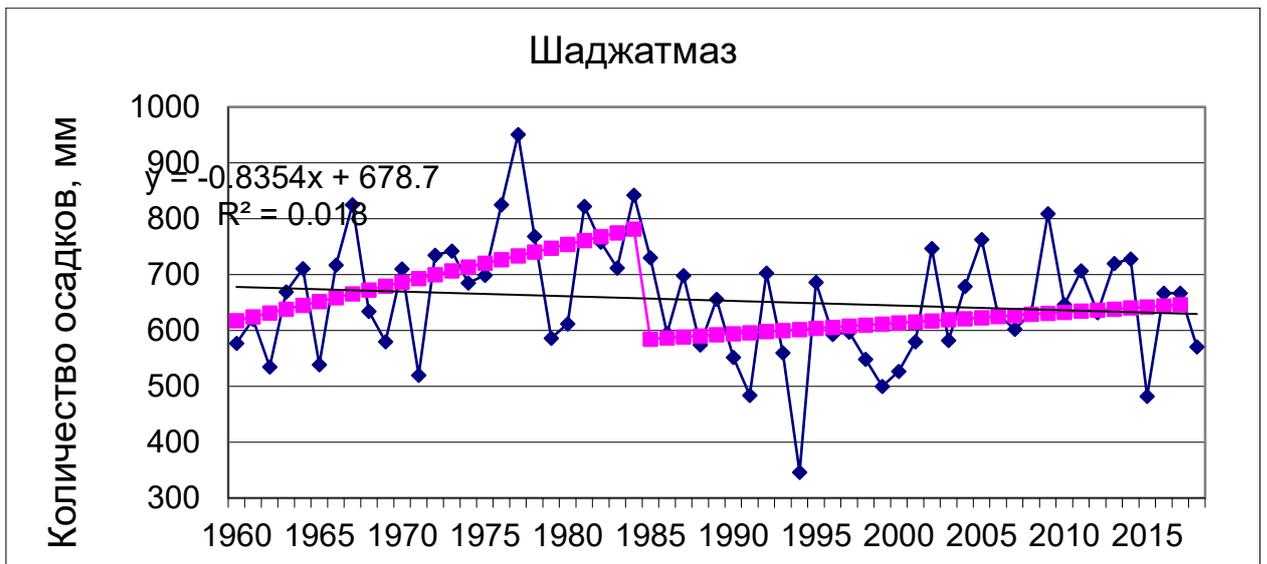


Рисунок 3.25 – График годовых сумм осадков на станции Шаджатмаз

На рисунке 3.26 представлен график годовых сумм осадков на станции Элиста. Точка бифуркации здесь приходится на 1987 год, соответственно ряд разбит на 2 отрезка 1960-1986 (27 лет) и 1987-2020 гг (34 года).

Временной тренд за весь период свидетельствует о том, что наблюдается устойчивое повышение суммарного количества осадков. Тренды отрезков показывают совершенно другую картину. И на первом и на втором отрезке имеется тенденция на уменьшение суммарного количества осадков. Такое различие связано с тем, что после 1986 г. произошёл сильный скачкообразный рост осадков, из-за этого общий тренд выявляет устойчивое увеличение. Тенденция уменьшения осадков уменьшилась во второй период: в первый период градиент составляет -2,8 мм в год, во второй период в 3 раза меньше -0,9 мм в год.

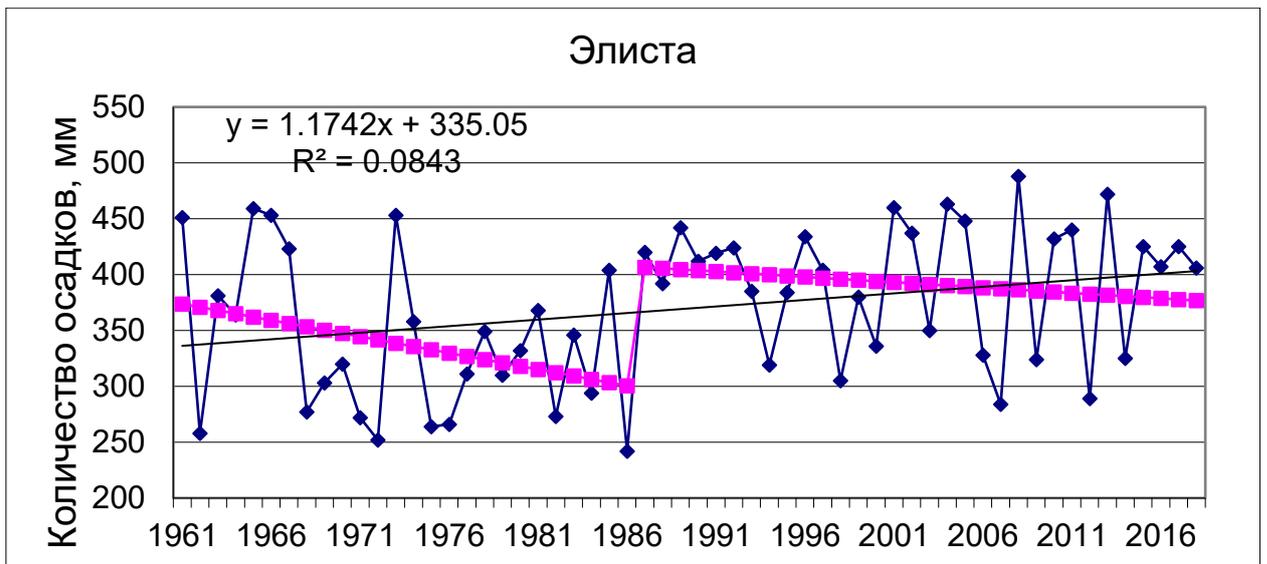


Рисунок 3.26 – График годовых сумм осадков на станции Элиста

Анализируя таблицу 3.2 можно отметить, что на восьми станциях наблюдается тенденция на понижение количества сумм осадков до точки бифуркации, причем после точки бифуркации на этих станциях наблюдается скачкообразный рост с последующим падением. На станциях Феодосия, Цимлянск и Шаджатмаз наблюдается противоположная ситуация, имеется тенденция на повышение сумм осадков до точки бифуркации, скачкообразное падение после точки бифуркации и продолжение их роста. Однако если принять во внимание общий тренд, то можно отметить, что только в половине случаев понижения количества сумм осадков и до точки бифуркации и после неё наблюдается их общее понижение.

Таблица 3.2 - Тенденция осадков на исследуемых станциях

Станция	Положение точки бифуркации, год	Коэффициент детерминации и для глобального линейного тренда, R <sup>2</sup>	Тенденция №1 Увеличение осадков +; Уменьшение осадков -	Тенденция №2 Увеличение осадков +; Уменьшение осадков -	Линейный тренд Увеличение темп-ры +; Уменьшение темп-ры -
Армавир	1987	0,08	-	-	+
Астрахань	1989	0,04	-	-	+
Волгоград	1987	0,01	-	-	-
Керчь	1997	0,01	-	-	-
Махачкала	1990	0,07	-	-	+
Приморско-Архатск	1987	0,02	-	-	-
Сочи	1987	0,04	-	-	+
Феодосия	2011	0,02	+	+	+
Цимлянск	1989	0,01	+	+	+
Шаджатмаз	1986	0,02	+	+	-
Элиста	1987	0,08	-	-	+

При анализе распределения по территории дат наступления точки бифуркации в рядах годовых сумм осадков можно отметить её более равномерное распределение, чем для температуры. Характер тенденции осадков на 9 станциях изменился в период 1985-1990 гг., а на станциях Керчь и Феодосия, находящихся в западной части исследуемой территории, в 1997 и 2011 годах соответственно.

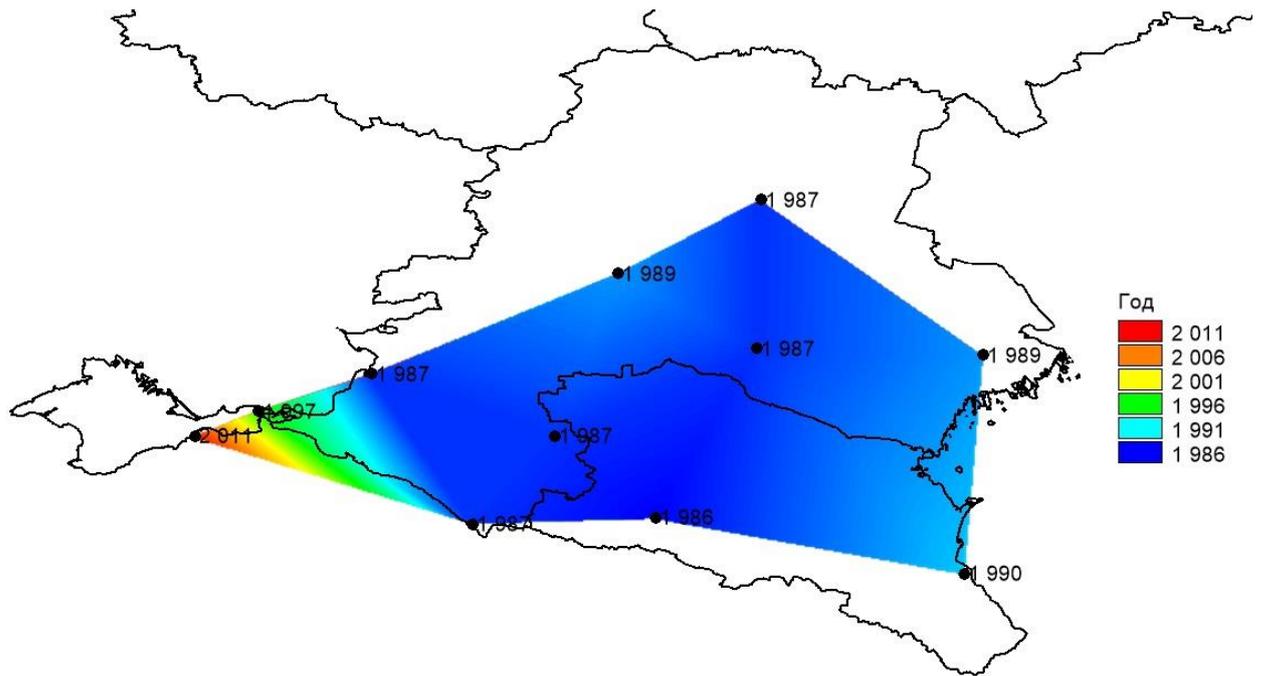


Рисунок 27 - Распределение по территории дат наступления точки бифуркации в рядах годовых сумм осадков

## Заключение

В результате исследования были выполнены все поставленные цели и задачи. В ходе работы был создан архив климатических данных для исследуемого региона, изучены существующие методики, позволяющие оценить как наличие климатических изменений, так и момент их наступления, оценена однородность и стационарность выбранных рядов, произведен расчет момента наступления точки бифуркации при помощи специальной программы, выбрана метрика, которая наилучшим образом определяет момент наступления точки бифуркации, осуществлено графическое представление результатов расчета программы и анализ результатов.

Анализ результатов показал, что характер долговременной тенденции среднегодовой температуры воздуха на 8 станциях изменился в период 1992-1999 гг. На станциях Шаджатмаз, Цимлянск и Армавир и точки бифуркации приходятся на 1981 и 1976 гг. соответственно. Можно также отметить, что эти три станции находятся в центре исследуемой территории.

На шести станциях наблюдается понижение температуры в первый период и рост во второй. При этом на четырех из них наблюдался скачкообразный рост после точки бифуркации. На станции Волгоград наблюдается рост температуры в первый период во второй период. На станциях Армавир, Астрахань и Цимлянск наблюдается рост температуры на всех отрезках.

Анализируя годовые суммы осадков можно отметить, что на восьми станциях наблюдается тенденция на понижение количества сумм осадков до точки бифуркации, причем после точки бифуркации на этих станциях наблюдается скачкообразный рост с последующим падением. На станциях Феодосия, Цимлянск и Шаджатмаз наблюдается противоположная ситуация, имеется тенденция на повышение сумм осадков до точки бифуркации, скачкообразное падение после точки бифуркации и продолжение их роста.

Однако если принять во внимание общий тренд, то можно отметить, что только в половине случаев понижения количества сумм осадков и до точки бифуркации и после неё наблюдается их общее понижение.

Анализ распределения по территории дат наступления точки бифуркации в рядах годовых сумм осадков показал её более равномерное распределение, чем для температуры. Характер тенденции осадков на 9 станциях изменился в период 1985-1990 гг., а на станциях Керчь и Феодосия, находящихся в западной части исследуемой территории, в 1997 и 2011 годах соответственно.

## Список литературы

1. *Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.* Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012-180 с.
2. *Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.* АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ БИФУРКАЦИИ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН
3. *Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.* ВЛИЯНИЕ МЕТРИК НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧЕК БИФУРКАЦИИ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН
4. Электронный ресурс: справочно-информационный портал «Погода и климат» [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru)
5. *Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.* Практикум по климатологии. Часть 1. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2011.-145 с.