



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение
Высшего Образования
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Современные изменения температуры воздуха в Поволжье»

Исполнитель Голубева Софья Алексеевна

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА
Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Подпись

Кандидат физико-математических наук, доцент
Сероухова Ольга Станиславовна

« 06 » 06 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение	4
Глава 1. Физико-географическое и климатическое описание территории Поволжья	5
1.1 Физико-географическое положение.....	5
1.2 Климатические условия.....	6
1.3 Рельеф местности.....	7
Глава 2. Формирование региональной базы данных и анализ её качества.....	8
2.1 Расположение пунктов по территории и продолжительность рядов наблюдений.....	8
2.2 Оценка однородности и стационарности эмпирических распределений.....	11
2.2.1 Теоретические сведения.....	11
2.2.2 Анализ стационарности и однородности январских и апрельских температур воздуха.....	15
2.2.3 Оценка однородности и стационарности многолетнего ряда температур воздуха в июле и в октябре.....	19
Глава 3. Климатические пространственные закономерности изменений температуры.....	22
3.1 Теоретические сведения.....	22
3.2 Пространственные климатические закономерности распределения температуры воздуха в январе.....	25
3.3 Пространственные климатические закономерности распределения апрельских температур воздуха.....	26
3.4 Пространственные климатологические изменения температуры воздуха в июле.....	27

3.5 Пространственные климатологические закономерности распределения октябрьских температур воздуха.....	29
3.6 Пространственные климатические закономерности распределения средних температур воздуха.....	31
Глава 4. Оценка современных климатических изменений температур воздуха в Поволжье.....	36
4.1 Теоретические сведения.....	36
4.2 Пространственные показатели нестационарности фактических наблюдаемых рядов за январь и апрель.....	41
4.3 Оценка климатических изменений сезона лето – осень на территории Поволжья.....	43
4.4 Оценка климатических изменений в январе и апреле за период наблюдений с 1960 по 2021 годы.....	46
4.5 Оценка климатических изменений июльских и октябрьских температур воздуха в период наблюдений с 1960 по 2021 годы.....	47
Заключение.....	54
Список литературы	56

Введение

Проблема глобальных и региональных экологических и климатических изменений по-прежнему актуальна, несмотря на некоторое замедление глобального потепления в последние годы.

В данной работе рассмотрены особенности изменения основных показателей климата на территории Поволжья. В частности, проведён анализ хода температуры на рассматриваемой местности. Основное внимание уделено изменению важнейших климатических показателей в Поволжье.

В первой главе представлена информация о климатической и географической особенности расположения рассматриваемой территории Поволжья. Во второй главе дипломной работы показано как формировалась база данных и проводился анализ её качества.

Целью данной бакалаврской работы является оценка климатических изменений в многолетних рядах температур за каждый период наблюдений: зима (январь), весна (апрель), лето (июль) и осень (октябрь), которые рассматриваются в третьей и четвертой главах.

Для изучения и анализа температуры воздуха на территории Поволжья были взяты 12 метеорологических станций: Ижевск, Киров, Казань, Самара, Астрахань, Оренбург, Уфа, Чебоксары, Саранск, Саратов, Нижний Новгород и Волгоград. Эти станции выбраны потому, что они охватывают практически весь исследуемый регион.

Основная задача дипломной работы заключается в выявлении изменений хода температуры на рассматриваемой территории – Поволжье. Для этого необходимо провести анализ температурного режима на рассматриваемых метеорологических станциях в период с начала 20 века до настоящего времени 2021 года.

Глава 1. Физико-географическое и климатическое описание территории Поволжья

1.1 Физико-географическое положение.

Поволжье расположено на Восточно-Европейской равнине и Прикаспийской низменности. Главная особенность географического положения Поволжья – это расположение территории по обоим берегам вдоль устья реки Волги. Поволжский регион считается внутриконтинентальным, несмотря на то, что район имеет выход к Каспийскому морю на юге. Поволжье простирается с севера на юг примерно на 1500 километров. Исследуемый регион находится между двумя промышленными центрами страны: Центральной Россией и Уралом. Юго-Восточная часть рассматриваемой территории охватывает федеральную границу России с Казахстаном. Регион граничит с пятью другими районами: Северо-Кавказским, Центрально-Чернозёмным, Центральным, Уральским и Волго-Вятским. В район входят: 5 республик (Удмуртия, Татарстан, Чувашия, Марий Эл и Мордовия), 8 областей (Нижегородская, Кировская, Самарская, Ульяновская, Пензенская, Саратовская, Волгоградская и Астраханская).

В Поволжье относительно высокое правобережье с Приволжской возвышенностью и левобережье – так называемое Заволжье. К данному региону иногда относят районы, которые расположены в верхнем течении Волги (от истока до устья Оки).

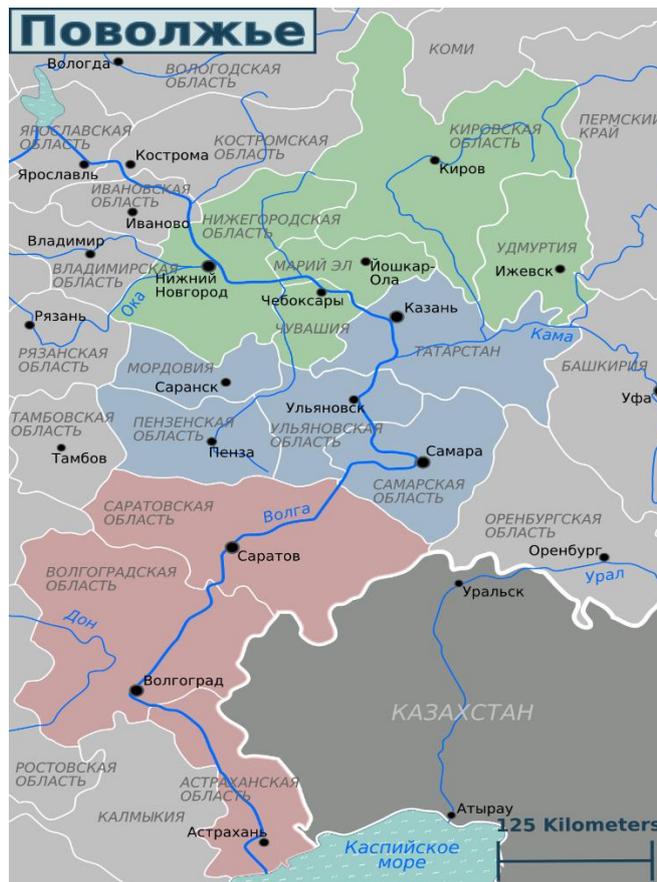


Рис. 1.1 Территория Поволжья

1.2 Климатические условия

Климатические условия Поволжья формируются под воздействием ряда факторов: географического положения и объёма солнечной радиации, поступающей на земную поверхность; общей циркуляции атмосферы; физических свойств воздуха; особенностей рельефа территории.

Климат Поволжья характеризуется сухим жарким летом и холодной зимой с небольшими осадками в виде снега, которые обусловлены воздействием континентальных воздушных масс.

Климат Поволжского района считается умеренно континентальным, который на юге становится более засушливым. Региону также свойственны заморозки ранней весной и поздней осенью. В зимний период могут наблюдаться оттепели. Летом и осенью образуются засухи, которые пагубно

вливают на урожай. В летний период температура воздуха прогревается до 22-25°С выше нуля, в зимнее же опускается до 10-15°С ниже нуля.

С октября по апрель территория Поволжья находится под воздействием Азиатского антициклона с центром, находящимся в Монголии. В июне – августе в Азии низкое давление заменяет высокое; одновременно с этим на западе развивается отрог Азорского максимума, который в августе распространяется и на территорию Поволжья. Летом вся рассматриваемая территория находится под влиянием западных течений. Следовательно, летний климатический сезон можно выделить по преобладанию западных воздушных течений. С мая по сентябрь важнейший климатообразующий фактор – это Азиатский максимум.

Изменяются такие важные физические свойства подстилающей поверхности, как теплоёмкость и особенно теплопроводность. Наличие устойчивого снежного покрова связано обычно с низкими температурами воздуха. Также отрицательные температуры исключают возможность заметного испарения, конвективных токов, кучевых облаков; появляются слоистые облака, которые типичны для зимы. В северной части Поволжья время установления и схода снежного покрова, как и характер его залегания, отличается от того, что наблюдается на юге. Это можно объяснить различием климатических условий, точнее особенностями термического режима в холодный период года.

1.3 Рельеф местности

Поволжье в основном характеризуется равнинным рельефом, с уклоном от Валдайской возвышенности на севере до Прикаспийской низменности на юге. Правобережье Волги, которое отличается большим разнообразием поверхности и более возвышенным рельефом, чем Левобережье, по всему протяжению изучаемой территории занято Приволжской возвышенностью,

образующей, высокий берег с наиболее возвышенной частью (Жигули), достигающей 371 метра. Приволжская возвышенность представляет собой сильно изрезанную речными долинами и оврагами площадь с высотами 200 – 250 метров.

Территория Верхневолжья имеет холмистый рельеф. Через данную область проходит Главный водораздел. Здесь лежат истоки важнейших водных потоков Волги и Западной Двины и их притоков.

Рельеф сильно влияет на климат территории. Горные хребты и в меньшей мере возвышенности в виде гряд являются препятствием для приходящих воздушных масс. Лесные посадки вдоль хребта, также усиливают защитное действие возвышенностей. Горы и впадины создают изменения в структуре ветра, его направлении и скорости. Перед крупной возвышенностью, после нее и во впадине образуются ветровые завихрения, наиболее интенсивные на подветренном склоне; вихри могут быть стационарными и перемещающимися. Повышенные скорости отмечаются на вершинах склонов; пониженные скорости – в лощинах, оврагах, в средней и нижней части подветренных склонов.

Глава 2. Формирование региональной базы данных и анализ её качества.

2.1 Расположение пунктов по территории и продолжительность рядов наблюдений.

Для выполнения работы была выбрана территория Поволжья и в качестве исследуемых климатических характеристик взяты среднемесячные температуры воздуха на 12 метеостанциях с продолжительными рядами наблюдений (от 70 лет и больше). Многолетние ряды климатических характеристик получены:

- с сайта Королевского метеорологического института Нидерландов
The KNMI Climate Explorer

- с российского сайта «Погода и климат»

Для того, чтобы показать расположение метеорологических станций на карте, была использована программа «ГИС MapInfo». Полученный геоинформационный слой, отражен на карте расположения метеорологических станций по исследуемой территории Поволжья (Рис. 2.1). Данная карта показывает информацию о том, что станции расположены достаточно равномерно.



Рис. 2.1 Расположение станций

Была сформирована региональная база данных (БД) за многолетний период наблюдений температуры воздуха. С помощью программы

«Гидрорасчеты ПК» получены информативные данные температуры воздуха на 12 метеорологических станциях Поволжья, которые приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Продолжительность и период наблюдений среднемесячной температуры воздуха на 12 метеорологических станциях на территории Поволжья

Код станции	Название метеостанций	Продолжительность наблюдений	Количество лет	Широта	Долгота
27199	Киров	1835-2021	186	58,52	49,32
27561	Нижний Новгород	1835-2021	186	56,27	44,00
27581	Чебоксары	1951-2021	70	56,08	47,33
27595	Казань	1812-2021	209	55,73	49,20
27760	Саранск	1951-2021	70	54,13	45,25
27995	Самара	1852-2021	169	53,25	50,22
28441	Ижевск	1933-2021	88	56,83	53,45
28722	Уфа	1853-2021	168	54,71	55,83
34172	Саратов	1951-2019	68	51,57	46,03
34560	Волгоград	1938-2021	83	48,78	44,37
34880	Астрахань	1837-2021	184	46,28	47,98
35121	Оренбург	1832-2021	189	51,68	55,10

Анализируя представленную выше таблицу 2.1, можно выделить, что продолжительность наблюдений за температурой воздуха изменяется в широких пределах от 68 лет на метеорологической станции Саратов до 209 лет на метеорологической станции Казань. Среднее количество исследуемых лет составляет 139. Можно также сделать вывод, что в таблице преобладают станции, наблюдения на которых начали проводиться с середины 19-го века. Метеорологический пункт, на котором раньше начали производиться наблюдения за температурой воздуха – это станция Казань. На ней первые наблюдения зарегистрированы в 1812 году.

2.2 Оценка однородности и стационарности эмпирических распределений.

2.2.1 Теоретические сведения.

Наблюдаемый и многолетний ряд такой метеорологической характеристики как температура, является основой определения расчетных климатологических особенностей в пунктах наблюдений на основе построения эмпирических распределений.

Первым шагом в исследовании является оценка однородности эмпирического распределения метеорологических характеристик, которое может быть нарушено из-за резкого отклонения максимальных и минимальных значений от общей совокупности. Анализ однородности рядов наблюдений за метеорологическими величинами осуществляется на основе генетико-статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ состоит в выявлении физических причин, которые определяют неоднородность исходных данных наблюдений. Для оценки статистической значимости однородности используются критерии экстремальных значений, резко отклоняющиеся в эмпирическом распределении: критерии Диксона и Смирнова-Граббса. Существуют 3 основные причины такой неоднородности:

- 1) Резко отклоняющиеся метеорологические величины имеют особые условия формирования. К примеру, сформированы тайфунами или ураганами и т.д.
- 2) Экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая определяется по эмпирической формуле для короткого ряда наблюдений при включении экстремума в общую последовательность наблюдений.
- 3) Резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

Оценка однородности проводится в следующем порядке: сначала по статистическим критериям исследуются экстремумы, резко отклоняющиеся от эмпирического распределения, и в случае, если гипотеза об однородности отвергается, тогда на основе генетического анализа определяются её причины.

Особенностью критериев оценки однородности Диксона и Смирнова-Граббса является то, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции.

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

А) Для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_n):

$$D1n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_1), \quad (2.1)$$

$$D2n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2), \quad (2.2)$$

$$D3n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2), \quad (2.3)$$

$$D4n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3), \quad (2.4)$$

$$D5n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1), \quad (2.5)$$

Б) Для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_1):

$$D1n = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n), \quad (2.6)$$

$$D2n = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (2.7)$$

$$D3n = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (2.8)$$

$$D4n = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2}), \quad (2.9)$$

$$D5n = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n), \quad (2.10)$$

где $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$; n – объём выборки

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) рассчитывается по формуле:

$$G_n = (Y_n - Y_{cp}) / \sigma_Y \quad (2.11)$$

и для минимального (Y_1):

$$G_1 = (Y_{cp} - Y_1) / \sigma_Y \quad (2.12)$$

где Y_{cp} , σ_Y – среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки, которые определяются по формулам:

$$Y_{cp} = \sum Y_i / n \quad (2.13)$$

$$\sigma_Y^2 = \sum (Y_i - Y_{cp})^2 / (n - 1) \quad (2.14)$$

где σ_Y^2 – дисперсия.

Оценка однородности состоит в том, чтобы сравнить расчетное значение статистики критерия, полученного эмпирическими данными, с его критическим значением из таблиц. Указывается уровень значимости, который составляет 5%, в следствии чего принимается нулевая гипотеза с вероятностью 95%. Следовательно, можно принять гипотезу об однородности, когда расчетное значение статистики меньше соответствующего критического.

Для оценки стационарности средних значений и дисперсий для последовательных частей ряда применяются критерии Фишера и Стьюдента, которые также обобщаются для особенностей гидрометеорологической информации. Анализ по таким критериям проводится после проведения оценки отсутствия резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на значения средних значений и особенно дисперсий.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений по критериям Фишера и Стьюдента временной ряд разбивается на 2 или более подвыборок одинаковой или разной длины. Границы разделения связываются с датами предполагаемого нарушения стационарности. По каждой выборке

вычисляются значения средних ($Y_{срj}$) и дисперсий (σ^2j), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$F = \sigma^2j / \sigma^2j+1 \quad (2.15)$$

при $\sigma^2j > \sigma^2j+1$, где σ^2j, σ^2j+1 - дисперсии двух следующих друг за другом подвыборок (j и $j+1$) объемом n_1 и n_2 .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданной уровне значимости $\alpha = 5\%$, если критическое значение статистики критерия больше расчетного значения ($F^* > F$) при заданных степенях свободы.

Для того, чтобы оценить стационарность двух средних значений последовательных подвыборок, применяется расчетное значение статистики критерия Стьюдента, которое вычисляется по формуле:

$$t = \frac{Y_{ср1} - Y_{ср2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1+n_2-2)}{n_1+n_2}} \quad (2.16)$$

где

$Y_{ср1}$ – среднее значение первой выборки

$Y_{ср2}$ – среднее значение второй последовательной выборки

σ_1^2 - дисперсия первой выборки

σ_2^2 - дисперсия второй последовательной выборки

n_1, n_2 – объёмы выборок

Оценка стационарности по критерию Стьюдента осуществляется путём сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, тогда гипотеза об однородности (стационарности) не отклоняется. И наоборот, если же увеличивается расчетное значение статистики, относительно критического, при заданном уровне значимости, тогда нулевая гипотеза отвергается.

2.2.2 Анализ стационарности и однородности январских и апрельских температур воздуха.

В данном разделе будет даваться оценка резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса и однородности (стационарности) основных параметров временных рядов гидрометеорологических характеристик: средних значений и дисперсий по статистическим критериям Стьюдента и Фишера.

Для оценки фиксированных дисперсий и средних значений ряд многолетних наблюдений вначале был разделен на 2 равные части (подвыборки). Для каждой части были рассчитаны средние значения и дисперсии. По полученным данным о дисперсиях и средних значениях также были определены оценочные значения статистик Фишера и Стьюдента.

В таблице 2.2 знаком «+» представлен вывод о принятии гипотезы стационарности и однородности. Знаком «-» представлен вывод об отклонении гипотез. Если расчетное значение статистики критерия близко к критическому, но превышает его, то в таблице приводится уровень значимости, который соответствует расчетному значению критерия. В таком случае вывод о принятии или отклонении гипотезы стационарности и однородности является сомнительным и заключается в скобки.

Исследование однородности и стационарности, при помощи статистических критериев, позволяет оценить статистически значимые изменения во временных рядах при их делении на 2 равные части.

Вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности для холодного сезона (январь и апрель) и для тёплого сезона (июль и октябрь) показан в ниже представленной таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Результаты оценки однородности и стационарности среднемесячных температур воздуха сезона зима-весна по критериям Диксона (Д), Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) на метеорологических станциях Поволжья

Код станции	Название	Январь			Апрель		
		Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст
28441	Ижевск	- (2,1)	+	- (2,7)	+	+	+
27199	Киров	+	- (2,0)	- (2,5)	+	+	- (4,8)
27595	Казань	+	+	- (3,0)	- (2,4)	+	- (3,4)
27995	Самара	+	- (1,9)	+	+	+	- (4,0)
34880	Астрахань	+	+	- (3,2)	+	+	- (5,4)
35121	Оренбург	+	+	- (3,3)	+	+	- (5,8)
28722	Уфа	+	- (1,5)	+	+	+	- (3,3)
27581	Чебоксары	+	+	- (2,5)	+	+	+
27760	Саранск	+	+	- (2,4)	+	+	+
34172	Саратов	+	+	- (2,7)	+	+	+
27561	Нижний Новгород	+	- (1,6)	- (2,5)	+	+	- (5,4)
34560	Волгоград	+	- (1,8)	- (3,9)	- (2,7)	+	+

Анализируя таблицу оценки однородности по критериям Диксона января месяца можно сделать вывод, что экстремумы однородны для 11 станций, кроме Ижевска. В апреле же экстремумы критерия Диксона неоднородны для двух станций: Казань и Волгоград.

Долгосрочные ряды января по критериям Фишера стационарны для семи станций из 12. По критериям Стьюдента временные ряды стационарны только для двух станций: Самара и Уфа.

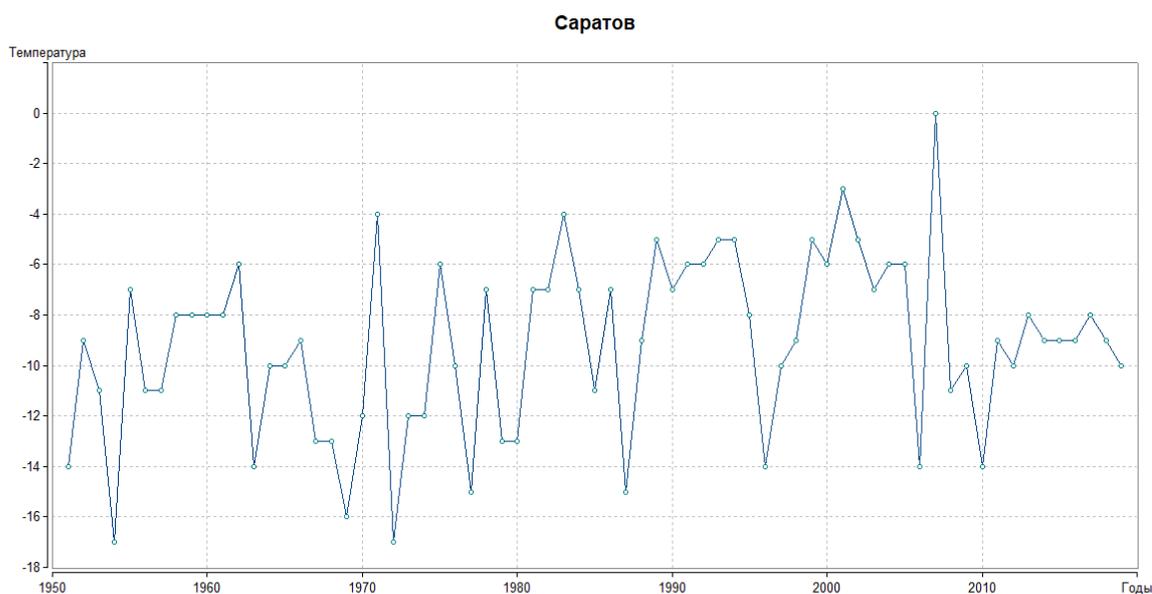
Временные ряды по критериям Фишера стационарны для всех станций за апрель месяц. По критерию Стьюдента не стационарны семь станций: Киров, Казань, Самара, Астрахань, Оренбург, Уфа и Нижний Новгород.

По отношению к апрелю, процент нестационарных станций в январе превышает процент станций с нестационарностью от общего числа станций апреля по критерию Стьюдента. 83% в зимнем месяце против 58% в весеннем месяце.

Количество станций с нестационарностью по критерию Фишера в январе также преобладает над апрелем. 42% станций от общего числа имеют нестационарность в январе. В апреле же все станции стационарны.

По критерию Диксона нестационарных пунктов наблюдений в апреле (2 станции) больше, чем в январе (1 станция).

Графики нестационарных и неоднородных рядов январской и апрельской температуры воздуха представлены на рис. 2.2 и рис. 2.3 соответственно.



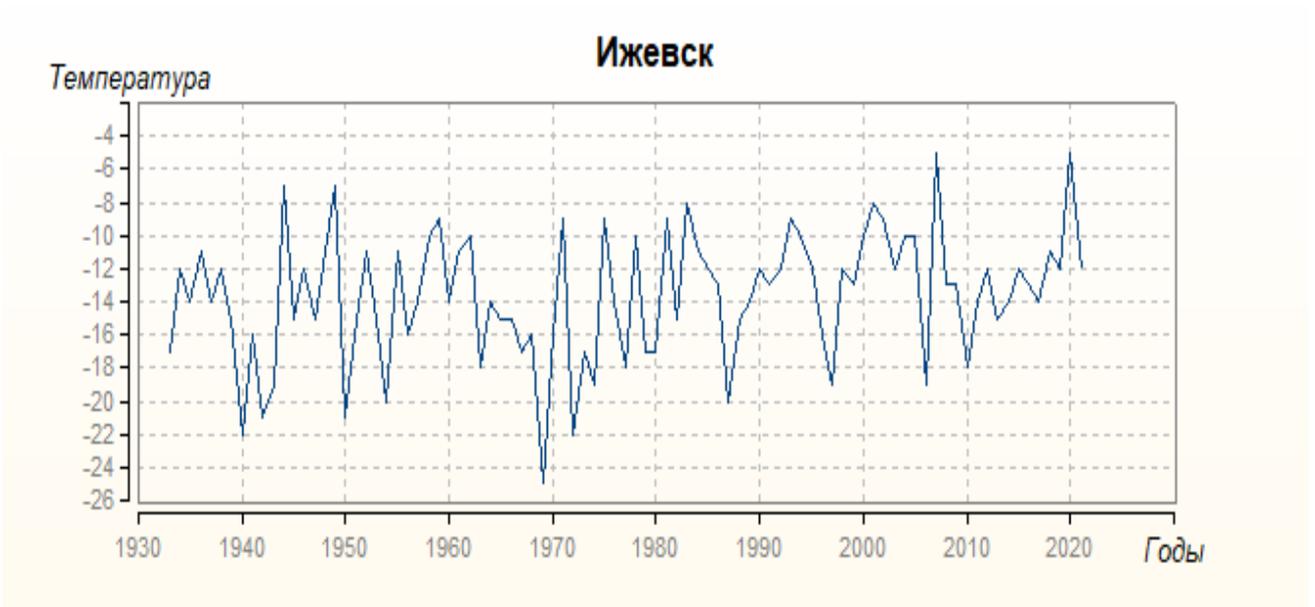
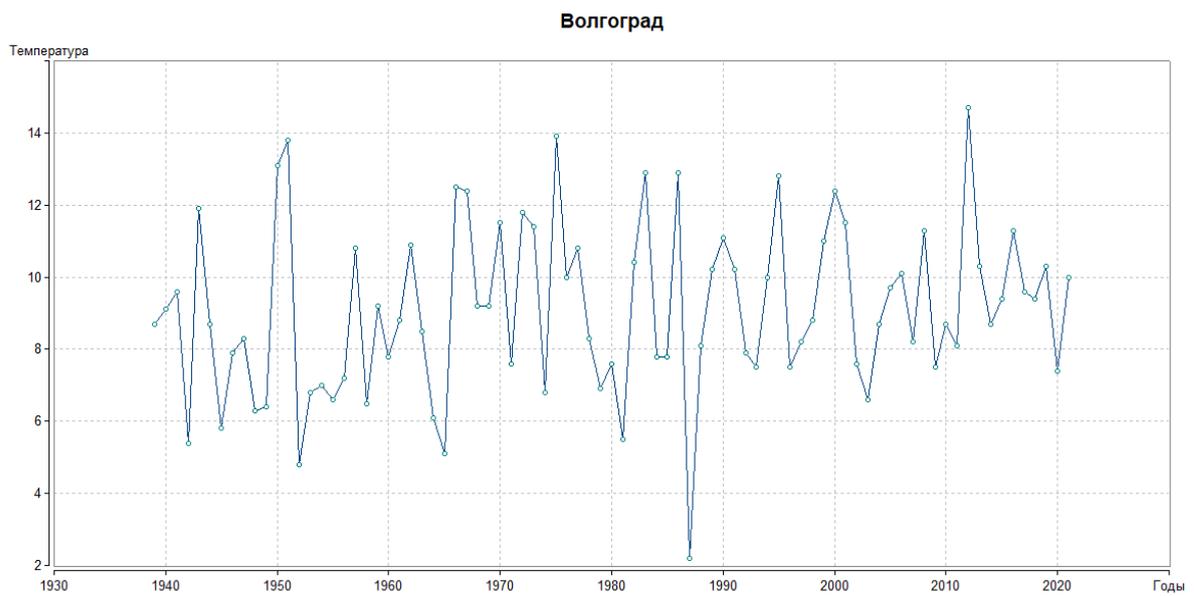


Рис. 2.2 Неоднородные и нестационарные ряды январской температуры воздуха



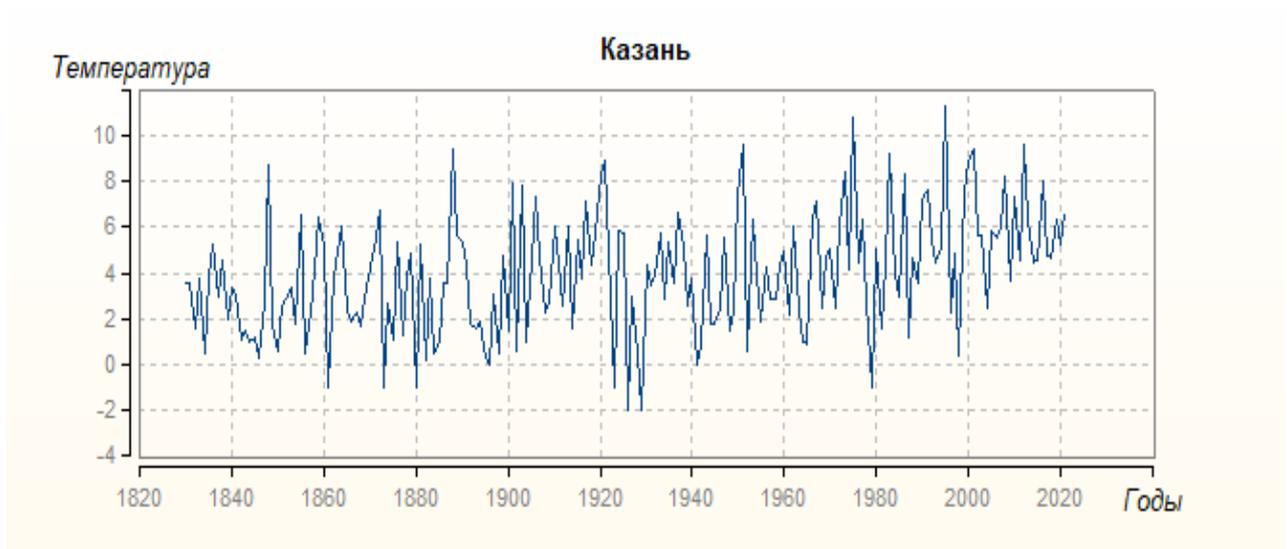


Рис. 2.3 Нестационарные и неоднородные ряды апрельских температур

2.2.3 Оценка однородности и стационарности многолетнего ряда температуры воздуха в июле и в октябре

Полученные данные анализа однородности и стационарности для тёплого (июль) и переходного (октябрь) месяцев представлены в таблице 2.3. Также ниже сделаны выводы об однородности и стационарности для станций.

Таблица 2.3

Результаты оценки однородности и стационарности июльских температур воздуха по критериям Диксона (Д), Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) на метеорологических станциях Поволжья

Код станции	Название	Июль			Октябрь		
		Д	Ф	Ст	Д	Ф	Ст
28441	Ижевск	+	+	+	- (2,1)	+	- (2,9)
27199	Киров	+	+	+	+	+	+
27595	Казань	- (4,6)	+	+	- (3,4)	+	+
27995	Самара	- (3,5)	- (1,7)	+	+	+	+
34880	Астрахань	+	+	+	- (2,8)	+	+

35121	Оренбург	- (2,1)	+	+	+	+	- (2,6)
28722	Уфа	- (3,2)	+	+	+	+	+
27581	Чебоксары	+	+	+	+	+	- (3,1)
27760	Саранск	- (3,7)	+	+	+	+	- (2,7)
34172	Саратов	+	+	+	+	- (2,1)	- (2,5)
27561	Нижний Новгород	+	+	+	+	+	+
34560	Волгоград	+	+	+	+	- (1,9)	- (2,8)

Экстремумы критерия Диксона в июле неоднородны для 5 станций: Казань, Самара, Оренбург, Уфа и Саранск. В октябре неоднородными оказались 3 станции: Ижевск, Астрахань и Казань. Таким образом, количество метеорологических станций с неоднородностью в июле месяце преобладает над количеством пунктов наблюдений в октябре.

Ряды практически всех исследуемых станций стационарны по критерию Фишера в июле и в октябре. Станция Самара для июля является нестационарной. За октябрь не стационарны такие станции как Саратов и Волгоград.

По критерию Стьюдента в июле все станции стационарны. Для октября по критериям Стьюдента не стационарны 6 станций: Ижевск, Оренбург, Чебоксары, Саранск, Саратов и Волгоград. Метеорологические пункты наблюдений с изменчивостью в октябре во много раз преобладают над количеством станций в июле.

Графики нестационарных и неоднородных рядов июльской температуры воздуха изображены на рис. 2.4 и рис. 2.5

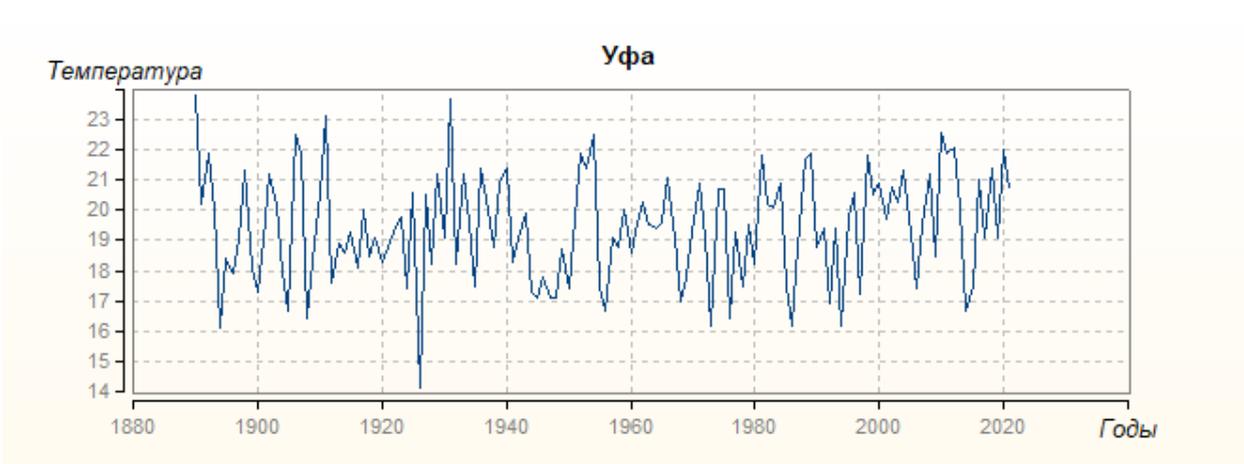
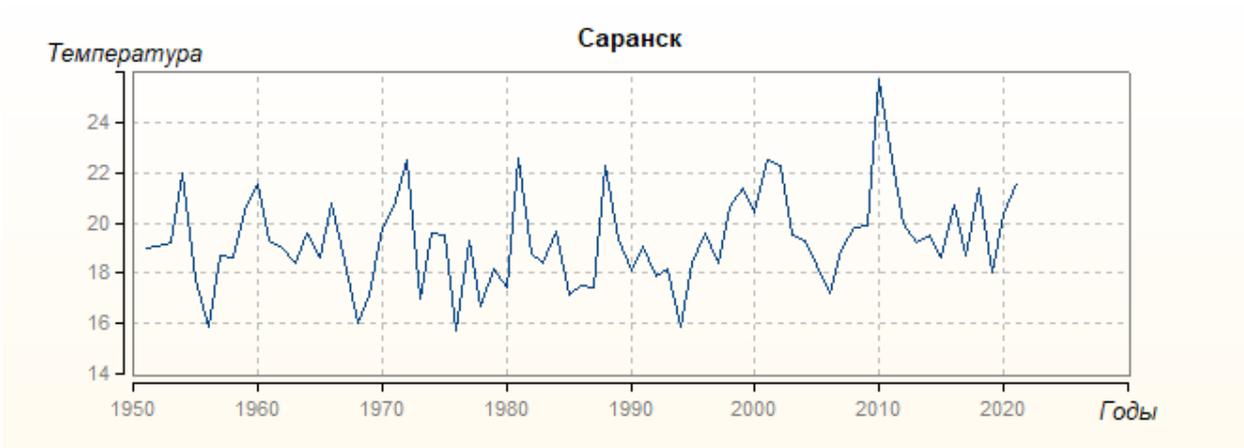


Рис. 2.4 Графики нестационарных и неоднородных временных рядов в июле





Рис. 2.5 Графики нестационарных и неоднородных временных рядов в октябре

Анализ всех полученных данных, которые представлены в предыдущих таблицах, позволяет сделать вывод, что рассматриваемый регион содержит в основном однородные данные, а выявленная нестационарность такой метеорологической характеристики как температура, будет исследована на основе статистических моделей временных рядов в последующих главах.

Можно также предположить, что полученная изменчивость рассматриваемой климатической характеристики обуславливается сменой приборов для регистрации температуры в 1960-е годы.

Глава 3. Климатические пространственные закономерности изменений температуры воздуха

3.1. Теоретические сведения

Восстановление пропусков наблюдений на метеорологических станциях и приведение рядов к многолетнему периоду основано на построении уравнений регрессии с одним или несколькими предполагаемыми аналогами, имеющими как более длительный период наблюдений, так и данные наблюдений в те годы, которые были пропущены на рассматриваемой станции.

Последовательность приведения временных рядов к многолетнему периоду заключается в следующих шагах:

1) Все уравнения, которые удовлетворяют условиям эффективности, располагаются в порядке убывания коэффициентов корреляции;

2) Восстанавливаются температурные данные рассматриваемых метеостанций за период совместных наблюдений в пунктах – аналогах по уравнению с наибольшим значением коэффициента корреляции;

3) Далее используются уравнения регрессии, которое представлено ниже;

4) Затем следует поэтапное восстановление значений температур до тех пор, пока не будут применены все уравнения регрессии, которые должны отвечать условиям эффективности.

Уравнение множественной линейной регрессии, с помощью которого осуществляется восстановление, имеет следующий вид:

$$Y = k_0 + k_1Y_1 + k_2Y_2 + \dots + k_jY_j + \dots + k_lY_l \quad (3.1)$$

где Y – значения метеорологической характеристики в приводимом пункте; Y_j – значения метеорологической характеристики в пунктах - аналогах; k_0 – свободный член; k_j – коэффициенты уравнения регрессии при $j = 1, 2, \dots, l$; l – число пунктов – аналогов.

Для эффективного уравнения связи рассматриваемого пункта с аналогами также рассматривались следующие условия:

$$n' \geq 10$$

n' – число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах – аналогах;

$$R \geq R_{кр}$$

R – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями метеорологической величины в приводимом пункте и их значениями в пункте – аналоге;

$R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (в данной работе минимальное значение принималось равным 0,85);

$$k/\sigma_k \geq V_{кр}$$

k – коэффициенты уравнения регрессии;

σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента уравнения регрессии;

$V_{кр}$ – критическое значение отношения k/σ_k (задается ≥ 2)

Уравнение регрессии для приведения к многолетнему периоду может не использоваться в том случае, если какой – либо её коэффициент не удовлетворяет рассмотренные выше условия.

Восстановленные значения, которые были получены в результате расчета уравнения (3.1) на основе метода наименьших квадратов (МНК), имеют систематически заниженную дисперсию.

Еще одним важным аспектом восстановления данных является оценка его эффективности. В качестве наиболее информативных показателей обобщенной оценки восстановления приняты:

- а. количество восстановленных лет
- б. критерий Фишера, которой характеризует однородность восстановления
- с. критерий Стьюдента

Стоит добавить, что критерии Фишера и Стьюдента имеют значение только тогда, когда количество наблюдаемых и восстановленных данных примерно одинаково.

3.2. Пространственные климатические закономерности изменений температуры воздуха в январе.

На данном этапе работы были восстановлены разрывы и краткосрочные ряды наблюдений за температурой воздуха были сведены к многолетнему ряду наблюдений. Также был задан минимальный коэффициент корреляции, который равен $R = 0,85$. Полученные результаты представлены ниже в таблице 3.1

Таблица 3.1

Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов температур воздуха января к многолетнему периоду.

Код станции	Название	Январь				
		Кол-во факт.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. кор	Аналоги
27199	Киров	174	27	1,2	0,925-0,972	4
27561	Нижний Новгород	165	36	1,07	0,949-0,973	5
27581	Чебоксары	71	130	0,42	0,986-0,997	7
27760	Саранск	71	130	0,67	0,972-0,989	8
27995	Самара	107	94	0,7	0,961-0,990	6
28441	Ижевск	89	112	0,66	0,970-0,991	7
28722	Уфа	139	62	1,19	0,907-0,974	5
34172	Саратов	69	132	0,95	0,927-0,980	9
34560	Волгоград	21	120	1,05	0,875-0,975	6
34880	Астрахань	180	21	1,86	0,858-0,876	5
35121	Оренбург	171	30	1,56	0,851-0,925	4

Результаты таблицы показывают, что данные температур января успешно восстановились для 11 станций, кроме станции Казань. Смотря на таблицу,

можно сделать заключение, что минимальные коэффициенты между рядами составляют 0,851. Средняя ошибка восстановленных значений всех станций равна 1,03°C. На метеорологической станции Чебоксары минимальная ошибка составила 0,42°C. Наибольшие ошибки оказались на двух станциях: Астрахань, где она равна 1,86°C и Оренбург – 1,56°C.

Анализируя количество восстановленных данных метеорологических станций, можно прийти к выводу, что в среднем временной ряд увеличился на 75 лет (со 114 до 189 лет).

3.3 Пространственные климатические распределения апрельской температуры воздуха

В данном разделе были восстановлены пропуски. Краткосрочные ряды наблюдений температуры воздуха сведены к многолетнему периоду с заданным минимальным коэффициентом корреляции $R = 0,85$. В таблице 3.2 представлены полученные результаты.

Таблица 3.2

Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов температур воздуха за апрель к многолетнему периоду

Код станции	Название	Апрель				
		Кол-во факт.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. кор	Аналоги
27199	Киров	174	28	0,88	0,927-0,963	4
27561	Нижний Новгород	164	38	0,94	0,917-0,952	6
27581	Чебоксары	71	131	0,35	0,978-0,993	9
27760	Саранск	71	131	0,52	0,950-0,984	9
27995	Самара	108	94	0,65	0,946-0,982	7
28441	Ижевск	89	113	0,66	0,948-0,970	6

28722	Уфа	139	63	0,92	0,905-0,960	6
34172	Саратов	69	133	0,74	0,903-0,979	8
34560	Волгоград	83	119	0,85	0,872-0,942	7
34880	Астрахань	181	21	1,1	0,851	4
35121	Оренбург	172	30	1,5	0,886-0,892	4

Апрельские значения температуры воздуха удачно восстановлены для 11 метеорологических станций из 12 рассматриваемых. Для станции Казань значения не восстановились.

Минимальная ошибка восстановленных значений в апреле получилась на станции Чебоксары и составила 0,35°C. Наибольшую ошибку (более 1°C) имеют 2 метеорологические станции: Астрахань и Оренбург, 1,1°C и 1,5°C соответственно. Средняя ошибка составила 0,8. Также из полученной таблицы, следует, что минимальные коэффициенты корреляции между станциями равны 0,851.

Из результатов таблицы 3.2 следует, что в апреле временной ряд для всех метеорологических станций в среднем увеличился на 75 лет (со 120 до 195 лет).

3.4 Пространственные климатологические изменения температуры воздуха в июле.

С помощью рассматриваемого выше метода, были восстановлены пропуски значений температуры июля на каждой станции. Краткосрочные ряды наблюдений сведены к долгосрочному периоду с заданным минимальным коэффициентом автокорреляции равным 0,85. Итоги подведены в таблице 3.3.

Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов июльских температур воздуха к многолетнему периоду

Код станции	Название	Июль				
		Кол-во факт.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. кор	Аналоги
27199	Киров	175	27	0,83	0,885-0,937	3
27561	Нижний Новгород	159	43	0,75	0,885-0,947	6
27581	Чебоксары	71	131	0,3	0,978-0,992	7
27760	Саранск	71	131	0,47	0,937-0,982	8
27995	Самара	109	93	0,52	0,905-0,977	7
28441	Ижевск	89	113	0,57	0,893-0,975	7
28722	Уфа	137	65	0,71	0,856-0,949	5
34172	Саратов	69	133	0,7	0,876-0,944	9
34560	Волгоград	82	120	0,84	0,895-0,913	7
35121	Оренбург	172	30	1,0	0,863	3

Значения июльских температур удачно восстановлены для 10 станций, кроме Казани и Астрахани. В среднем количество рядов увеличилось на 89 лет, что больше остальных рассматриваемых месяцев.

Анализируя полученную таблицу можно сделать вывод, что средняя ошибка восстановленных значений равна $0,67^{\circ}\text{C}$. Минимальная ошибка, которая составила $0,3^{\circ}\text{C}$, была получена на станции Чебоксары. Самая большая ошибка обнаружилась на станции Оренбург, там она равна $1,0^{\circ}\text{C}$. Коэффициент корреляции варьируется от 0,856 на станции Уфа до 0,992 на станции Чебоксары.

3.5 Пространственные климатологические закономерности распределения октябрьских температур воздуха

В соответствии с представленным в теоретических сведениях выше методом, были восстановлены пропуски значений температур. Краткосрочные ряды наблюдений были сведены к долгосрочному периоду с заданным коэффициентом корреляции равным 0,85. Выводы представлены в таблице 3.4, которая находится ниже.

Таблица 3.4

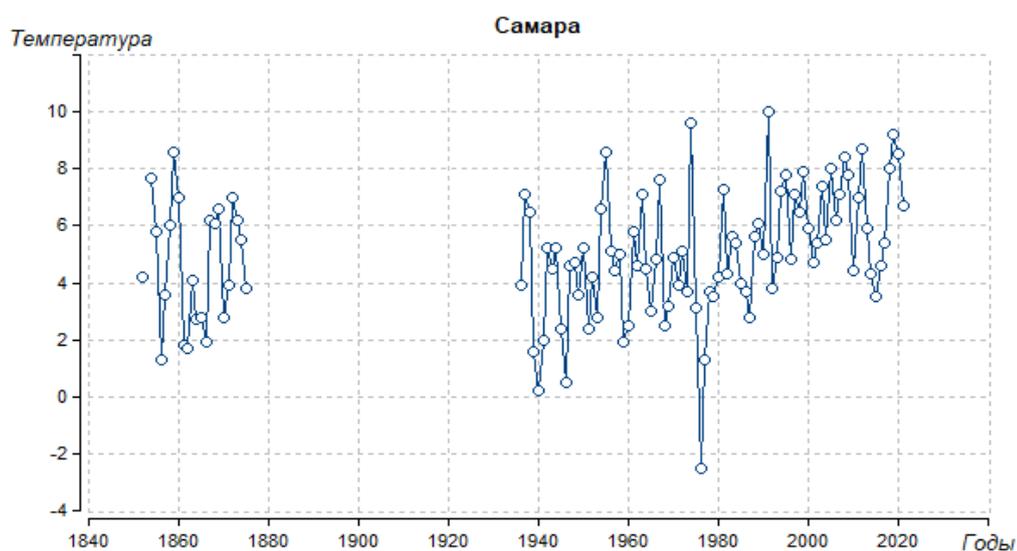
Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов октябрьских температур воздуха к многолетнему ряду

Код станции	Название	Октябрь				
		Кол-во факт.	Кол-во восст.	Ср. ошибка	Коэф. кор	Аналоги
27199	Киров	175	26	0,84	0,905-0,952	5
27561	Нижний Новгород	164	37	0,64	0,948-0,969	6
27581	Чебоксары	71	130	0,22	0,990-0,996	6
27760	Саранск	71	130	0,4	0,960-0,985	6
27995	Самара	109	92	0,43	0,963-0,988	6
28441	Ижевск	89	112	0,43	0,962-0,982	6
28722	Уфа	138	63	0,62	0,929-0,979	6
34172	Саратов	68	133	0,52	0,916-0,971	10
34560	Волгоград	82	119	0,66	0,864-0,959	6
35121	Оренбург	171	30	0,97	0,857-0,932	5

Октябрьские температуры удачно восстановлены для 11 метеостанций, кроме станции Казань. Среднее количество восстановленных лет составляет 79 лет. Продолжительность рядов октябрьских температур успешно увеличилась со 103 до 182 лет.

Из выше полученной таблицы следует, что минимальные коэффициенты корреляции между станциями составляют 0,856. Наибольшая ошибка восстановленных значений была получена на станции Оренбург и равная $0,97^{\circ}\text{C}$. Наименьшая средняя ошибка восстановленных значений температур, которая составила $0,22^{\circ}\text{C}$, оказалась на метеостанции Чебоксары. Если же усреднить ошибки на всех пунктах наблюдений, тогда ошибка составит $0,52^{\circ}\text{C}$.

Пример сравнения фактически наблюдаемой и восстановленной температуры воздуха в октябре представлен на примере станции Самара на рис. 3.4.



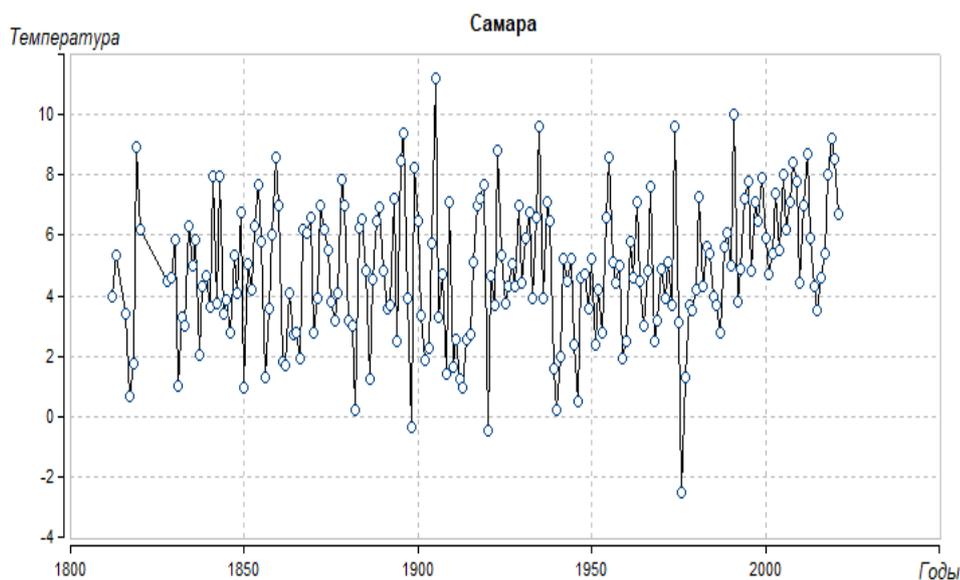


Рис. 3.4 Графики фактических данных (верхняя) и восстановленный многолетний ряд (нижняя) температур октября на метеорологической станции Самара

3.6 Пространственные климатические закономерности распределения средних температур воздуха

Итогом расчетов в стационарных условиях является пространственная интерполяционная модель средней температуры воздуха в холодное и теплое время года. В таблице 3.6 приведена средняя температура по каждой выбранной станции.

Таблица 3.6

Средние многолетние температуры воздуха на станциях за отдельные месяцы

Код станции	Наименование	Широта	Долгота	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
28441	Ижевск	56,83	53,45	-14.3	2.8	18.6	2.3
27199	Киров	58,52	49,32	-13.8	2.4	18.1	1.9
27595	Казань	55,73	49,20	-12.9	3.9	19.7	3.8

27995	Самара	53,25	50,22	-12.8	5.4	21.1	4.8
34880	Астрахань	46,28	47,98	-6.1	10.1	25.4	9.9
35121	Оренбург	51,68	55,10	-14.4	5.1	22.1	4.7
28722	Уфа	54,71	55,83	-14.5	3.9	19.3	3.2
27581	Чебоксары	56,08	47,33	-12.7	3.5	19.1	3.4
27760	Саранск	54,13	45,25	-11.9	4.5	19.2	4.1
34172	Саратов	51,57	46,03	-10.5	6.6	22.4	6.2
27561	Нижний Новгород	56,27	44,00	-11.3	4.3	19.1	3.9
34560	Волгоград	48,78	44,37	-9.1	8.1	23.6	7.6

По полученным данным средней многолетней температуры воздуха на станциях построены пространственные распределения, которые представлены на рис. 3.6 – 3.9.

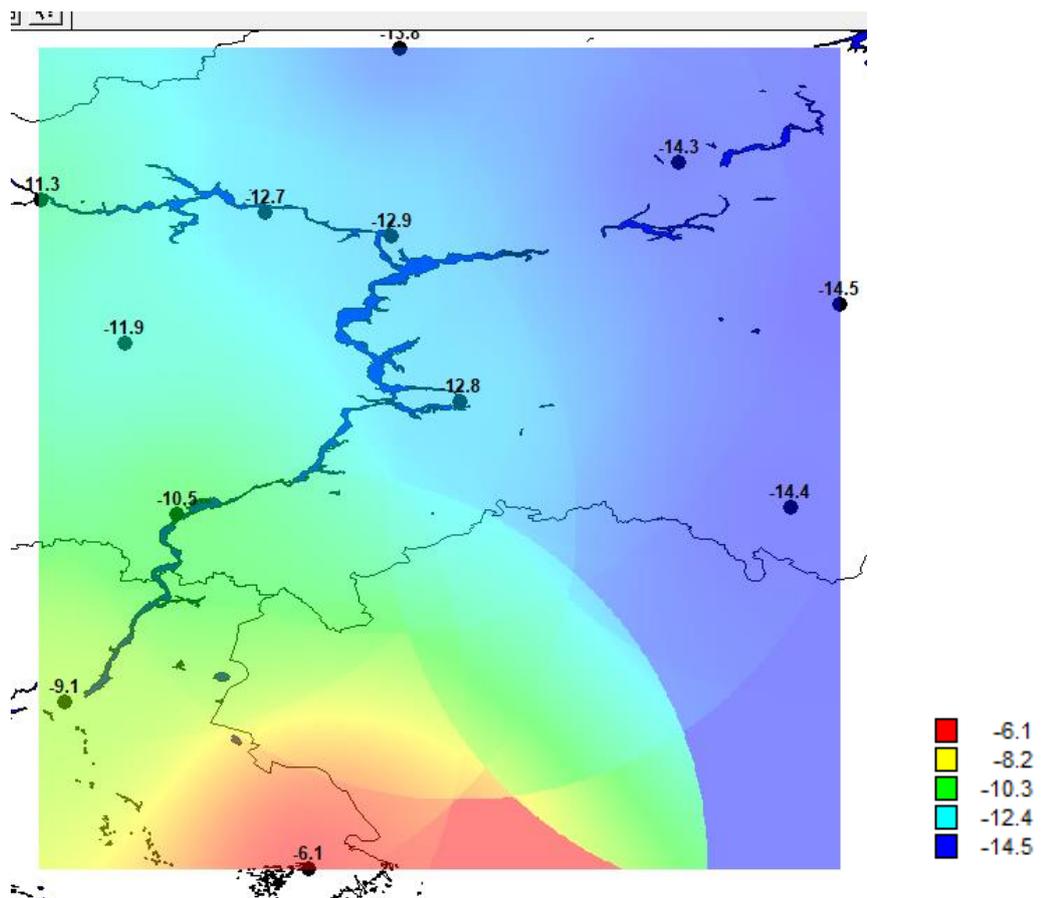


Рис. 3.6 Средняя многолетняя температура воздуха в январе

Из представленного рисунка видно, что температура повышается с северо-востока на юг. Самая низкая среднемесячная температура наблюдается на двух станциях Уфа и Оренбург, там она равняется -14.5°C и -14.4°C соответственно. Высокая температура отмечается на метеорологической станции Астрахань, она достигает -6.1°C . Это самая тёплая станция в рассматриваемом регионе, так как территориально она находится на более южных широтах, относительно других пунктов наблюдений. Можно сделать вывод, что в районе Поволжья температура изменяется зонально. В среднем значения температуры по всей исследуемой местности находятся в пределах 12°C ниже нуля.

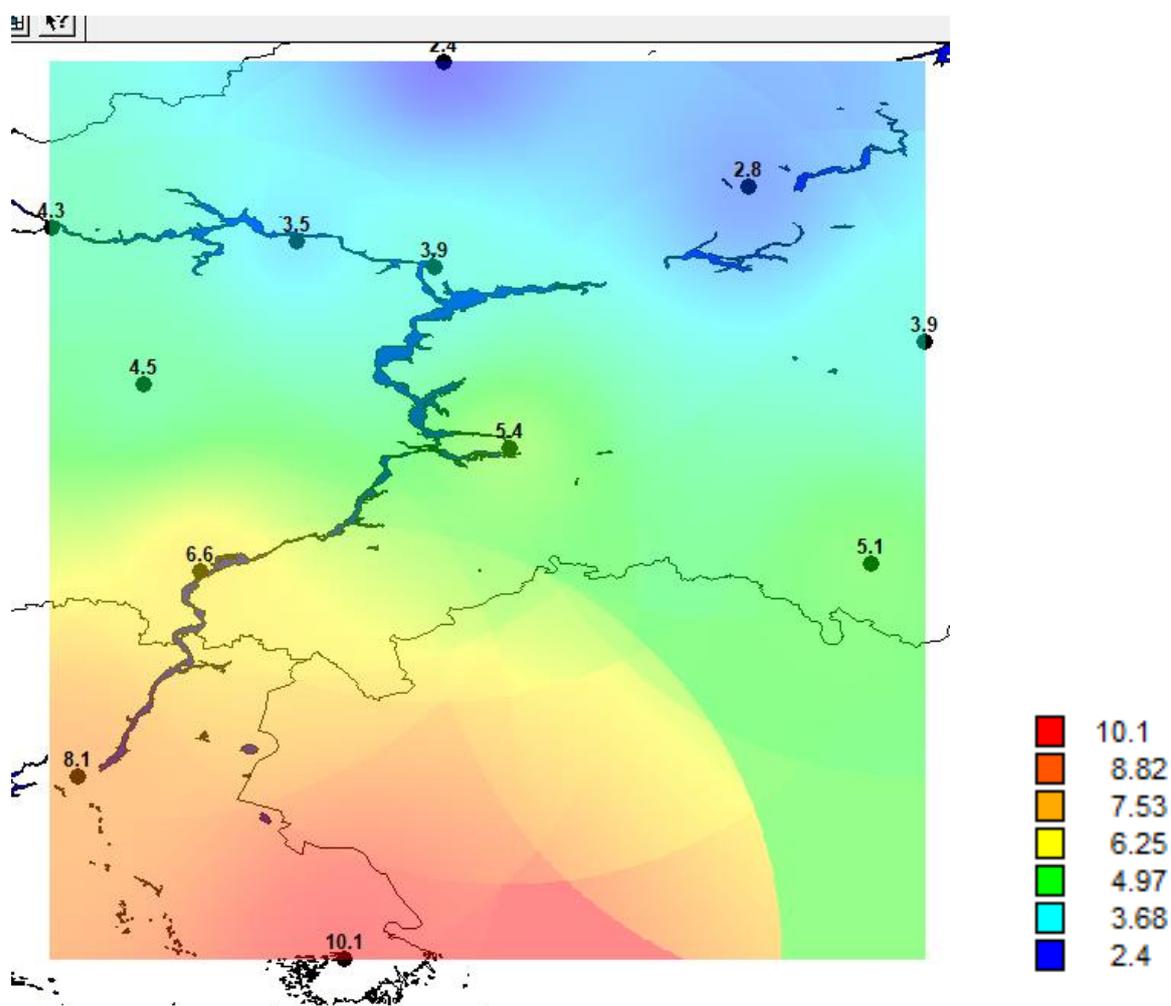


Рис. 3.7 Средняя многолетняя апрельская температура воздуха

Как видно на рис. 3.7 температура на территории Поволжья повышается с севера на юг. От станции Киров, где температура равна $+2,4^{\circ}\text{C}$ до станции Астрахань с температурой $+10,1^{\circ}$. Следовательно, наблюдается зональное изменение температур. По всему региону Поволжья метеорологическая характеристика сохраняется на уровне $+5^{\circ}\text{C}$.

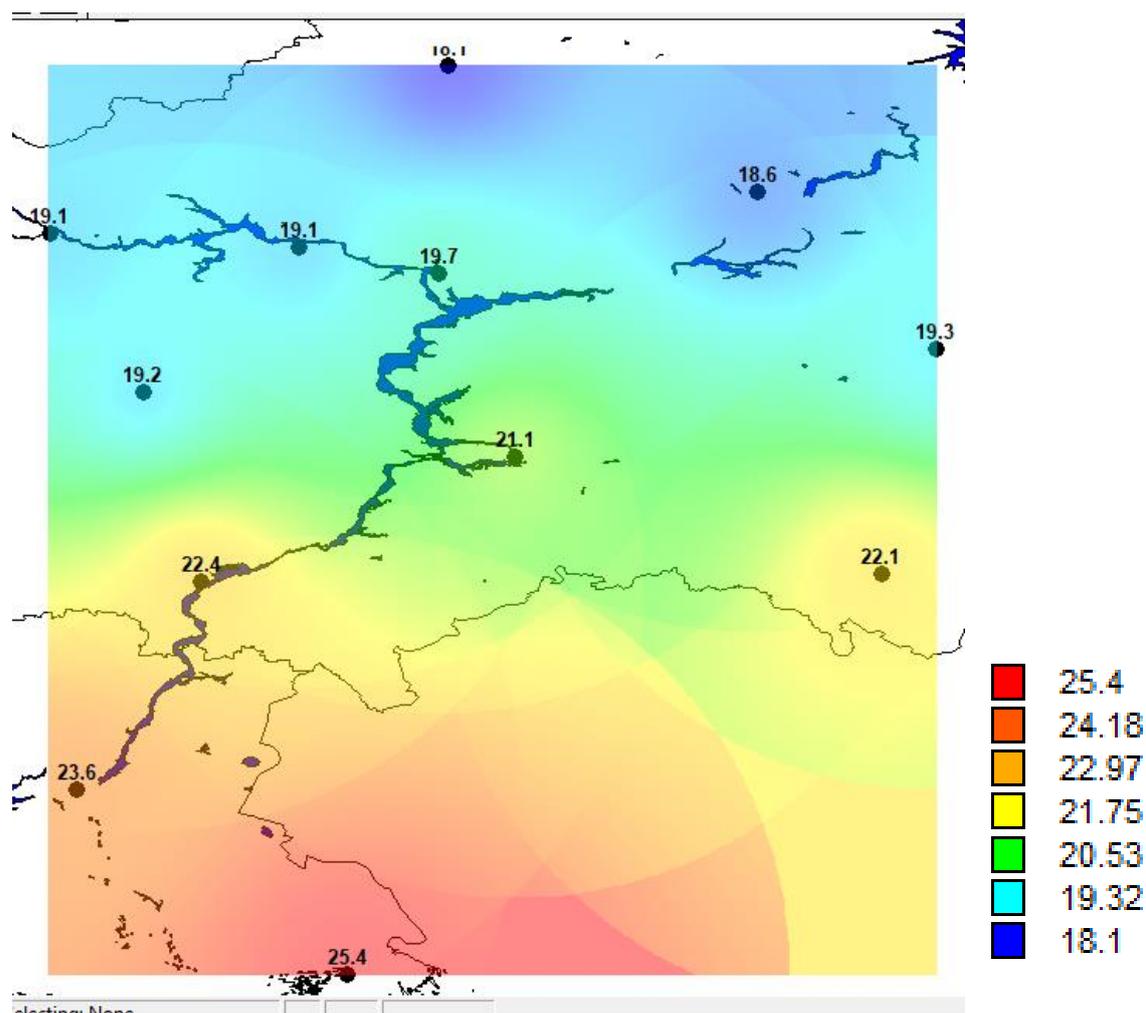


Рис. 3.8 Средняя многолетняя температура воздуха в июле

На рис. 3.8 также прослеживается зональное изменение температуры воздуха в июле. Значения растут от севера территории к югу. Самая низкая температура июля наблюдается на станции Киров ($18,1^{\circ}\text{C}$), так как пункт расположен в глубине материка, относительно самой теплой точки. Высокие значения температуры наблюдаются на более южных широтах, например, на

станции Астрахань, там она равняется $+25.4^{\circ}\text{C}$. В целом температура на всей исследуемой территории Поволжья удерживается в районе 21°C тепла.

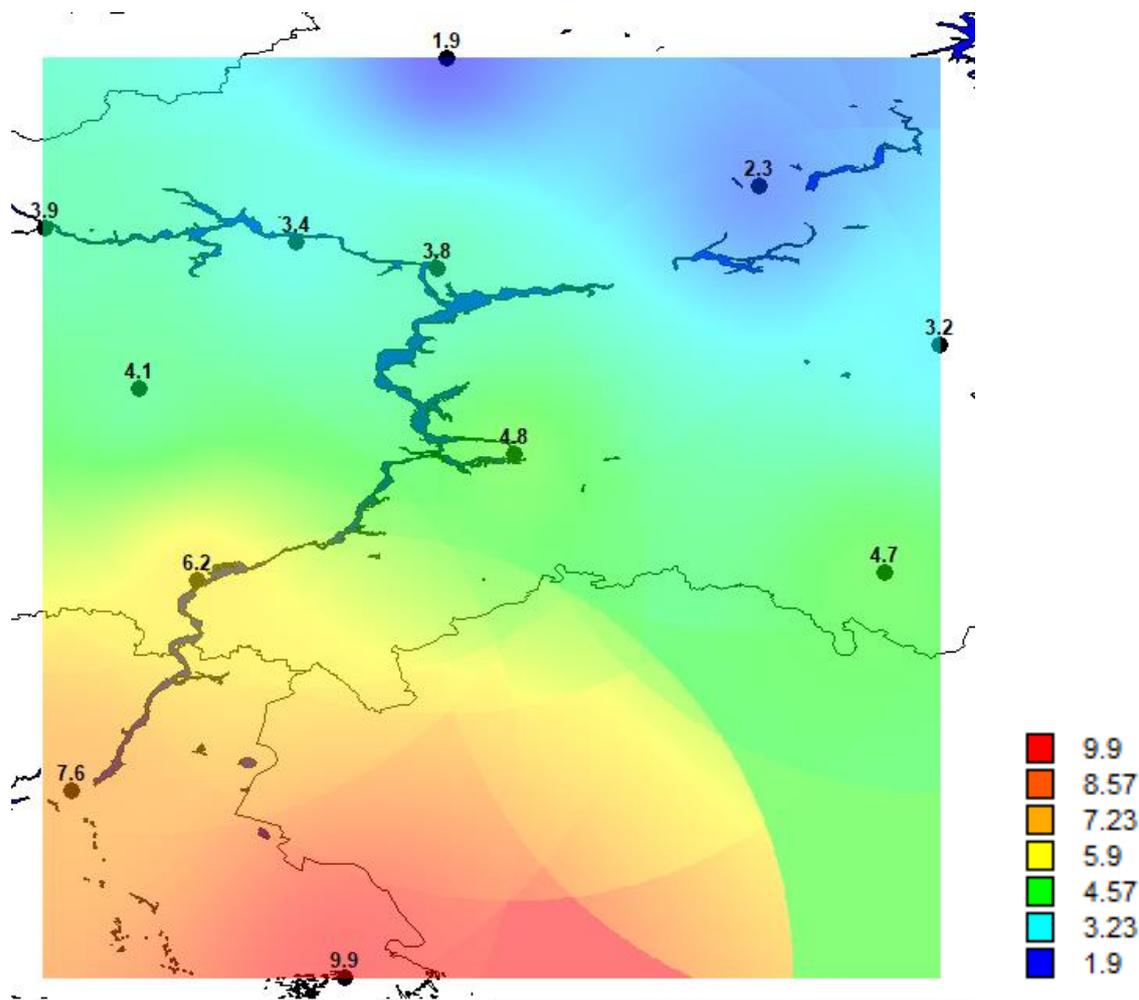


Рис. 3.9 Средняя многолетняя температура воздуха в октябре

Проводя анализ полученного рисунка, прослеживается зональное изменение температуры воздуха с севера, в глубине материка, на юг, ближе к границе страны. Самая северная точка, исследуемого региона – Поволжья, Киров имеет температуру 1.9°C выше нуля. Станция Астрахань, расположенная на более южной широте, среди остальных рассматриваемых станций, имеет самую высокую температуру $+9.9^{\circ}\text{C}$. Станции, имеющие среднюю температуру $+4$ градуса расположены в центре изучаемой местности. Средняя температура по всей исследуемой территории находится на уровне 5 градусов выше нуля.

Глава 4. Оценка современных климатических изменений температуры воздуха территории Поволжья

4.1 Теоретические сведения

Климатическая система земли не стабильна и постоянно изменяется. Система включает в себя атмосферу, гидросферу, криосферу, биосферу и литосферу. Изменчивость оценивается на основе широкого набора показателей, в который входят характеристики атмосферы (температура воздуха, осадки, давление и т.д.) и показатели других природных сфер (уровень мирового океана, речной сток, площадь морского льда и т.д.), и также внешние факторы (параметры земной орбиты, геофизические характеристики, колебания солнечной постоянной). Масштабы или периоды колебаний компонентов климатологической системы существенно различаются: например, для атмосферных микровихрей от нескольких секунд до сотен тысяч лет для параметров орбиты Земли, что формирует сложный спектр колебаний климатических характеристик.

Для описания климата используются статистические характеристики метеорологических величин и явлений – средние значения, повторяемость, продолжительность и т.п. Такое определение климата в качестве климатологических переменных позволяет использовать любые статистические характеристики различных параметров состояния климатической системы для определённого географического района и заданного временного интервала.

Изменения климата от одного периода к другому можно оценивать, как разность климатических переменных, которые характеризуют климат конечного и начального периода, или как тенденции изменений климатических переменных на всем рассматриваемом интервале времени. Климат характеризует состояние реальной климатической системы. Следовательно, обнаруженные климатические изменения могут считаться

реальными, если их величина превышает вероятную ошибку вычисления соответствующих климатических переменных.

Коэффициент линейного тренда, рассчитанный методом наименьших квадратов (МНК), используется как характеристика изменения климата на заданном интервале времени. Он характеризует среднюю скорость изменения исследуемой гидрометеорологической величины на заданном интервале времени.

Структура временного ряда может быть представлена двумя основными типами моделей: стационарными и нестационарными. В стационарной модели основные параметры временного ряда (среднее значение и дисперсия) являются постоянными во времени или стационарными. Для такой ситуации рассчитывается среднее значение за многолетний период наблюдений, являющееся климатической нормой. В условиях современных изменений климата принято, что на отдельных небольших отрезках временного ряда колебания климатических характеристик носят квазистационарный характер. Также имеют место нестационарные модели трёх основных видов:

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

Все нестационарные изменения в природе цикличны. Тренд – это часть цикла процесса достаточно крупного масштаба и проявляющаяся в виде линейной восходящей или нисходящей ветвью цикла на конечном рассматриваемом интервале времени.

Если предположить, что нестационарные составляющие являются реакцией климатической системы на внешние воздействия, то проявления этих воздействий могут быть 2-х основных видов: монотонные (циклические колебания или тренд) и ступенчатые изменения.

Для выполнения дипломной работы рассматриваются 2 вида теоретических положений:

- 1) расчёт параметров и коэффициентов для представленных моделей;
- 2) выбор наиболее эффективной модели из нескольких.

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

$$Y(t) = b_1 t + b_0 \quad (4.1)$$

b_1 , b_0 - коэффициенты уравнения регрессии, которые определяются методом наименьших квадратов (МНК)

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} \quad (4.2)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (4.3)$$

Y_{cp} и t_{cp} – средние значения для рядов климатической характеристики и времени соответственно.

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (4.1), который считается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (4.4)$$

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* – это критическое значение коэффициента корреляции.

Модель ступенчатых изменений аналогична двум или нескольким стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда,

что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$Sr_1(t_1) = \text{const1}, \sigma_1(t_1) = \text{const1}, \quad (4.5)$$

$$Sr_2(t_2) = \text{const2}, \sigma_2(t_2) = \text{const2}, \quad (4.6)$$

Sr_1, σ_1 – среднее значение и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении t_1 от 1 до t_n ;

Sr_2, σ_2 - среднее значение и среднее квадратическое отклонение второй части ряда при изменении t_2 от $t_n + 1$ до n , n – объём ряда.

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменение даты смены регистрирующих приборов).

Выбор наиболее эффективной модели аппроксимации временных рядов основан на сравнении остаточных дисперсий или стандартных отклонений по отношению к рассматриваемой базовой модели. В данной работе модель стационарной выборки является базовой. Остаточная дисперсия (или стандартное отклонение) для неё представляет собой дисперсию или среднее квадратическое отклонение исходного ряда наблюдений.

Для модели линейного тренда и для гармонической модели стандартное отклонение остатков, представляющих собой разности между фактическими и расчетными значениями модели, рассчитываются по формуле:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y * \sqrt{1 - R^2} \quad (4.7)$$

σ_y – стандартное отклонение исходного ряда;

σ_ε – стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда или гармонической модели;

R – коэффициент корреляции.

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели вычисляется по информации за 2 интервала времени по формуле:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1 * n_1 - \sigma_2 * n_2}{n_1 + n_2 - 1}} \quad (4.8)$$

$\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартное отклонение остатков модели пошагового изменения;

σ_1, σ_2 – стандартные отклонения стационарных сегментов временного ряда;

n_1, n_2 – объёмы стационарных сегментов.

Чтобы количественно оценить различия между моделью тренда, моделью ступенчатых изменений и гармонической моделью от модели стационарного среднего, относительные погрешности рассчитываются по формулам:

$$\Delta_{\text{st}} = \frac{\sigma_y - \sigma_{\text{ступ}}}{\sigma_y} * 100\% \quad (4.9)$$

$$\Delta_{\text{tr}} = \frac{\sigma_y - \sigma_{\varepsilon}}{\sigma_y} * 100\% \quad (4.10)$$

$\Delta_{\text{st}}, \Delta_{\text{tr}}$ – относительные ошибки или отличия (%) модели тренда и модели ступенчатого изменения от модели стационарной выборки;

σ_y – стандартные отклонения остатков моделей случайной выборки;

σ_{ε} – стандартные отклонения остатков моделей линейного тренда;

$\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартные отклонения остатков модели пошаговых изменений

4.2 Пространственные показатели нестационарности фактически наблюдаемых рядов за январь и апрель

На основе методики, которая была изложена в разделе 4.1, были рассчитаны характеристики стационарности для многолетней среднемесячной температуры воздуха в январе и апреле на 12 метеорологических станциях.

В представленных ниже таблицах 4.1 – 4.2 можно увидеть итоги вычислений по моделям временных рядов для рассматриваемых месяцев: января и апреля. Жирным шрифтом выделены случаи нестационарных моделей при $\Delta > 10\%$ ($\Delta_{тр}$, $\Delta_{ст}$ – относительные ошибки или отличия модели тренда и модели ступенчатого изменения от модели стационарной выборки, выраженные в процентах). Также жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты уравнений линейного тренда R , которые больше 0,26.

В таблицах 4.1 – 4.2 указаны: $\Delta_{тр}$ – показатель эффективности модели тренда (в %), $\Delta_{ст}$ – показатель эффективности модели ступенчатых изменений (в %), $T_{ст}$ – год ступенчатого перехода от одной стационарной части ряда к другой, n – количество лет наблюдений, R – коэффициент уравнений линейного тренда.

Нестационарная модель считается действенной, если $\Delta_{тр}$ или $\Delta_{ст} \geq 10\%$.

Таблица 4.1

Показатели нестационарности фактически наблюдаемых температур января и апреля за весь период наблюдений

Код станции	Январь					Апрель				
	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$T_{ст}$	n	R	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$T_{ст}$	n	R
27199	2.1	4.5	1989	174	0.2	7.5	7.7	1950	174	0.38
27561	3	6	1981	165	0.24	10	9.9	1950	164	0.44
27581	4.7	7	1981	71	0.3	2.2	3.3	1983	71	0.21

27595	3.9	6.1	1981	201	0.28	4.9	6.2	1966	202	0.31
27760	4.2	7.4	1981	71	0.29	1.4	2.8	1966	71	0.17
27995	3.5	9.6	1981	107	0.26	7.1	8.9	1966	108	0.37
28441	3.2	4.6	1981	89	0.25	1.1	2	1950	89	0.15
28722	2.3	4.1	1981	139	0.21	7	5.8	1967	139	0.37
34172	4.2	8.8	1981	69	0.29	2.3	5.1	1966	69	0.21
34560	6.3	7.9	1981	81	0.35	1.7	3.7	1966	83	0.18
34880	5.8	7.5	1981	180	0.33	7.7	8.4	1966	181	0.38
35121	5.2	6.5	1981	171	0.32	12.1	9.8	1935	172	0.48

Как следует из результатов января, из 12 рядов модель линейного тренда не эффективна ни для одного. Модель ступенчатых изменений также не эффективна ни для одной из станций. В среднем показатель эффективности модели линейного тренда равен 4% (минимальный показатель на станции 27199 Киров составляет 2.1%; максимальный показатель оказался у станции 34560 Волгоград и составил 6.3%). Что касается модели ступенчатых изменений, то в среднем показатель равен 6.7% (Максимум на станции Самара = 9.6%, минимум на станции Уфа = 4.1%).

В апреле из 12 метеорологических станций модель линейного тренда эффективна только в двух случаях – для станций Оренбург (12.1%) и Нижний Новгород (10%). Модель ступенчатых изменений также не эффективна ни для одной из станций, как и в предыдущем случае. Показатель эффективности модели линейного тренда в среднем равен 5.4% (минимум = 1.1% на станции Ижевск, максимум = 12.1% на станции Оренбург). Средний показатель эффективности модели ступенчатых изменений в апреле составляет 6.1% (максимум равен 9.9% на станции Нижний Новгород, минимум – 2% на станции Ижевск).

На рис. 4.1 представлен график временного ряда нестационарной модели распределения отклонений в апреле, так как на станции 35121 (Оренбург) Δтр в этом месяце больше 10%. На графике показаны годы ступенчатых переходов и линии средних значений температуры.

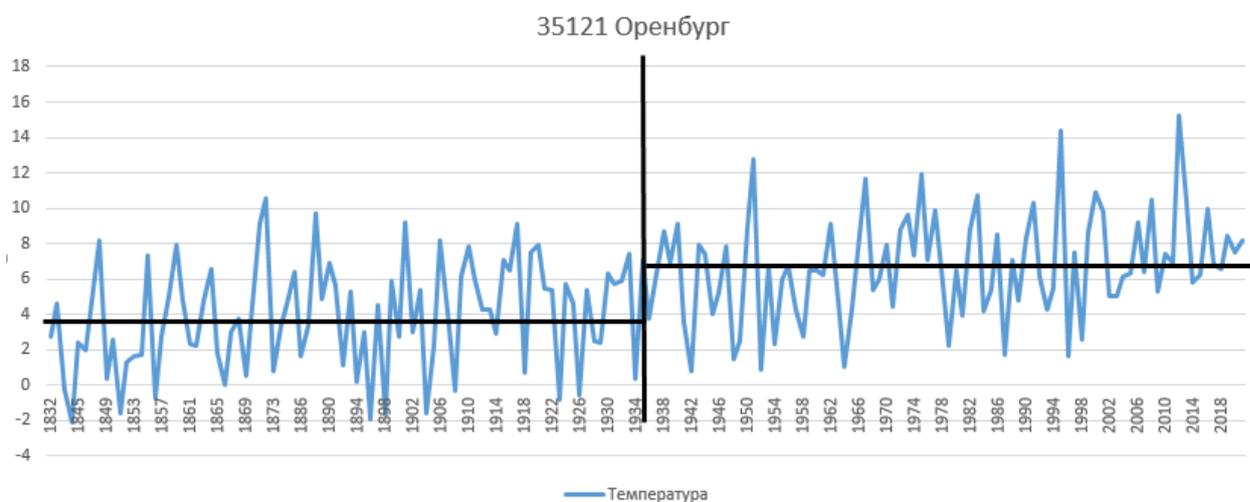


Рис. 4.1 Временный график температуры апреля на станции Оренбург и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений

Анализируя полученный график нестационарных временных рядов, можно сделать вывод, что для станции Оренбург характерна модель ступенчатых изменений. Температура в 1935 году ступенчато увеличилась на 2.7°C . Перед увеличением, среднее значение температуры равнялось 3.9°C , затем её среднее значение повысилось до 6.7°C . Выросла почти в 2 раза.

4.3 Оценка климатических изменений сезона лето – осень на территории Поволжья

Для расчета характеристик стационарных и нестационарных моделей был использован способ, рассмотренный в теоретических сведениях выше. В ниже представленной таблице 4.2 показаны итоги вычислений по моделям временных рядов для июля и октября.

Таблица 4.2

Показатели нестационарности фактически наблюдаемых температур июля и октября за весь период наблюдений

Код	Июль					Октябрь				
	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Tст	n	R	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	Tст	n	R
27199	0.2	2.8	1998	175	0.06	1.1	3.7	1991	175	0.15
27561	0.1	3.6	1999	159	-0.02	0.8	2.9	1994	164	0.12
27581	3.9	7.2	1998	71	0.28	5.6	8	1991	71	0.33
27595	0.5	3.8	1998	202	0.1	1.4	4.5	1991	201	0.17
27760	2.7	7.1	1998	71	0.23	4.8	6.5	1988	71	0.31
27995	0.2	6.8	1998	109	0.07	2.9	10.5	1988	109	0.24
28441	0.2	1.4	1998	89	0.07	3.2	6.8	1991	89	0.25
28722	0.1	2	1998	137	0.04	2.8	6	1991	138	0.24
34172	1.5	4.1	1995	69	0.18	4	6.6	1988	68	0.28
34560	0.8	6.5	2009	82	0.13	6.3	12.3	1939	115	-0.35
34880	0.7	6.4	2008	183	0.11	0.1	2.8	1989	150	0.05
35121	0.8	3	2008	172	0.13	4.8	6.9	1988	171	0.31

В таблице 4.2 ярко выделены случаи эффективных нестационарных моделей ($\Delta_{ст} \geq 10\%$) и статистически значимые коэффициенты корреляции уравнения линейного тренда R.

Как следует из результатов, в июле модели линейного тренда и модели ступенчатых изменений не эффективны ни для одной из рассматриваемых станций. Коэффициент корреляции уравнения тренда со временем статистически значим только для одной станции Чебоксары (27581), он равен 0.28. В среднем показатель эффективности модели линейного тренда ($\Delta_{тр}$) составил 1% (минимум на станциях Нижний Новгород и Уфа – 0.1%, максимум составил 3.9% на станции Чебоксары). Показатель эффективности

модели ступенчатых изменений в июле в среднем равняется 4.6% (на метеорологической станции Ижевск был минимум – 1.4%, максимум в Чебоксарах – 7.2%).

В октябре также модель линейного тренда не имеет эффективности ни на одной станции. В среднем показатель эффективности модели линейного тренда составил 3.2% (минимум был на станции Астрахань – 0.1%, максимум в Волгограде – 6.3%). Но модель ступенчатых изменений эффективна для двух станций Самара (27995) и Волгоград (34560). $\Delta_{ст} = 10.5\%$ и 12.3% соответственно. Среднее значение показателя модели ступенчатых изменений равняется 6.5% (от 2.9% на станции Нижний Новгород до 12.3% на станции Волгоград).

На рис. 4.2 представлен временной ряд нестационарных показателей станции 27995 (Самара). Данная метеорологическая станция для построения графика выбрана по причине того, что $\Delta_{тр}$ равна 10.5%, что больше 10%.

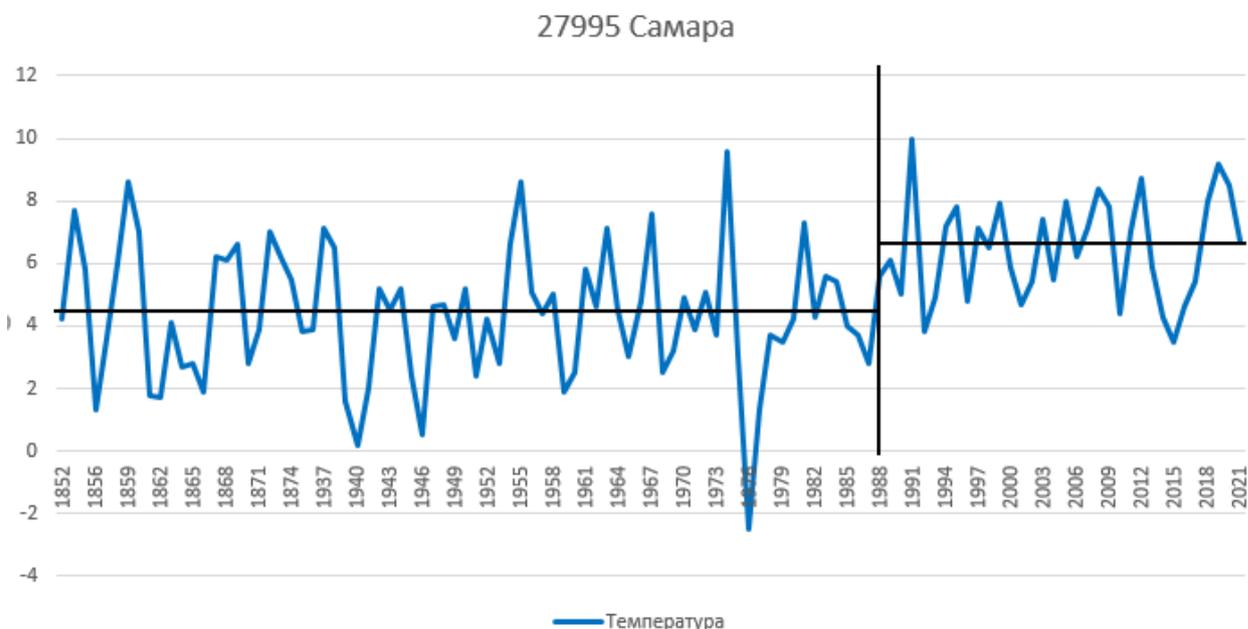


Рис. 4.2 Временной ряд нестационарных показателей на станции Самара

Анализируя представленный выше график нестационарного временного ряда, можно сделать вывод, что для станции Самара характерна модель

ступенчатых изменений. Годом ступенчатых изменений является 1988 год. Средняя температура до 1988 года была равна 4,1°С, потом она выросла до 6,4°С.

4.4 Оценка климатических изменений в январе и апреле за период с 1960 года по 2021 год.

Большой интерес представляет насколько устойчивыми будут нестационарные модели, если сдвинуть год начала измерений на 1960 год, когда менялись регистрирующие приборы. Полученные результаты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

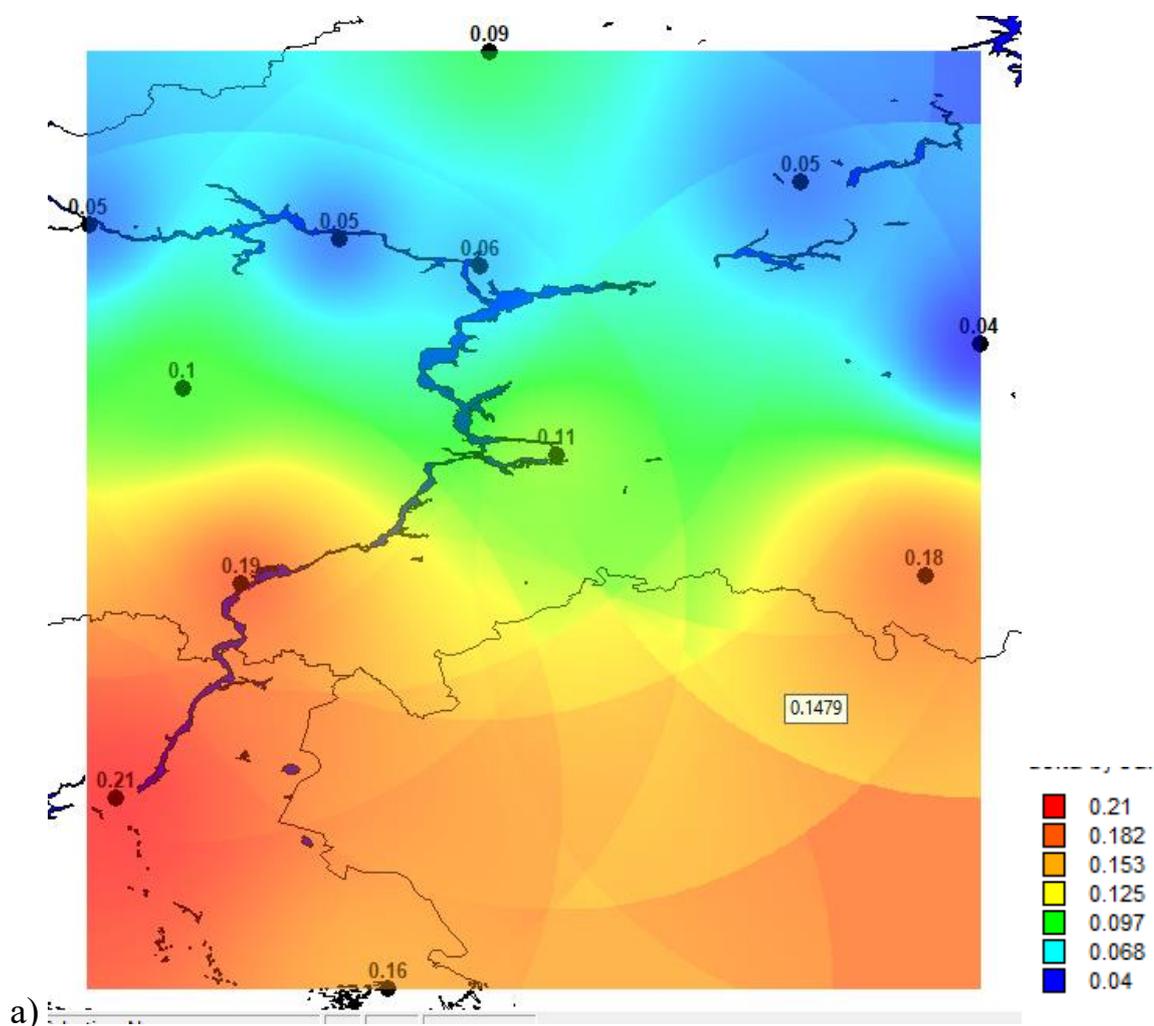
Эффективность нестационарных моделей для долгосрочных рядов температур января и апреля за период наблюдения с 1960 года по 2021 год

Код	Январь					Апрель				
	Δтр,%	Δст,%	Tст	n	R	Δтр,%	Δст,%	Tст	n	R
27199	6.5	8.6	1975	62	0.36	1.2	2.4	1983	62	0.16
27561	7.4	9.8	1981	62	0.38	2	3.5	1983	62	0.2
27581	6.6	9	1978	62	0.36	2.2	3.3	1983	62	0.21
27595	7.9	10.1	1981	62	0.39	3.5	4.5	1990	62	0.26
27760	2.6	6.3	1981	62	0.23	0.9	1.5	1983	62	0.13
27995	6.6	9.7	1981	62	0.36	1.8	2.6	1999	62	0.19
28441	5	6.7	1981	62	0.31	0.4	0.9	1999	62	0.08
28722	4.2	7	1981	62	0.29	2.2	2.9	1972	62	0.21
34172	3.8	8.6	1981	62	0.27	1.4	1.9	1972	60	0.17
34560	3.4	6.9	1981	62	0.26	0.2	0.6	2011	62	0.06
34880	3.9	8.4	1981	62	0.28	1.1	2.5	1972	62	0.15
35121	2.5	5.9	1981	62	0.22	1.4	2.4	1999	62	0.17

Из результатов таблицы 4.3 следует, что за период наблюдений с 1960 года в январе нестационарным является всего 1 ряд на метеорологической станции Казань (27595). В апреле модель линейного тренда и модель ступенчатых изменений не имеет никакой эффективности.

В январе годом ступенчатых изменений на метеорологических станциях в основном является 1981 год. В апреле же преобладает 1983 год.

На ниже представленных рисунках 4.3 – 4.4 показано пространственное распределение потепления по всей территории Поволжья в январе и апреле. Для рассмотрения был взят период наблюдений с 1960 по 2021 год.



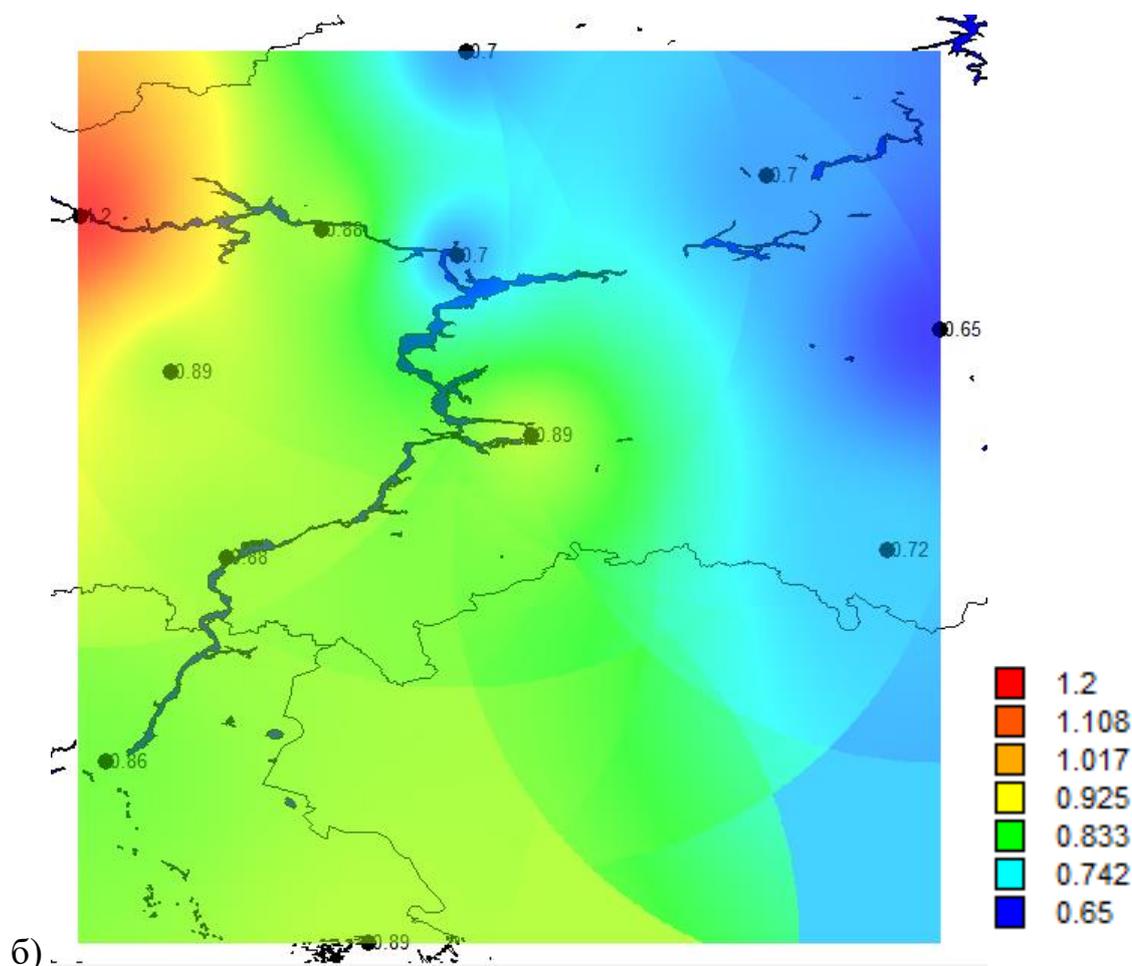


Рис. 4.3 Прирост температуры в январе (а) и разность средних температур по отношению к СКО (б)

Из рис. 4.3 следует, что в январе в основном прирост температуры наблюдается на юго-западе, юге и юго-востоке территории, он составил $0,2^{\circ}\text{C}$. На станции Волгоград наибольшее значение потепления равно $0,21^{\circ}\text{C}$. Минимальное потепление наблюдается на юго-востоке (станция Оренбург), там оно составило всего $0,04^{\circ}\text{C}$. Среднее потепление по территории равняется $0,12^{\circ}\text{C}$.

Самая большая разность температур ($1,2^{\circ}\text{C}$) оказалась на метеорологической станции Нижний Новгород. Станции с большой разностью температур распределились с северо-запада на юг. В среднем по территории разницы температур не превышают $0,8^{\circ}\text{C}$.

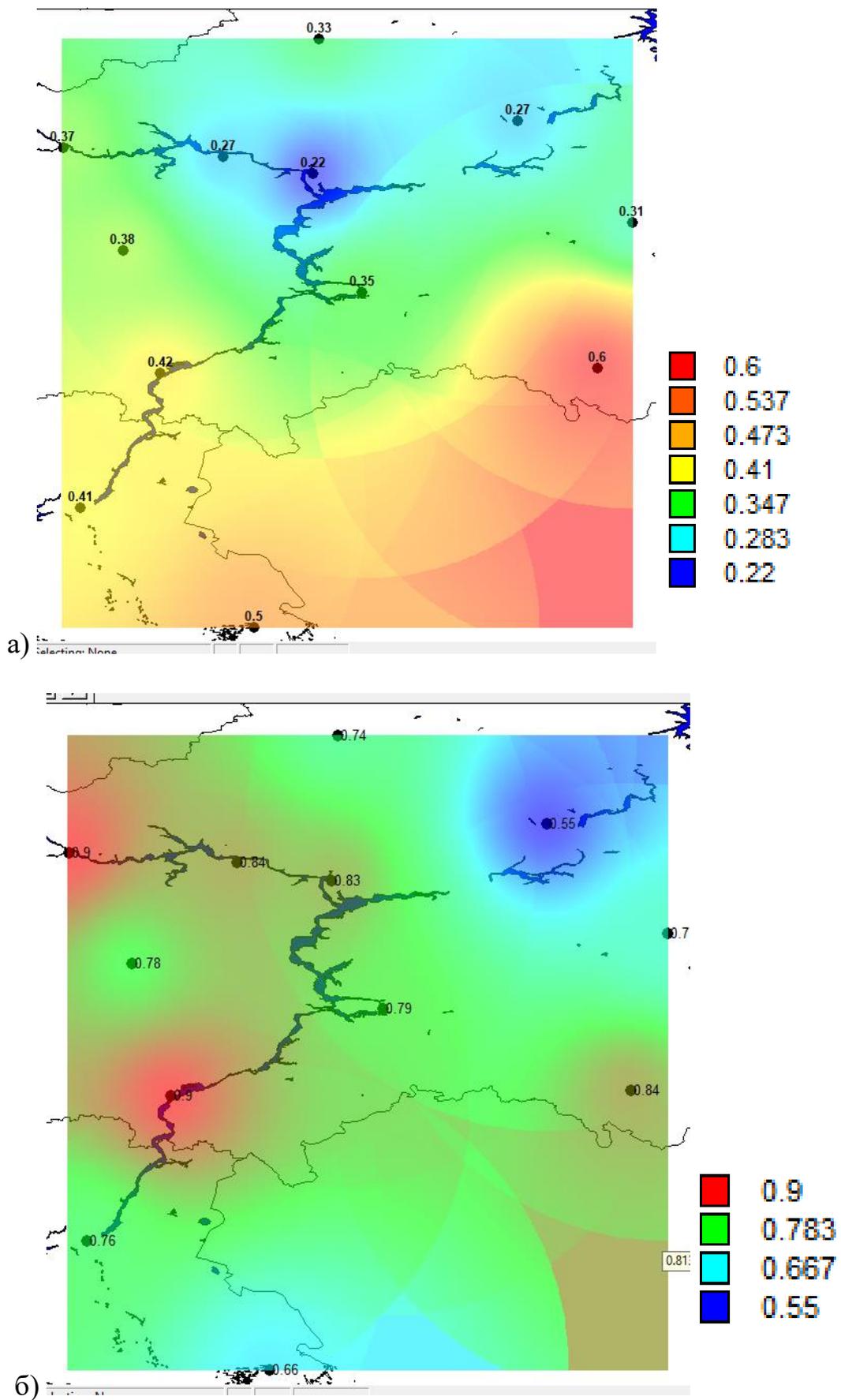


Рис. 4.4 Прирост температуры воздуха в апреле (а) и разница средних температур по отношению к СКО (б)

Как видно из рис. 4.4 в апреле наибольший прирост температуры наблюдался на юго-востоке территории Поволжья (станция Оренбург). Там температура повысилась на 0,6°C. Минимальный прирост, всего 0,22°C, был на станции Казань. В среднем по территории температура воздуха выросла на 0,4°C.

Наибольшая разница температур (0,9°C) двух исследуемых периодов наблюдается на северо-западе региона (станция Нижний Новгород) и на западе (станция Саратов). В среднем разница температур равна 0,8 градусов. Только станция Ижевск с самой минимальной разностью 0,55°C находится на северо-востоке региона.

4.5 Оценка климатических изменений июльских и октябрьских температур воздуха в период с 1960 года по 2021 год.

Таблица 4.4

Эффективность нестационарных моделей для долгосрочных рядов температур июля и октября за период наблюдений с 1960 года по 2021 год

Код	Июль					Октябрь				
	Δтр,%	Δст,%	Tст	n	R	Δтр,%	Δст,%	Tст	n	R
27199	1.7	4.8	1998	62	0.18	6.2	7.9	1991	62	0.35
27561	4.7	9.5	1998	62	0.3	5.6	6.4	1994	62	0.33
27581	3.3	7.2	1998	62	0.25	7.6	9.1	1991	62	0.38
27595	5.4	10	1998	62	0.32	10.4	12.1	1991	62	0.44
27760	3.1	7.7	1998	62	0.25	6.4	7.6	1988	62	0.35
27995	8	10.7	1998	62	0.39	10	13.4	1988	62	0.44
28441	0.1	1.5	1998	62	0.04	7.4	9.3	1991	62	0.38
28722	2.6	5.1	1998	62	0.22	8.6	12.2	1988	62	0.41
34172	2.2	4.8	1995	60	0.21	4.4	7.3	1988	59	0.29
34560	3.4	9.4	2009	62	0.26	2.9	5.3	1990	62	0.24

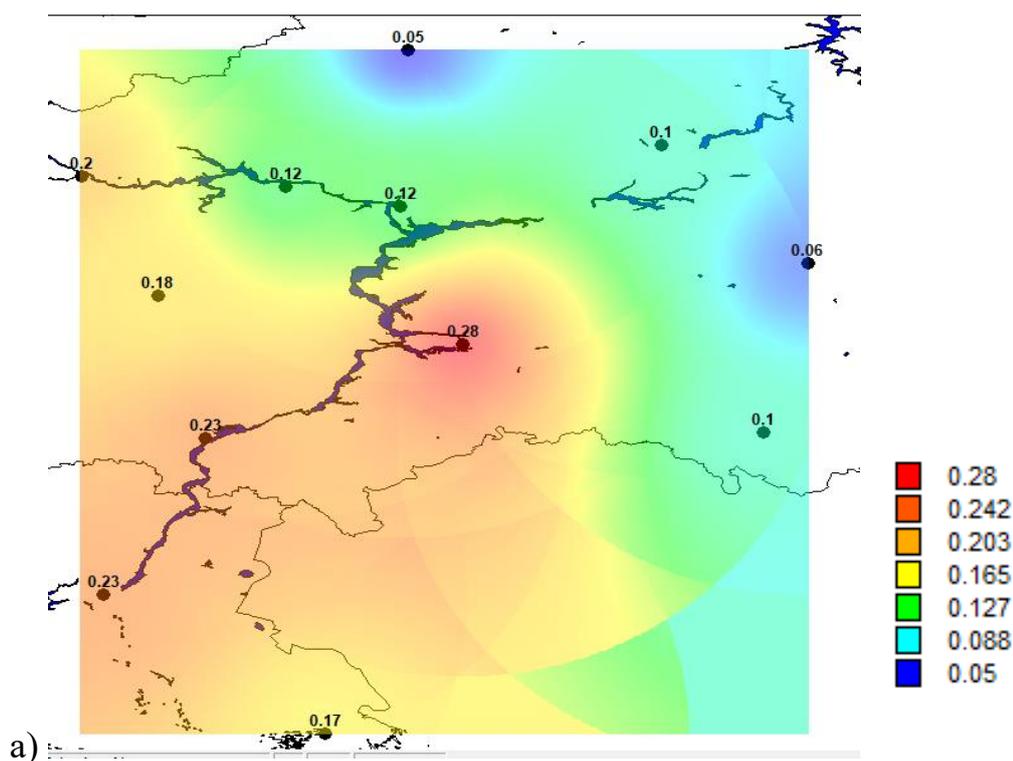
34880	4.1	13	1996	62	0.28	6.2	9.8	1989	62	0.35
35121	3.4	6.6	2008	62	0.26	8.1	11.4	1988	62	0.4

Из таблицы 4.5 следует, что за период наблюдений в июле с 1960 года нестационарными являются всего 3 ряда (из 12 исследуемых) на метеорологических станциях: Казань (27595), Самара (27995) и Астрахань (34880).

В октябре нестационарными являются 4 станции: Казань (27595), Самара (27995), Уфа (28722) и Оренбург (35121).

В июле годом ступенчатых изменений стал 1998 год практически для всех метеорологических наблюдательных пунктов. Для октября можно сказать преобладает 1988 год.

На рис. 4.5 – 4.6 представлено пространственное распределение потепления на исследуемой территории Поволжья в июле и октябре. Для рассмотрения изменения температуры был взят период наблюдений с 1960 по 2021 год.



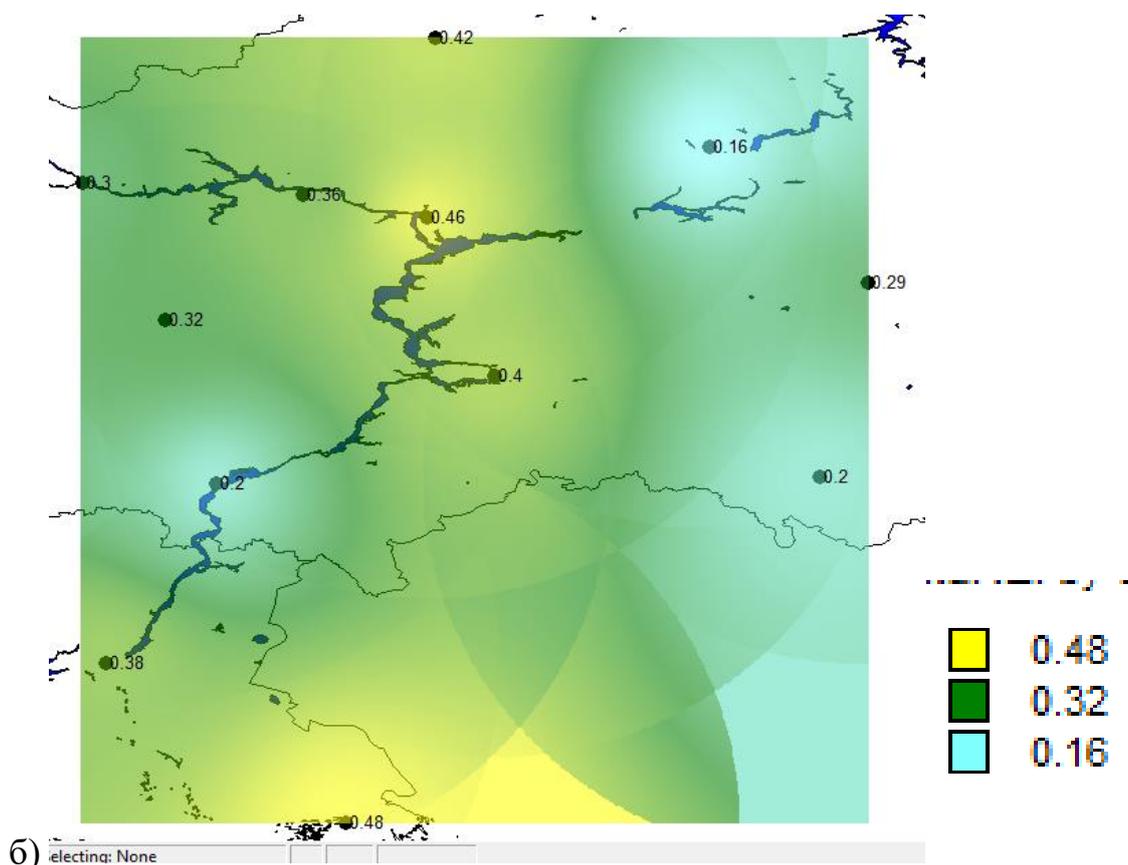


Рис. 4.5 Прирост температуры воздуха в июле (а) и разница средних температур по отношению к СКО (б)

Анализируя рис. 4.5 можно сделать вывод, что на станции Самара, что находится в глубине исследуемого региона, наблюдался наибольший прирост температуры, он составил $0,28^{\circ}\text{C}$. Также можно сказать, что высокие значения прироста температуры в июле распространились с центральной части Поволжья до северо-запада, запада и юго-запада. На этих частях средние значения прироста составили $0,22^{\circ}\text{C}$. Станции Киров и Уфа имеют минимальный рост температуры воздуха, $0,05^{\circ}\text{C}$ и $0,06^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Разницы температур на исследуемой территории в основном однородны. Нет сильно отклоняющихся значений в большую сторону. Самая большая разница температур ($0,48^{\circ}\text{C}$) наблюдается на станции Астрахань. Минимальное значение разности в пункте наблюдений Ижевск, там оно равняется $0,16^{\circ}\text{C}$.

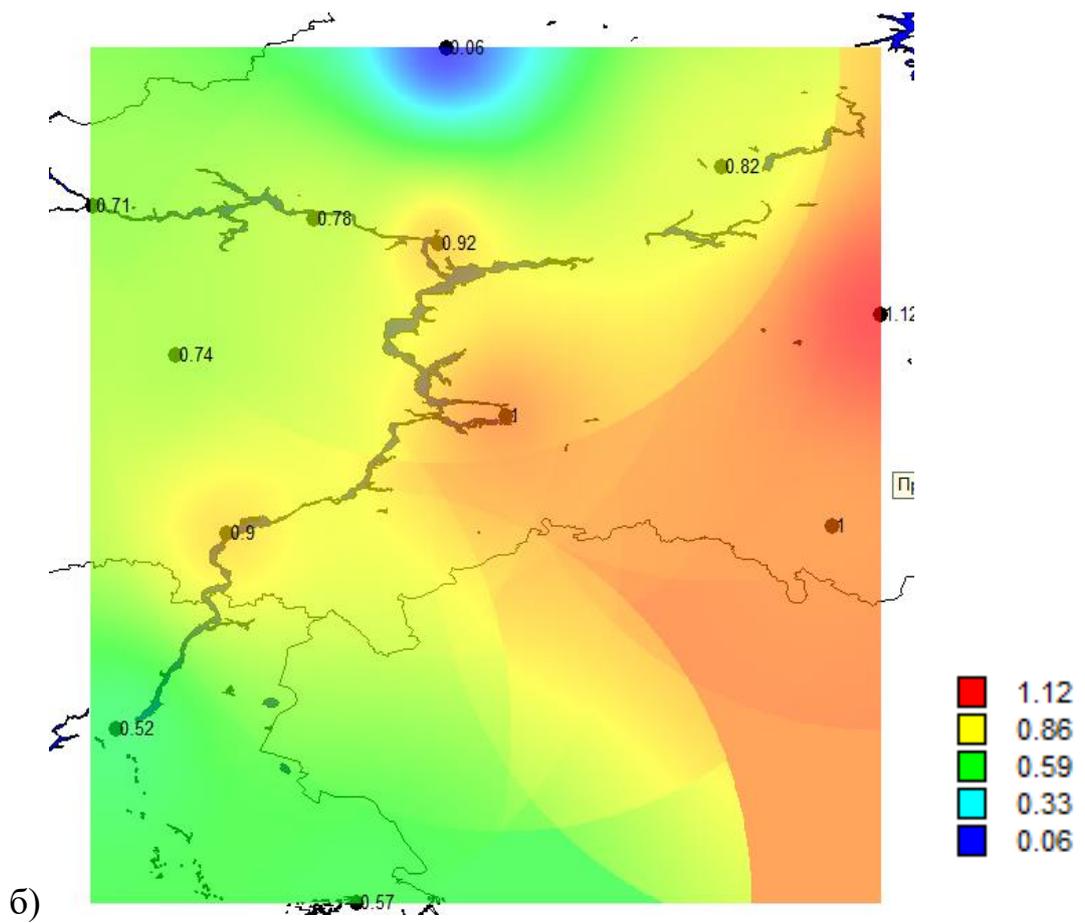
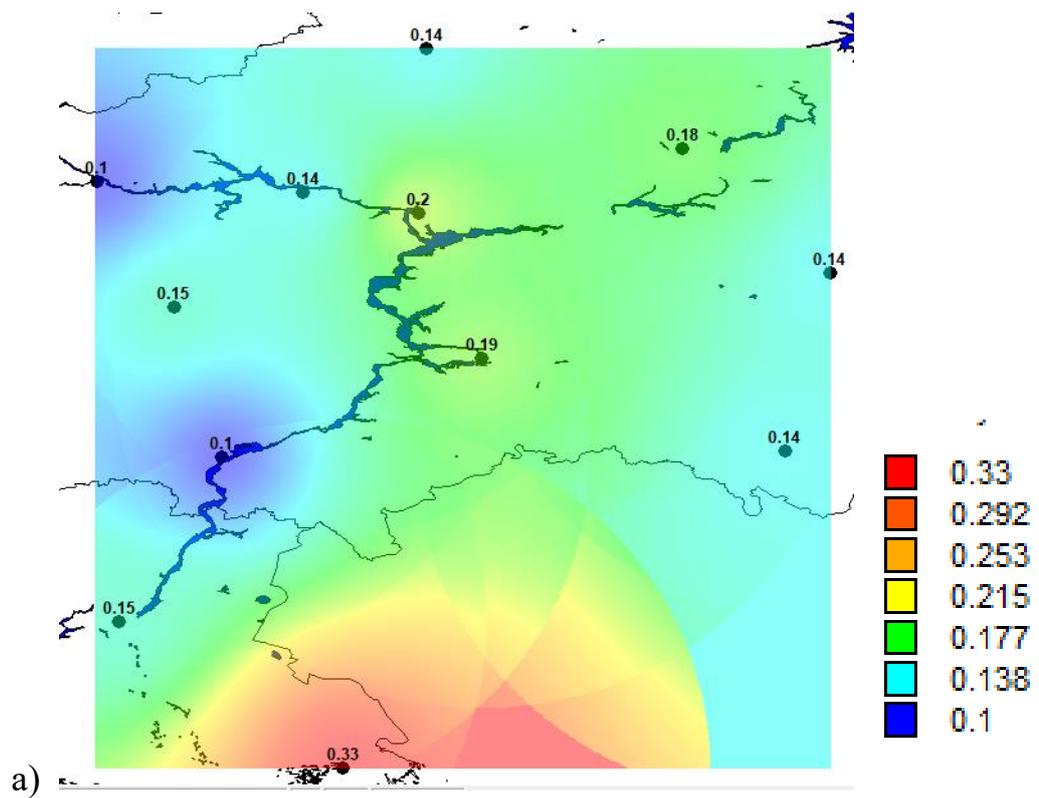


Рис. 4.6 Прирост значений температуры (а) в октябре и разница средних температур по отношению к СКО (б)

Из рис. 4.6 (а) видно, что в октябре наибольший прирост температуры наблюдался на юге рассматриваемой территории (станция Астрахань). $0,33^{\circ}\text{C}$ составил прирост температуры. На остальной части Поволжья особо сильное повышение значений температуры не наблюдалось. В среднем прирост составил $0,15^{\circ}\text{C}$.

Значения разницы средних температур сильно разнятся, по сравнению со значениями роста температур. Максимальная разница составила $1,12^{\circ}\text{C}$ на станции Уфа, находящейся на северо-востоке Поволжья. Также разница в 1°C наблюдалась на близлежащих станциях Оренбург и Самара. Самое минимальное значение $0,06^{\circ}\text{C}$ было на севере в пункте наблюдения Киров. В среднем разница температур по всей территории составила $0,76^{\circ}\text{C}$.

Заключение

Таким образом, проведен анализ и оценка современных изменений хода температуры в Поволжье. Ниже сделаны краткие выводы по всей дипломной работе, которые были получены в результате изучения данной темы:

1. Сформирована база данных многолетних рядов среднемесячных температур воздуха на 12 метеостанциях территории Поволжья от Кирова на севере до Астрахани на юге и выполнен анализ однородности эмпирических распределений и стационарности параметров временных рядов. Также продолжительность рядов наблюдений была увеличена в среднем на 80 лет.
2. По многолетним рядам рассчитаны средние многолетние температуры средних месяцев сезонов года и расчетные климатические характеристики редкой повторяемости (1 раз в 100 лет и 200 лет) и построены их пространственные распределения, позволяющие получить значения температуры воздуха в любой точке рассматриваемого региона.

3. Многолетние ряды среднемесячных температур воздуха января, апреля, июля и октября аппроксимированы моделями нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения от одних стационарных условий к другим) как за весь период наблюдений, так и за последнюю часть ряда с 1960 года и получено, что число эффективных моделей нестационарного среднего существенно увеличивается за последний период наблюдений с 1960г. И в большей степени весной. При этом получено, что годы перехода от одних стационарных условий к другим находятся в диапазоне: конец 1980х – конец 1990х годов в зависимости от метеостанции и сезона года.

4. Рассчитаны разности средних температур двух стационарных периодов и установлено, что во всех случаях это приращение положительное, т.е. температуры в последнюю часть рядов наблюдений выше, чем в предыдущий период. Однако, прирост температур разный в зависимости от сезона и расположения метеостанций, как показали построенные пространственные распределения разности средних и их представление в долях СКО (среднего квадратического отклонения или естественной изменчивости).

5. Зимой (январь) наибольший прирост температур имеет место на юге Поволжья (до $0,2^{\circ}\text{C}$), а на севере $0,1$ градус и меньше. Однако только на северо-западе эти изменения ненамного превышают СКО. Весной (апрель) прирост температур наиболее существенный и достигает $0,6^{\circ}\text{C}$ на юго-востоке территории, но этот прирост температур не превышает СКО и достигает только $0,9^{\circ}\text{C}$ на западе района. Летом (июль) прирост температур достигает до $0,2 - 0,3^{\circ}\text{C}$ в центре и на западе, что, не превышает даже $0,5$ СКО. Осенью (октябрь) максимальное увеличение температуры до $0,3^{\circ}\text{C}$ на юге, а в остальной части $0,1 - 0,2^{\circ}\text{C}$, однако именно на востоке территории изменения превышают СКО и достигают $1,1 - 1,2$ СКО. Таким образом, наибольшие изменения имели место в холодный период года, а летом были незначительны.

Список литературы:

1. Лобанов В.А., Методические указания по выполнению курсовой работы «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик». – СПб.; Изд. РГГМУ, 2018. – 91 с.
2. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии. Часть 1. Учебное пособие. – СПб.; РГГМУ, 2011 – 145 с.
3. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е., Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. – СПб.; изд. РГГМУ, 2012 – 180 с.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. – Обнинск; ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012 – 194 с.
5. Ефремов Ю.К., Природа моей страны. – М.; Мысль, 1985 – 350 с.
6. Исаченко А.Г., Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. Учебное пособие. – М.; Высшая школа, 1991 – 366 с.
7. Переведенцев Ю.П., Важнова Н.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Шарипова Р.Б., Современные тенденции изменения климата в Приволжском Федеральном Округе. – Казанский Федеральный Университет, 2010
8. Российский сайт «Погода и климат» <http://www.pogodaiklimat.ru/>
9. Сайт Королевского метеорологического института Нидерландов <http://climexp.knmi.nl/>
10. Раковская Э.М., Давыдова М.И., Физическая география России, ч.2. – М.; Академия, 2013. – 304 с.
11. Кобышева Н.В. Климат России. – СПб.; Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.
12. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Соколов В.В., Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. – Казань; Казан. Университет, 2013. – 300 с.
13. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, - М., 2000 – Т. I. Изменения климата. – 227 с.