



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра МКОА

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Температурный режим Республики Коми»

Исполнитель Ямолдина Наталия Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доктор технических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)
Лобанов Владимир Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«07 06 2019 г.

Санкт-Петербург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Физико-географическое и климатическое описание Республики Коми	5
1.1. Физико-географическое и климатическое описание Республики Коми...	5
1.2. Рельеф местности	6
1.3. Характеристики температурного режима и климат	8
1.4. Теоретические сведения о климате	10
2. Формирование базы данных и анализ ее качества на территории Республики Коми	15
2.1. Выбор информации из архивов климатических данных.....	15
2.2. Оценка однородности и стационарности многолетних рядов температуры воздуха	17
2.2.1. Теоретические положения	17
2.2.2. Результаты оценки однородности и стационарности.....	23
2.3. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду.....	32
2.3.1. Теоретические положения	32
2.3.2. Результаты восстановленных данных	34
3. Оценка климатических изменений многолетних рядов температуры	38
3.1. Теоретические положения	38
3.2. Оценка климатических изменений в теплый период на примере июля...	42
3.3. Оценка климатических изменений в холодный период на примере января	43
3.4. Оценка климатических изменений на примере апреля	44
3.5. Оценка климатических изменений на примере октября	44

3.6. Оценка климатических изменений среднегодовых температур.....	45
4. Пространственные изменения климатических характеристик.....	47
4.1. Картирование нестационарных моделей тренда и ступенчатых изменений	47
4.2. Расчет и картирование норм температур.....	49
Заключение	53
Список используемых источников.....	54

ВВЕДЕНИЕ

В связи с наблюдаемым климатическим изменением в мире, исследование и оценка климатического состояния чрезвычайно актуальны, даже если речь идет об отдельном регионе, так как это позволяет дополнить общую картину происходящих изменений в целом, а также выявлению процессов сопутствующих этому явлению. Изложенному выше как раз и посвящён данный проект.

В первой главе рассматриваются климатические и географические особенности исследуемого региона, а именно Республики Коми. Формирование базы данных и анализ ее качества, так необходимых для исследования, изложено во второй главе бакалаврского проекта. Цель дипломного проекта представлена в третьей и четвертой главе - оценка климатических изменений многолетних рядов.

В ходе дипломного проектирования для анализа и оценки температур воздуха на территории Республики Коми севера России были выбраны следующие метеостанции: Воркута, Печора, Ижма, Ираёль, Усть-Кулом, Усть-Уса, Усть-Цильма, Ухта, Троицко-Печорское, Сыктывкар; т.е. города, которые покрывают практически всю исследуемую территорию.

Предполагается проанализировать режим температур в этих пунктах за период с 1888 по 2017 год, а также за последний современный период с 1960 по 2017 год. Главная же задача – это выявить изменения гидрометеорологических параметров, происходящие в исследуемой области за данный период и сделать выводы об установленных изменениях.

1. Физико-географическое и климатическое описание Республики Коми.

1.1. Физико-географическое и климатическое описание Республики Коми.

Республика Коми – республика размещена на крайнем северо-востоке Европейской части России, в пределах Печорской и Мезенско-Вычегодской низменностей, Среднего и Южного Тимана, западных склонов Уральских гор (Северный, Приполярный и Полярный Урал). Область республики протягивается от Северных Увалов на юге до Пай-Хоя на северо-востоке (между 59°12' и 68°25' северной широты), от Пинего-Мезенского междуречья на западе до водораздела бассейнов рек Печоры и Оби, проходящего по Уральскому хребту на востоке (между 45°25' и 66°10' восточной долготы). Площадь республики – 416,8 тысяч км². Область республики располагается с юго-запада на северо-восток – 1275 км, с севера на юг – 785 км, с запада на восток – 695 км. Общая длина границ – 4415 км. В северной, западной и северо-западной частях область республики примыкает к Архангельской области, точнее с Коряжмой, Котласом и другими (2170 км) с входящим в нее Ненецким автономным округом, с городами Нарьян-Мар, Мартын и другие (870 км), в восточной части соседи республики Ямало-Ненецкий автономный округ, город Мужы (480 км) и Ханты-Мансийский автономный округ (570 км), со стороны юга-востока – со Свердловской областью, город Краснотурьинск (35 км), а в южной части республики с Пермской, город Красновишерск (645 км), в том числе с Коми-Пермяцким АО (335 км), со стороны юго-запада с Кировской областью, город Мураши (515 км).[3]

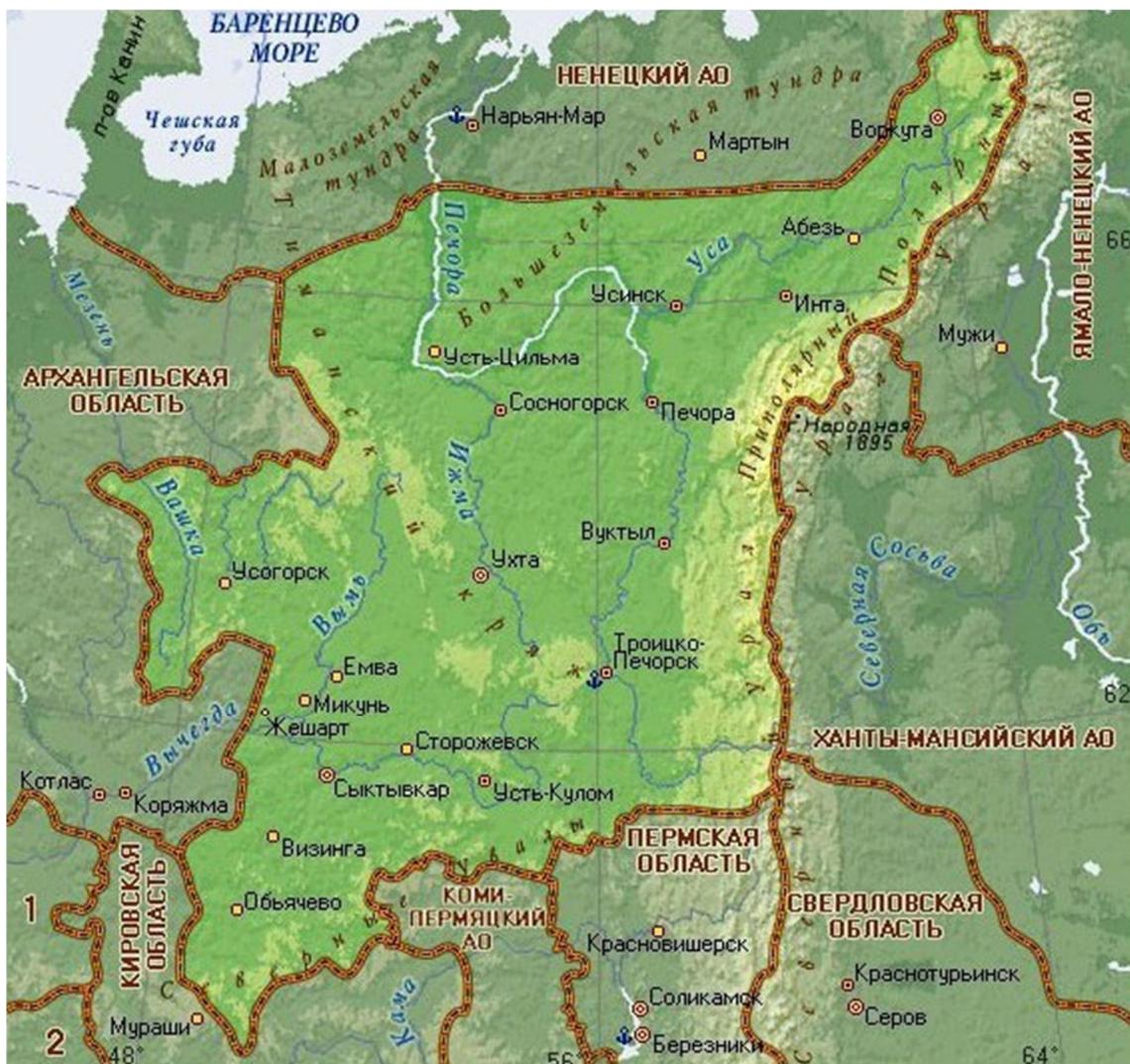


Рис. 1.1 Географическое расположение Республики Коми

1.2. Рельеф местности

Рельеф и геологическое строение республики Коми разделяется на 2 неодинаковые части. Одна часть, то есть восточная окраина имеет отношение к горному Уралу, а другая часть, то есть оставшаяся территория к Русской равнине. В некоторых участках на поверхность выходят более древние толщи и вулканические породы, образующие повышенные и поделенные участки: Цетласский Камень (463 м), Верхне-Вымская гряда (353 м), Очьпарма (324 м), Жижимпарма (312 м). Но в целом четвертичные отложения, перекрывающие древний Тиман, выравнивает неровности рельефа и

образуют довольно однообразную равнинную, местами увалистую поверхность.



Рис. 1.2 гора Койп, Республика Коми

В республике Коми реки Тимана обладают относительно большим падением и участками изобилующие порогами. Между Тиманским кряжем и Уральским хребтом зажата Печорская низменность, простирающаяся до берегов Баренцева моря. Древние складчатые структуры участками обнаруживаются ближе к Уралу. Именно, ими образован кряж Чернышева – невысокая (до 200 м) гряда с плоской заболоченной поверхностью. В северной половине низменности в рельефе преобладают моренные равнины с невысокими сглаженными болотными массивами. Печора, а также некоторые крупные ее притоки, текут в широких долинах, число террас местами достигает пяти. Уральский хребет в пределах Республики Коми представлен западными склонами Полярного, Приполярного и Северного Урала. Это древнее складчатое сооружение когда-то было размыто и вновь поднято в новейшую геологическую эпоху. Горы сложены в основном сланцами и кварцитами, а также изверженными породами. Западные предгорья Урала, представляющие собой увалистую полосу высотой до 700 м, образованы относительно молодыми породами. В предгорьях Урала развит карст

(пещеры по рекам Унье, Верхней Печоре, Илычу). Средневысотные и низкие горы отличаются плоскими вершинами и пологими склонами. Большинство ледниковых форм и современных ледников сосредоточено на склонах Приполярного Урала – самой высокой части всего хребта (гора Народная – 1895 м). Для южных областей Северного Урала (бассейн Илыча и Малой Печоры) характерны интересные формы выветривания – каменные останцы, столбы и нагорные террасы. Рельеф преимущественно равнинный. Территория Республики Коми разнообразна по устройству поверхности, большая ее часть находится в пределах Восточно-Европейской равнины, а вдоль восточной границы расположены Уральские горы. Распределение территории по высотным ступеням: низменности занимают 79% площади Республики Коми; возвышенности – 18%; горы – 3%. Это разнообразие в рельефе объясняется сложным тектоническим строением территории, которая располагается в пределах Русской платформы и Урало-Пайхойской горно-складчатой страны. Уральский регион делится на Северный, Приполярный и Полярные районы. Северный Урал представляет район среднегорного рельефа. Наибольшие вершины – Тэлпозьиз (1617 м), Патокиз (1266 м). Приполярный Урал – центр наибольших отметок: гора Народная (1895 м), массив Сабля (1497 м). Характерен альпийский тип рельефа – сильная расчлененность, обилие ледниковых форм – с отчетливыми формами морозного выветривания. Полярный Урал расположен между Полярным кругом и Пай-Хоем. Высота хребта редко превышает 1000 м. Наивысшая вершина – Пайер (1472 м). Поверхность хребта пластообразна, расчленена глубокими долинами, к северо-западу круто обрывается к прилегающей низине. Тип рельефа – ближе к высокогорному. [4]

1.3. Характеристики температурного режима и климат

Температура воздуха относится к основным метеорологическим элементам, определяющий режим погоды и климата. Климат Республики Коми суровый: летний период короткий, умеренно теплый, а в северных

частях республики холодный; зимой много снега, зимнее время года длительное и морозное. На протяжении года выпадает значительное количество осадков, превышающих испарение. Зимний период республики холодный и является самым продолжительным периодом. В северо-восточной части республики Коми холодное время года продолжается 230-250 дней, а в южной части 170-180 дней. Чем ближе к северо-восточной части республики приближаемся, тем больше увеличивается не только продолжительность холодного время года, но и его суровость. В самом холодном месяце года (январь) средняя месячная температура воздуха в южной области республики составляет около -15°C , а в северо-восточной части -21°C , -22°C . Иногда происходит вторжение арктического воздуха, которое влияет на понижении температуры воздуха из этого следует, что в северной части температура может понизиться до -55°C и в центральной части республики, а на юге до -45°C . Летний период в республике умеренно теплый. Средняя температура июля $+15^{\circ}\text{C}$ на юго-западе, до $+11^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке. В летний период север республики очень хорошо освещен, так как на расположение в этот период влияют благоприятные условия для этого. Севернее полярного круга устанавливается полярный день, во время которого солнце не заходит за горизонт и целыми сутками светит солнце, такое положение в городе Воркута республики Коми. [3] В летнее время года температура почвы обычно бывает намного превышающей температуры воздуха. Даже в районах, где уже на глубине 1,0-1,5 м лежит вечная мерзлота, температура на поверхности почвы в отдельные дни может достигать до 40°C . В зимний период глубина промерзания почвы в южной части республики составляет около 60 см, а в северной – более 100 см. С 1 октября в Воркуте, а в Прилузском районе в конце 2-й декады октября температура воздуха опускается ниже 0°C . В Республике случилось существенное изменение климата, которое характеризуется повышением средней годовой температуры воздуха. Величина потепления по территории республики неоднозначна. Наибольшее потепление произошло на севере

республики, к южной части повышение температуры воздуха уменьшается, а в крайних южных областях республики изменения температуры почти не произошло. Повышение годовой температуры воздуха обуславливается потеплением в зимнее время года. В летний период повышение температуры воздуха произошло только на севере республики. Размеры и континентальная протяженность территории Республики Коми, влияние Северного Ледовитого и Атлантического океанов, природного барьера Уральских гор на востоке создают неоднородность климата с юго-западной части на северо-восточную. Здесь характерно частое вторжение холодных арктических, относительно теплых атлантических и воздушных масс умеренных широт. Это вызывает повышенную циркуляцию атмосферы, доминирование циклонической погоды, резкие перепады давления и температуры воздуха, быструю смену направления и скорости ветров, обилие осадков в виде дождя и снега. Климат на большей части территории умеренно континентальный с продолжительной, довольно суровой зимой и коротким, сравнительно тёплым. Средняя температура января -17°C на юго-западе до -20°C на северо-востоке, июля соответственно от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+11^{\circ}\text{C}$. Осадков от 700 до 1500 мм (в горах) в год. На севере и северо-востоке многолетнемерзлые породы. [4]

1.4. Теоретические сведения о климате

Прежде всего следует уяснить значение термина «климат города». Можно считать, что в этом понятии отражено воздействие микроклиматических процессов на город, определяющее характер градостроительства, например, в жарких и сухих областях, в тропиках, в зоне умеренного климата или в полярных районах. При такой трактовке понятия именно с климатом связывается облик города. Можно также этим термином обозначить климат, свойственный самому городу, его отличия от климата окружающей местности, климатические особенности города, их происхождение и причины. Прежде всего городской климат не может входить в понятие макроклимата: как ни велика площадь городов, по

сравнению с такими пространствами, как континент или страна, она все же очень мала. Однако климат города не может рассматриваться и как микроклимат, ибо его изучение базируется на методах, обычно принятых при макроклиматических исследованиях. Изучение городского климата не связано или почти не связано с рассмотрением собственно микроклимата, то есть климата приземного слоя атмосферы. Поэтому климат города занимает промежуточное положение между этими понятиями. Предложили назвать его мезоклиматом, что означает «промежуточный климат». Климат города – типичный мезоклимат, климат небольшого района, испытывающего влияние человека. Это логическое разграничение отнюдь не означает, что между климатом города и макро- и микроклиматом отсутствуют какие-либо связи. Напротив, их немало. Так, не исключено воздействие города на макроклимат и явления погоды. Сюда же относятся влияние загрязнения атмосферы на климат вообще и в особенности на образование облаков, явления застоя воздуха, рассеяние облаков, замедление движения фронтов, образование устойчивых восходящих воздушных потоков, влияние на грозы и осадки и на атмосферное электричество. Городской климат связан также с микроклиматом. В качестве примера влияния города на особенности микроклимата можно привести отсутствие озер холодного воздуха в городах, расположенных в долинах. После того как мы ограничились от близких понятий дисциплины, в проблеме климата города можно выделить следующие отдельные аспекты. Климат города как единое целое: пелена мглы, образованная аэрозолями, интенсивность радиации, продолжительность солнечного сияния, характер ветров, явления застоя воздушных масс система городских ветров, осадки, повышение температуры с увеличением размеров города. Климат в первую очередь зависит от солнца, его лучей и от того, под каким углом они падают (соллярный климат); но в не меньшей степени на климат влияют также свойства подстилающей поверхности и приземных слоев атмосферы, находящихся на пути солнечных лучей. Поэтому искусственный ландшафт поселений типа больших

современных городов воздействует на климат этих участков земной поверхности, изменяя его. Первым на неблагоприятное влияние города, в частности на уменьшение прозрачности городского воздуха, указал Эвелин, который еще в 1661 г. в своей книге «Fumifigium» писал: «Если во всех прочих местностях воздух чрезвычайно чист и прозрачен, то здесь он темный от серого облака, и даже солнце, несущее свет всему миру, едва пробивается сквозь эту пелену; и усталый путник за много миль до города чувствует его запах, еще не видя его». Ученые уже давно стали заниматься исследованием климата в пределах больших городов, анализируя масштабы его влияний и тенденции изменений. Честь осуществления первого специального исследования городского климата принадлежит Л.Говарду, он отметил: «Однако температуру город нельзя отождествлять с температурой климата. В городе большую роль играет искусственное тепло, обусловленное строениями, скученностью населения и сжиганием огромных количеств топлива в печах». Он оценивает разность температур. Наряду с уже названными причинами этих различий он указал также на более слабую циркуляцию и меньшую влажность воздуха в пределах города. Следующий шаг в этом направлении сделал в 1841 г. Мальман, описавший в общих чертах влияние города на климат. Следующими факторами, влияющими на климат города и обратившими на себя внимание исследователей, были туман и загрязнение атмосферы. В этой связи наряду с французом Анго и немцем Эммерихом прежде всего следует упомянуть англичан Ф.А. Рассела и В.Д. Рассела, Скотта, Броуди и других ученых, занимавшихся в конце 19 века изучением этих вредных и неприятных факторов. В 1909 г. к ним присоединился немецкий метеоролог Фризе. Исследования загрязнения атмосферы города и городского тумана в 1925 г. были обобщены Шоу и Оуэнсом в книге «Проблема дыма в больших городах». После выхода этой книги в свет многие ученые заинтересовались ядрами конденсации в городском воздухе. Изучение проблемы особенно продвинулось после того, как в их распоряжении, помимо счетчика Айткена, оказался такой удобный

прибор, как кониметр Цейса. Загрязнение городской атмосферы является в настоящий момент главной проблемой городского климата и находится поэтому в центре внимания исследователей. Влажность воздуха лишь в 1908 г. стала объектом специальности изучения со стороны Кремсера, проводившего наблюдения в Берлине. Годом позже он включил в круг своих работ также наблюдения над ветрами в больших городах. В 1986 г. появились первые сообщения о влиянии города на образование облаков. Влияние города на осадки впервые было исследовано в 1896 г. Гельманом в Берлине. Эти исследования значительно расширили наши значения о климате города. Толчок к работе дала новая отрасль науки о климате – микроклиматология. Данные, полученные в этой отрасли, показали, что между климатическими явлениями в малых и мельчайших районах могут существовать довольно большие различия; таким образом, внимание исследователей привлекли изменения климата в пределах города. Вертикальное распределение температуры над городом изучалось редко, и только в самое последнее время американские исследователи стали применять для получения более точных данных привязные аэростаты. Новый стимул развитию климатологии города, причем в совершенно ином направлении, дала биоклиматология. Она обратила внимание ученых на другие элементы климата и подчеркнула значение последних наряду с уже известными – температурой, влажностью, ветром и осадками. Так, прежде всего было более детально изучено влияние больших городов на жизненно важные факторами – солнечную и рассеянную радиацию, что явилось продолжением работ английских ученых, исследовавших образование тумана и зависимость его от содержания в воздухе твердых и газообразных примесей. Положение города влияет на климат, но это влияние представляет интерес лишь постольку, поскольку нужно установить, как разыгрывается на его фоне влияние как климат самого города – усиливается или уменьшается. Климат, свойственный данному населенному пункту, зависит от количества получаемой им лучистой энергии, от того, какая доля этой энергии и на

протяжении какого времени сохраняется и сколько ее излучается городом. Эти факты определяют остальные климатические различия между городом и сельской местностью. В непосредственной зависимости от прихода-расхода радиации находятся температурные условия города. [1]

2. Формирование базы данных и анализ ее качества

2.1. Выбор информации из архивов климатических данных

Для выполнения работы выбрана территория Республики Коми и в качестве исследуемых климатических характеристик среднемесячные температуры воздуха на 10 метеостанциях.

Многолетние ряды климатических характеристик получены со следующих сайтов:

- Российский сайт «Погода и климат»
<http://www.pogodaiklimat.ru/history.php?id=ru®ion=23>; [2]

- сайта Королевского метеорологического института Нидерландов
<http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> д - сайт ВНИИГМИ-МЦД [5]

Для представления метеостанций на карте сформирован геоинформационный слой координат станций с помощью ГИС MapInfo из файла метаданных, содержащего код метеостанции, название, широту и долготу. Расположение метеостанций показано на рис.2.1.

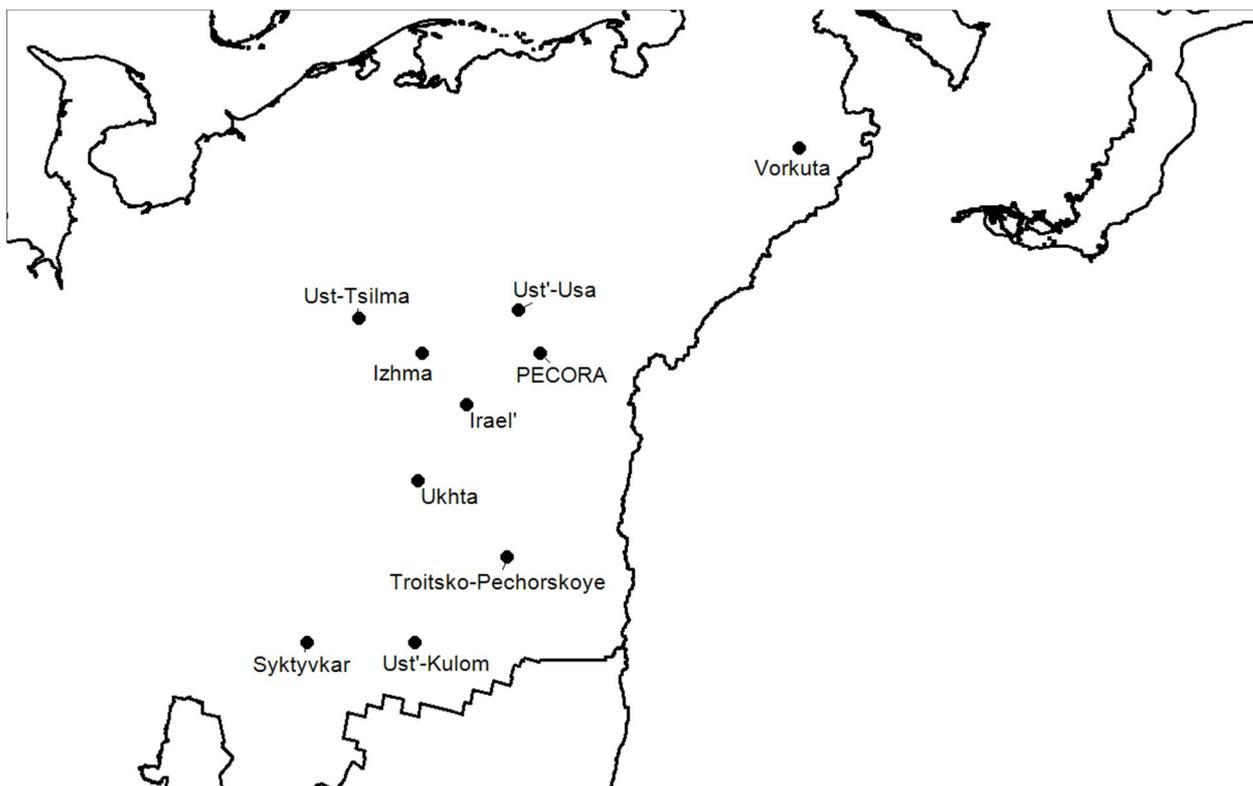


Рис.2.1. Расположение метеостанций на территории Республики Коми

В результате были сформированы 1 региональная БД по температурам воздуха. Средствами СУБД ПК «Гидрорасчеты» получены информационные характеристики сформированной региональной БД температур воздуха на метеостанциях Республики Коми, которые приведены в Табл.2.1

Таблица 2.1
 Названия, координаты и продолжительности рядов наблюдений за
 среднемесячными температурами воздуха

код	наименование	широта	долгота	период	кол-во
23226	Vorkuta	67,5	64	1946-2017	72
23405	Ust-Tsilma	65,5	52,2	1889-2017	129
23412	Ust'-Usa	65,6	56,5	1903-2017	115
23418	PECORA	65,1	57,1	1952-2017	66
23503	Izhma	65	53,9	1969-2017	49
23514	Irael'	64,5	55,1	1949-2017	69

23606	Ukhta	63,6	53,8	1946-2017	72
23711	Troitsko-Pechorskoye	62,7	56,2	1888-2017	130
23803	Ust'-Kulom	61,7	53,7	1924-2017	94
23804	Syktyvkar	61,7	50,8	1888-2017	130

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод, что на большей части метеорологических станций на территории Республики Коми наблюдения температуры воздуха производились с XX века, а на некоторых с конца XIX века. Длина рядов меняется от 48 лет (Ижма, 1969-2017) до 129 лет (Сыктывкар, 1888-2017).

2.2. Оценка однородности и стационарности многолетних рядов температуры воздуха.

2.2.1. Теоретические положения

Наблюденные и приведенные к многолетнему периоду ряды метеорологических характеристик могут содержать отдельные неоднородные экстремумы или неоднородные средние и дисперсии отдельных частей ряда. Оценка однородности рядов наблюдений за метеорологическими характеристиками осуществляется на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ заключается в выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений. Для оценки статистической значимости однородности эмпирического распределения применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: критерии Диксона и Смирнова-Граббса. Существуют три основные причины такой неоднородности:

- а) резко отклоняющиеся метеорологические величины имеют особые условия формирования, например, сформированы тайфунами, ураганами и т.д.;
- б) 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;
- в) резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

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

Особенность критериев оценки однородности состоит в том, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции. В тоже время эмпирические распределения гидрометеорологических характеристик могут иметь асимметрию, и в ряде случаев, во временных рядах может иметь место статистически значимая автокорреляция между смежными членами ряда ($r(1)$). Для учета таких особенностей гидрометеорологической информации были проведены работы по расширению таблиц статистических критериев наиболее часто применяемых в гидрометеорологии (Смирнова-Граббса, Стьюдента, Фишера).

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) и для минимального (Y_1) рассчитываются по формуле:

$$G_n = \frac{(Y_n - Y_{cp})}{\sigma_y} \quad (2.1)$$

$$G_1 = \frac{(Y_{cp} - Y_1)}{\sigma_y} \quad (2.2)$$

где:

- Y_n – максимальный член ранжированной последовательности
- Y_1 – минимальный член ранжированной последовательности
- Y_{cp} – среднее значение анализируемой выборки
- σ_y – среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки:

$$Y_{cp} = \sum \frac{Y_i}{n} \quad (2.3)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum (Y_i - Y_{cp})^2}{(n - 1)} \quad (2.4)$$

где:

- σ_y^2 – Дисперсия
- N – объем выборки
- Y_i – значения анализируемой выборки

Оценка однородности по критериям состоит в сравнении расчетного значения статистики критерия, полученной по эмпирическим данным, с его критическим значением из таблиц при заданном уровне значимости (α), объеме выборки (n), коэффициентах автокорреляции ($r(1)$) и асимметрии (C_s). Уровень значимости обычно задается равным 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95%. В результате гипотеза однородности может быть принята в том случае, если расчетное значение статистики меньше соответствующего критического. Критическое значение статистик критерия Смирнова-Граббса определяются из таблиц.

Коэффициенты асимметрии (C_s) и автокорреляции ($r(1)$) рассчитываются по следующим формулам:

$$C_s = \frac{(Y_i - Y_{cp})^3}{n\sigma^3} \quad (2.5)$$

$$r(1) = \frac{\sum (Y_i - Y_{cp_1})(Y_{i+1} - Y_{cp_2})}{n\sigma_1\sigma_2} \quad (2.6)$$

Или (2.6')

$$r(1) = \frac{\sum (Y_i - Y_{cp_1})(Y_{i+1} - Y_{cp_2})}{\sqrt{\left(\sum (Y_i - Y_{cp_1})^2 \sum (Y_{i+1} - Y_{cp_2})^2\right)}}$$

$$Y_{cp_1} = \sum_2^n \left(\frac{Y_i}{n}\right), \quad Y_{cp_2} = \sum_1^{n-1} \left(\frac{Y_i}{n}\right) \quad (2.6'')$$

где:

C_s – коэффициенты асимметрии,

$r(1)$ – автокорреляции.

После вычисления C_s и $r(1)$ необходимо оценить их статистическую значимость. С учетом удвоенной стандартной случайной погрешности (σ_{Par}) значение любого параметра (Par) будет находиться внутри доверительного интервала:

$$Par - 2\sigma_{par} \leq Par \leq Par + 2\sigma_{par} \quad (2.7)$$

σ_{par} – стандартная случайная погрешность

Если этот интервал не включает нулевое значение, то параметр является статистически значимым. Случайные погрешности основных параметров распределения вычисляются по формулам:

$$\sigma_{Y_{cp}} = \frac{\sigma}{\sqrt{(n-1)}} \quad (2.7')$$

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{(2n-1)}} \quad (2.7'')$$

$$\sigma_{Cs} \approx \sqrt{\left(\frac{6}{n}\right)} \quad (2.7''')$$

$$\sigma_{r(1)} \approx \frac{(1-r(1)^2)}{\sqrt{n}} \quad (2.7''')$$

Для практической оценки статистической значимости коэффициента автокорреляции, который характеризует также и отличие структуры временного ряда от случайной структуры, можно использовать статистику t-распределения:

$$t = \frac{r(1) * \sqrt{(n-2)}}{\left(\sqrt{(1-r(1)^2)}\right)} \quad (2.8)$$

сп-2 степенями свободы.

При оценке стационарности средних значений и дисперсий для последовательных частей ряда применяются критерии Стьюдента и Фишера, также обобщенные для особенностей гидрометеорологической информации. Анализ по этим критериям осуществляется после того, как проведена оценка на отсутствие резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на значения средних значений и особенно дисперсий. Для оценки стационарности дисперсий и средних значений соответственно по критериям Фишера и Стьюдента временной ряд разбивается на две или несколько подвыборок одинаковой или разной длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности. По каждой подвыборке вычисляются значения средних (Y_{cpj}) и дисперсий (σ_j^2) которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$F = \frac{\sigma_j^2}{\sigma_{j+1}^2} \quad (2.9)$$

при $\sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2$

где;

σ_j^2 – дисперсия подвыборки j объемом n_1

σ_{j+1}^2 – дисперсия подвыборки $j+1$ объемом n_2

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

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

При объемах выборок n_1 и n_2 больше или равных 25 членам ряда можно использовать классическое F-распределение для нормально распределенных независимых случайных величин с новыми степенями свободы, которые зависят от автокорреляции и асимметрии и определяются по формулам:

$$n_{1F} = \frac{n_1 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^{2n_1}}{n_1(1-r^2)} \right]} \quad (2.10)$$

$$n_{2F} = \frac{n_2 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^{2n_2}}{n_2(1-r^2)} \right]} \quad (2.11)$$

где:

G – коэффициент, учитывающий влияние асимметрии исходной

совокупности

R – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда

Критические значения статистик F-распределения для нормально распределенных независимых случайных величин при $\alpha = 5\%$ приведены в таблицах.

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента для оценки стационарности двух средних значений последовательных подвыборок определяется по формуле:

$$t = \frac{Y_{cp1} - Y_{cp2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}} \quad (2.12)$$

где:

- T – Критерия Стьюдента
- Y_{cp1} и Y_{cp2} – средние значения двух последовательных выборок
- σ_1^2 и σ_2^2 – дисперсии двух последовательных выборок
- n_1 и n_2 – объемы выборок

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

$$t'_6 = C_t * t_6 \quad (2.13)$$

где:

- t'_6 – критическое значение статистики Стьюдента при наличии автокорреляции
- t_6 – критическое значение статистики Стьюдента для случайной совокупности

C_t – переходный коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента автокорреляции

Оценка стационарности по критерию Стьюдента осуществляется также путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости гипотеза об однородности (стационарности) не отклоняется. [7,8,11]

2.2.2. Результаты оценки однородности и стационарности

По формулам (2.1) и (2.2) были вычислены расчетные значения статистик Смирнова-Граббса, которые приведены в таблице 2.2 для температуры воздуха, а критические значения были получены из таблиц при имеющемся объеме ряда наблюдений, вычисленным значениям коэффициентов асимметрии и автокорреляции и принятом уровне значимости 5%.

Таблица 2.2

Результаты оценки однородности эмпирических распределений температур воздуха по критерию Смирнова-Граббса на резко отклоняющиеся экстремумы (максимумы и минимумы) для месяцев январь, апрель, октябрь и июль.

код	наименование	max	min	max	min	Max	min	max	min
		январь		апрель		июль		Октябрь	
23226	Vorkuta	+	+	+	+	+	+	+	+
23405	Ust-Tsilma	+	+	+	+	+	+	+	-
23412	Ust'-Usa	+	+	+	+	+	+	+	-
23418	PECORA	+	+	+	+	+	+	+	-
23503	Izhma	-	+	+	-	+	+	+	-
23514	Irael'	+	+	+	+	+	+	+	+
23606	Ukhta	+	+	+	+	+	+	+	+
23711	Troitsko-Pechorskoye	+	+	+	+	+	+	+	-
23803	Ust'-Kulom	+	+	+	+	+	+	+	+

23804	Syktyvkar	+	+	+	+	+	+	+	+
-------	-----------	---	---	---	---	---	---	---	---

Результаты оценки однородности по Смирнова – Граббса, показывают, что все станции кроме станции Ижма в январе являются однородными. В июле все станции являются однородными. Результаты оценки однородности по Смирнова – Граббса, показывают, что наиболее неоднородными (25% из всех станций) являются эмпирические распределения октября. В апреле все станции, кроме станции Ижма являются однородными.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений многолетний ряд наблюдений вначале был разбит на две равные части или подвыборки. Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии. По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера и Стьюдента (формулы (9) и (12)), которые приведены в таблице 2.3 для температуры.

Таблица 2.3

Результаты оценки стационарности температур воздуха по критериям Фишера и Стьюдента.

Код	наименование	Ф	Ст	Ф	Ст	Ф	Ст	Ф	Ст
		Январь		Апрель		Июль		Октябрь	
23226	Vorkuta	+	+	+	+	+	+	+	-
23405	Ust-Tsilma	+	+	+	+	+	-	+	+
23412	Ust'-Usa	+	+	+	+	+	+	+	+
23418	PECORA	+	+	+	+	-	+	+	-
23503	Izhma	-	+	+	+	+	+	+	+
23514	Irael'	+	+	+	+	+	+	+	-
23606	Ukhta	+	+	+	+	+	+	+	-
23711	Troitsko-Pechorskoye	+	+	+	+	+	-	+	+
23803	Ust'-Kulom	+	+	+	+	+	+	+	+
23804	Syktyvkar	+	+	+	+	+	-	+	+

Результаты оценки стационарности по критериям Фишера и Стьюдента показывают, что температура на станции Ижма является нестационарной по критерию Фишера, а все станции стационарны по критерию Стьюдента для января. Для июля на станции Печора температура является нестационарной по критерию Фишеру, а на станциях (Усть-Цильма, Троицко-Печорское, Сыктывкар) являются нестационарными по критерию Стьюдента. Для апреля все станции стационарны по критерию Фишера и все станции стационарны по критерию Стьюдента. Для октября все станции стационарны по критерию Фишера, а на станциях (Воркута, Печора, Ираёль, Ухта) являются нестационарными по критерию Стьюдента.

В таблицах 2.2-2.3 знаком «+» представлен вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности, а знаком «-» об отклонении гипотезы.

Проведенное исследование по оценке однородности и стационарности с помощью статистических критериев является предварительным этапом, который позволяет оценить имеются ли в рядах статистически значимые изменения при формальном разделении ряда на две равные части. В результате такого исследования в основном получено, что температура в больше степени являются стационарными.

Хронологические графики стационарных (по Стьюденту), наиболее продолжительных рядов наблюдений температуры воздуха из 10 рассматриваемых станций показаны на Рис.2.2 – 2.11.

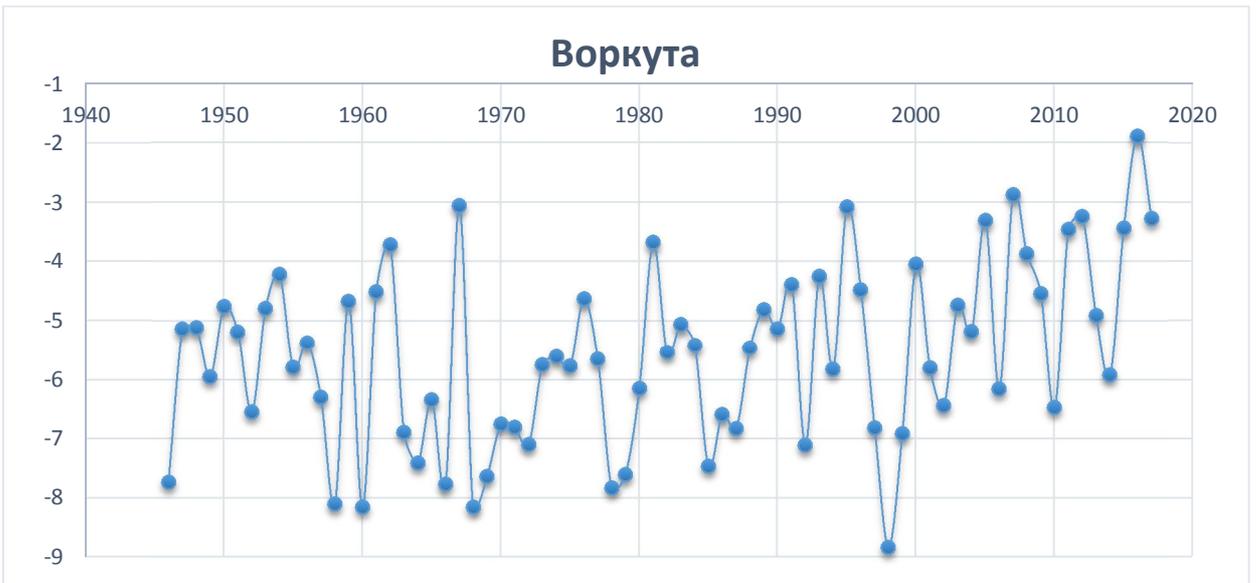


Рис.2.2. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Воркута.

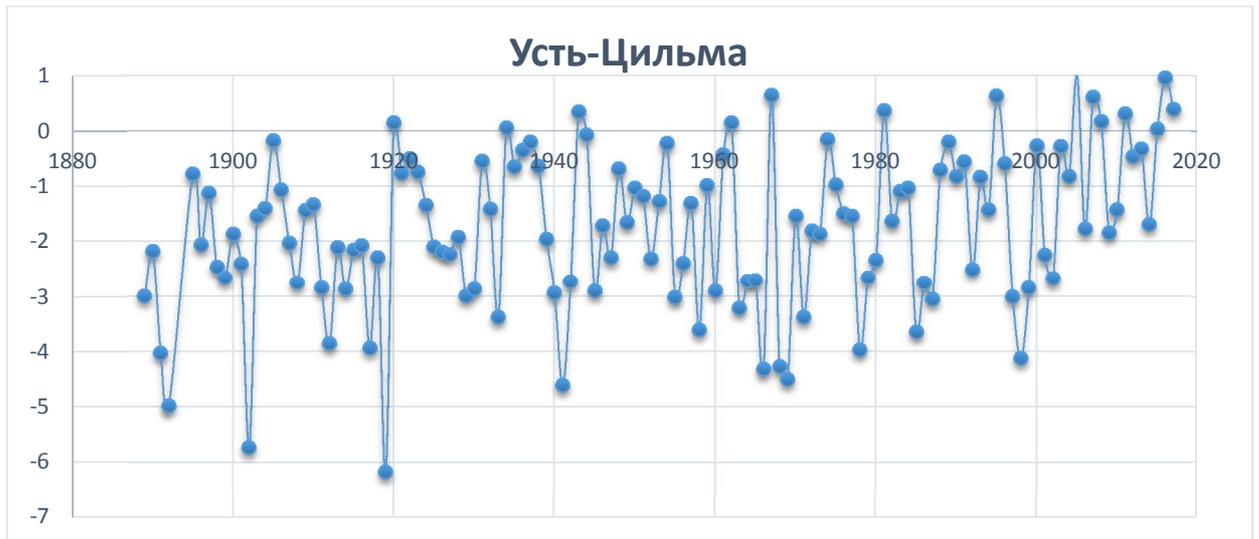


Рис.2.3. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Усть-Цильма.

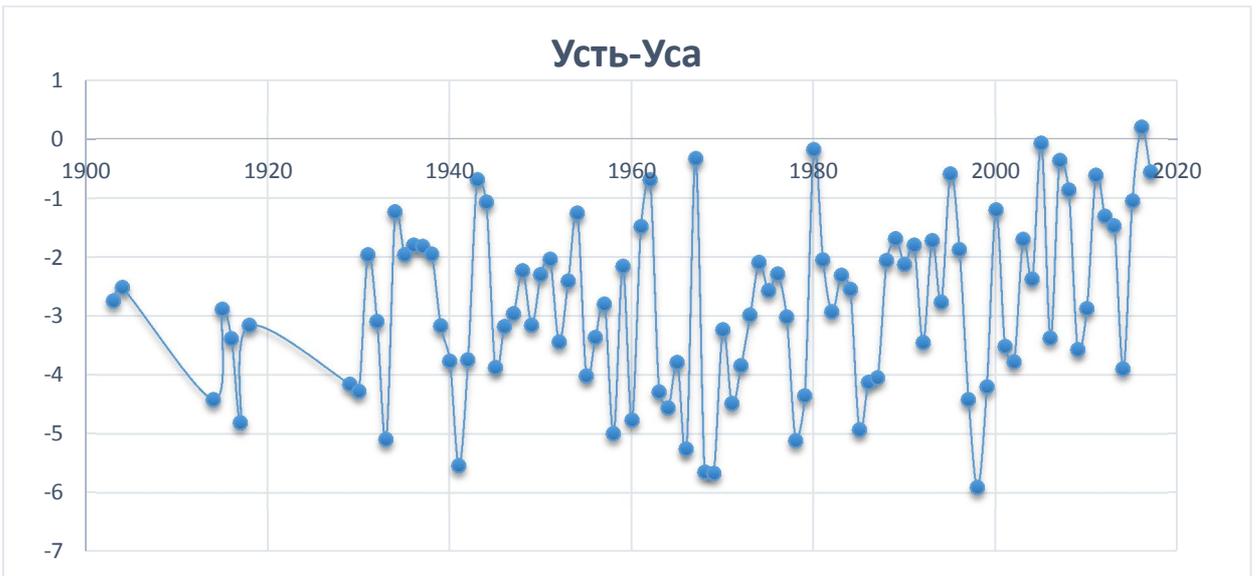


Рис.2.4. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Усть-Уса.



Рис.2.5. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Печора.



Рис.2.6. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Ижма.



Рис.2.7. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Ираёль.

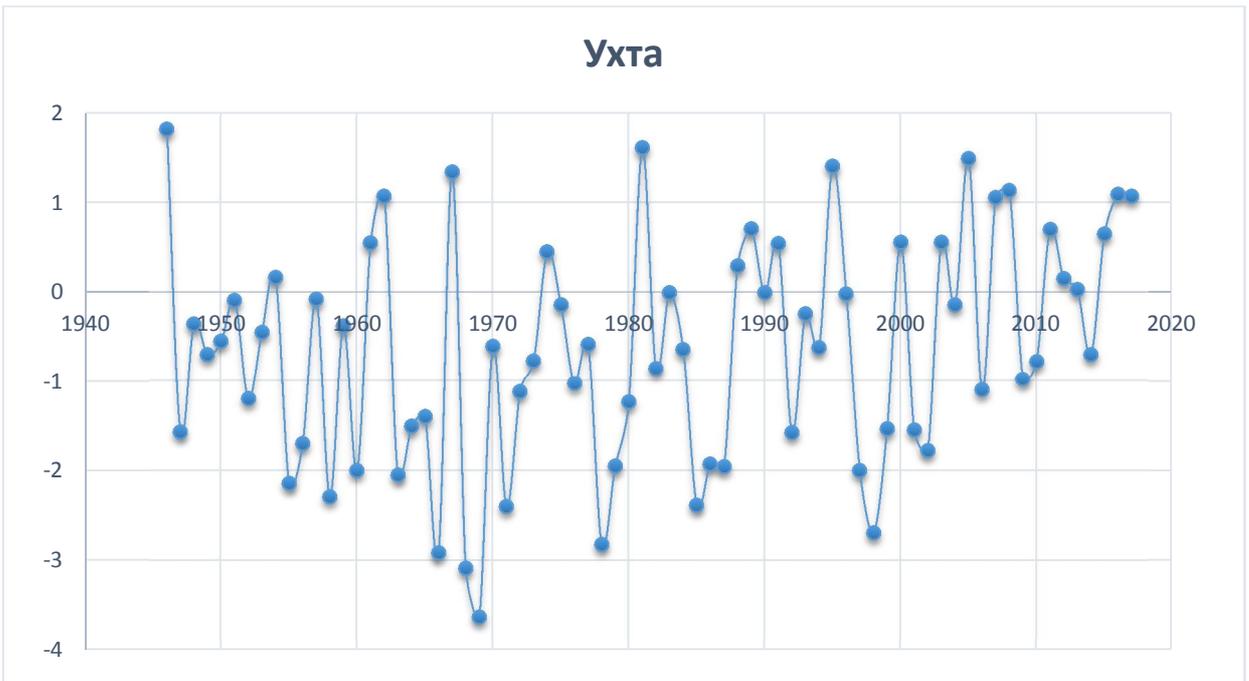


Рис.2.8. Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Ухта.



Рис.2.9 Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Троицко-Печорское.

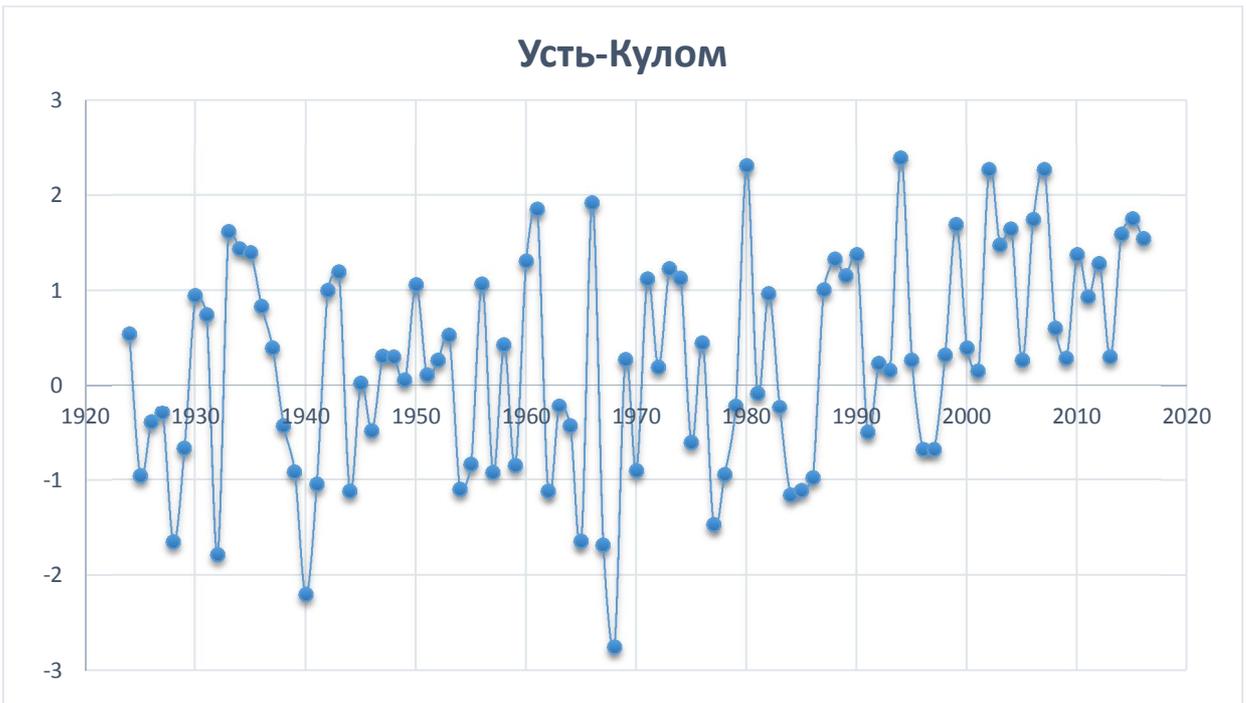


Рис.2.10 Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Усть-Кулом.

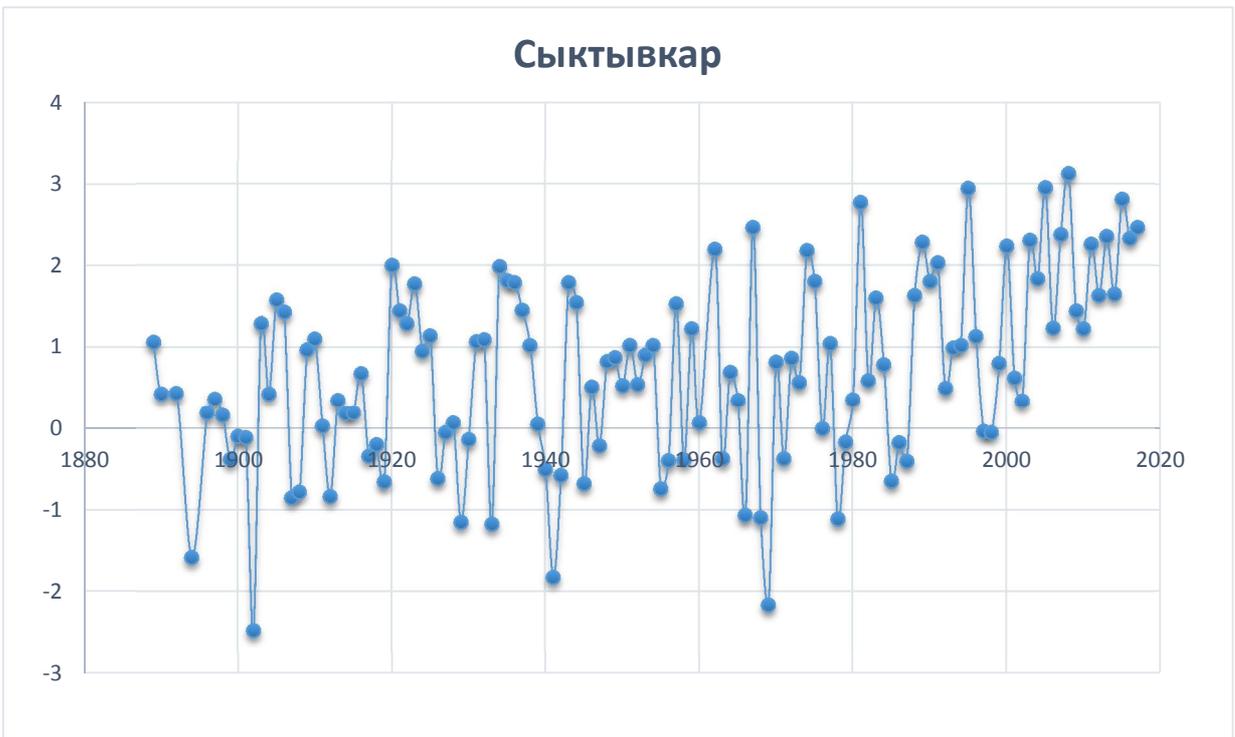


Рис.2.11 Ряд наблюдений за среднегодовой температурой воздуха на метеостанции Сыктывкар.

Визуальный анализ графиков и его сопоставление с оценками по статистическим критериям позволили сделать следующие выводы:

- даже наиболее продолжительные ряды имеют пропуски наблюдений, которые необходимо восстанавливать для получения надежных моделей временных рядов;
- заметное увеличение температуры в последние годы имеет место практически на всех метеостанциях, но начало этого роста приходится на разные годы и сам рост температуры разный по величине;
- рост температуры в последние годы практически не фиксируется статистическими критериями стационарности Фишера и Стьюдента при формальном разбиении ряда на две равные части;

2.3. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду

2.3.1. Теоретические положения.

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

Последовательность приведения к многолетнему периоду состоит в следующем:

- все уравнения, удовлетворяющие условиям эффективности, располагаются в порядке убывания коэффициентов корреляции;
- восстанавливаются погодичные значения метеорологической характеристики приводимого пункта за период совместных наблюдений в

пунктах-аналогах по уравнению с наибольшим значением коэффициента корреляции;

- далее используются уравнения регрессии, коэффициенты, корреляции которых меньше предыдущего, но больше всех остальных;

- поэтапное восстановление погодичных значений метеорологической характеристики продолжается до тех пор, пока не будут использованы все уравнения регрессии, отвечающие условиям эффективности.

Уравнение множественной линейной регрессии, по которому осуществляется восстановление, имеет следующий вид:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_j Y_j + \dots + k_l Y_l \quad (3.14)$$

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 однофакторной зависимости:

$$Y = k_1 X + k_0 \quad (3.14')$$

$$k_1 = \frac{(\sum (Y_i - Y_{cp})(X_i - X_{cp}))}{(\sum (X_i - X_{cp}))^2} \quad (3.14'')$$

$$k_0 = Y_{cp} - k_1 X_{cp} \quad (3.14''')$$

Восстановленные данные, полученные по уравнению (3.14) на основе метода наименьших квадратов (МНК) имеют систематически заниженную

дисперсию. Исключение систематической смещенности дисперсии восстановленных данных осуществляется путем введения поправки в восстановленные значения метеорологической характеристики, в результате которой несмещенные восстановленные величины определяются по следующей формуле:

$$Q_i = (Q_i - \bar{Q}_n) / R + \bar{Q}_n \quad (3.15)$$

Где;

Q_i – значения восстановленных метеорологических характеристик,

\bar{Q}_n – среднее значение приводимого ряда за совместный с пунктом - аналогом период,

R – коэффициент корреляции [7,8,11]

2.3.2 Результаты восстановления данных

По представленной в 2.3.1 методике было осуществлено восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов наблюдений за температурой воздуха к многолетнему периоду с заданным минимальным коэффициентом корреляции $R=0.85$ и результаты приведены в Табл.2.4 для января, в Табл.2.5 – для июля, в Табл.2.6 – для апреля, в Табл.2.7 – для октября.

Таблица 2.4

Результаты оценки эффективности восстановления среднемесячных температур января

Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Средн. погр. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх.ряда	Средн. восст.ряда	Критерий Стьюдента
23226	Vorkuta	72	56	2	1	-20	-20	1
23405	Ust-Tsilma	123	6	2	2	-17	-17	0
23412	Ust'-Usa	94	35	1	1	-18	-20	1
23418	PECORA	66	63	1	1	-19	-19	0
23514	Irael'	68	61	1	1	-18	-18	0
23606	Ukhta	71	58	1	1	-17	-17	0
23711	Troitsko-Pechorskoye	126	3	1	6	-18	-20	1
23803	Ust'-Kulom	94	35	1	2	-16	-17	1
23804	Syktyvkar	126	3	1	12	-15	-13	-1

В результате расчетов были восстановлены пропуски и удлинены ряды среднемесячных температуры января и средний период наблюдений был увеличен с 84 лет до 116 лет. Таким образом, температуры января были восстановлены на 9 станциях. Ряды некоторых станций были существенно удлинены, а в некоторых станциях ряды незначительно удлинены.

Таблица 2.5

Результаты оценки эффективности восстановления среднемесячных температур июля

Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Средн. погр. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх.ряда	Средн. восст.ряда	Критерий Стьюдента
23226	Vorkuta	72	54	1	2	13	12	1
23405	Ust-Tsilma	123	7	1	3	15	15	0
23412	Ust'-Usa	94	35	1	2	15	14	1
23418	PECORA	66	64	0	1	16	15	2
23503	Izhma	37	93	1	1	16	15	1
23514	Irael'	68	62	0	1	16	15	2
23606	Ukhta	72	58	0	2	16	16	1
23711	Troitsko-Pechorskoye	127	3	1	2	16	17	-1
23803	Ust'-Kulom	94	36	0	1	17	17	1
23804	Syktyvkar	127	3	1	2	17	16	1

В результате расчетов были восстановлены пропуски и удлинены ряды среднемесячных температуры июля, с коэффициентом корреляции 0,6. Таким образом, данные для июля были восстановлены на 10 станциях из общего числа 10. Ряды некоторых станций были существенно удлинены, например, станция Ижма была удлинена на 93 года (37 факт. лет).

Таблица 2.6

Результаты оценки эффективности восстановления среднемесячных температур апреля

Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Средн. погр. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх.ряда	Средн. восст.ряда	Критерий Стьюдента
23226	Vorkuta	72	57	1	2	-9	-10	1
23405	Ust-Tsilma	123	7	1	2	-2	-4	1
23412	Ust'-Usa	95	35	1	1	-4	-5	1
23418	PECORA	66	64	1	1	-3	-3	0
23503	Izhma	38	92	1	1	-2	-2	0
23514	Irael'	68	62	0	2	-2	-2	1
23606	Ukhta	72	58	0	1	0	-1	1
23711	Troitsko-Pechorskoye	128	2	1	1	0	-1	1
23803	Ust'-Kulom	94	36	0	1	1	1	0
23804	Syktyvkar	129	1	1	-1000	1	-1000	-1000

В результате расчетов были восстановлены пропуски и удлинены ряды среднемесячных температуры апреля. Таким образом, данные для апреля были восстановлены на 10 станциях из общего числа 10. Ряды некоторых станций были существенно удлинены, например, станция Ижма была удлинена на 92 года (38 факт. лет).

Таблица 2.7

Результаты оценки эффективности восстановления среднемесячных температур октября

Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Средн. погр. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх.ряда	Средн. восст.ряда	Критерий Стьюдента
23226	Vorkuta	72	58	1	1	-4	-4	1
23405	Ust-Tsilma	125	5	1	3	-1	-2	1
23412	Ust'-Usa	96	34	0	1	-2	-3	2
23418	PECORA	66	64	0	1	-1	-1	0
23503	Izhma	39	57	2	1	-2	-1	-1
23514	Irael'	69	61	0	1	-1	-2	1
23606	Ukhta	72	58	0	1	0	-1	1
23711	Troitsko-Pechorskoye	126	4	0	1	-1	0	-1
23803	Ust'-Kulom	94	36	0	2	0	-1	2
23804	Syktvykar	129	1	1	-1000	1	-1000	-1000

В результате расчетов были восстановлены пропуски и удлинены ряды среднемесячных температуры октября. Таким образом, данные для октября были восстановлены на 10 станциях из общего числа 10. Ряды некоторых станций были существенно удлинены, например, станция Ижма была удлинена на 57 года (39 факт. лет).

В целом большая эффективность восстановления оказалась для среднемесячных температур июля, апреля, октября, которая была восстановлена на станции Ижма с высоким коэффициентом корреляции.

3. Оценка климатических изменений многолетних рядов температуры

3.1. Теоретические положения

Климат подразумевает условие стационарности за какой-либо промежуток времени. Так в настоящее время определение климатических норм рекомендуется ВМО за период 1961-1990 гг. за который средние значения допускаются стационарными. Поэтому стационарная модель является основополагающей для климатологии и все остальные виды моделей необходимо сравнивать и сопоставлять с ней.

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть двух основных видов:

- монотонные изменения в виде тренда,
- ступенчатые изменения, характеризующие переходы от одного стационарного состояния к другому.

Моделирование временных рядов включает три основные стадии:

- расчет параметров моделей;
- оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной;
- оценка статистической значимости нестационарных моделей по отношению к стационарной.

Параметрами стационарной модели являются среднее значение (Y_{cp}) и среднеквадратическое отклонение (σ), определяемые по ряду наблюдений.

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

$$\begin{aligned} Y_{1cp} &= \text{const1}, & Y_{2cp} &= \text{const1}, \\ \sigma_1 &= \text{const1}, & \sigma_2 &= \text{const2} \end{aligned} \quad (3.1)$$

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

$$SS = \sum_1^{n1} (Y_i - Y_{1cp})^2 + \sum_{n1+1}^n (Y_i - Y_{2cp})^2 = \min \quad (3.2)$$

где $n1, n2$ - объемы каждой из двух частей временного ряда; SS - общая сумма квадратов отклонений.

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели для одной ступени и двух стационарных интервалов определяется по формуле:

$$\sigma_{ступ} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}} \quad (3.3)$$

Где $\sigma_{ступ}$ - стандартное отклонение остатков модели ступенчатых изменений;
 σ_1, σ_2 - стандартные отклонения стационарных отрезков временного ряда;
 n_1, n_2 – объемы стационарных отрезков.

Модель линейного тренда выражается следующим уравнением:

$$Y(t) = b_1 t + b_0, \quad (3.4)$$

где t – время; b_1, b_0 – коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов (МНК):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}, \quad (3.5)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (3.6)$$

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (2.4), который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (3.7)$$

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

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков вычисляется по формуле:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2} \quad (3.8)$$

где: σ_y - стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего);

σ_ε - стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда;

R - коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

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

$$\Delta_{mp} = \left(\frac{\bar{b}y - \bar{b}\varepsilon}{\bar{b}y} \right) * 100\% \quad , \quad (3.9)$$

$$\Delta_{cmyн} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{cmyн}}{\sigma_y} \right) * 100\% \quad , \quad (3.10)$$

где: $\Delta_{тр}$, $\Delta_{ступ}$ – относительные погрешности или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки;
 σ_y , σ_ε , $\sigma_{cmyн}$ – стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.

Следующее теоретическое положение состоит в том насколько полученное преимущество той или иной модели относительно базовой (стационарной) является статистически значимым. Для оценки статистической значимости монотонных (трендовых) и ступенчатых изменений во временных рядах применяется критерий Фишера, количественно показывающий, насколько статистически значимо отличаются остаточные дисперсии выбранных моделей от дисперсии временного ряда (стационарной модели). Статистики критерия Фишера для каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам:

$$F_{TP} = \frac{\sigma^2_Y}{\sigma^2_\varepsilon} \quad , \quad (3.11)$$

$$F_{\text{стун}} = \frac{\sigma^2_{\gamma}}{\sigma^2_{\text{стун}}} \quad (3.12)$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, т.к. она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели. В случае если расчетное значение статистики Фишера оказывается больше критического, то дисперсии двух моделей имеют статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки. [7,8]

3.2. Оценка климатических изменений в теплый период на примере июля

На основе методики раздела 3.1 были осуществлены расчеты характеристик стационарной и нестационарной моделей для среднемесячных температур июля на 10 метеостанциях Республики Коми.

Таблица 3.1

Характеристики моделей временных рядов для температур воздуха июля за весь период наблюдений.

Станция	тр,%	ступ,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
23226	1,8	1,8	1,04	1,48	1956	1946	2017	72	0,19
23405	2,9	4,6	1,54	3,17	1952	1890	2017	123	0,24
23412	2,5	4,3	1,35	2,72	1952	1904	2017	94	0,22
23418	0	0,7	1,75	-0,97	1965	1952	2017	66	0
23503	0	0,6	1,38	0,66	1988	1969	2017	37	-0,03
23514	0,7	2,2	1,2	1,72	1998	1949	2017	68	0,12
23606	2	3,7	1,36	1,92	1959	1946	2017	72	0,2
23711	1	2,1	1,16	2,35	1998	1888	2017	127	0,14
23803	2,2	3,3	1,23	2,5	1998	1924	2017	94	0,21
23804	0,9	3	1,11	2,78	1998	1888	2017	127	0,14

Анализ характеристик моделей временных рядов для среднемесячных температур июля за весь период наблюдений показывает, что статистически не эффективными оказываются модели для всех 10 станций в виде ступенчатых изменений и модель линейного тренда является не эффективной для 10 станций.

3.3 Оценка климатических изменений в холодный период на примере января.

На основе методики раздела 3.1 были осуществлены расчеты характеристик стационарной и нестационарной моделей для среднемесячных температур января на 10 метеостанциях и результаты приведены в Табл.3.2.

Таблица 3.2

Характеристики моделей временных рядов для температур воздуха января за весь период наблюдений

Станция	тр,%	ступ,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
23226	0,1	2,9	2,54	-1,79	1963	1946	2017	72	-0,04
23405	0	1	1,58	1,35	1920	1890	2017	123	0,01
23412	0,2	2,1	1,42	-1,85	1963	1904	2017	94	-0,06
23418	0	3,5	4,98	-1,42	1963	1952	2017	66	0,01
23503	2,1	2,9	2,22	-1,29	1985	1969	2017	37	-0,2
23514	0,2	2	2,23	-1,29	1963	1950	2017	68	0,06
23606	0,1	3,5	1,95	-1,77	1963	1947	2017	71	-0,05
23711	0,3	1,2	2,27	1,65	1915	1889	2017	126	0,08
23803	0,1	1,4	1,24	-1,49	1963	1924	2017	94	-0,04
23804	0,6	2	1,09	2,17	1993	1889	2017	126	0,11

Анализ характеристик моделей временных рядов для среднемесячных температур января за весь период наблюдений показывает, что статистически не эффективными оказываются модели для всех 10 станций в виде ступенчатых изменений и модель линейного тренда является не эффективной для 10 станций.

3.4. Оценка климатических изменений на примере апреля

На основе методики раздела 3.1 были осуществлены расчеты характеристик стационарной и нестационарной моделей для среднемесячных температур апреля на 10 метеостанциях и результаты приведены в Табл.3.3.

Таблица 3.3

Характеристики моделей временных рядов для температур воздуха апреля за весь период наблюдений

Станция	тр,%	ступ,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
23226	0	5,5	7,05	-1,83	1956	1946	2017	72	-0,01
23405	0,2	2,1	1,01	2,22	2006	1890	2017	123	0,07
23412	0,2	2,9	1,01	2,27	2007	1904	2017	95	0,06
23418	1,1	3,2	1,03	1,95	2007	1952	2017	66	0,15
23503	2,2	3,8	1,08	1,51	2000	1970	2017	38	0,21
23514	0,1	1,3	1,23	1,25	2006	1950	2017	68	0,03
23606	0,3	2,1	1,78	-1,3	1956	1946	2017	72	0,07
23711	0,7	2,3	2,6	2,11	1903	1888	2017	128	0,12
23803	1,1	1,9	1,18	1,89	1990	1924	2017	94	0,15
23804	0,9	1,9	1,02	2,2	1983	1888	2017	129	0,13

Анализ характеристик моделей временных рядов для среднемесячных температур апреля за весь период наблюдений показывает, что статистически не эффективными оказываются модели для всех 10 станций в виде ступенчатых изменений и модель линейного тренда является не эффективной для 10 станций.

3.5. Оценка климатических изменений на примере октября

На основе методики раздела 3.1 были осуществлены расчеты характеристик стационарной и нестационарной моделей для среднемесячных температур октября на 10 метеостанциях и результаты приведены в Табл.3.4.

Таблица 3.4

Характеристики моделей временных рядов для температур воздуха октября за весь период наблюдений

Станция	тр,%	ступ,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
23226	2,6	6,5	1,18	2,9	1999	1946	2017	72	0,22
23405	1,3	3,4	1,06	2,84	1994	1889	2017	125	0,16
23412	0,3	3,4	1,11	2,47	1999	1903	2017	96	0,08
23418	4,3	7,2	1,16	2,73	1980	1952	2017	66	0,29
23503	0,6	2,2	1	1,2	2000	1969	2017	39	0,11
23514	3	6,5	1,26	2,61	1980	1949	2017	69	0,24
23606	2,9	6,1	1,6	2,63	1980	1946	2017	72	0,24
23711	1,6	3,4	1,15	2,86	1994	1888	2017	126	0,18
23803	0,7	4,4	1,21	2,75	1994	1924	2017	94	0,12
23804	2,5	3,4	1,13	2,91	1994	1888	2017	129	0,22

Анализ характеристик моделей временных рядов для среднемесячных температур октября за весь период наблюдений показывает, что статистически не эффективными оказываются модели для всех 10 станций в виде ступенчатых изменений и модель линейного тренда является не эффективной для 10 станций.

3.6. Оценка климатических изменений среднегодовых температур.

Результаты статистического моделирования среднегодовых температур воздуха приведены в Табл.3.5.

Таблица 3.5

Характеристики моделей временных рядов для среднегодовых температур воздуха за весь период наблюдений

Станция	тр,%	ступ,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
23226	7,4	11,9	1,48	4,28	2007	1946	2017	72	0,38
23405	4,6	6,1	1,01	3,89	2003	1889	2017	127	0,3
23412	3,6	7,7	1,23	3,86	2003	1903	2017	96	0,27
23418	5,7	8,2	1,14	3,18	2003	1952	2017	66	0,33
23503	1,7	2,6	2	1,69	1981	1969	2017	41	0,18

23514	1,2	4	1,09	2,25	2003	1949	2017	69	0,16
23606	2,6	6,2	1,1	2,85	2003	1946	2017	72	0,23
23711	3,3	4,7	1,16	2,84	1903	1888	2017	128	0,25
23803	5,4	7,4	1,27	3,54	1988	1924	2017	94	0,32
23804	7,6	12,8	1,35	5,97	2003	1889	2017	125	0,38

Анализ характеристик моделей временных рядов для среднегодовых температур за весь период наблюдений показывает, что эффективными оказываются модели ступенчатых изменений на 2 станциях (20% всех станций), а для модели линейного тренда не эффективными являются модели на всех станциях.

4. Пространственные изменения климатических характеристик

4.1. Картирование нестационарных моделей тренда и ступенчатых изменений

На рисунках 4.1-4.2 показаны пространственные распределения отклонений в % нестационарных моделей тренда и ступенчатых изменений от модели стационарной выборки для среднегодовых температур. Интерполяция представлена в виде TIN (Triangulation Irregular Network)-нерегулярной триангуляционной сети.

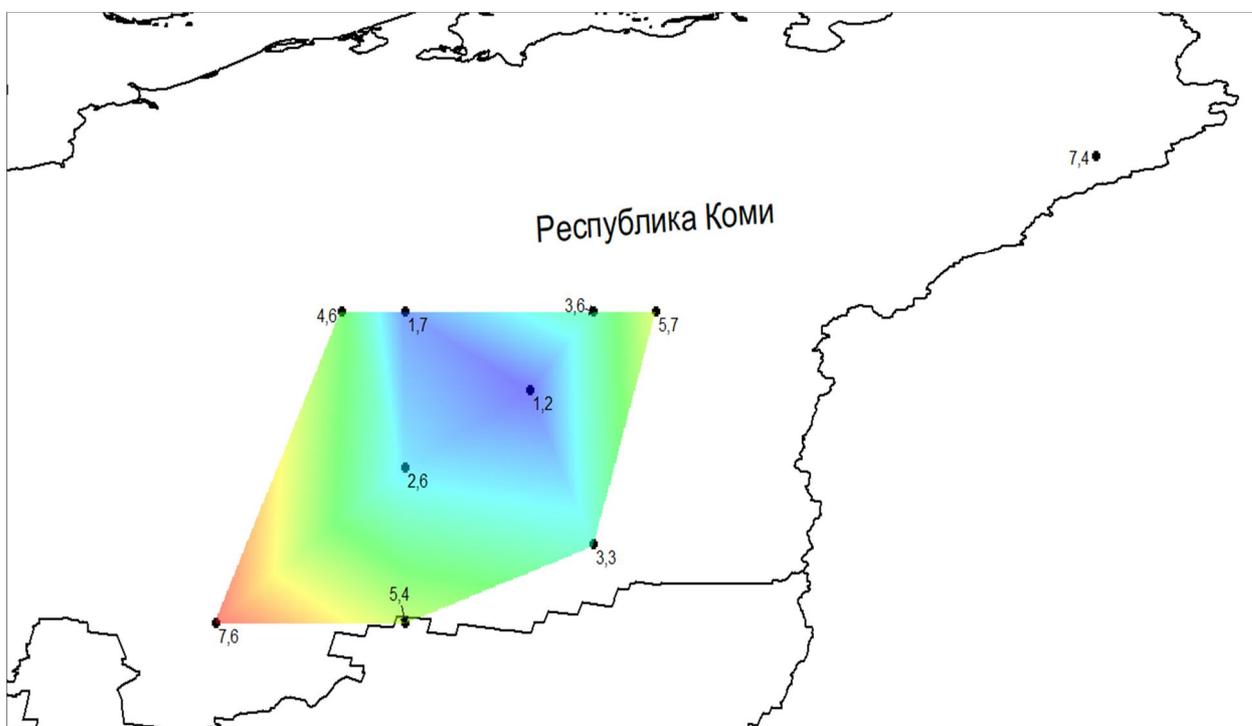


Рис.4.1. Пространственное распределение $\Delta_{tr}, \%$ для среднегодовых температур за весь период

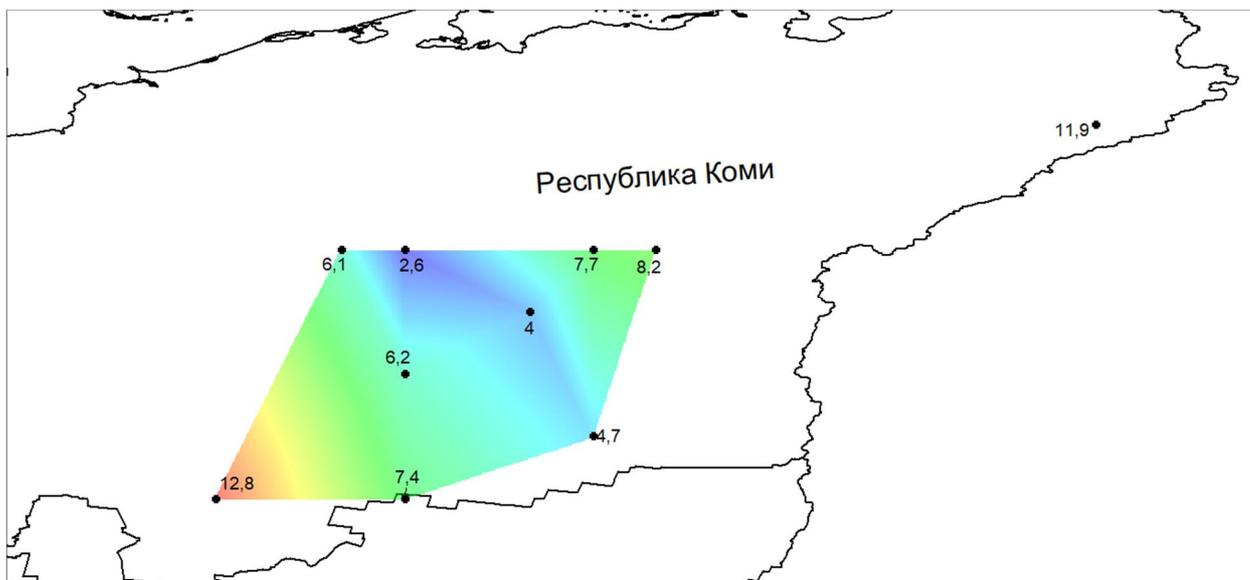


Рис.4.2. Пространственное распределение $\Delta_{ст},\%$ для среднегодовых температур за весь период

Из пространственного распределения отклонений от стационарной модели следует, что наибольшая площадь, занятая нестационарными моделями наблюдается для среднегодовых температур и нестационарные модели имеют место практически на некоторой территории Республики Коми. В целом можно считать, что нестационарные модели ступенчатого роста температур занимают около 20% рассматриваемой территории, а модели линейного тренда – вообще не наблюдалось на территории. Несмотря на то, что в январе и июле эффективных нестационарных моделей температур на территории Республики Коми не наблюдается, нестационарные модели среднегодовых температур имеют место на некоторой части территории республики. Этот результат можно объяснить тем, что среднегодовая температура является своеобразным математическим фильтром, который отфильтровывает (усиливает) слабый ежемесячный климатический «сигнал» за счет сглаживания больших по величине случайных составляющих каждого из 12 месяцев.

4.2. Расчет и картирование норм температур

В таблице 4.1 представлены вычисленные данные среднемесячных температур июля и января, как за весь период наблюдений, так и за период рекомендованный ВМО и за последние 30 лет. На рисунках 4.3, 4.4, 4.5 и 4.6 представлена пространственная интерполяция этих данных.

Таблица 4.1

Рассчитанные нормы температур для периода ВМО, за весь период наблюдений и за последний 30 лет

code	name	весь период				период ВМО				за посл. 30 лет				
		januar y	apri l	jule	octobe r	januar y	apri l	jule	octobe r	januar y	apri l	jule	octobe r	
2322 6	Vorkuta	-20,1	-9,1	12, 8	-4,2	-21,2	-	10, 3	13	-5,1	-19,9	-8,7	13, 3	-3,2
2340 5	Ust-Tsilma	-17,2	-2,4	14, 8	-0,9	-18,6	-3,2	15, 3		-1,4	-16,8	-1,5	15, 7	0
2341 2	Ust'-Usa	-18,3	-4,2	14, 5	-1,6	-19,9	-5,2	14, 9		-2,5	-18,2	-3,5	15, 3	-0,8
2341 8	PECORA	-19,0	-2,9	16, 1	-1,2	-20,3	-3,5	16, 1		-2	-18,6	-2,2	16, 2	-0,2
2350 3	Izhma	-18,2	-2,3	15, 5	-1,7	-17,4	-2,8	15, 7		-1,5	-19,1	-2,2	15, 5	-1,3
2351 4	Irael'	-17,7	-1,5	15, 6	-1,3	-18,9	-2,2	15, 7		-2	-17,1	-1,1	16	-0,4
2360 6	Ukhta	-17,0	-0,3	16, 1	-0,5	-18,1	-1	16, 4		-1,2	-16,7	0,1	16, 6	0,4
2371 1	Troitsko- Pechorskoye	-17,7	-0,3	16, 1	-0,7	-19	-0,7	16, 4		-1,2	-17,2	0,3	16, 8	0,3
2380 3	Ust'-Kulom	-16,2	0,9	16, 7	0,4	-17,6	0,5	17		-0,3	-15,9	1,5	17, 5	1,2
2380 4	Syktvykar	-15,2	1,3	16, 9	0,7	-16,7	1,1	17, 2		0,5	-14,1	2,1	17, 7	1,7

Из результатов таблицы следует, что нормы температур за весь период для июля меньше, чем нормы ВМО и отличаются в среднем на 0,4°C. Для января нормы температур за весь период меньше, чем нормы ВМО и

отличаются в среднем на 1,1 °С. Нормы температуры для июля за последние 30 лет больше, чем нормы ВМО и отличаются в среднем на 0,3 °С. Норма температуры для января за последние 30 лет меньше, чем нормы ВМО.

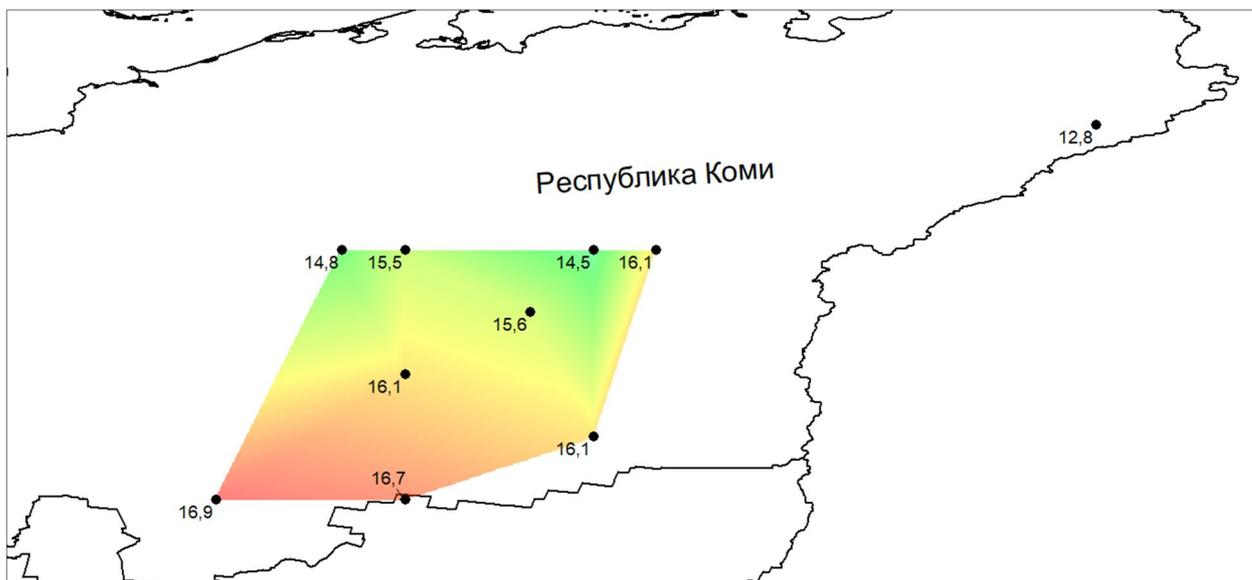


Рис.4.3.Нормы температур за весь период наблюдений для июля

В соответствии с Рис.4.3, на территории Республики Коми наблюдается общее повышение температур с севера - севера-запада на юг.

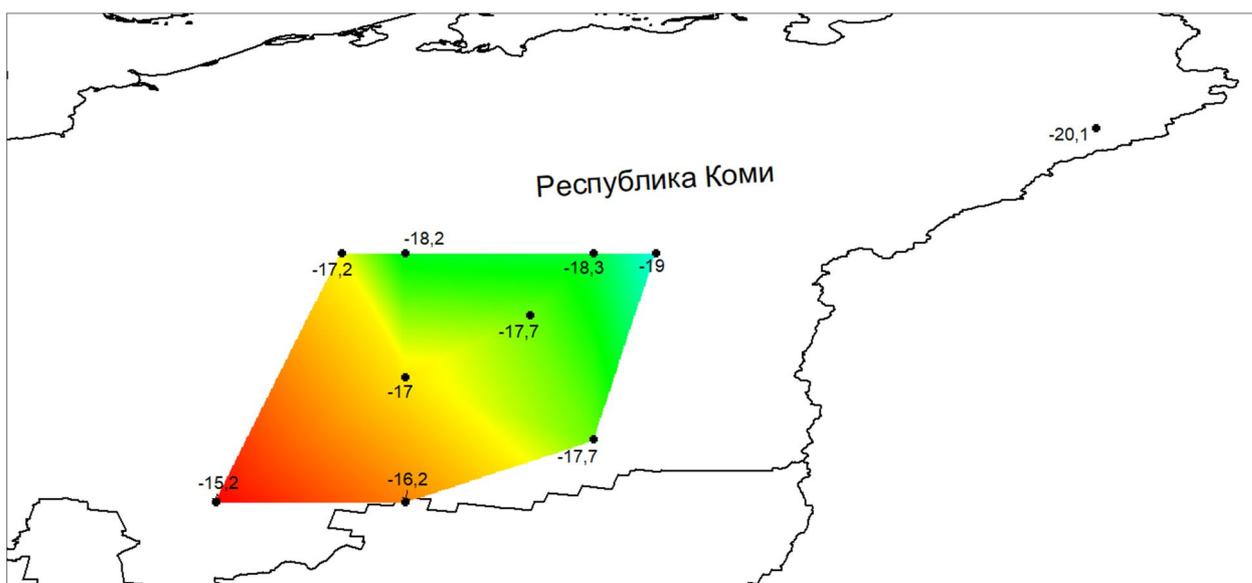


Рис.4.4.Нормы температур за весь период наблюдений для января

Как следует из Рис.4.4, имеет место общее понижение температур с юга – юго-запада на север – северо-восток, что обусловлено уменьшением угла падения солнечных лучей.

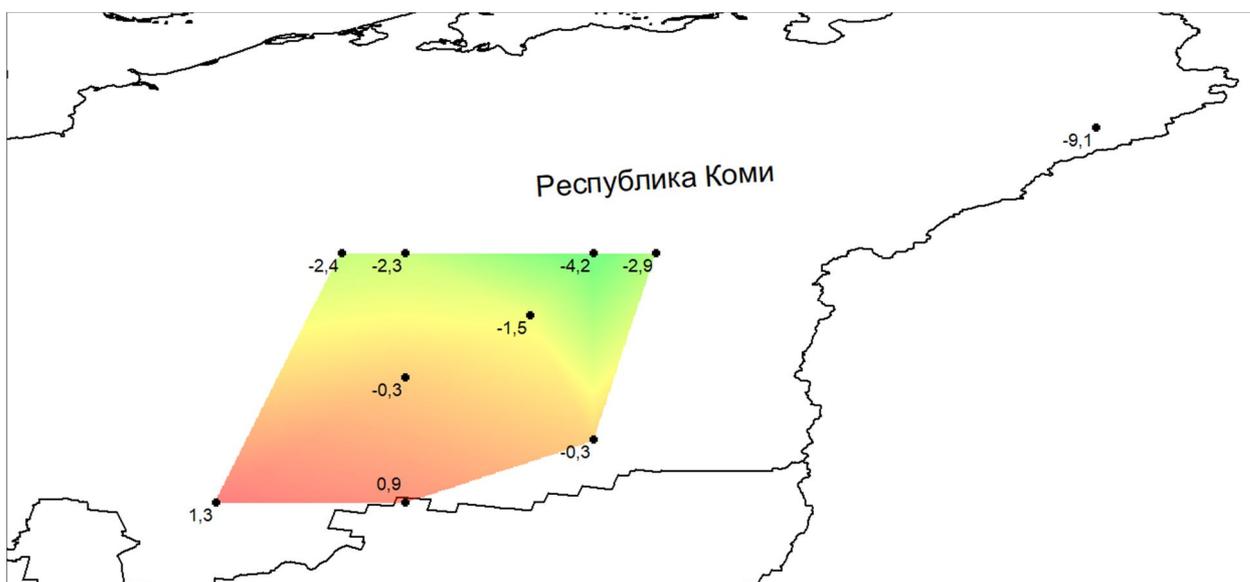


Рис.4.5.Нормы температур за весь период наблюдений для апреля

Как следует из Рис.4.5, имеет место общее понижение температур с юга – юго-запада на север, что обусловлено уменьшением угла падения солнечных лучей.

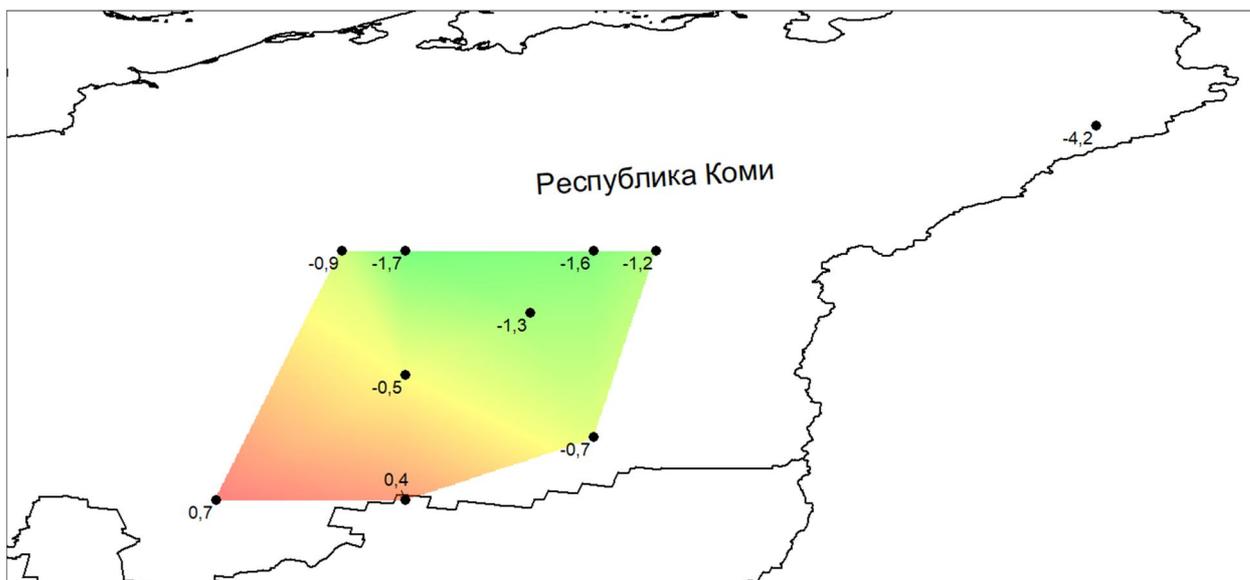


Рис.4.6.Нормы температур за весь период наблюдений для октября

Как следует из Рис.4.6, имеет место общее повышение температур с севера – северо-запада на юг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования современных климатических изменений температуры воздуха в районе Республики Коми получены следующие основные результаты и выводы.

1. Сформирована региональная база данных многолетних рядов температур воздуха по 10 метеостанциям с начала наблюдений по 2017 г. включительно.
2. Проведен анализ однородности эмпирических распределений и стационарности дисперсий и средних значений, который позволил сформулировать предварительный вывод о практической однородности и стационарности температур летнего и зимнего периода.
3. Осуществлено восстановление пропусков и приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду, что позволило увеличить продолжительность рядов рядов температур в на 20% и получить пространственные распределения вычисленных по этим рядам климатических норм.
4. Выполненное моделирование многолетних временных рядов температур воздуха позволило установить, что нестационарные модели не эффективны из характерных месяцев четырех сезонов года.
5. Средние многолетние осадки являются практически стационарными и небольшой их ступенчатый рост также в середине – конце 1990х годов имеет место только в октябре и в меньшей степени в июле. Небольшое превышение СКО наблюдается только на побережье от Новороссийска до Джугбы. Этот рост осадков вполне может быть связан с ростом температуры теплого сезона и увеличением испарения с моря.
6. Нормы температур, рассчитанные за разные квазистационарные периоды, свидетельствуют о том, что за последние 30 лет нормы температур выше на 2.5 °С, чем за квазистационарный период 1961-1990 гг., рекомендуемый ВМО для расчета климатических норм.
7. Построенные пространственные распределения норм температур свидетельствуют об их закономерном увеличении с севера на юг.

Список использованных источников

1. "Климат города", П.А. Кратцер, перевод с немецкого Е.Е. Михелевич, издательство иностранной литературы, Москва, 1958. с. 9-14
2. Метеорологический сайт <http://www.pogodaiklimat.ru/>
3. Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Республика_Коми
4. Национальная библиотека Республики Коми. Режим досупа: http://old.nbrkomi.ru/kk/base/o_respublike_komi/relef_i_klimat/
5. Нидерландский королевский метеорологический сайт <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?id=someone@>
6. Дроздов О.А, Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология.- Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568с.
7. В.А. Лобанов, И.А. Смирнов, А.Е. Шадурский. Практикум по климатологии. Часть 1. Учебное пособие. -СПб.: РГГМУ, 2011
8. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. -СПб.:изд. РГГМУ, 2012
9. MapInfoProfessional. Руководствопользователя (полное). – MapInfoCorporation, Troy, NewYork, 2003.
10. Сайт Всероссийского Научно-исследовательского Института Гидрометеорологической Информации – Мировой центр данных <http://meteo.ru/>
11. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73-88.

12. Физические основы теории климата и его моделирования. Труды международной научной конференции, организованной ВМО и МСНС при поддержке программы ООН по окружающей среде (Стокгольм 29 июля – 20 августа 1974 г.). Л.: Гидрометеиздат, 1977 – 270 с.
13. Хромов С.П., Петросянц М.П. Метеорология и климатология. - М.: Изд-во МГУ, 2001.528 с.
14. ВКИК.Труды всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября —3 октября 2003 г., М., Новости, 2003, 620 с.