

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Российский государственный гидрометеорологический университет»
(РГГМУ)

Тоцакова Галина Геннадьевна

**Современное и будущее изменение климата
Костромской области**

Диссертация

На соискание ученой степени кандидата географических наук по
специальности: 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор В.А. Лобанов

г. Санкт-Петербург

2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Предлагаемая методика исследований	8
1.1. Краткий обзор причин исторического и современного изменения климата и свидетельств их проявлений на региональном уровне.....	8
1.2. Критический обзор существующих методов и результатов исследований изменений климата.....	20
1.3. Моделирование временных рядов и оценка проявления изменений климата.....	26
1.4. Классификация полученных закономерностей динамики по территории и построение пространственных моделей.....	30
Глава 2. Оценка климатических изменений температуры воздуха на территории Костромской области	33
2.1. Региональная база данных многолетних рядов температуры воздуха....	34
2.2. Оценка однородности данных по температуре воздуха.....	36
2.3. Восстановление пропусков и приведение рядов температур воздуха к многолетнему периоду.....	41
2.3.1. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов стандартных характеристик термического режима.....	42
2.3.2. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов прикладных характеристик термического режима.....	46
2.4. Оценка изменений климата в пунктах наблюдений.....	49
2.4.1. Оценка исторических изменений климата с середины 19 века по данным наблюдений в Костроме.....	49
2.4.2. Оценка климатических изменений в показателях температурного режима.....	55
2.5. Оценка климатических изменений характеристик температурного режима по территории.....	63

Глава 3. Оценка климатических изменений осадков на территории

Костромской области.....	79
3.1. Региональная база данных многолетних рядов осадков.....	79
3.2. Оценка однородности данных по осадкам.....	83
3.3. Восстановление пропусков и приведение рядов осадков к многолетнему периоду.....	91
3.3.1. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов стандартных характеристик режима увлажнения	91
3.3.2. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов прикладных характеристик режима увлажнения.....	100
3.4. Оценка климатических изменений характеристик режима осадков в пунктах наблюдений.....	104
3.4.1. Оценка исторических изменений осадков с середины 19 века по данным наблюдений в Костроме.....	104
3.4.2. Оценка климатических изменений в многолетних рядах режима увлажнения.....	108
3.5. Пространственные модели и изменения климатических характеристик режима осадков.....	120
Глава 4. Обоснование современных и будущих изменений температурных условий Костромской области.....	134
4.1 Выявление причин современных климатических изменений.....	134
4.2 Оценка будущих температурных условий Костромской области.....	146
Заключение.....	164
Литература.....	170

Введение

Современное изменение климата на нашей планете стало одной из главных проблем современности, не менее важной, чем проблема глобальных экономических кризисов, ухудшения экологической ситуации, появление новых вирусов и заболеваний, роста народонаселения Земли, недостатка продовольствия и питьевой воды в отдельных странах. Современный период характеризуется все возрастающим воздействием человека на окружающий мир, в том числе и климатическую систему. В соответствии с принципом Ле Шателье (“Внешнее воздействие, выводящее систему из состояния равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия”), Земля еще способна до какой-то степени сопротивляться этой экспансии, но ее возможности не безграничны. Научная концепция биотической регуляции окружающей среды, сформулированная проф. В.Г. Горшковым (1998 г.) свидетельствует о том, что для того чтобы окружающая среда и климат оставались пригодными для жизни людей, необходимо восстановить естественные леса на большей части суши. В настоящее время 2/3 территории суши занимает возмущенная биота, являющаяся результатом антропогенного воздействия, которая выделяет в атмосферу до трех гигатонн (Гт) дополнительного органического углерода ежегодно. В результате глобального углеродного цикла, включающего также и такую главную антропогенную составляющую как эмиссия углерода за счет сжигания ископаемого топлива в 5Гт, в атмосфере ежегодно накапливается 3Гт углерода, определяющего рост глобальной приземной температуры. Чтобы остановить этот процесс требуется или половину возмущенной биоты суши вернуть в естественное состояние, или уменьшить потребление углеродного топлива, или осуществлять выброс в атмосферу аэрозолей эффект которых, приводящий к понижению приземной температуры, аналогичен вулканической активности.

Хотя рост углекислого газа в приземном слое монотонно увеличивается, глобальная температура испытывает значительные флуктуации за счет

колебаний естественных факторов, в основном приходящей солнечной радиации и вулканической деятельности. Также не стоит пренебрегать влиянием Мирового океана, роль которого в поглощении CO_2 при его увеличении может и возрасти.

Проведенные в Росгидромете исследования показывают, что в настоящее время климатические условия на территории России существенно меняются, и потепление на планете происходит неодинаково в разных регионах, причем в некоторых из них изменение климата может и совсем отсутствовать, или даже вместо потепления имеет место похолодание. Если считать, что климат представляет собой усредненное состояние атмосферы, взятое за период обычно 30 лет по рекомендациям ВМО для конкретного региона, то при изменении климата это усредненное состояние или климатическая норма также будет изменяться, что необходимо учитывать при использовании климатических характеристик в прикладных целях, например, для строительства. Кроме того, климат характеризуется широким диапазоном метеорологических параметров, наиболее общими из которых являются температура, осадки, атмосферное давление, продолжительность солнечного сияния и ветер. Эти параметры также могут изменяться по-разному даже в условиях потепления.

Чтобы выяснить проявляется ли глобальное потепление в конкретных природных характеристиках и на конкретной территории необходимо осуществить детальное исследование и моделирование динамики временных рядов. Поэтому целью настоящей работы является оценка климатических изменений таких основных метеорологических характеристик, как температура воздуха и осадки на территории Костромской области и обоснование современных и будущих изменений температурных условий Костромской области.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих основных задач:

- анализ однородности и качества информации по температуре воздуха и осадкам, основанный на применении статистических критериев для выявления резко отклоняющихся неоднородных экстремумов в эмпирических распределениях;
- формирование непрерывных и многолетних рядов наблюдений одинаковой продолжительности, начиная с конца 1920х годов и заканчивая последними годами наблюдений по всем метеостанциям Костромской области;
- оценка климатических изменений в наиболее продолжительных рядах наблюдений на метеостанции Кострома с 1842 г. для температуры воздуха и с 1857 г. для осадков;
- оценка эффективности и статистической значимости моделей временных рядов по отношению к модели стационарной выборки для многолетних рядов стандартных и прикладных климатических характеристик температуры воздуха и осадков на территории Костромской области;
- выявление причин, вызывающих изменение климатических характеристик и пространственное обобщение показателей нестационарности по территории Костромской области;
- построение статистических пространственных моделей климатических характеристик для территории Костромской области и исследование коэффициентов этих моделей во времени и во взаимосвязи;
- уточнение климатических норм для стационарных или квазистационарных периодов на метеостанциях Костромской области;
- получение пространственных распределений уточненных климатических норм на территории Костромской области;
- выбор наиболее эффективной модели при сравнении данных наблюдений и моделирования за совместный период;
- определение будущих значений температур воздуха на основе наиболее эффективной модели климата и анализ будущего климата Костромской области.

При выполнении работы применялись следующие методы:

- статистические критерии Диксона, Смирнова-Граббса, Стьюдента и Фишера для оценки однородности экстремумов эмпирических распределений и стационарности средних значений и дисперсий;
- методика восстановления пропусков и приведения непродолжительных временных рядов к многолетнему периоду, основанная на уравнении множественной линейной регрессии между рассматриваемым непродолжительным рядом и более продолжительными рядами в пунктах-аналогах;
- метод оценки эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной, основанный на сравнении остаточных дисперсий моделей;
- уравнение простой линейной регрессии, лежащее в основе пространственной статистической модели, связывающей многолетнее климатическое поле с полем каждого года;
- интерполяционная пространственная модель для построения полей норм климатических характеристик и показателей эффективности нестационарных моделей.
- по сценарию «Исторический эксперимент» 5 климатических моделей:
 - 1) CNRM - модель центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherches Meteorologiques, CM3 Model, CERFACS);
 - 2) HadGEM2 - модель HadCM3 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadCM3 Model);
 - 3) INM - модель института вычислительной математики РАН, Россия (Institute for Numerical Mathematics (INM)/Russia, INM-CM4);
 - 4). IPSL – CM5A-MR - французская модель CM4 V1 Института Лапласа (Institute Pierre-Simon Laplace IPSL/LMD/LSCE, France);
 - 5). MPI - модель института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM).

На защиту выносятся следующие положения:

- результаты оценки качества многолетних рядов климатических характеристик температуры воздуха и осадков в Костромской области на основе анализа однородности, восстановления пропусков и приведения непродолжительных временных рядов наблюдений к многолетнему периоду;
- результаты моделирования рядов наблюдений за температурой воздуха и осадками для выявления нестационарностей;
- результаты построения пространственных статистических моделей климатических характеристик температуры и осадков для территории Костромской области и исследования их коэффициентов;
- установленные причины климатических изменений температуры воздуха;
- выбор эффективной климатической модели и перспективная оценка будущих температурных условий Костромской области до конца 21 века.

Глава 1. Предлагаемая методика исследований.

1.1. Краткий обзор причин исторического и современного изменения климата и свидетельств их проявлений на региональном уровне.

Естественные факторы изменения климата включают изменение параметров орбиты и угла наклона оси вращения Земли, изменения приходящей солнечной радиации, вулканические извержения и изменения распределении атмосферных аэрозолей естественного происхождения.

В результате выбросов после вулканических извержений в атмосферу попадают значительные объемы частиц и газов. Эти частицы переносятся тропосферными и стратосферными воздушными течениями над обширными районами земного шара и не пропускают часть приходящей солнечной радиации. Любое изменение приходящей солнечной радиации неизбежно вызывает изменение регулярности, режима и места восходящих и нисходящих воздушных потоков, а также преобладающего климата, в том числе температуры. Однако эти изменения не являются долгосрочными.

Помимо изменений в температурном режиме вулканические выбросы уничтожают также стратосферный озон. Например, следствием извержения в Мексике в 1982г. вулкана Эль-Чичон в последующие три-четыре года было уничтожено порядка 10% озона. В 1991г. извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах вызвало уменьшение озона на 15% в течение нескольких лет, и считается, что оно явилось причиной увеличения размера озоновой дыры над Антарктикой.

Основным источником энергии, который приводит в действие климатическую систему, является солнечная радиация. Известно, что ее интенсивность меняется в определенных, относительно небольших пределах. Хотя данные прямых измерений интенсивности солнечного излучения имеются лишь за последние приблизительно 25 лет, косвенное свидетельство, такое как количество солнечных пятен, давно использовалось для оценки изменения солнечной радиации.

Помимо меняющихся потоков энергии Солнца Земля получает различные объемы солнечной радиации, в зависимости от ее движения по эллиптической орбите и соответствующего изменения ее расстояния до Солнца. В течение последнего приблизительно миллиона лет ледниковые и межледниковые периоды менялись в зависимости от колебаний орбиты Земли. Меньшие орбитальные колебания наблюдались в течение последних 10 000 лет — периода, когда климат был относительно стабильным. Для того чтобы климат продолжал оставаться стабильным, солнечная энергия, достигающая поверхности Земли, должна уравниваться уходящей радиацией. Любое изменение приходящей солнечной радиации может вызвать глубокие изменения в погоде и климате Земли. Распределение энергии в пределах атмосферы и его воздействие на климат зависят от таких факторов, как альbedo, облачность, аэрозоли и газы, так же, как и энергия, излучаемая обратно в космическое пространство от поверхности Земли. Некоторые из этих факторов являются результатом деятельности человека или испытывают воздействие этой деятельности.

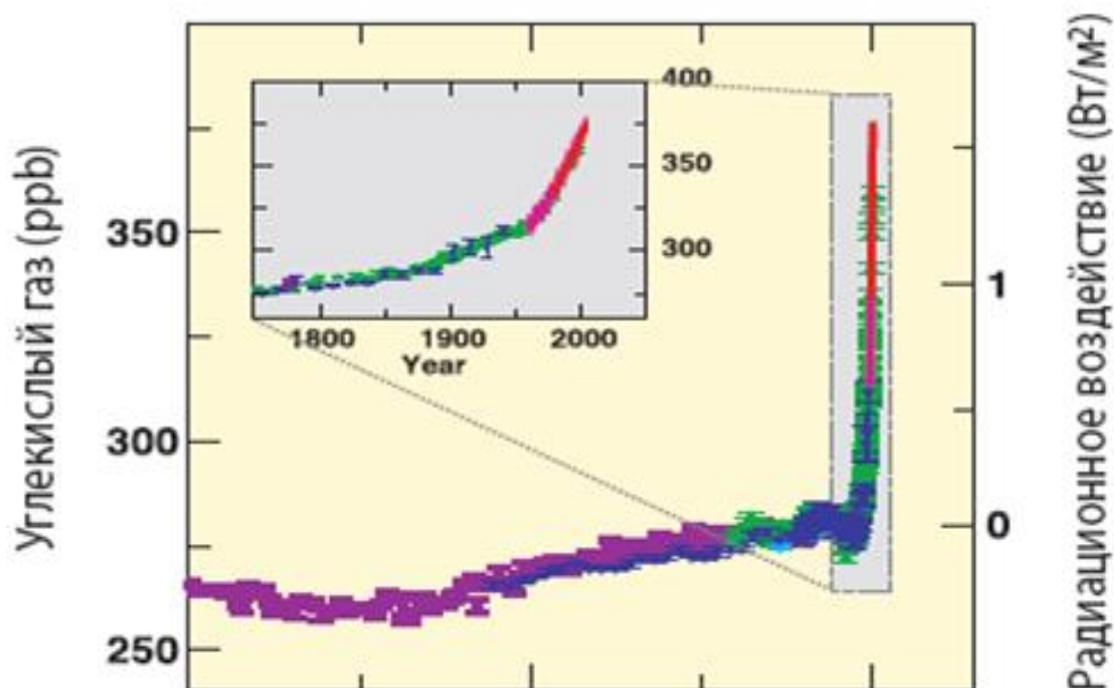
Аэрозоли являются высокоэффективными рассеивателями солнечного света, поскольку их величина составляет, как правило, несколько десятых долей микрона. Некоторые аэрозоли, такие, как сажа, поглощают также свет. Чем больше они поглощают, тем больше нагревается тропосфера и тем меньше солнечной радиации может достигнуть поверхности Земли. В результате этого аэрозоли могут понизить температуру приземного слоя атмосферы.

Большие количества аэрозолей могут привести, таким образом, к охлаждению климата, которое компенсирует в определенной степени эффект потепления в результате увеличения объема парниковых газов. Кроме того, аэрозоли обладают дополнительным косвенным эффектом охлаждения благодаря своей способности усиливать облачный покров. Продолжительность нахождения частиц пыли в атмосфере гораздо короче продолжительности существования парниковых газов, поскольку они могут исчезнуть в результате осадков в течение недели. Последствия воздействия аэрозолей также гораздо более локальны по сравнению с широко распространенным воздействием парниковых газов.

Атмосферные концентрации основных антропогенных парниковых газов, таких, как двуокись углерода, метан, закись азота и тропосферный озон, постоянно возрастали в течение большей части XX века. Исключением являются галоидоуглероды, поскольку их концентрация возросла приблизительно до 1990г., а затем стабилизировалась после того, как в соответствии с Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой, были введены в действие ограничения на использование этих компонентов. Изменения концентраций парниковых газов вызваны, главным образом, сжиганием ископаемого топлива, все большими изменениями в области сельского хозяйства и землепользования.

Концентрации двуокиси углерода возросли с 280 частей на миллион (ppm) в преиндустриальную эпоху (1750-е гг.) до 391 в настоящее время, и считается, что, учитывая существующую тенденцию, эта концентрация будет

находиться в пределах от 540 до 970 ppm в 2100г. (Рис.1.1, 1.2) Парниковые газы характеризуются продолжительным сроком нахождения в атмосфере. Оценки показывают, что половина всех выбросов CO_2 заканчивает свое существование в атмосфере и остается там в течение 50 - 200 лет, в то время как вторая половина поглощается океанами, сушей и растительностью [51]



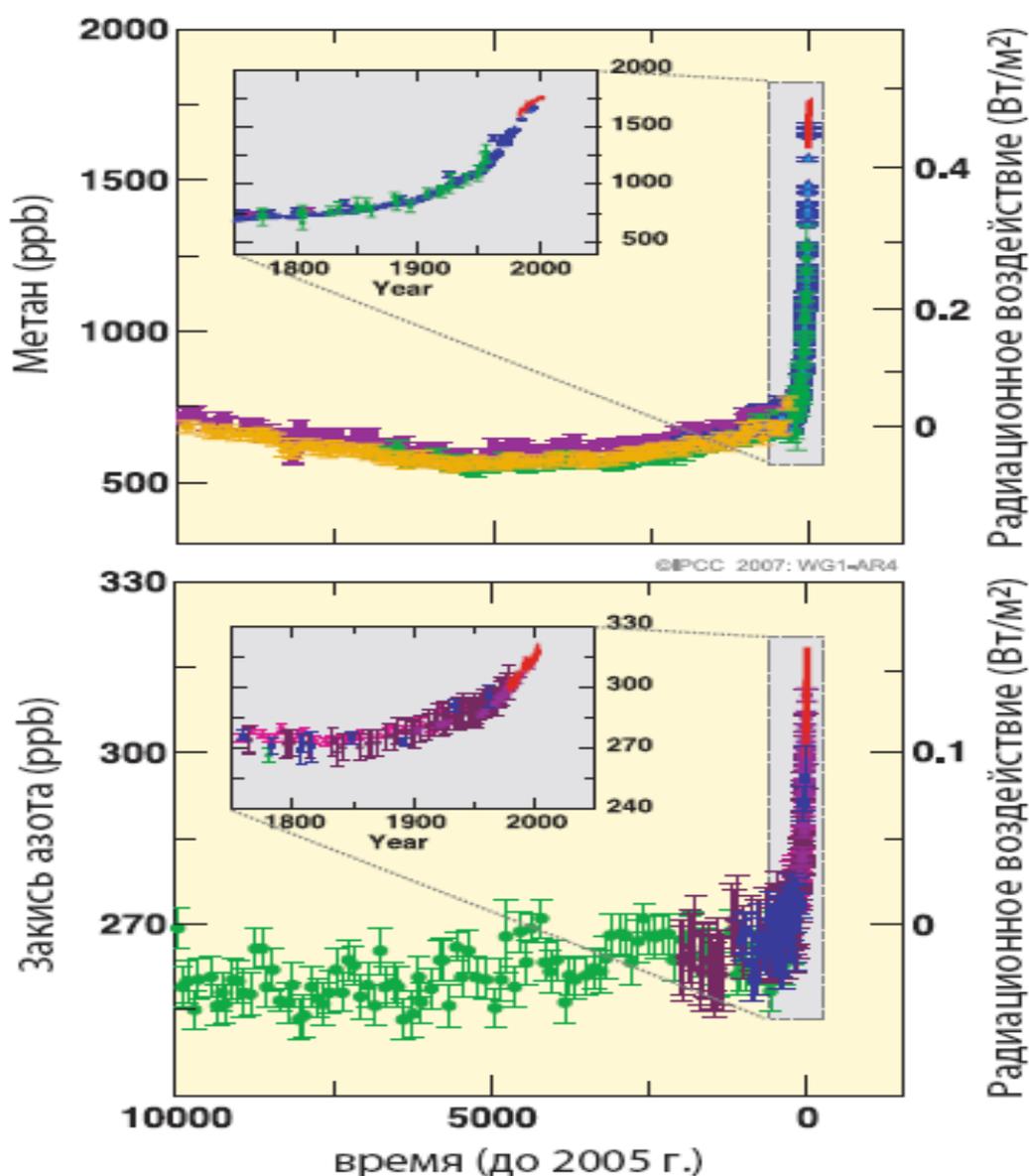


Рис.1.1. Концентрации в атмосфере углекислого газа, метана и закиси азота за последние 10 тыс. лет (большие панели) и с 1750 г. (врезки). Измерения сделаны по кернам льда, для разных исследований – символы разного цвета и по атмосферным пробам (красные линии).

Концентрации диоксида углерода (CO_2), метана и оксида азота (I) в атмосфере выросли до беспрецедентных за последние, по крайней мере, 800000 лет уровней. Концентрация CO_2 увеличилась на 40% с доиндустриального периода, главным образом за счет выбросов от сжигания топлива и, во вторую очередь, за счет выбросов от нетто-изменений в землепользовании. На поглощение океаном приходится около 30%

антропогенных выбросов диоксида углерода, что приводит к подкислению океана. Атмосферные концентрации парниковых газов: диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) возросли с 1750 г. в результате человеческой деятельности. В 2011 г. концентрации этих парниковых газов составляли 391 ppm, 1803 ppb, 324 ppb и превышали доиндустриальные уровни приблизительно на 40%, 150% и 20%, соответственно.

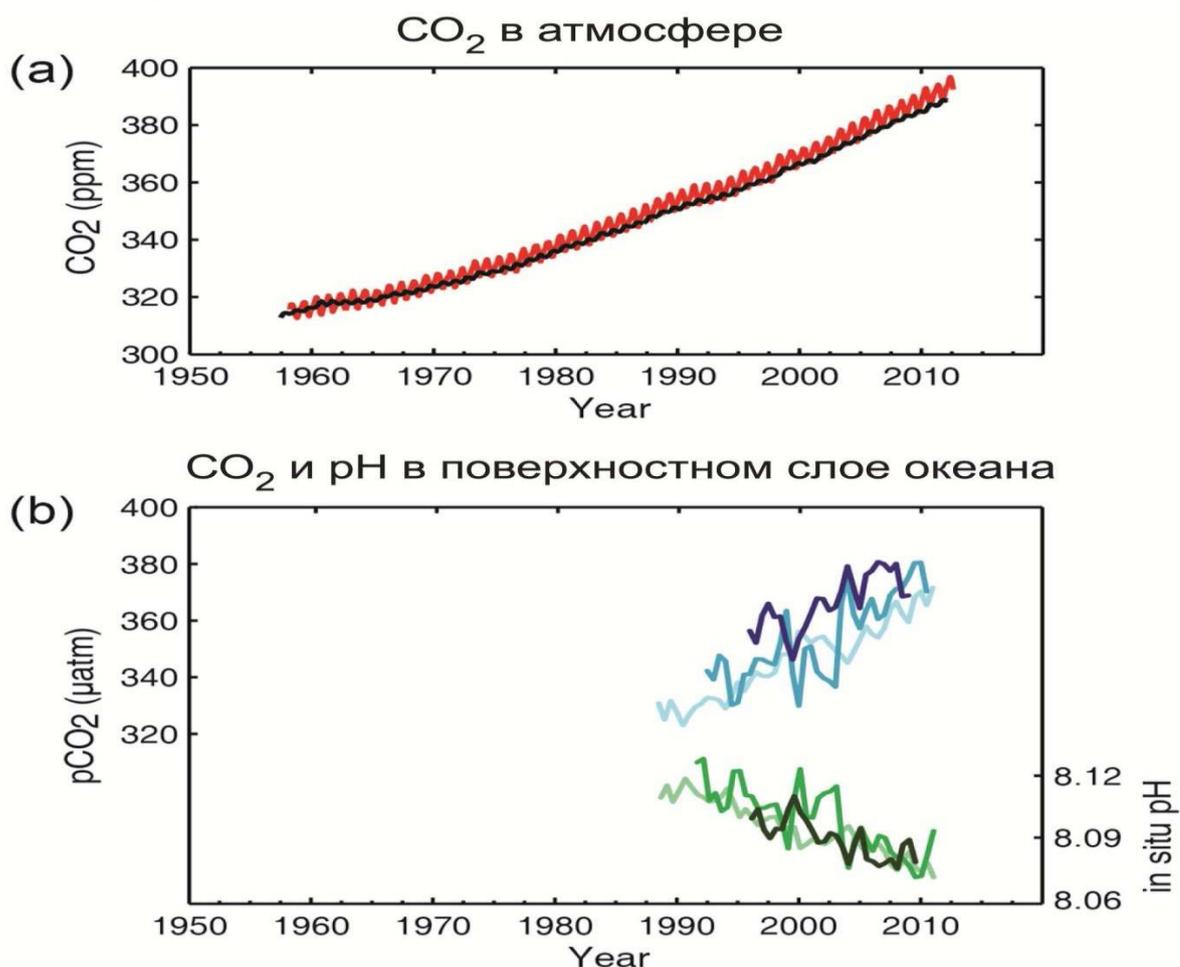


Рис. 1.2 Показатели изменения глобального углеродного цикла:

(a) - атмосферная концентрация диоксида углерода (CO_2) с Мауна Лоа ($19^{\circ}32'$ северной широты, $155^{\circ}34'$ западной долготы - красный) и с Южного полюса ($89^{\circ}59'$ северной широты, $24^{\circ}48'$ западной долготы- черный) с 1958 г.;

(b) - парциальное давление растворенного CO_2 на поверхности океана (синие кривые) и pH по месту нахождения (зеленые кривые), мера подкисления океанской воды. Измерения с трех станций в Атлантическом

(29°10' сев. широты, 15°30' зап. долготы – темно-синий/темно-зеленый; 31°40' сев. широты, 64°10' зап. долготы - синий/зеленый) и Тихом океанах (22°45' сев. широты, 158°00' зап. долготы – голубой/светло-зеленый).

Со времени промышленной революции зеленые леса на всем земном шаре, в настоящее время находящиеся в основном в зоне тропических дождей, были вытеснены товарными и прочими культурами. Люди также изменяют окружающую среду в результате выращивания скота, которое повышает спрос на воду. Помимо выпаса скота на естественных пастбищах, люди существенно изменили частоту, интенсивность и объем выпаса в результате одомашнивания скота. Фактически, усилиям по сдерживанию опустынивания в сельских регионах и в других местах мешают чрезмерный выпас скота и рубка деревьев.

Урбанизация способствовала изменению климата. В начале нынешнего столетия жители городов составляли почти половину мирового населения. Согласно оценкам, город с населением в 1 млн. человек производит ежедневно 25 000 тонн двуокси углерода и 300 000 тонн сточных вод. Концентрация деятельности и выбросы являются достаточными для того, чтобы изменить местную атмосферную циркуляцию вокруг городов. Эти изменения являются столь значительными, что могут изменить циркуляцию на уровне региона, а это, в свою очередь, сказывается на глобальной циркуляции. Если подобное воздействие будет продолжаться, то ощутимым станет долгосрочное воздействие на климат [7].

Костромская область - один из крупнейших субъектов Российской Федерации, входящих в Центральный федеральный округ. В области находятся 30 муниципальных образований, 303 городских и сельских поселения. Численность постоянного населения Костромской области на 01.01.2010 г. составляла 688,3 тыс. человек, из них 472,4 тыс. человек - городское население, 215,9 тыс. человек - сельское население (Рис.1.3).

Территория области составляет 60,2 тыс. кв. км, на 74% которых размещаются лесные угодья.



Рис.1.3. Карта Костромской области.

Костромская область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины. Граничит с Ивановской, Ярославской, Вологодской, Кировской и Нижегородской областями.

В табл. 1.1 - 1.5 представлены данные по температурному режиму имеющихся на территории области метеорологических станций за разные периоды наблюдений по месяцам и в среднем за год. Без проведения детальных исследований можно отметить, что рост среднегодовой температуры воздуха по отношению к базовому периоду 1961-1990 гг. наблюдается по всем станциям в среднем на $0,8+0,9^{\circ}\text{C}$, что подтверждает необходимость детальных исследований и обосновывает актуальность данной работы (рис. 1.4).

Таблица 1.1

Средняя месячная и годовая температура воздуха в Костромской области с
1931 по 1960 гг.

№ п/п	Станция	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Вохма	-13,6	-12,1	-5,8	2,5	9,8	15,2	17,3	14,7	8,7	1,8	-5,3	-10,6	1,9
2	Пыщуг	-13,1	-11,5	-5,2	2,9	9,9	15,2	17,4	14,8	9,0	2,1	-5,0	-10,2	2,2
3	Чухлома	-12,5	-11,1	-5,2	2,9	10,1	15,1	17,3	14,9	9,2	2,6	-4,4	-9,4	2,5
4	Буй	-12,0	-10,9	-4,9	3,5	10,7	15,6	17,6	15,3	9,5	3,1	-3,9	-8,9	2,9
5	Галич	-11,8	-10,4	-4,4	3,8	10,9	15,9	17,9	15,7	9,8	3,1	-3,8	-8,8	3,2
6	Шарья	-12,7	-11,3	-5,0	3,6	10,5	15,6	17,6	15,1	9,3	2,5	-4,6	-9,9	2,5
7	Н-Полома	-12,5	-10,9	-5,1	3,2	10,4	15,4	17,4	15,1	9,2	2,6	-4,4	-9,6	2,6
8	Кологрив	-12,6	-12,0	-6,2	2,5	9,5	15,6	17,2	15,5	9,0	2,1	-4,6	-10,0	2,2
9	Макарьев	-12,1	-10,4	-4,1	4,1	11,0	15,8	18,0	15,1	9,3	2,8	-4,1	-9,2	3,0
10	Кострома	-11,5	-10,6	-5,3	3,1	11,1	15,8	18,2	16,0	10,1	3,5	-3,3	-8,9	3,1

Таблица 1.2

Средняя месячная и годовая температура воздуха в Костромской области за
период 1961 - 1990 гг.

№ п/п	Станция	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Вохма	-14,3	-12,0	-5,5	2,4	10,0	14,9	17,3	14,6	8,4	1,6	-4,8	-10,5	1,8
2	Пыщуг	-13,6	-11,3	-4,7	2,6	10,1	14,9	17,4	14,7	8,9	2,0	-4,5	-10,2	2,2
3	Чухлома	-13,2	-10,8	-4,6	2,9	10,5	14,8	17,1	14,8	9,0	2,6	-3,8	-9,4	2,5
4	Буй	-12,9	-10,8	-4,4	3,5	11,1	15,2	17,5	15,2	9,3	3,0	-3,3	-9,0	2,9
5	Галич	-12,5	-10,2	-4,0	3,8	11,4	15,6	17,8	15,5	9,5	3,1	-3,3	-8,8	3,2
6	Шарья	-13,4	-10,9	-4,4	3,6	11,0	15,3	17,7	15,1	9,3	2,4	-4,1	-9,8	2,6
7	Н-Полома	-13,3	-10,8	-4,7	3,1	10,7	15,1	17,3	14,9	8,9	2,4	-4,0	-9,6	2,5
8	Кологрив	-13,7	-11,2	-4,8	2,8	10,3	14,9	17,2	14,6	8,6	2,1	-4,3	-9,9	2,2
9	Макарьев	-13,0	-10,8	-4,2	3,8	11,2	15,5	17,6	15,2	9,2	2,8	-3,6	-9,2	2,9
10	Кострома	-12,0	-10,0	-4,0	4,0	11,6	15,8	17,9	15,7	9,9	3,5	-3,0	-8,4	3,4

Таблица 1.3

Средняя месячная и годовая температура воздуха в Костромской области за
период 1971 - 2000 гг.

№ п/п	Станция	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Вохма	-13,0	-11,3	-4,8	2,8	9,8	15,5	17,4	14,4	8,3	1,9	-5,5	-10,0	1,9
2	Пыщуг	-12,5	-10,6	-4,0	3,2	10,0	15,6	17,6	14,6	8,9	2,3	-5,1	-9,5	2,5
3	Чухлома	-11,7	-10,0	-3,9	3,4	10,4	15,4	17,3	14,7	9,0	2,7	-4,5	-8,9	2,5
4	Буй	-11,3	-9,8	-3,6	4,0	11,0	16,1	17,8	15,1	9,3	3,0	-4,0	-8,4	3,3
5	Галич	-11,0	-9,4	-3,2	4,3	11,2	16,2	18,0	15,4	9,6	3,2	-3,9	-8,3	3,5
6	Шарья	-12,2	-10,4	-4,0	3,9	10,6	15,8	17,7	14,7	9,1	2,6	-4,8	-9,3	2,8
7	Н-Полома	-11,8	-10,1	-4,0	3,5	10,5	15,6	17,5	14,7	8,9	2,5	-4,6	-9,0	2,8
8	Кологрив	-12,3	-10,5	-4,2	3,2	10,0	15,2	17,2	14,3	8,6	2,2	-4,9	-9,4	2,5
9	Макарьев	-11,6	-10,0	-3,6	4,2	10,9	16,0	17,7	14,9	9,2	2,8	-4,3	-8,7	3,1
10	Кострома	-10,4	-9,0	-3,2	4,5	11,5	16,3	18,1	15,6	9,8	3,5	-3,6	-7,8	3,8

Таблица 1.4

Средняя месячная и годовая температура воздуха в Костромской области за период 1981 - 2010 гг.

№п/п	Станция	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Вохма	-12,2	-10,1	-4,6	3,1	10,4	15,6	18,0	14,9	9,1	2,8	-5,0	-9,9	2,7
2	Пыщуг	-11,6	-10,3	-3,8	3,8	10,8	15,4	18,2	15,1	9,3	3,0	-5,0	-9,3	3,0
3	Чухлома	-11,1	-10,3	-3,8	3,8	10,9	15,5	18,0	15,1	9,5	3,4	-4,1	-8,8	3,2
4	Буй	-9,9	-9,1	-3,4	4,4	11,5	16,1	18,6	15,6	9,9	3,8	-3,6	-8,1	3,8
5	Галич	-9,4	-8,7	-3,1	4,7	11,7	16,3	18,7	15,9	10,2	4,1	-3,6	-8,0	4,1
6	Шарья	-11,6	-10,7	-4,0	3,8	11,1	15,7	18,3	15,1	9,3	3,1	-4,5	-9,6	3,0
7	Н-Полома	-9,3	-9,6	-3,8	4,0	10,8	15,8	18,1	15,2	9,6	3,3	-4,1	-8,7	3,4
8	Кологрив	-11,2	-9,2	-4,1	3,5	10,3	15,3	17,7	14,6	9,1	3,0	-4,4	-9,0	3,0
9	Макарьев	-9,7	-9,8	-3,5	4,4	11,2	16,0	18,1	15,3	9,6	3,5	-4,0	-7,6	3,6
10	Кострома	-9,4	-8,9	-2,9	4,9	11,9	16,2	18,6	16,1	10,3	4,0	-3,0	-7,6	4,2

Таблица 1.5

Среднегодовая температура воздуха в Костромской области за различные периоды наблюдений

№ п/п	СТАНЦИЯ	ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ			
		1931-1960	1961-1990	1971-2000	1981-2010
1	Вохма	1,9	1,8	2,1	2,7
2	Пыщуг	2,2	2,2	2,5	3,0
3	Чухлома	2,5	2,5	2,8	3,2
4	Буй	2,9	2,9	3,3	3,8
5	Галич	3,2	3,2	3,5	4,1
6	Шарья	2,5	2,6	2,8	3,0
7	Н-Полома	2,6	2,5	2,8	3,4
8	Кологрив	2,2	2,2	2,5	3,0
9	Макарьев	3,0	2,9	3,1	3,6
10	Кострома	3,1	3,4	3,8	4,2

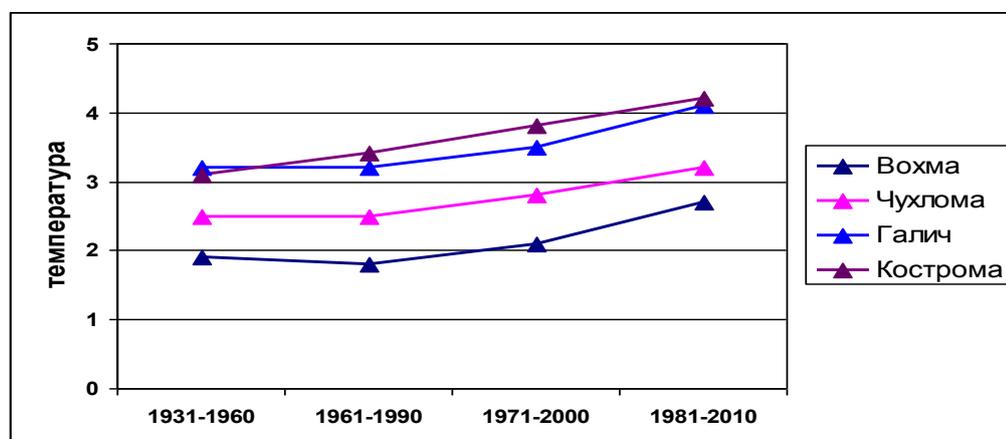


Рис. 1.4. Динамика среднегодовой температуры воздуха за различные периоды наблюдений по отдельным станциям Костромской области.

По оценкам Всемирной метеорологической организации, других международных организаций, Всемирного банка реконструкции и развития в настоящее время отмечается устойчивая тенденция увеличения материальных потерь и уязвимости общества из-за усиливающегося воздействия опасных природных явлений. Наибольший ущерб приносят опасные гидрометеорологические явления (более 50% общего ущерба).

Анализ опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, имевших место на территории Костромской области за 15 лет (с 2000 по 2014гг), показал, что их количество, несмотря на некоторое снижение в период с 2000 по 2003 годы, по-прежнему, остается на высоком уровне и наблюдается устойчивая тенденция их увеличения. Количественные показатели и динамика опасных (ОЯ) и неблагоприятных (НГЯ) гидрометеорологических явлений на территории Костромской области за период 2000 - 2014 годы приведены на рис. 1.5.

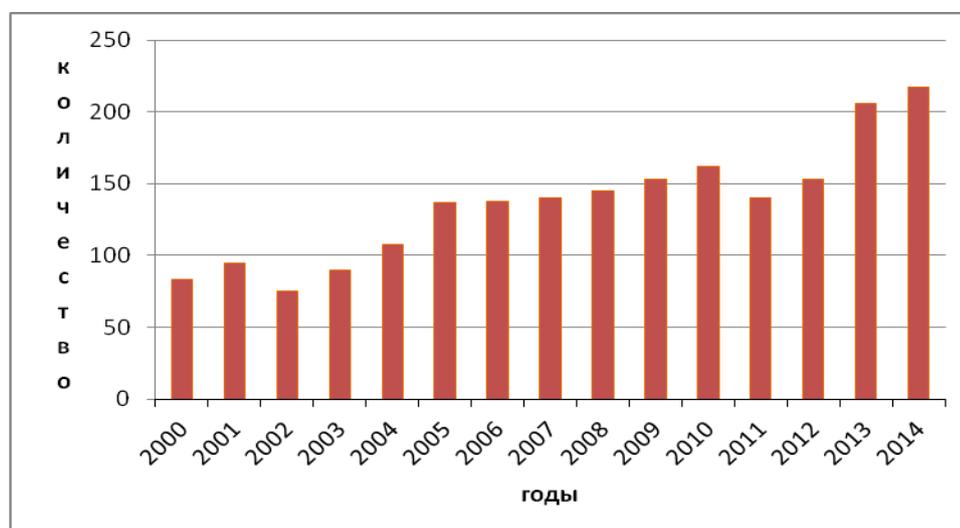


Рис. 1.5. Повторяемость ОЯ и НГЯ с 2000 по 2014 г. на территории Костромской области.

В Костромской области наиболее часто повторяются такие явления как сильный ветер, сильный снег, метель, туман, гололед, реже – град, сильный ливень, шквал, сложное отложение, заморозки и очень редко

(повторяемость менее 1%) – сильный дождь, чрезвычайная пожароопасность, высокий уровень воды (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Повторяемость ОЯ и НГЯ по видам явлений на территории области.

Наименование явлений	Кол-во	Повторяемость в %
Сильный ветер	312	26,3
Сильный снег	145	12,2
Метель	163	13,8
Град	29	2,4
Туман	144	12,2
Гололед	203	17,1
Шквал	43	3,6
Сложное отложение	41	3,5
Сильный ливень	20	1,7
Сильный дождь	22	1,8
Чрезвычайная пожароопасность	3	0,1
Заморозки	52	4,4
Высокий уровень воды	6	0,3
Сильный мороз	1	0,1
Сильная жара	1	0,1

С 1996 по 2005 год в Костромской области зафиксировано 12 чрезвычайных ситуаций природного характера. Материальный ущерб, причиненный чрезвычайными ситуациями, составил 50,95 млн. рублей. В 2010 году ущерб составил 15,6 млн. руб. от шквалов и пострадал лес площадью 82 га. В 2012 году во время весеннего половодья пострадали 6 районов, ущерб составил более 20 млн. руб.

1.2. Критический обзор существующих методов и результатов исследований изменений климата

В 21 веке все более активно в различных СМИ, включая и сеть Интернет, обсуждается проблема глобального потепления, при этом для эффективной подачи материала используется и недостоверная информация. Не вызывает сомнения, что проблема будущего климата и окружающей среды

настолько сложна, что требует внимания не только отдельных ученых, но и правительств, Мирового сообщества наций. Этой проблеме в настоящее время уделяется особое внимание многих известных ученых мира. Обилие различной информации об этой проблеме пока не дает однозначного ответа об истинных причинах глобального потепления.

История климата Земли показывает (по данным палеоклиматических исследований, по астрономическим наблюдениям, по изучению астрономических летописей и т.п.), что до наступления эры индустриализации и технологических достижений человечества изменения в глобальном климате происходили естественным образом в течение последних тысячелетий. Палеоданные свидетельствуют о наблюдавшихся в геологическом прошлом сильнейших и иногда очень быстрых изменениях климата. Эти изменения климата были весьма значительны и обуславливались естественными причинами, связанными с развитием и эволюцией Земли, изменениями солнечной активности, астрономическими и гелиогеофизическими факторами, вулканической деятельностью и другими причинами, не связанными с деятельностью человека [7].

Следует заметить, что по данным обсерваторий мира солнечная активность в период с 1940 г. стала существенно выше, чем когда-либо в период инструментальных наблюдений. Выделение и изучение астрономических циклов различной деятельности от нескольких лет до нескольких тысяч лет дает возможность глубокого осмысления проблемы глобального потепления климата. При оценке различных факторов в формировании глобального климата важен совместный учет вкладов «парникового потепления» и солнечной активности, которые за длительный период инструментальных наблюдений составили $0,31^{\circ}\text{C}$ и $0,41^{\circ}\text{C}$ соответственно. За последнее столетие наблюдается интенсивное повышение среднегодовой температуры воздуха по земному шару (примерно с 70-х годов), которая повысилась на $0,6^{\circ}\text{C}$ и в настоящее время превышает верхний предел естественной (исторической) изменчивости. Известно, что покрытие

земного шара данными наблюдений приземных синоптических станций диспропорционально - Европа, большая часть Азии и Северная Америка, имеют гораздо лучшее покрытие, чем Африка, Южная Америка и ряд регионов Азии. Однако, даже при наличии станций в этих районах, регулярность выполнения ими наблюдаемых программ зачастую далека от требуемой, что подтверждается результатами мониторинга Всемирной Службы Погоды ВМО [22].

Большинство выводов о глобальном потеплении и катастрофических его последствиях делается на основе модельных расчетов (сейчас существует около 30 моделей общей циркуляции атмосферы, которые используются в расчетах для прогноза климата), которые широко публикуются в различных изданиях. Однако, по мнению известного климатолога В. Грея (США): «Глобальные модели не способны ни прогнозировать, ни даже воспроизводить годовой ход температуры ввиду очень большой сложности климатической системы. Модели превосходны, когда речь идет о расчетах на срок до 5-10 суток, но результаты численного моделирования климата оказываются неадекватными из-за слишком большой сложности системы».

Расчеты по ансамблю гидродинамических моделей климата при различных сценариях развития глобальной экономики (различные объемы выбросов парниковых газов в атмосферу) и расчеты по статистическим моделям на ближайшие 10–15 лет дают очень близкие результаты (значимое расхождение отмечается примерно с 2030 года), хорошо согласующиеся с оценками Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Рост температуры приземного воздуха для России приведен на Рис.1.6. Разброс модельных оценок (оценок разных моделей ансамбля) характеризует выделенная желтым цветом область, в которую попадают 75% средних модельных значений. Уровень значимости в 95% средних по ансамблю моделей изменений температуры определен двумя горизонтальными линиями.

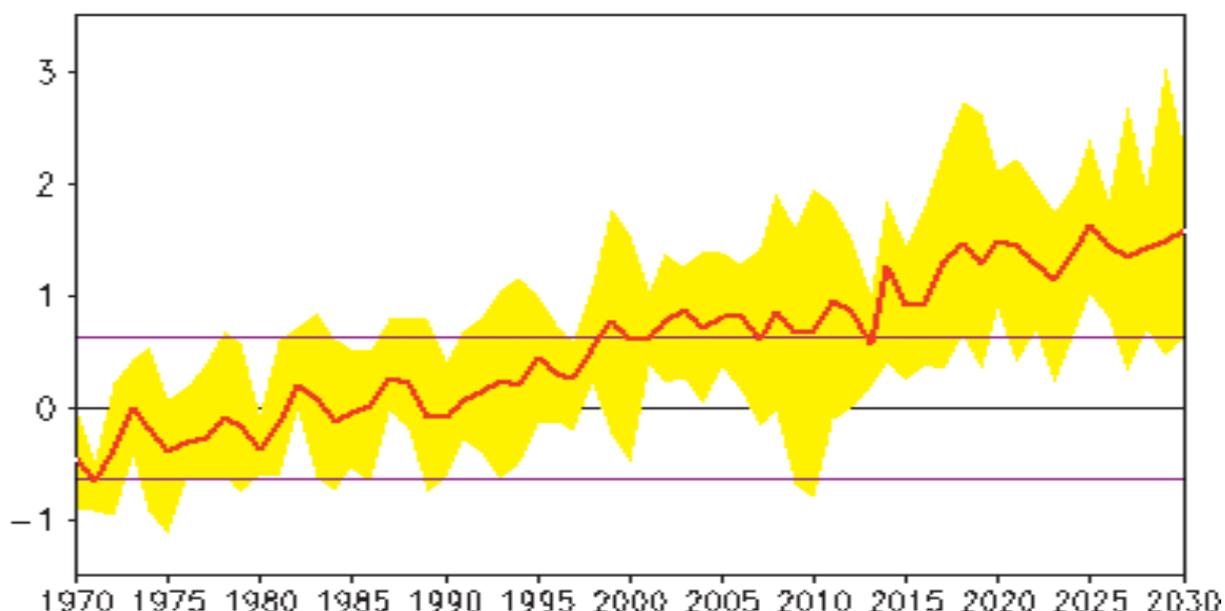


Рис. 1.6. Рост температуры приземного воздуха для России по отношению к базовым значениям за период 1971–2000 гг., рассчитанный по ансамблю моделей на период до 2030 г. (по результатам, предоставленным Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова).

Прогноз изменения климата, основанный на результатах экстраполяции, показывает, что фактически наблюдаемый тренд в потеплении на территории России сохранится и приведет к росту, по сравнению с 2000 г., среднегодовой температуры приземного воздуха на $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Другие характеристики прогноза, основанные на совместном использовании результатов экстраполяции и результатов моделирования климата, показывают, что на территории России в различных климатических зонах и в разные сезоны года изменение гидрометеорологического режима (температурного режима, режима осадков, гидрологического режима рек и водохранилищ, режима морей и устьев рек) будут проявляться по-разному.

В России создан Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, директором которого был академик Ю. А. Израэль – вице-председатель МГЭИК. В одном из своих выступлений Ю. А. Израэль отметил, что «...20 век - самый теплый за последние 1000 лет. В нем можно выделить повышение среднегодовой температуры в 1940-х годах (за счет ослабления вулканической деятельности) и заметное потепление в последние

несколько лет. При этом самыми теплыми в прошедшем столетии оказались 1990-е годы, а 1998-ой - максимально теплым годом 20 века. Ученые фиксируют удлинение безморозного периода, уменьшение толщины морского льда, повышение температуры воды в океане, рост осадков от 0,5% до 1%. Тем не менее, не замечены снижение протяженности льдов в Арктике и Антарктике, нет сведений о понижении уровня залегания вечной мерзлоты. Повышение уровня Мирового океана не удастся объяснить одним лишь тепловым расширением. Так что вопрос об антропогенном потеплении климата на нашей планете на 100% еще не решен». В 2003 году впервые в России состоялась Всемирная конференция по изменению климата, инициатором которой был В.В. Путин. Основной целью явилось всестороннее обсуждение проблемы изменения климата с учетом природных и антропогенных факторов, обоснование мер по адаптации населения и экономики к предстоящим климатическим изменениям, поиск взвешенных подходов к снижению антропогенного воздействия на климатическую систему при максимальном взаимопонимании между учеными, правительствами, деловыми кругами и общественностью. В конференции принимали участие ученые со всего мира (86 стран), было представлено множество научных результатов, и изданные труды конференции являются ценным источником научной и практической информации по проблемам изменения климата [13].

Главная трудность в понимании причин изменения климата связана с сохраняющейся до сих пор невозможностью достаточно надежного учета обратных климатических связей. В первую очередь это касается облачно - радиационной обратной связи, прямого и косвенного (через воздействия на радиационные свойства облаков) влияния атмосферного аэрозоля на климат, а так же влияния на него взаимодействия атмосферы и океана. Нередко игнорируемая инерционность климатической системы как особенность проявления «парникового» потепления климата. Противоречивость проблемы антропогенных изменений климата состоит в отсутствии

достоверных количественных оценок соотношения между вкладами природных и антропогенных факторов. Ввиду сложности проблемы климата в научных публикациях обычно подчеркивается серьезная неопределенность существующих оценок. В настоящее время мнение специалистов по изучению данной проблемы разделилось, т.к. сторонники «антропогенной гипотезы» считают, что, глобальное потепление вызвано исключительно антропогенной деятельностью человека. Деятельность человека приводит к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере, и, как следствие, разогреву нижних слоев атмосферы и поверхности земли.

Другая группа ученых склоняется к тому, что роль человека ничтожна по сравнению с естественными причинами. По косвенным геологическим данным диапазон изменения мировой среднегодовой температуры воздуха в последнем межледниковом цикле составил до 5°C и на данный момент глобальный рост температуры воздуха находится в пределах естественных температурных колебаний.

Также существует точка зрения, объединяющая гипотезы об антропогенных и естественных факторах. По мнению М. О. Френкеля и И.И. Мохова глобальное потепление, обусловленное естественными причинами, началось с 30-х годов 20 века. С 70-х годов 20 века «естественное глобальное потепление» стало более значимым в результате активной человеческой деятельности. Часть глобального потепления обусловлена локальными эффектами урбанизации. Многие из аномальных явлений погоды на Земле могут быть связаны с глобальными экологическими проблемами, такими как истощение озонового слоя стратосферы, вырубка лесов, осушение болот, а так же опустынивание, распашка больших площадей под сельскохозяйственные культуры и, как следствие, повышение температуры воздуха в отдельных регионах.

В основном такое потепление будет проявляться наиболее существенно в крупных городах - мегаполисах. Мегаполис сам по себе является локальным источником тепла. В крупных промышленных центрах изменяются

характеристики естественной окружающей среды, в том числе и альbedo подстилающей поверхности, наблюдается высокая компактность проживания жителей и увеличение степени промышленной деятельности. Развитые транспортные системы существенно влияют на изменение температуры воздуха, особенно на продолжительность зимнего периода, которая за последние 30 лет снизилась на 13 дней в основном за счет раннего наступления весны. Вероятно, помимо парникового эффекта, подобный сдвиг обусловлен активным загрязнением снежного покрова в зимние месяцы. При этом на фоне общей тенденции среднегодовой температуры к потеплению в последние годы зимы стали заметно холоднее [16,22,40,59].

1.3. Моделирование временных рядов и оценка проявления изменений климата

Само определение климата и расчетных климатических характеристик, применяемых в прикладной климатологии (строительной, сельскохозяйственной, медицинской и т.п.) предполагает условия стационарности, по крайней мере, за какой-либо интервал времени. Так в настоящее время определение климатических норм рекомендуется ВМО за период 1961-1990 гг. [74] за который средние значения допускаются стационарными. Поэтому стационарная модель является основополагающей для климатологии и все остальные виды моделей необходимо сравнивать и сопоставлять с ней. Модели временных рядов могут быть двух основных видов: простые однородные и композиционные [75,76,78]. Простые модели допускают, что временной ряд рассматриваемой климатической характеристики является суммой многих процессов и может рассматриваться как один случайный процесс. Сложные же композиционные модели пытаются выделить отдельные составляющие разного временного масштаба.

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.

Эти два вида климатических изменений отражают разные физические механизмы, действующие в климатической системе Земли. Трендовые изменения имеют место в слабоинерционной системе, которая быстро откликается на внешние воздействия. Механизм ступенчатых изменений или триггерный механизм характеризует неравновесную систему, которая может компенсировать внешние воздействия до тех пор, пока они не превышают порогового значения, после чего система быстро переходит на новый, обычно квазистационарный, уровень. Стационарный временной ряд может быть частным случаем существования как равновесной, так и неравновесной систем. В первом случае это проявление случайных внешних воздействий, во втором – период стабильного состояния, пока величина внешнего воздействия не превысила критического порога. Кроме того, тип изменений может зависеть и от пространственного масштаба обобщения данных. Так, глобальная температура вполне может характеризоваться монотонным трендом, т.к. она отображает составляющую теплового баланса всей планеты. Климатические же изменения осадков для отдельной территории больше определяются сменой типов атмосферной циркуляции, что проявляется в виде ступенчатых переходов от одного стационарного состояния (типа циркуляции) 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:

$$\begin{aligned} Y_{1cp} &= \text{const1}, \quad Y_{2cp} = \text{const1}, \\ \sigma_1 &= \text{const1}, \quad \sigma_2 = \text{const2} \end{aligned} \quad (1.1)$$

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:

$$SS = \sum_1^{n1} (Y_i - Y_{1cp})^2 + \sum_{n1+1}^n (Y_i - Y_{2cp})^2 = \min \quad (1.2)$$

где n_1, n_2 - 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:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}} \quad (1.3)$$

и для двух ступней и трех стационарных интервалов:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2 + \sigma_3^2 n_3}{(n_1 + n_2 + n_3 - 1)}} \quad (1.4)$$

Где $\sigma_{\text{ступ}}$ - стандартное отклонение остатков модели ступенчатых изменений; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - стандартные отклонения стационарных отрезков временного ряда; n_1, n_2, n_3 - объемы стационарных отрезков.

Модель линейного тренда выражается следующим уравнением:

$$Y(t) = b_1 t + b_0, \quad (1.5)$$

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

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} , \quad (1.6)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (1.7)$$

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (1.7) который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (1.8)$$

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:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2} \quad (1.9)$$

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:

$$\Delta_{mp} = \left(\frac{\bar{\sigma}_y - \bar{\sigma}_\varepsilon}{\bar{\sigma}_y} \right) * 100\% , \quad (1.10)$$

$$\Delta_{cmyh} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{cmyh}}{\sigma_y} \right) * 100\% , \quad (1.11)$$

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

$$F_{ТР} = \frac{\sigma^2_Y}{\sigma^2_\varepsilon} \quad , \quad (1.12)$$

$$F_{ступ} = \frac{\sigma^2_Y}{\sigma^2_{ступ}} \quad (1.13)$$

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.

1.4. Классификация полученных закономерностей динамики по территории и построение пространственных моделей

После обработки и моделирования климатических данных в каждом пункте, осуществляется пространственное обобщение полученных закономерностей. Для этой цели можно выделить районы с преобладанием

того или иного вида модели временного ряда (стационарная, тренд, ступенчатая) и внутри каждого такого однородного района построить районную статистическую модель многолетних колебаний. С другой стороны, основным признаком эффективности выбора однородного района является достаточно высокая пространственная связанность информации внутри территории, и эта связанность может быть определена на основе пространственной корреляционной функции.

Пространственные корреляционные функции (ПКФ) метеорологических характеристик представляют собой зависимость коэффициентов парной корреляции от расстояния между пунктами наблюдений и имеют следующий общий вид:

$$R_{ij} = f(D_{ij}), \quad (1.14)$$

где: R_{ij} – коэффициент парной корреляции между каждой парой рядов наблюдений в однородном районе, D_{ij} – расстояние между пунктами наблюдений (км).

ПКФ вскрывают пространственную структуру полей метеорологических характеристик и находят применение при решении различных задач, связанных с пространственным анализом: оптимальная пространственная интерполяции метеорологических характеристик и их параметров, выбор станций-аналогов при приведении непродолжительных рядов к многолетнему периоду и других.

Расчет парных коэффициентов корреляции между многолетними рядами в двух пунктах наблюдений осуществляется по формуле:

$$r_{jk} = [\sum_{i=1}^n (y_{ik} - \bar{y}_k)(y_{ij} - \bar{y}_j)] / S_k S_j n_{kj} \quad (1.15)$$

где n_{kj} – число совместных лет наблюдений n в k -ом и j -ом пунктах, $S_k S_j$ – стандартные отклонения соответственно в k -ом и j -ом пунктах.

На основе построенной ПКФ в однородный район включаются пункты до расстояния (радиуса корреляции) при котором коэффициент межрядной корреляции превышает критическое минимальное значение, равное,

например, 0.7.- 0.8. Построенная ПКФ должна отвечать условиям однородности и статистической значимости. Однородность основана на сопоставлении дисперсий фактической вариации ($\sigma_{R_{\text{факт}}}$) и теоретической случайной погрешности коэффициентов корреляции ($\sigma_{R_{\text{теор.}}}$) внутри рассматриваемой градации расстояний между станциями. Статистическое сопоставление дисперсий осуществляется на основе критерия Фишера. Если фактическая вариация коэффициентов корреляции статистически значимо больше теоретической, то ПКФ является неоднородной в данной градации расстояний. Для оценки статистической значимости рассчитываются нижние и верхние границы 95%-ного доверительного интервала средних коэффициентов корреляции в градациях ($R_{95\%_{\text{нижн}}}$ и $R_{95\%_{\text{верх}}}$). Если доверительный интервал включает в себя нулевое значение, то коэффициент корреляции не является статистически значимым.

Пространственные модели внутри однородного района могут быть построены на основе методики, приведенной в работах [9,10]. При этом, средние многолетние значения климатических характеристик, представленные на географическом пространстве в однородном районе, образуют климатическое поле, характеризующее географию климата на рассматриваемой территории. Это климатическое поле существует всегда, но в каждый год его границы и параметры изменяются в зависимости от совместного влияния факторов климата и адвекции данного года. Связь между многолетним климатическим полем и полем каждого года можно представить линейным уравнением

$$Y_{ij} = A_{1j}Y_{cpi} + A_{0j} \pm E_{ij}, \quad (1.16)$$

где: Y_{ij} – значение климатической характеристики на i -ой станции в j -ый год;
 Y_{cpi} – среднее многолетнее значение климатической характеристики на i -ой станции;

A_{1j}, A_{0j} – коэффициенты уравнения, определяемые по МНК;

E_{ij} – случайные отклонения.

Линейность модели (1.16) постулируется наличием единой функции климатического поля, как за каждый год, так и за многолетний период, что требует эмпирической проверки. Отличие полей проявляется в коэффициентах, из которых A_{1j} характеризует градиент, а A_{0j} – уровень или положение пространственного поля. Если выразить случайные отклонения E_{ij} через их стандарт σ_{Ej} , то этот параметр будет характеризовать внутреннюю неоднородность пространственного поля в каждый j -ый год. Таким образом, всю пространственную динамику поля можно выразить в виде многолетних рядов трех параметров A_{1j} , A_{0j} и S_{Ej} .

Еще одна особенность уравнения (1.16) состоит в том, что оно позволяет разделить поле климатической характеристики каждого года на две однородные составляющие Y_1 и Y_2 , где $Y_1 = A_{1j}Y_{cpi} + A_{0j}$ – климатическая составляющая поля, $Y_2 = E_{ij}$ – адвективная составляющая поля, которая характеризует проявление синоптических особенностей данного года по территории.

Глава 2. Оценка изменений температуры воздуха на территории Костромской области

Современное изменение климата по-разному проявляется в разных районах Земли и для разных гидрометеорологических характеристик. Чтобы выяснить проявляется ли глобальное потепление в конкретных природных характеристиках и на конкретной территории необходимо осуществить детальное исследование и моделирование динамики временных рядов. В настоящей работе территорией исследования является Костромская область, а рассматриваемыми характеристиками – основные показатели гидрометеорологического режима, такие как температура воздуха и осадки. Анализируемые климатические характеристики при этом разделялись на две группы: стандартные, к которым относятся среднегодовые и среднемесячные их значения, и прикладные, имеющие непосредственное значение для экономики. К прикладным характеристикам температурного

режима, полученным на основе информации месячной дискретности, можно отнести:

- наибольшую в году среднемесячную температуру воздуха, которая приходится на летние месяцы и характеризует засушливые условия;
- наименьшую в году среднемесячную температуру воздуха, которая приходится на зимние месяцы и характеризует условия замерзания почвы и водоемов;
- среднюю температуру за летний сезон;
- среднюю температуру за зимний сезон;
- параметры функции внутригодовых изменений.

В результате исследования целого набора климатических характеристик можно получить комплексные выводы о динамике климатического режима на территории Костромской области.

Методика оценки региональных климатических изменений включает следующие основные составляющие:

- формирование региональных баз данных климатических характеристик;
- оценка однородности исходной климатической информации;
- приведение непродолжительных рядов наблюдений к одинаковому многолетнему периоду, включая восстановление пропусков наблюдений и оценку эффективности восстановленных данных;
- построение моделей временных рядов и оценка их эффективности и статистической значимости;
- пространственное обобщение полученных результатов.

В результате проведенных исследований должны быть сделаны выводы о том, насколько проявляется глобальное потепление в разных климатических характеристиках и в какой части территории эти проявления наиболее значимы.

2.1. Региональная база данных многолетних рядов температур воздуха.

За основу формирования региональной базы данных по характеристикам

термического режима приняты данные месячной дискретности: многолетние ряды среднемесячных температур воздуха, на основе которых были получены среднегодовые температуры. Многолетние ряды наблюдений за температурой воздуха на территории Костромской области выбраны на 14 метеостанциях, причем 10 метеостанций продолжают работать в настоящее время, а 4 были закрыты в конце 1980х – начале 1990х годов. Расположение метеостанций на территории области показано на Рис.2.1, из которого следует, что станции распределены по пространству достаточно равномерно и их число вполне достаточно для осуществления пространственных обобщений.

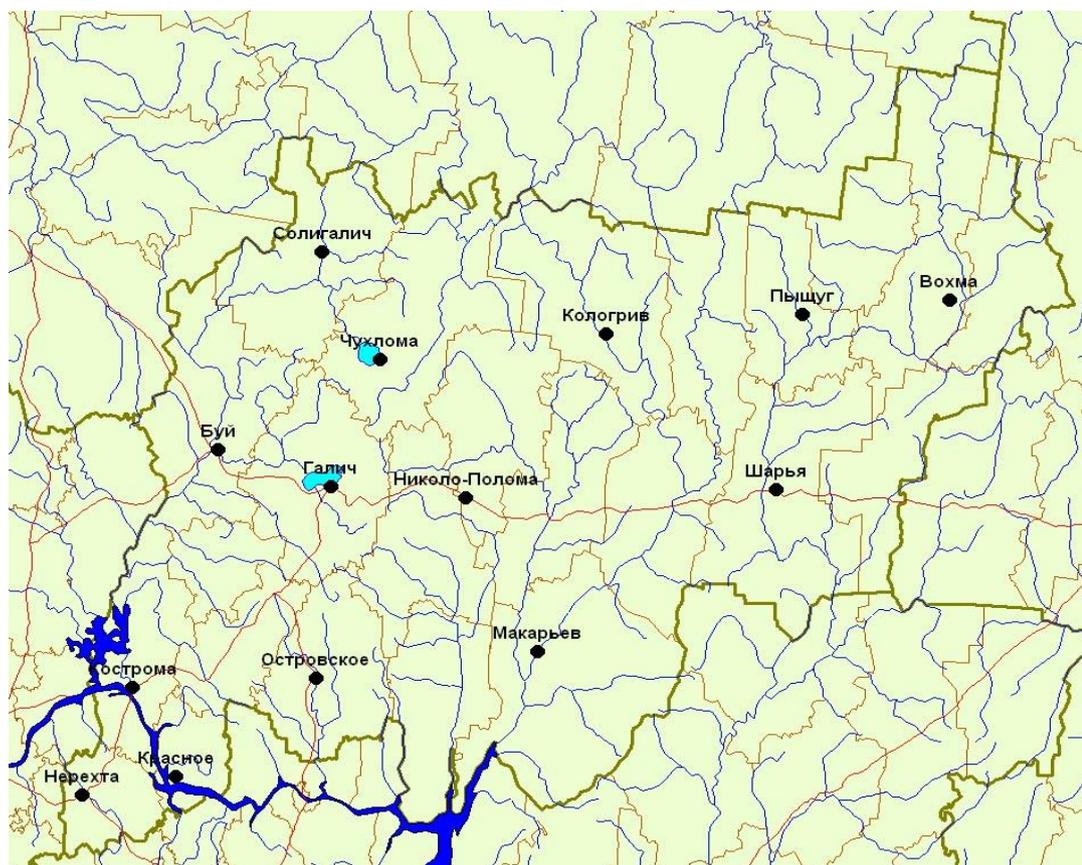


Рис.2.1. Схема размещения пунктов наблюдений за температурой воздуха на территории Костромской области.

Основные показатели станций, такие как пятизначный код ВМО, название, координаты, а также информационные характеристики исходных данных (период наблюдений и продолжительность временных рядов в годах) приведены в Табл.2.1. По данным Табл.2.1 следует, что средняя продолжительность рядов наблюдений за среднегодовой и среднемесячной температурой воздуха составляет 64 -65 лет, а наибольшая 89 -90 лет. В связи с небольшой площадью рассматриваемой территории и высокой пространственной связанностью температуры воздуха, существует потенциальная возможность привести все ряды наблюдений к одинаковому и продолжительному периоду с начала 1930х годов по 2010 г. включительно.

Таблица 2.1.

Пункты многолетних наблюдений за температурой воздуха на территории Костромской области и их характеристики: координаты, период и продолжительность наблюдений (n, годы).

Код станции	Название	Координаты		среднегодовая		среднемесячная	
		широта	долгота	период	n	период	n
27157	Чухлома	58.7525	42.6967	1911 - 2010	89	1910 - 2010	90
27164	Кологрив	58.8278	44.3136	1935 - 2010	76	1935 - 2010	76
27174	Пыщуг	58.8861	45.7126	1935 - 2010	75	1935 - 2010	75
27176	Вохма	58.9286	46.757	1931 - 2010	78	1931 - 2010	80
27242	Буй	58.4868	41.545	1947 - 2010	64	1947 - 2010	64
27243	Галич	58.3773	42.346	1931 - 2010	80	1931 - 2010	80
27252	Николо-Полома	58.3441	43.3109	1932 - 2010	79	1932 - 2010	79
27259	Макарьев	57.8864	43.8148	1936 - 2010	75	1936 - 2010	75
27271	Шарья	58.3673	45.5183	1935 - 2010	76	1935 - 2010	76
27333	Кострома	57.7818	40.9304	1937 - 2010	74	1937 - 2010	74
75235	Нерехта	57.4642	40.5678	1948 - 1987	29	1948 - 1987	29
75295	Красное	57.5163	41.2377	1979 - 1994	16	1979 - 1994	16
75301	Островское	57.8098	42.2367	1960 - 1992	33	1960 - 1992	33
75308	Солигалич	59.0717	42.2883	1935 - 1992	58	1935 - 1992	58

2.2. Оценка однородности данных по температуре воздуха

В понятие однородности исходной климатической информации входит оценка резко отклоняющихся от общей совокупности экстремумов, а также однородности по времени условий наблюдений. Резко отклоняющиеся экстремумы могут быть обусловлены тремя основными причинами:

- большими погрешностями наблюдений или ошибками при занесении в Базу данных (БД);
- редкой повторяемостью экстремального события по отношению к исходному ряду наблюдений;
- другим или неоднородным генезисом формирования характеристики, например, осадками разного происхождения.

Для характеристик месячной дискретности генетическая неоднородность не столь существенна, так же как и возможные большие погрешности измерений. Поэтому в большинстве случаев отдельные неоднородные экстремумы должны быть обусловлены редкой повторяемостью данного события по отношению к несоответствующему ему короткому ряду наблюдений. Оценка однородности экстремумов осуществлялась по критериям Диксона и Смирнова-Граббса, приведенным в Рекомендациях [46].

Для оценки однородности чрезвычайных экстремумов в эмпирических распределениях среднемесячных температур воздуха были выбраны ряды наблюдений продолжительностью 30 лет и более. Такое условие позволит, по крайней мере, априори исключить события, являющиеся неоднородными за счет короткого ряда наблюдений. Результаты оценки однородности экстремумов по критериям Диксона и Смирнова-Граббса даны в Табл.2.2. Знаком «+» в таблице приводится вывод о принятии нулевой гипотезы однородности, если расчетное значение статистики критерия меньше критического при $\alpha=5\%$, то есть уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия $\geq 5\%$. Знаком «-» отмечен вывод об отклонении нулевой гипотезы однородности при уровне значимости,

соответствующем расчетному значению статистики критерия $\alpha_p < 1\%$. В этом случае рядом приводится и год в который имел место неоднородный экстремум. Для остальных случаев приводится уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики α_p . Тогда для диапазона уровней значимости α_p от 3% до 5% гипотеза однородности может быть еще условно принята «(+)», а для диапазона α_p от 1% до 3% - условно отклонена «(-)». В таблице под словами «Макс.» и «Мин.» понимаются результаты проверки по всем 6 критериям (5 критериев Диксона и 1 критерий Смирнова-Граббса) соответственно для максимального и минимального резко отклоняющего экстремума.

Таблица 2.2

Результаты оценки однородности среднемесячных температур воздуха по критериям Диксона и Смирнова – Граббса.

№п/п	Код	Название метеостанции	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.
			январь		февраль		Март	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	+	+	+	+	+	+
11	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+
			апрель		май		Июнь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	-1971	+	+	+	-1986
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	(-)2.1
9	27271	Шарья	+	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	+	+	+	+	+	+
11	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+

			июль		август		Сентябрь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	(-2.8)	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	(-2.9)	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	+	+	+	+	+	+
11	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	+	+	-1945, 1992	+	+
			октябрь		ноябрь		Декабрь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	-1975	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	+	+	+	+	+	+
11	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+

По данным табл.2.2 следует, что гипотеза однородности экстремумов принимается практически во всех случаях (97.6% от общего числа). Для 4 случаев гипотеза однородности экстремумов отклоняется при $\alpha_p < 1\%$, а еще в 3 случаях может быть условно отклонена при α_p в диапазоне 1-3%.. Пример неоднородного максимума за 1975 г. в ряду среднемесячных температур воздуха октября по метеостанции Буй приведен на рис.2.2

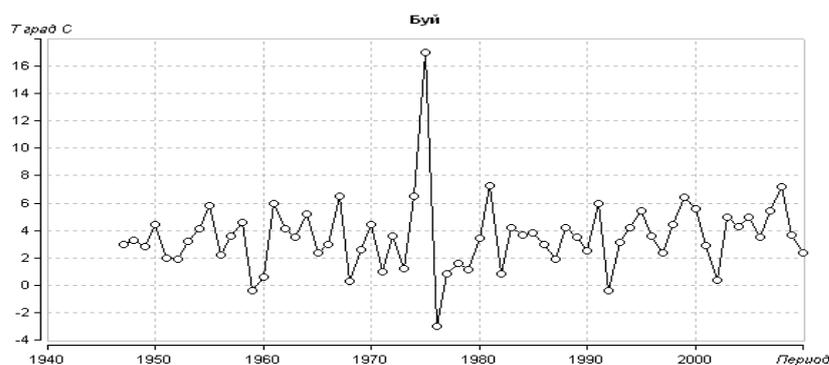


Рис.2.2 Неоднородный максимум температур октября по метеостанции Буй.

Как правило, резко отклоняющиеся экстремумы не характерны для температур воздуха при месячном интервале осреднения. Поэтому, для выявленных неоднородных данных была проведена тщательная проверка их качества. В результате проверки установлено следующее:

- для метеостанции Пыщуг (27174) неоднородные экстремумы апреля 1971г. и июня 1986г. являются ошибками при набивке информации, также как и для метеостанции Солигалич (75308) за август 1945 г. и 1992 г.;
- неоднородный максимум октября 1975 г. по метеостанции Буй (27242) обусловлен пропуском запятой;
- неоднородный максимум июля 2010 г. на метеостанции Кострома (27333) обусловлен аномально жарким летом.

Таим образом, практически все неоднородные данные при $\alpha_p < 1\%$ были обусловлены ошибками подготовки данных и после их устранения гипотеза однородности была принята во всех четырех случаях.

Проведенный аналогичный анализ однородности для рядов среднегодовых температур показал, что резко отклоняющиеся неоднородные экстремумы в них полностью отсутствуют.

2.3. Восстановление пропусков и приведение рядов температур воздуха к многолетнему периоду

В связи с тем, что имеет место высокая пространственная связанность одинаковых климатических характеристик по территории (большая для температуры воздуха и меньшая для осадков), это природное свойство можно использовать, чтобы привести ряды к одинаковому многолетнему периоду и восстановить пропуски наблюдений. В соответствии с данными Табл.2.1 существуют потенциальные возможности для формирования непрерывных многолетних рядов с начала 1930х годов по 2010 г. включительно, в том числе и для восстановления информации по закрытым станциям. В результате за сформированный 80-летний период можно с одной стороны надежнее оценить параметры моделей индивидуальных временных рядов, а с другой стороны осуществить надежное пространственное сопоставление

полученных результатов, имеющих одинаковый временной интервал обобщения.

Для приведения к многолетнему периоду применялась методика связи непродолжительного ряда наблюдений с более продолжительными рядами в пунктах – аналогах по уравнению множественной линейной регрессии, изложенная в [51]. Особенность применения методики к разным климатическим характеристикам состояла в задании разных начальных и критических значений требуемых параметров. Практическое приложение методики включало следующие основные этапы:

- задание параметров, определяющих построение эффективных уравнений;
- выбор предполагаемых аналогов и приведение к многолетнему периоду;
- оценка эффективности приведения к многолетнему периоду, включая оценку однородности восстановленных данных и данных наблюдений и оценку однородности всего полученного многолетнего ряда, состоящего из наблюдаемых и восстановленных значений.

2.3.1. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов стандартных характеристик термического режима

Приведение к многолетнему периоду осуществлялось последовательно для многолетних рядов температур каждого месяца и минимальное критическое значение коэффициента корреляции задавалось $R_{кр}=0.85$, что соответствовало стандартной относительной погрешности восстановленных данных 27.8%. При этом, по метеостанции Кострома рассматривался непрерывный ряд наблюдений, начиная с 1937 г., а не исторический с 1842 г., имеющий многочисленные пропуски. Пример результатов приведения к многолетнему периоду и показатели эффективности восстановления для среднемесячной температуры января приведены в Табл.2.3, где n , Δn – количество наблюдаемых и восстановленных лет; $\sigma_{исх.}$, $\sigma_{восст}$ – стандартные отклонения исходных и восстановленных данных; $T_{сисх.}$, $T_{свосст}$ – средние значения наблюдаемых и восстановленных температур; Φ ., $Ст.$ – статистики

критериев Фишера и Стьюдента. Из 13 рядов наблюдений к многолетнему периоду были приведены 12 за исключением продолжительного ряда на метеостанции Чухлома с $n=90$ лет. Из данных Табл.2.3 следует, что средняя продолжительность рядов наблюдений за счет процедуры восстановления была увеличена с 67 лет до 88 лет, и для большинства рядов составила 89 лет, включая непрерывный период с 1922 г. по 2010 г. за который можно достаточно надежно оценить долгопериодные климатические изменения.

Таблица 2.3

Оценка эффективности приведения к многолетнему периоду среднемесячных температур воздуха января.

Код	Станция	n	Δn	$\sigma_{исх.}$	$\sigma_{восст}$	Φ .	$T_{сисх.}$	$T_{свосст}$	Ст.
27164	Кологрив	76	13	4.63	4.05	1.31	-12.49	-12.19	-0.22
27174	Пыщуг	75	14	4.25	4.16	1.04	-12.68	-13.06	0.31
27176	Вохма	79	10	4.35	3.55	1.50	-13.28	-13.31	0.02
27242	Буй	64	25	4.52	4.85	1.15	-11.45	-12.15	0.63
27243	Галич	80	9	4.47	3.76	1.41	-11.16	-11.52	0.23
27252	Николо-Полома	79	10	4.28	3.38	1.61	-12.12	-12.43	0.22
27259	Макарьев	75	14	4.46	3.82	1.36	-12.09	-11.54	-0.43
27271	Шарья	76	13	4.40	3.91	1.27	-12.71	-12.40	-0.24
27333	Кострома	74	15	4.45	3.69	1.45	-11.07	-10.40	-0.55
75235	Нерехта	29	60	4.45	5.20	1.37	-11.98	-11.46	-0.45
75301	Островское	33	47	4.76	6.00	1.59	-13.53	-12.48	-0.83
75308	Солигалич	58	31	4.89	4.04	1.46	-13.03	-11.12	-1.84
Среднее		67.2	21.1						

Результаты восстановления многолетних рядов температуры для остальных месяцев года и для среднегодовых температур приведены в Табл.2.4 в которой N – число лет после восстановления, σ_{ϵ} – стандартная погрешность восстановленных данных в $^{\circ}\text{C}$. По результатам Табл. 2.4 следует, что в среднем продолжительность рядов среднемесячных температур воздуха за счет применения процедуры восстановления удалось

увеличить с 66.5 лет до 87.4 лет, т.е. более, чем на 20 лет или почти на треть от их исходной продолжительности. При этом полученная средняя продолжительность восстановленных рядов наблюдений варьирует от 81 года (февраль) до 90 лет (ноябрь, декабрь) и значимо не зависит от времени года. Вместе с тем, средняя стандартная погрешность восстановленных данных изменяется от 0.4-0.6⁰С в теплые месяцы года до 1.1-1.2⁰С в зимние месяцы, что, составляет примерно 1/3 от многолетней изменчивости, которая зависит от времени года и в зимние месяцы составляет 3-4⁰С, а в летние уменьшается до 1.5-2.0⁰С.

В большинстве случаев из 14 рядов наблюдений к многолетнему периоду удалось привести 12. Многолетний ряд наблюдений на станции Чухлома не был дополнен восстановленными данными, т.к. имел наибольшую продолжительность 90 лет и сам являлся аналогом. В отдельные летние месяцы (июль, август) дополнительно удалось увеличить продолжительность наблюдений на метеостанции Красное с 16 лет до 51 и 64 лет.

Ряды среднегодовой температуры воздуха в среднем были увеличены с 62.5 до 84.5 лет со стандартной погрешностью восстановленных данных 0.4⁰С при их многолетней изменчивости 1.2⁰С.

Таблица 2.4

Результаты приведения к многолетнему периоду среднемесячных и среднегодовых температур воздуха.

Станция	<i>n</i>	<i>N</i>	$\sigma\varepsilon^0\text{C}$	<i>n</i>	<i>N</i>	$\sigma\varepsilon^0\text{C}$	<i>n</i>	<i>N</i>	$\sigma\varepsilon^0\text{C}$
	февраль			март			апрель		
Кологрив	76	89	0.5	76	89	0.4	76	89	0.4
Пыщуг	75	89	1.1				75	89	1.1
Вохма	79	80	0.6	79	89	0.6	79	89	0.6
Буй	64	89	0.9	64	89	0.4	64	89	0.3
Галич	80	89	1.4	80	89	0.8	80	89	0.9
Николо-Полома	79	10	1.7	79	89	0.6	79	89	0.9
Макарьев	75	89	1.0	75	89	1.2	75	89	0.6
Шарья	76	80	1.9	76	89	1.4	76	89	1.0

Кострома	74	89	0.6	74	89	0.7	74	89	0.5
Нерехта	29	89	1.7	16	76	1.1	29	74	1.4
Островское	16	89	1.5	33	89	1.0	33	89	0.5
Солигалич	33	86	1.4	58	89	1.3	58	69	0.7
среднее	63	81	1.2	64.5	87.8	0.9	66.5	86.1	0.7
	май			июнь			июль		
Кологрив	76	89	0.6	76	89	0.6	76	89	0.4
Пыщуг	75	89	0.6	75	80	1.1	75	76	1.1
Вохма	78	89	0.7	78	89	0.5	79	89	0.5
Буй	64	89	0.3	64	89	0.3	64	89	0.3
Галич	80	89	0.8	80	89	0.4	80	89	0.4
Николо- Полома	79	89	0.6	79	89	0.7	79	89	0.4
Макарьев	75	89	1.1	75	89	0.6	75	76	0.8
Шарья	76	89	0.8	76	89	0.9	76	89	1.0
Кострома	74	89	0.4	74	89	0.4	74	89	0.5
Нерехта	29	89	1.0	29	89	0.8	29	89	0.8
Красное							16	51	0.8
Островское	33	89	0.5	33	89	0.3	33	89	0.3
Солигалич	58	89	1.0	58	89	0.6	58	89	0.6
среднее	66.4	89	0.7	66.4	88.2	0.6	62.6	84.1	0.6
	август			сентябрь			октябрь		
Кологрив	76	89	0.4	76	89	0.4	76	89	0.8
Пыщуг	75	89	0.3	75	89	0.3	75	89	0.6
Вохма	79	89	0.5	79	89	0.4	79	89	0.6
Буй	64	89	0.4	64	89	0.3	64	89	0.3
Галич	80	89	0.3	80	89	0.2	80	89	0.5
Николо- Полома	79	89	0.8	79	89	0.6	79	89	0.6
Макарьев	75	89	0.7	75	89	0.6	75	89	0.9
Шарья	76	89	0.8	76	89	0.7	76	89	0.5
Кострома	74	89	0.4	74	89	0.3			
Нерехта									
Красное	16	64	1.1						
Островское	33	89	0.4	33	89	0.7	33	89	0.7
Солигалич				58	89	0.4	58	89	0.9
среднее	66.1	86.7	0.6	69.9	89	0.4	69.5	89	0.6
	ноябрь			декабрь			год		
Кологрив	76	90	0.4	76	90	0.5	76	89	0.4
Пыщуг	75	90	1.0	75	90	0.5	75	89	0.4
Вохма	79	90	0.6	79	90	0.8	78	89	0.4
Буй	64	90	0.3	64	90	0.3	64	89	0.3
Галич	80	90	0.4	80	90	0.6	80	89	0.3
Николо-	79	90	0.8	79	90	1.6	79	89	0.5

Полома									
Макарьев	75	90	0.7	75	90	0.8	75	89	0.6
Шарья	76	90	0.9	76	90	1.2	76	89	0.5
Кострома	74	90	0.7	74	90	1.4	74	89	0.3
Нерехта				29	90	2.0	29	76	0.4
Красное							16	86	0.4
Островское	33	90	1.1	33	90	1.5	33	47	0.2
Солигалич	58	90	0.5	58	90	1.9	58	89	0.4
среднее	69.9	90	0.7	66.5	90	1.1	62.5	84.5	0.4

Для восстановленных рядов наблюдений вновь был проведен анализ однородности эмпирических распределений на резко отклоняющиеся экстремумы, которые могли появиться за счет отдельных больших погрешностей в восстановленных данных. Результаты выполненного анализа по критериям Диксона и Смирнова - Граббса показали, что эмпирические распределения восстановленных рядов среднемесячных температур за все месяцы являются однородными.

В целом, по результатам приведения температур воздуха к многолетнему периоду можно сделать вывод, что продолжительность рядов в среднем удалось довести до 87-88 лет и для дальнейшего анализа на 13 метеостанциях (за исключением станции Красное) использовать непрерывные продолжительные ряды наблюдений практически с 1926 г. по 2010 г. При этом погрешность восстановленных данных в среднем составляет 1/3 от многолетней изменчивости временного ряда, что является достаточно надежным показателем восстановления.

2.3.2. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов прикладных характеристик термического режима

К прикладным характеристикам относятся: максимальные и минимальные в году среднемесячные температуры, средние температуры за лето и за зиму и коэффициенты (B_1 , B_0) и параметр (Se) функции годового хода. Многолетние ряды всех прикладных характеристик термического режима были получены на основе многолетних рядов среднемесячных

температур воздуха, для которых уже была выполнена оценка качества данных. Поэтому ряды прикладных характеристик не проверялись на однородность, а сразу же приводились к многолетнему периоду при задании такого же минимального критического значения коэффициента корреляции $R_{кр}=0.85$. Результаты восстановления данных приведены в Табл.2.5, где $T_{макс}$ мес. и $T_{мин}$ мес – максимальные и минимальные в году среднемесячные температуры воздуха; $T_{лет}$ и $T_{зим}$ – средние температуры за летний и зимний сезоны; $B1$, $B0$, $Se.$ – коэффициенты функции сезонных изменений.

Таблица 2.5

Результаты приведения к многолетнему периоду прикладных характеристик термического режима.

Станция	n	N	$\sigma\varepsilon^{\circ C}$	n	N	$\sigma\varepsilon^{\circ C}$	N	N	$\sigma\varepsilon^{\circ C}$
	Тмакс мес			Тмин мес			Тлет		
Кологрив	76	89	0.4	76	89	0.6	76	89	0.3
Пыщуг	75	80	0.8	75	89	0.7			
Вохма	78	89	0.5	78	89	1.1	78	89	0.3
Буй	64	89	0.3	64	89	0.8	64	89	0.2
Галич	80	89	0.4	80	89	1.6	80	89	0.3
Николо- Полома	79	89	0.6	79	89	1.9	79	89	0.4
Макарьев	75	76	0.5	75	89	1.0	75	89	0.6
Шарья	76	89	0.9	76	89	1.6	76	89	0.6
Кострома	74	89	0.4	74	89	1.1	74	89	0.3
Нерехта	29	89	0.7	29	89	1.6	29	89	0.5
Красное	16	86	0.8	16	76	1.2	16	76	0.5
Островское	33	89	0.3	33	45	0.3	33	89	0.2
Солигалич	58	89	0.4	58	69	1.5	58	89	0.5
среднее	62	87	0.5	62	83	1.2	62	88	0.4
	Тзим			B1			B0		
Кологрив	75	89	0.5	76	89	0.02	76	89	0.2
Пыщуг	74	89	0.6	75	89	0.03	75	89	0.3
Вохма	78	89	1.3	78	89	0.04	78	89	0.4

Буй	63	89	0.5	64	89	0.02	64	89	0.2
Галич	79	89	0.9	80	89	0.03	80	89	0.3
Николо- Полома	78	89	1.0	79	89	0.03	79	89	0.4
Макарьев	74	89	0.8	75	89	0.04	75	89	0.4
Шарья	75	89	1.3				76	89	0.6
Кострома	73	89	0.7	74	89	0.02	74	89	0.3
Нерехта	28	89	1.2	29	46	0.05	29	76	0.6
Красное	15	75	0.9	16	76	0.04	16	76	0.4
Островское	32	63	0.9	33	55	0.01	33	47	0.2
Солигалич	57	89	1.2	58	79	0.05	58	89	0.5
среднее	62	86	0.9	61	81	0.03	62	84	0.4
	Se								
Кологрив	76	89	0.1						
Пыщуг	75	76	0.2						
Вохма	78	80	0.1						
Буй	64	89	0.1						
Галич	80	89	0.2						
Николо- Полома	79	89	0.3						
Макарьев	75	89	0.3						
Шарья	76	89	0.3						
Кострома	74	89	0.2						
Нерехта									
Красное									
Островское									
Солигалич	58	89	0.2						
среднее	74	87	0.2						

Как следует из результатов Табл.2.5, из 14 рядов наблюдений за каждой прикладной климатической характеристикой к многолетнему периоду были приведены 13 рядов за исключением параметра Se, для которого восстановлены всего 10 рядов наблюдений. Средний период

наблюдений в 63 года (при вариации от 61 до 74 для разных характеристик) был увеличен за счет процедуры восстановления пропусков и удлинения рядов до 85 лет (при вариации от 81 до 87 лет), т.е. на 35%. Проведенный анализ однородности восстановленных рядов не показал каких-либо существенных отклонений гипотезы однородности и полученные ряды прикладных характеристик термического режима были использованы для оценки современных климатических изменений.

2.4. Оценка изменений климата в пунктах наблюдений

2.4.1. Оценка исторических изменений климата с середины 19 века по данным наблюдений в Костроме

Наблюдения по метеостанции Кострома являются наиболее продолжительными на территории Костромской области с началом регулярных наблюдений за температурой воздуха с 1842г. Такие исторические ряды наблюдений продолжительностью 1.5 столетия позволяют идентифицировать как естественные долгопериодные колебания климата разных временных масштабов, так и современные климатические изменения. Для всестороннего анализа долгопериодных изменений температурного режима внутри года были выбраны 20 исторических рядов следующих температурных характеристик:

- 12 рядов среднемесячных температур воздуха;
- многолетний ряд среднегодовых температур воздуха;
- 2 ряда среднесезонных температур воздуха за летний и зимний сезоны;
- 2 ряда максимальных и минимальных в году среднемесячных температур воздуха;
- 3 ряда коэффициентов и параметров сезонной функции.

График среднегодовой температуры показан на рис.2.3, из которого следует, что с конца 1980х годов (с 1988 г.) наблюдается ступенчатое увеличение средней температуры примерно на 1.5°C . Причем среднегодовая температура вычислялась только в том случае, если имелись среднемесячные

данные за все 12 месяцев года. Из-за этого вместо 169 лет, составляющего исторический период, наблюдения за среднегодовой температурой имели место только за 136 лет при существенных пропусках наблюдений в конце 19 века и в первой половине 20 века.

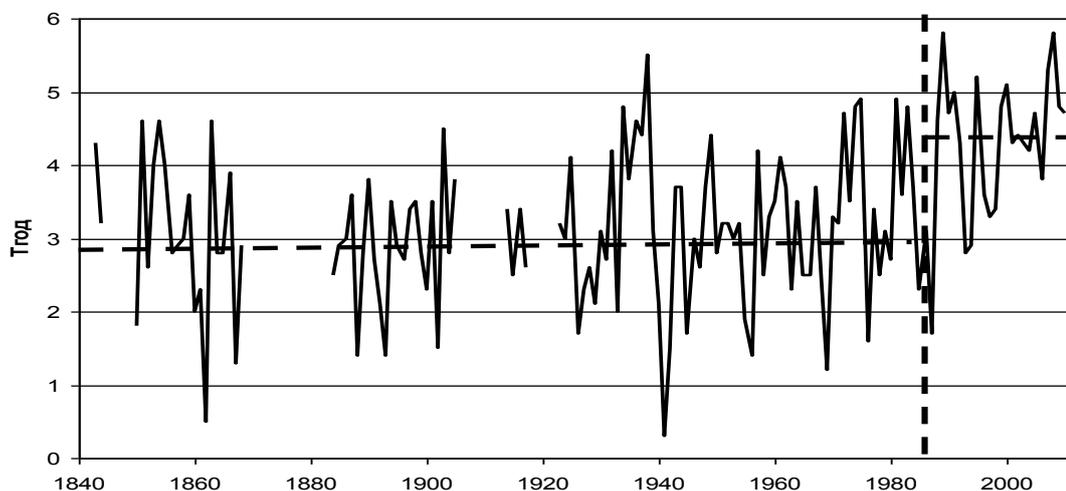


Рис.2.3. Хронологический график среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Кострома.

Для того, чтобы раскрыть причину резкого ступенчатого увеличения среднегодовой температуры, были проанализированы графики среднемесячных температур воздуха. Из всех 12 среднемесячных температур воздуха подобный ступенчатый рост температуры был обнаружен только для трех месяцев: февраль, март и апрель, хронологические графики, для которых приведены на рис.2.4. Причем, наибольшее ступенчатое увеличение температуры, составляющее около 4°C , наблюдается в марте, а в другие месяцы оно было около 2°C . В остальные месяцы года ряды температуры воздуха являются однородными и стационарными за некоторым исключением ряда среднемесячной температуры июля (рис.2.4) в котором имеет место выдающийся максимум 2010 г., связанный с аномальными погодными условиями, вызванными продолжительным антициклоном и жаркой погодой. Причем по одному из критериев Диксона уровень значимости этого события, соответствующий расчетному значению статистики критерия составляет 4.97%.

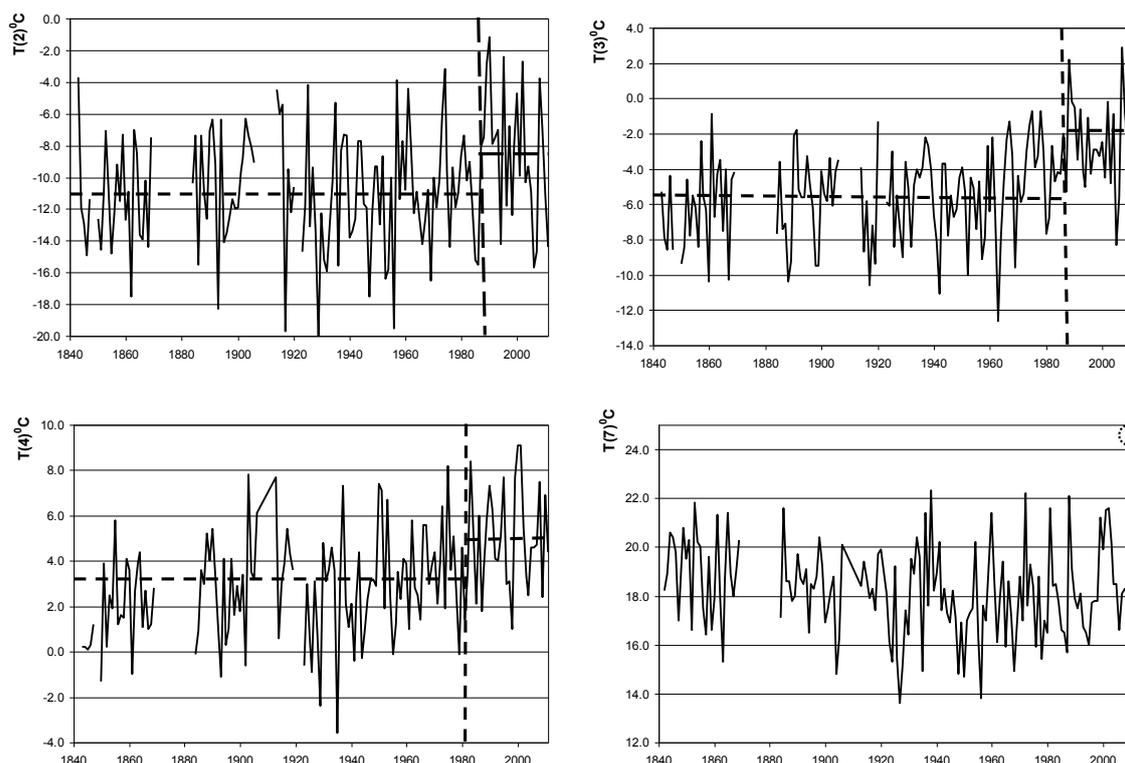


Рис.2.4. Хронологические графики среднемесячных температур воздуха, включающие нестационарность и неоднородность.

Установленное ступенчатое увеличение температуры воздуха в конце зимы – начале весны может быть обусловлено сменой эпохи атмосферной циркуляции, например в сторону перехода на западный перенос и смену индекса циркуляции на W, что, однако требует дополнительных исследований для подтверждения. Поэтому структура многолетнего графика среднегодовой температуры воздуха включает в себя ступенчатое повышение температуры, главным образом, за счет аналогичного повышения в марте при практической стационарности в остальные месяцы. Влияние июльского экстремума 2010г. на значение среднегодовой температуры не столь существенно.

Экстремальные в году среднемесячные температуры, как следует из графиков рис.2.5, являются практически стационарными, если не учитывать максимум 2010 г.

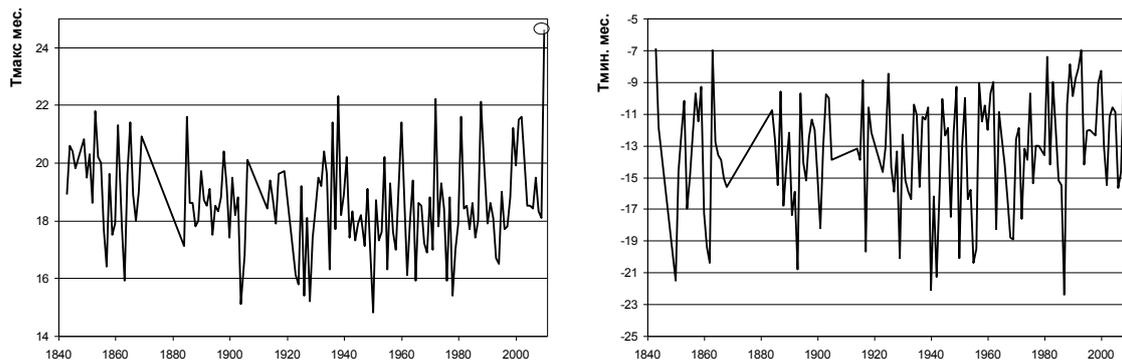


Рис.2.5. Хронологические графики среднемесячных экстремальных температур воздуха по метеостанции Кострома.

В коэффициентах внутригодовой функции $V1$ и $V0$ нестационарность также проявляется в виде ступенчатых изменений, как видно на графиках рис.2.6. Причем коэффициент $V1$ ступенчато уменьшился с конца 1980х годов примерно на 8%, что свидетельствует об уменьшении амплитуды годового хода за исключением 2010 г., в который амплитуда снова резко возросла из-за экстремальной июльской температуры. Коэффициент $V0$, характеризующий уровень сезонной функции и хорошо связанный со среднегодовой температурой, также ступенчато увеличился с конца 1980х годов. Параметр Se , характеризующий интенсивность макросиноптических процессов, является стационарным.

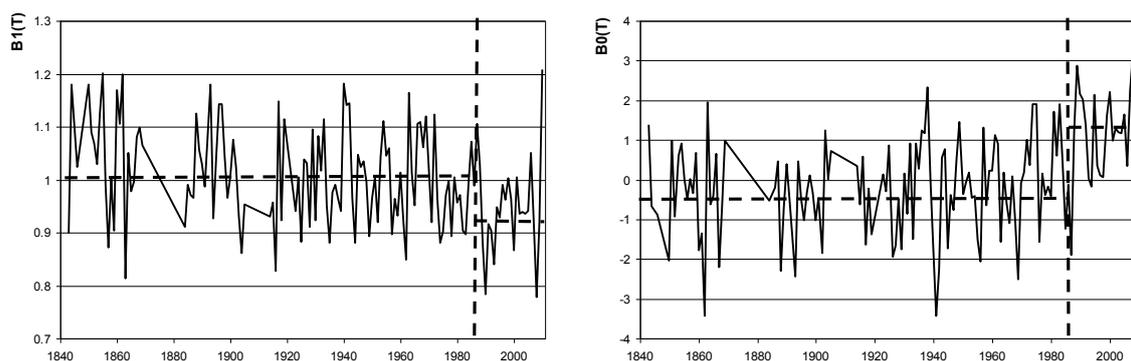


Рис.2.6. Хронологические графики коэффициентов $V1$ и $V0$ сезонной функции по метеостанции Кострома.

Количественная оценка предварительного анализа стационарности и однородности временных графиков приведена в Табл.2.6, в которой даны результаты сравнения нестационарных моделей временных рядов по

отношению к стационарной для 20 исторических рядов различных характеристик температурного режима на метеостанции Кострома. В соответствии с формулами (1.1) – (1.13) были определены параметры трех видов моделей временных рядов: стационарная выборка, линейный тренд и ступенчатые изменения, а также рассчитаны показатели их эффективности и статистической значимости. Результаты расчетов и оценки эффективности приведены в Табл.2.6, в которой:

$\Delta_{тр},\%$ $\Delta_{ст},\%$ – эффективность моделей тренда и ступенчатых изменений по отношению к стационарной модели в %;

$F_{тр}$, $F_{ст}$ - статистики критерия Фишера для оценки статистической значимости модели тренда и ступенчатых изменений по отношению к стационарной модели;

$T_{ст}$, $T_{нач}$, $T_{кон}$ – годы ступенчатых изменений, начала и окончания наблюдений;

n - продолжительность наблюдений (в годах);

R – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

Таблица 2.6

Показатели моделей временных рядов характеристик температур воздуха по метеостанции Кострома за исторический период.

Хар-ка	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	n	R
T(1)	1.1	3.5	1.02	1.07	1989	1843	2011	142	0.15
T(2)	1	3.2	1.02	1.07	1987	1843	2011	144	0.14
T(3)	7.9	11.9	1.18	1.29	1973	1843	2011	144	0.39
T(4)	8.5	8.6	1.2	1.2	1966	1843	2011	144	0.4
T(5)	0.7	1.8	1.01	1.04	1962	1843	2011	144	0.12
T(6)	0	2.8	1	1.06	1857	1843	2011	145	-0.02
T(7)	0.4	3.7	1.01	1.08	1999	1842	2011	148	-0.09
T(8)	0.2	4.8	1	1.1	1856	1842	2010	145	-0.06

Хар-ка	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
T(9)	0	1.5	1	1.03	1854	1842	2010	146	-0.01
T(10)	0	1.5	1	1.03	1994	1842	2010	145	-0.02
T(11)	0.9	2.6	1.02	1.05	2000	1842	2010	145	0.13
T(12)	1.1	2.1	1.02	1.04	1935	1842	2010	144	0.15
Ср.год	5.4	11.6	1.12	1.28	1988	1843	2010	136	0.33
Летн.сез.	0.4	6.7	1.01	1.15	1856	1843	2010	142	-0.09
Зимн.сез.	2	4.4	1.04	1.09	1988	1843	2011	142	0.2
Макс.мес.	0.3	3.3	1.01	1.07	1999	1843	2010	142	-0.08
Мин. мес.	0.9	4	1.02	1.08	1988	1843	2010	137	0.13
B1	4.9	5.1	1.1	1.11	1973	1843	2010	139	-0.31
B0	6.4	11.8	1.14	1.29	1988	1843	2010	139	0.35
Se	0	0.7	1	1.02	1857	1843	2010	139	0.03

В Табл.2.6 жирным шрифтом выделены отличия от стационарной модели, превышающие 10%, статистически значимые отличия по критерию Фишера и статистически значимые коэффициенты линейного тренда. Основной вывод состоит в том, статистически значимое отличие от стационарной модели можно идентифицировать для модели ступенчатых изменений и для трех температурных характеристик: средней температуры марта, среднегодовой температуры и коэффициента B0 сезонной функции. Для этих случаев расчетные значения статистики Фишера равны 1.28-1.29, что близко к критическому значению равному 1.28 при объеме выборки 136-144 лет и при уровне значимости $\alpha=5\%$. В этих же трех случаях отличие от стационарной модели составляет более 10%. По статистически значимым коэффициентам корреляции линейного тренда к нестационарным случаям можно отнести еще и среднемесячную температуру апреля и коэффициент B1 сезонной функции. Причем, если в температуре апреля также имеет место небольшое ступенчатое увеличение примерно на 2°C с конца 1980х годов, то в коэффициенте B1 сезонной функции наблюдается ступенчатое уменьшение

(Рис.2.6), что обусловлено обратной связанностью с коэффициентом B_0 при коэффициенте корреляции между ними $R = -0.67$.

Таким образом, выполненный анализ влияния изменений климата по наиболее продолжительным рядам наблюдений за температурой воздуха на метеостанции Кострома позволил сделать выводы, что

- среднемесячная температура воздуха практически стационарна во все месяцы за исключением марта, в который имеет место ступенчатое увеличение температуры примерно на 4°C в начале 1980х годов, что в меньшей степени (на 2°C) проявляется и в соседние месяцы (февраль и апрель);
- это ступенчатое увеличение температуры сказалось на другие температурные характеристики, такие как среднегодовая температура воздуха и коэффициент B_0 сезонной функции;

2.4.2. Оценка изменений климата для многолетних рядов термического режима

Оценка влияния климатических изменений была рассмотрена как для стандартных наблюдаемых характеристик термического режима, таких как среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха, так и для прикладных характеристик: наибольшая и наименьшая в году среднемесячная температура, средняя температура за летний и зимний сезоны, параметры функции внутригодовых изменений. Всего было рассмотрено 20 климатических характеристик: 13 стандартных и 7 прикладных. Из 14 метеостанций были выбраны те, которые имели восстановленный период наблюдений не менее 60 лет и включали последние годы наблюдений.

Для оценки эффективности и статистической значимости климатических изменений также были применены две нестационарные модели временных рядов (тренд и ступенчатые изменения) и оценивалось насколько они лучше стационарной модели. Пример оценки эффективности

нестационарных моделей для среднемесячной температуры января приведен в Табл.2.7. Оценка осуществлена для 13 рядов наблюдений, приведенных к многолетнему периоду, т.к. для оставшегося 14-го ряда по метеостанции Красное данные не удалось привести к многолетнему периоду, а продолжительность исходного ряда наблюдений составляет всего 16 лет.

Таблица 2.7.

Характеристики моделей временных рядов температур января, приведенных к многолетнему периоду.

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
27157	0.6	2.4	1.01	1.05	1989	1911	2010	89	0.11
27164	0.8	3	1.02	1.06	1989	1911	2010	89	0.13
27174	0.7	2.8	1.01	1.06	1989	1911	2010	89	0.12
27176	0.6	2.3	1.01	1.05	1992	1911	2010	89	0.11
27242	0.9	3.7	1.02	1.08	1989	1911	2010	89	0.14
27243	0.6	2.9	1.01	1.06	1989	1911	2010	89	0.11
27252	0.6	2.8	1.01	1.06	1989	1911	2010	89	0.11
27259	1.1	3.2	1.02	1.07	1989	1911	2010	89	0.15
27271	0.4	2.4	1.01	1.05	1991	1911	2010	89	0.09
27333	1.6	4.7	1.03	1.1	1989	1911	2010	89	0.18
75235	1.8	7.1	1.04	1.16	1989	1911	2010	89	0.19
75301	0	1.2	1	1.02	1945	1931	2010	80	0.02
75308	0.6	3.2	1.01	1.07	1989	1911	2010	89	0.11

Как следует из результатов таблицы 2.7, не для одного из рядов нестационарная модель не является не эффективной (отклонения от стационарной модели менее 10%), не статистически значимой (расчетные статистики критерия Фишера значительно меньше критических при $\alpha=5\%$). Также не является статистически значимым ни один коэффициент корреляции уравнения линейного тренда (R). Поэтому модель стационарной

выборки для температуры января пока не может быть отклонена. Однако, интересно отметить, что все ступенчатые изменения для продолжительных рядов (за исключением менее продолжительного ряда 75301) идентифицируются 1989 годом. Наибольшие отклонения от стационарной модели также фиксируются по модели ступенчатых изменений и составляют 4-7%. Пример ряда наблюдений по станции Нерехта, где отклонения от стационарности составляют 7.1% приведен на Рис.2.7. Исходный ряд наблюдений по этой станции составлявший всего 29 лет (1948-1987 гг.) и имевший много пропусков был увеличен в продолжительности до 89 лет (1911-2010 гг.). Экстремальное значение температуры в 2002 г., являющееся восстановленным, хотя и ненамного отклоняется от однородности ($\alpha=4.5\%$, соответствующее расчетному значению статистики критерия Диксона), но является положительным (6.1°C), что маловероятно для температуры января в этой местности. Поэтому некоторое кажущееся увеличение температуры января на станции Нерехта в последнее время обусловлено только лишь погрешность одного восстановленного значения.

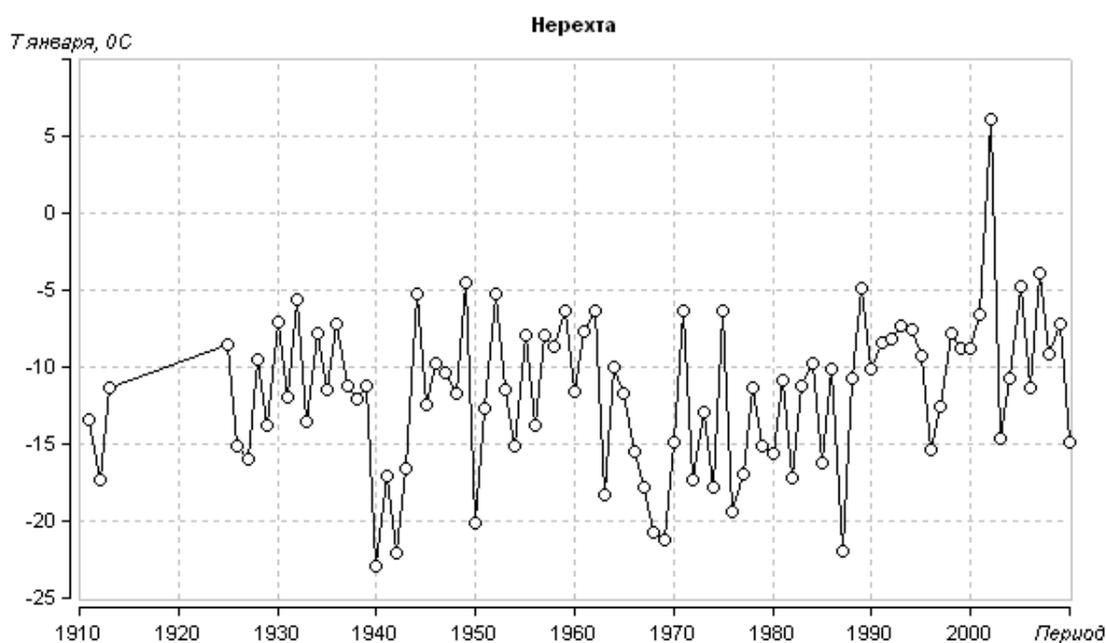


Рис.2.7. Многолетний восстановленный ряд температур воздуха января по метеостанции Нерехта.

Характеристики моделей остальных показателей температурного режима приведены в Табл.2.8 только для тех случаев, когда нестационарные модели были эффективными или статистически значимыми.

Таблица 2.8.

Характеристики эффективных и статистически значимых нестационарных моделей временных рядов температурного режима.

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
Средняя температура марта									
27242	6.5	10.6	1.14	1.25	1973	1911	2010	89	0.35
27333	6.6	11.5	1.15	1.28	1973	1911	2010	89	0.36
75301	6.1	10.2	1.14	1.24	1965	1911	2010	89	0.34
75308	5.9	10.3	1.13	1.24	1973	1911	2010	89	0.34
Средняя температура апреля									
75235	16.2	16.1	1.42	1.42	1966	1937	2010	74	0.55
Среднегодовая температура									
27157	6	10.5	1.13	1.25	1988	1911	2010	89	0.34
27174	5.7	12.7	1.12	1.31	1988	1911	2010	89	0.33
27176	7.8	12.5	1.18	1.31	1988	1911	2010	89	0.39
27242	6.2	10.9	1.14	1.26	1988	1911	2010	89	0.35
27243	6.9	11.3	1.15	1.27	1988	1911	2010	89	0.37
27252	5.3	11.4	1.11	1.27	1988	1911	2010	89	0.32
27333	6.6	12	1.15	1.29	1988	1911	2010	89	0.36
Коэффициент В1									
75235	6.5	12.5	1.14	1.31	1982	1947	1992	46	-0.35
Коэффициент В0									
27157	7.5	10.5	1.17	1.25	1988	1911	2010	89	0.38
27174	7.5	12.5	1.17	1.31	1988	1911	2010	89	0.38
27176	8.3	12.8	1.19	1.31	1989	1911	2010	89	0.4
27242	8	12.5	1.18	1.31	1988	1911	2010	89	0.39

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
27243	7.8	12	1.18	1.29	1988	1911	2010	89	0.39
27252	7	11.2	1.16	1.27	1988	1911	2010	89	0.37
27333	8.1	12.3	1.18	1.3	1988	1911	2010	89	0.39

Как следует из полученных результатов, из всего количества 280 рядов (14 станций и 20 характеристик на каждой) эффективные нестационарные модели (отличие более 10%) были всего в 20 случаях, что составляет примерно 7% от общего числа проанализированных рядов. Причем эффективность установлена только для моделей ступенчатых изменений. Статистически же значимым (отмечено ярким цветом в Табл.2.8) является только один случай нестационарной модели для метеостанции Нерехта и для средних температур апреля. Хронологические графики наблюдаемых и восстановленных данных для этого месяца приведены на Рис.2.8. Как следует из графиков, исходный ряд наблюдений составлял всего 29 лет, а продолжительность ряда, приведенного к многолетнему периоду, составила 74 года, т.е. увеличилась в 2.5 раза. Исходный ряд является коротким, имеет пропуски наблюдений и существенное отличие средних значений для первой и второй частей ряда. Эти различия стали еще более заметны для восстановленного ряда, причем переход от одного стационарного режима к другому фиксируется 1966 годом, а не концом 1980х годов, что характерно для естественных изменений. Поэтому можно считать, что установленная нестационарность может быть в большей мере обусловлена влиянием не естественных причин, а самой процедуры восстановления, примененной к исходному короткому и неоднородному ряду. Из всех рассмотренных месяцев нестационарность проявляется только в марте для четырех метеостанций.

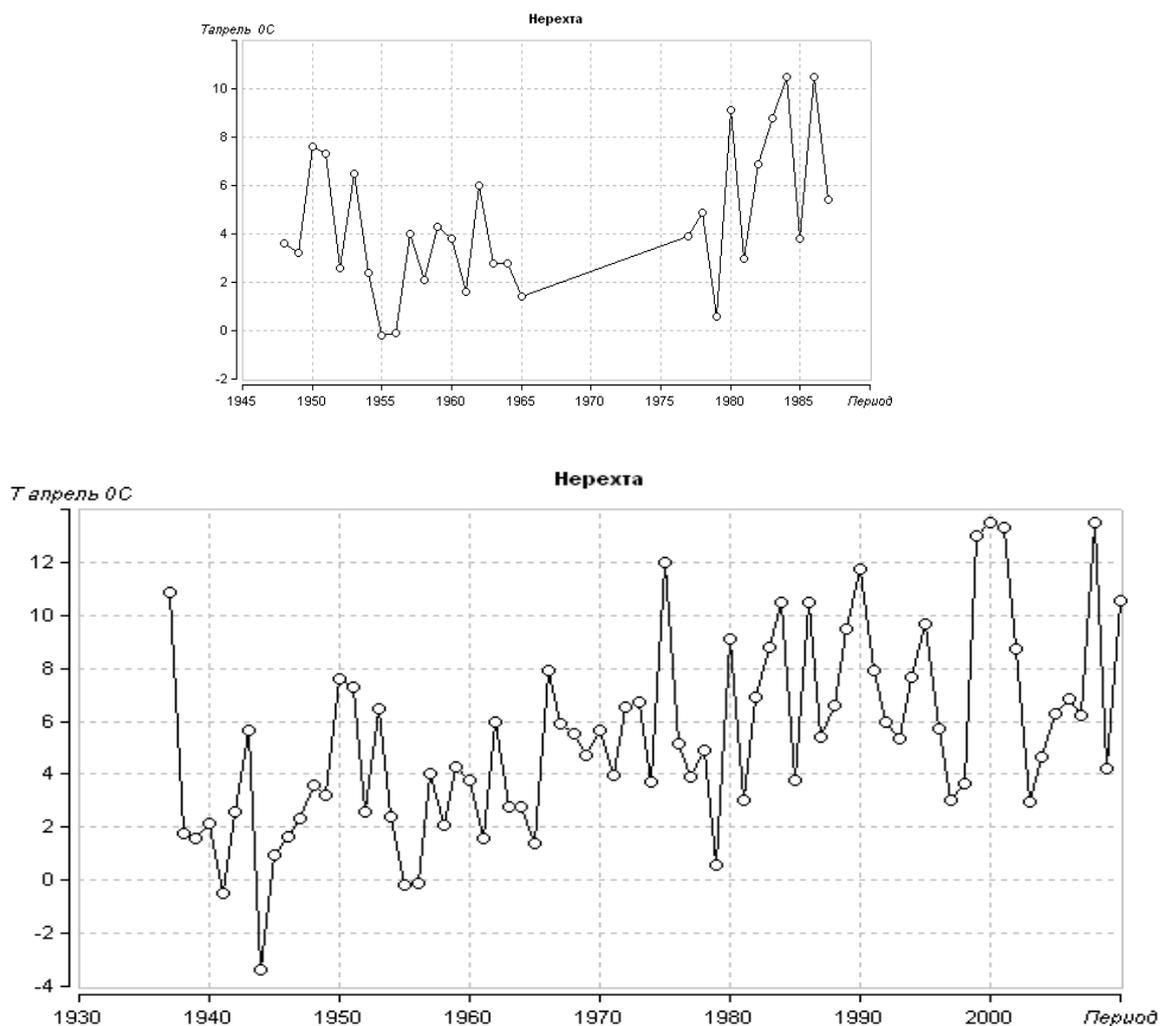


Рис.2.8. Хронологические графики наблюдаемых и восстановленных рядов температур апреля по метеостанции Нерехта.

Вместе с тем наиболее существенные отличия от стационарности наблюдались для среднегодовой температуры и связанной с ней коэффициентом B_0 сезонной функции. Из 14 рядов среднегодовой температуры к нестационарным, по условиям отличия от модели стационарной выборки при $\Delta > 10\%$, можно отнести половину. Типичный пример ряда среднегодовой температуры со ступенчатым увеличением в 1988 г. приведен на Рис.2.9 для метеостанции Чухлома, где $\Delta_{ст} = 10.5\%$, а средние температуры за первую часть ряда 1911-1987 гг. $t_{ср1} = 2.3^{\circ}\text{C}$ и за вторую 1988-2010 гг. $t_{ср2} = 3.4^{\circ}\text{C}$, т.е. отличаются на 1.1°C . Ряд наблюдений по метеостанции Чухлома составляет 90 лет и поэтому по процедуре

приведения к многолетнему периоду для него не удалось восстановить ни одного значения как среднемесячной, так и среднегодовой температуры.

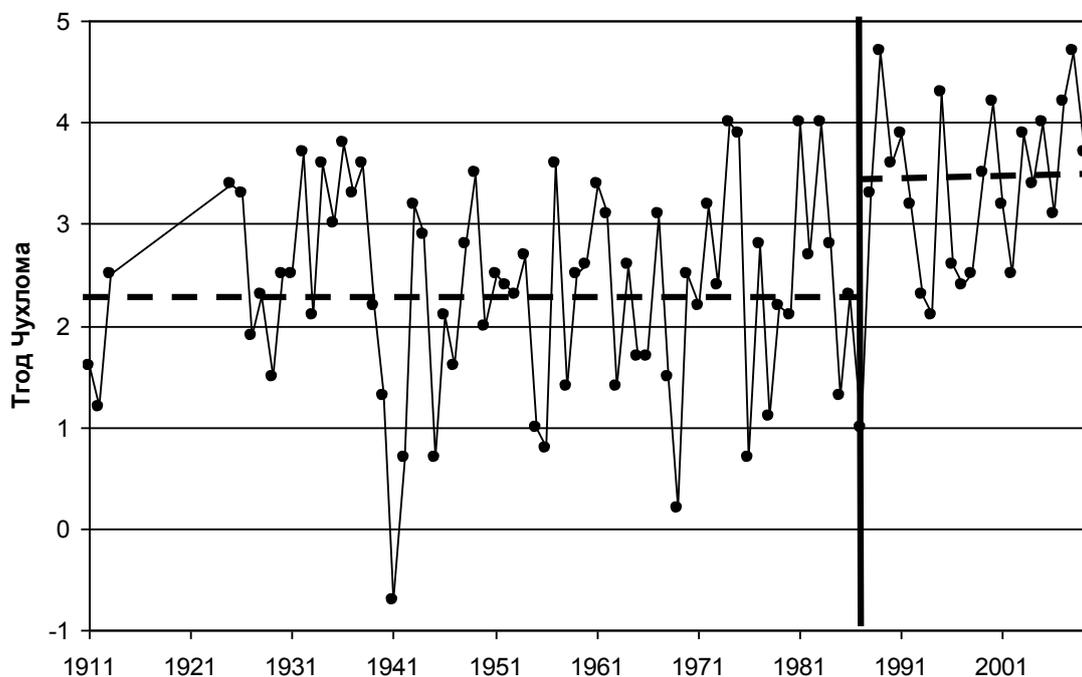


Рис.2.9. Ступенчатая нестационарная модель для ряда среднегодовых температур воздуха на метеостанции Чухлома.

Для оценки причин таких ступенчатых изменений в среднегодовых температурах был проведен детальный анализ моделей временных рядов температур каждого месяца. Установлено, что $\Delta_{ст}$ изменяется от 1% (декабрь) до 9.7% (март) и в среднем составляет 4.3%, а $\Delta_{тр}$ варьирует всего от 0.2% до 5.6%, т.е. во всех случаях нестационарная модель является неэффективной. Год ступенчатых изменений также изменяется в широких пределах: от 1946 г. для декабря до 2000 г. для ноября, хотя при больших $\Delta_{тр}$ он приходится на 1980-е – 1990-е годы. Основные характеристики нестационарных моделей для каждого месяца по метеостанции Чухлома приведены в Табл.2.9. По хронологическим графикам и данным Табл.2.9, можно сделать вывод, что стационарные модели каждого месяца со своими отдельными случайными изменениями из-за процедуры осреднения при

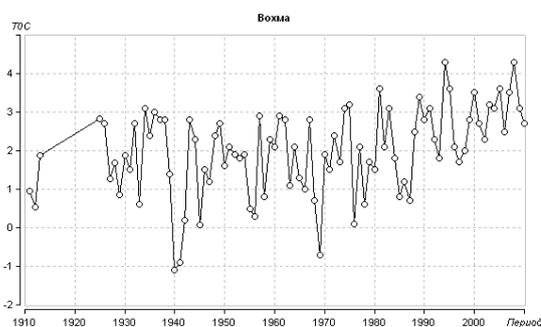
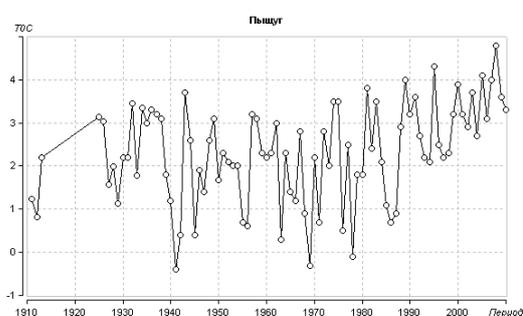
расчете среднегодовой температуры могут привести к более нестационарному виду модели суммы или среднего.

Таблица 2.9.

Характеристики нестационарных моделей среднемесячных температур воздуха для метеостанции Чухлома.

Месяц	$\Delta t_r, \%$	$\Delta t_c, \%$	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
1	0.6	2.4	1.01	1.05	1989	1911	2010	89	0.11
2	4	5.3	1.09	1.11	1987	1911	2010	89	0.28
3	5.6	9.7	1.12	1.23	1965	1911	2010	89	0.33
4	4	5.4	1.09	1.12	1983	1911	2010	89	0.28
5	3.2	3.6	1.07	1.08	1957	1911	2010	89	0.25
6	1.2	3.5	1.02	1.07	1986	1911	2010	89	0.15
7	1.6	5.6	1.03	1.12	1999	1911	2010	89	0.18
8	1.8	5.4	1.04	1.12	1942	1911	2010	89	-0.19
9	0.6	2.7	1.01	1.06	1994	1911	2010	89	0.11
10	4.1	3.7	1.09	1.08	1980	1911	2010	89	0.28
11	0.2	3.1	1	1.06	2000	1910	2010	90	-0.06
12	0.3	1	1.01	1.02	1946	1910	2010	90	0.08

Хронологические графики остальных 6 рядов среднегодовой температуры воздуха с $\Delta t_c > 10\%$ приведены на Рис.2.10.



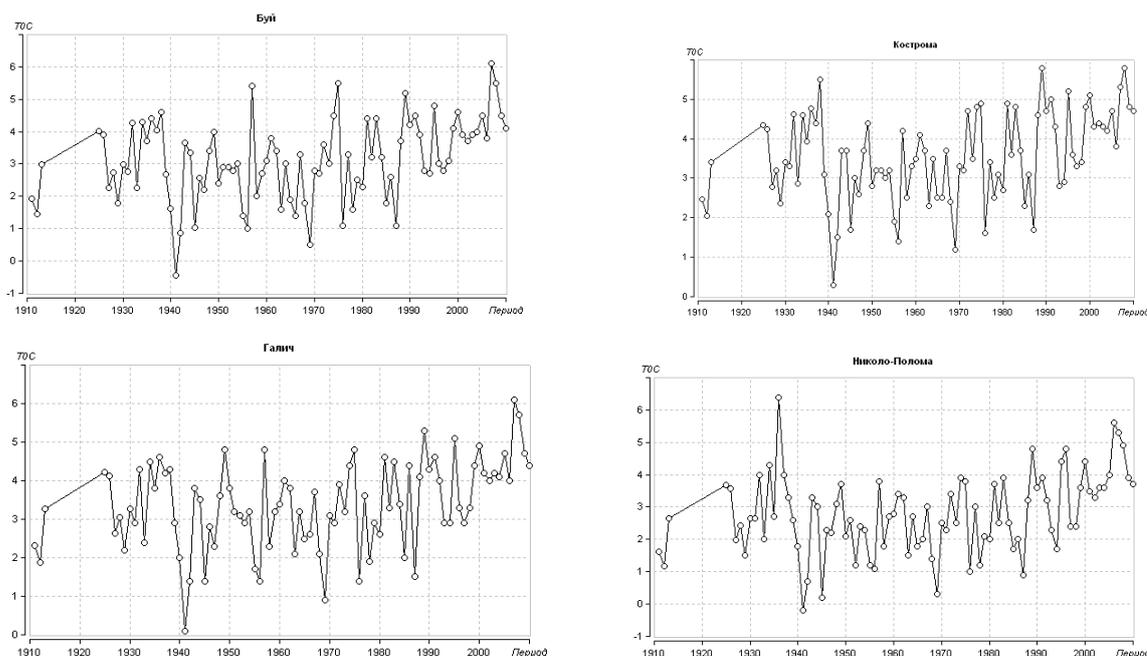


Рис.2.10. Многолетние ряды среднегодовых температур воздуха на метеостанциях: Кологрив, Вохма, Буй Галич, Николо-Полома, Кострома.

Территориально все эти метеостанции находятся в северной части Костромской области, данные за вторую часть ряда являются наблюдаемыми, а не восстановленными и ступенчатое увеличение среднегодовой температуры составляет $1.0-1.5^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, проведенная оценка изменений климата в рядах характеристик термического режима для Костромской области на основе сопоставления стационарной модели с нестационарными позволила сделать вывод, что климатические изменения проявляются ступенчато (с увеличением температуры на $1.0-1.5^{\circ}\text{C}$ с конца 1980х годов) только для рядов среднегодовой температуры воздуха и только на метеостанциях северной части территории.

2.5. Оценка климатических изменений характеристик температурного режима по территории

При оценке климатических изменений по территории Костромской области решались две задачи:

- пространственное обобщение показателей нестационарных моделей, таких как $\Delta_{ст}$ и $\Delta_{тр}$;
- построение линейных статистических пространственных моделей, приведенных в разделе 1.5 для каждой из рассматриваемых характеристик термического режима.

В связи с тем, что эффективные нестационарные модели ступенчатых изменений имеют место только для среднегодовой температуры воздуха и коэффициентов B_0 сезонной модели, то пространственная интерполяционная модель в узлы треугольной нерегулярной сетки (TIN-метод в ГИС MapInfo) была построена по полученным $\Delta_{ст, \%}$ для среднегодовой температуры воздуха. Результаты приведены на Рис.2.11, из которого следует, что проявление климатических изменений наблюдается в центральной и северной части территории области, а на юго-западе оно полностью отсутствует.

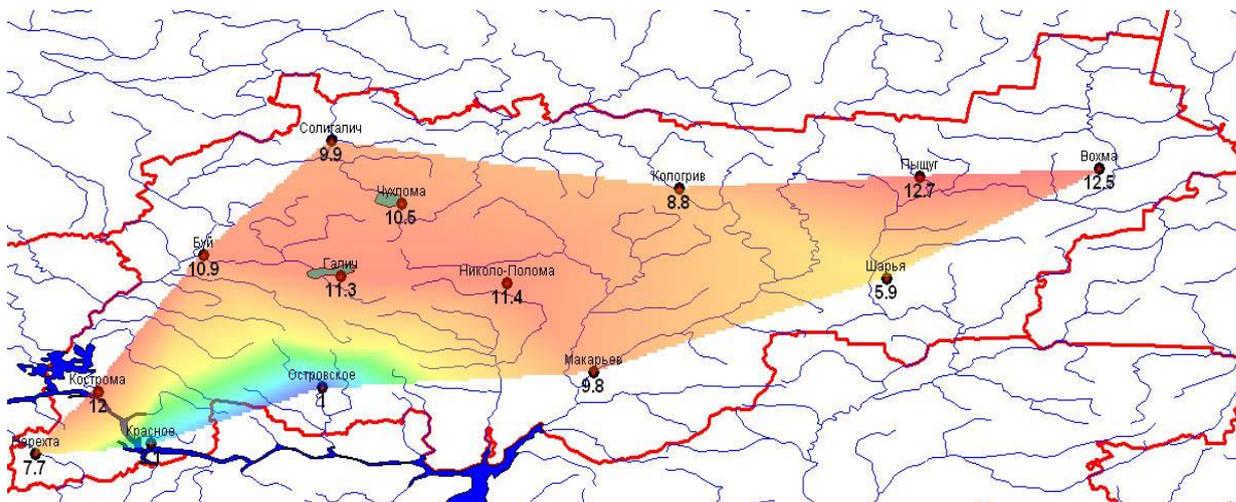


Рис.2.11. Пространственная модель отклонений нестационарной модели ступенчатых изменений от стационарной ($\Delta_{ст, \%}$) для среднегодовой температуры воздуха.

Для коэффициента B_0 полученная пространственная модель $\Delta_{ст, \%}$ приведена на Рис.2.12 и имеет аналогичные закономерности.

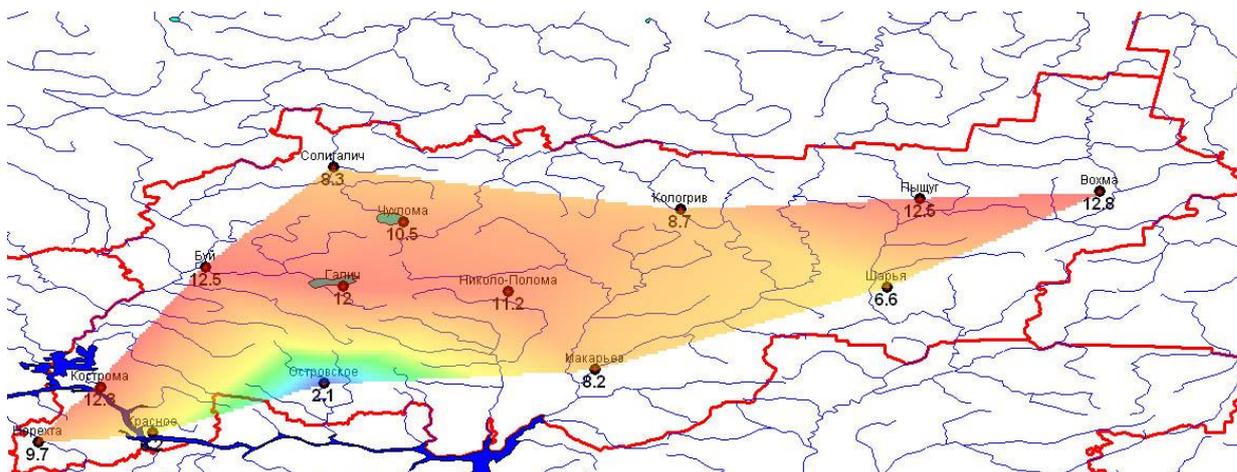


Рис.2.12. Пространственная модель отклонений нестационарной модели ступенчатых изменений от стационарной ($\Delta st\%$) для коэффициента B_0 сезонной модели температуры.

Статистические пространственные модели были получены для каждой из 20 характеристик температурного режима. В качестве примера на Рис.2.13 приведены хронологические графики коэффициентов A_1 и A_0 , параметра S_E а также коэффициентов корреляции (R) пространственной модели среднегодовой температуры воздуха..

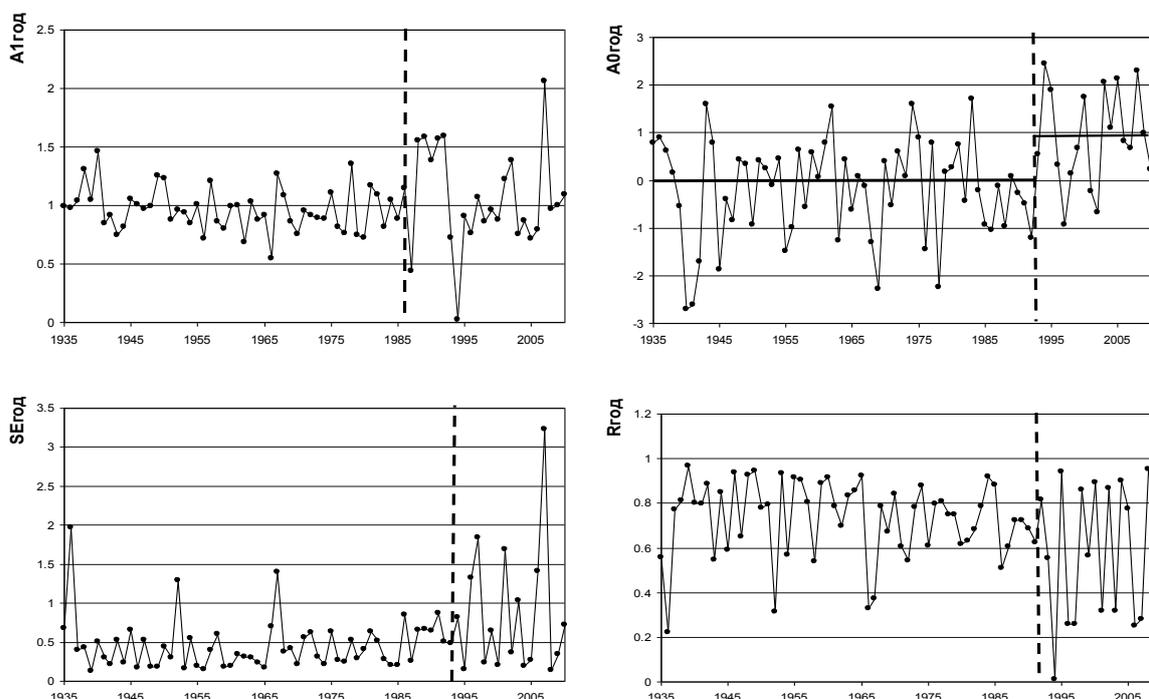


Рис.2.13. Коэффициенты и параметры пространственной модели среднегодовой температуры воздуха для Костромской области.

Анализ графиков показывает следующее. Коэффициент A_1 , характеризующий пространственный градиент, в среднем равен 1 и является стационарным, но его дисперсия существенно увеличилась с 1987 г.. Это означает, что в одни годы поле температур имеет малый градиент и является практически ровным, т.к. значения температур близки между собой, как в 1994 г., когда $A_1=0.021$, а в другие годы наблюдаются очень большие пространственные градиенты, как в 2007 г., когда $A_1=2.059$. Поэтому можно говорить о нестабильности пространственного градиента, начиная с конца 1980х годов. Коэффициент A_0 , характеризующий средний уровень поля или среднюю региональную температуру также не является стационарным, но уже по средним значениям. С 1993 г. значения коэффициента A_0 ступенчато увеличились и его среднее значение стало 0.9 вместо 0, как за предыдущие годы. Резкое увеличение среднего значения поля связано со ступенчатым увеличением среднегодовых температур с конца 1980х практически на большей части территории, как следует из Рис.2.12 и 2.13. Параметр S_E , характеризующий внутреннюю однородность поля среднегодовой температуры не является стационарным по дисперсии, которая существенно (в 2-3 раза) увеличилась с начала 1990х, что свидетельствует об увеличении неоднородности пространственного поля среднегодовых температур. Рост дисперсии, хотя и в меньшей степени, наблюдается и для коэффициентов корреляции пространственных моделей также с начала 1990х. Если за предыдущий период в 57 лет коэффициенты R в среднем были равны 0.73 и число малых значений было невелико (всего 4 случая с $R<0.4$), то за последний период в 19 лет среднее R уменьшилось до 0.59, а число случаев с $R<0.4$ стало уже 7, т.е. близко к половине. В 1994 г. $R=0.01$, что и привело к экстремально низкому значению градиента поля. Таким образом, комплексный анализ динамики коэффициентов и параметров пространственной модели среднегодовых температур воздуха позволил сделать вывод, что за счет ступенчатого увеличения температуры с конца 1980х на большей части территории, с некоторым запаздыванием

увеличилась и средняя региональная температура, пространственный градиент температуры стал неустойчивым и при этом существенно увеличилась внутренняя неоднородность поля температур.

Для каждого ряда полученных коэффициентов и параметров пространственной модели была проведена аппроксимация нестационарными моделями (тренд и ступенчатые изменения) и оценена их эффективность по сравнению со стационарной моделью. Результаты приведены в Табл.2.10, где также даны расчетные статистики критериев Фишера и Стьюдента при сравнении соответственно дисперсий и средних значений двух частей ряда до и после года ступенчатых изменений. Ярким цветом отмечены ситуации эффективных нестационарных моделей, коэффициентов корреляции модели линейного тренда и статистик критериев Фишера и Стьюдента, превышающих критические значения при $\alpha=5\%$.

Таблица 2.10

Характеристики моделей временных рядов для коэффициентов и параметров пространственных моделей показателей термического режима.

Коэф-нт	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	F ₁₂	St ₁₂	T _{ст}	n	R
средняя температура января									
A ₁	2	9.3	1.04	1.21	1.36	4.34	1988	89	0.2
A ₀	2.5	11.2	1.05	1.27	1.26	4.69	1988	89	0.22
S _E	1.6	3.2	1.03	1.07	65.39	1.54	1944	89	0.18
средняя температура февраля									
A ₁	1.6	4.8	1.03	1.1	1.59	2.93	1995	80	0.18
A ₀	2.5	5.9	1.05	1.13	2.25	3.4	1988	80	0.22
S _E	3.2	5	1.07	1.11	11.16	3.88	1988	80	0.25
средняя температура марта									
A ₁	0.4	1.6	1.01	1.03	1.08	1.52	1981	89	0.09
A ₀	3.4	6.3	1.07	1.14	1.55	3.19	1973	89	0.26
S _E	0.7	4.2	1.01	1.09	43.43	2.44	1941	89	0.12
средняя температура апреля									
A ₁	9.5	16.5	1.22	1.43	3.2	5.28	1978	89	0.43

A ₀	0.5	3.1	1.01	1.06	1.22	-2.34	1978	89	-0.1
S _E	0.1	4.7	1	1.1	100.42	1.44	1935	89	0.05
средняя температура мая									
A ₁	0.2	1.7	1	1.04	1.68	-1.47	1943	89	-0.06
A ₀	0.7	2.5	1.01	1.05	1.28	1.84	1948	89	0.12
S _E	0.9	6.3	1.02	1.14	730.84	1.79	1932	89	0.13
средняя температура июня									
A ₁	0	1.3	1	1.03	1.21	-1.55	1987	89	-0.03
A ₀	0.1	2	1	1.04	1.33	1.94	1987	89	0.05
S _E	1.1	4.4	1.02	1.09	47.74	3.8	1932	89	0.15
средняя температура июля									
A ₁	1	2.3	1.02	1.05	1.18	1.96	1978	89	0.14
A ₀	0.5	1.7	1.01	1.03	1.11	-1.68	1978	89	-0.1
S _E	0.6	3.5	1.01	1.07	20.69	3.6	1932	89	0.11
средняя температура августа									
A ₁	0.5	2	1.01	1.04	1.34	1.87	1971	89	0.1
A ₀	0.9	2.7	1.02	1.06	1.22	-2.13	1971	89	-0.14
S _E	0.7	3.2	1.01	1.07	14.04	1.47	1948	89	0.12
средняя температура сентября									
A ₁	0.5	1.9	1.01	1.04	1.65	-1.81	1977	89	-0.1
A ₀	0.9	2	1.02	1.04	1.19	1.84	1997	89	0.13
S _E	0.2	5	1	1.11	232.38	1.25	1933	89	0.06
средняя температура октября									
A ₁	0.5	1.9	1.01	1.04	1.34	-1.8	1993	89	-0.1
A ₀	4.5	6	1.1	1.13	1.13	3.19	1993	89	0.3
S _E	2.4	6.5	1.05	1.14	9.7	2.59	1959	89	0.22
средняя температура ноября									
A ₁	0.1	1.8	1	1.04	1.32	1.87	2000	90	0.05
A ₀	0	4.9	1	1.11	1.12	2.91	2000	90	-0.03
S _E	5.4	8.1	1.12	1.18	5.88	4.09	1975	90	0.32
средняя температура декабря									
A ₁	0.3	1.8	1.01	1.04	2.22	-1.76	1939	90	-0.07
A ₀	0	0.8	1	1.02	1.3	-1.05	1939	90	-0.01
S _E	1.6	4.7	1.03	1.1	11.93	2.8	1935	90	0.18

среднегодовая температура									
A ₁	0.1	1.8	1	1.04	2.78	1.93	1988	76	0.05
A ₀	5	9.1	1.11	1.21	1.21	3.78	1993	76	0.31
S _E	3	6.6	1.06	1.15	2.66	4.11	1996	76	0.24
наибольшая среднемесячная									
A ₁	0.3	6.6	1.01	1.15	4.37	-2.39	1952	80	-0.08
A ₀	0.5	6.7	1.01	1.15	3.77	2.45	1952	80	0.1
S _E	0.2	1.9	1	1.04	4.56	-1.61	1961	80	-0.06
наименьшая среднемесячная									
A ₁	2.5	5.4	1.05	1.12	1.78	3.22	1988	89	0.22
A ₀	3.2	7.2	1.07	1.16	1.66	3.69	1988	89	0.25
S _E	1.6	3.4	1.03	1.07	42.48	1.65	1944	89	0.18
средняя за лето									
A ₁	2.9	10.5	1.06	1.25	1.4	4.29	1991	89	0.24
A ₀	2.8	9.7	1.06	1.23	1.4	-4.06	1991	89	-0.23
S _E	2.7	8.2	1.06	1.19	245.14	3.04	1932	89	0.23
средняя за зиму									
A ₁	3.3	11.1	1.07	1.26	4.89	6.96	1999	89	0.25
A ₀	4	11.6	1.09	1.28	4.17	6.78	1999	89	0.28
S _E	8.9	9.5	1.2	1.22	6.06	4.73	1981	89	0.41
коэффициент B1									
A ₁	0.4	4.8	1.01	1.1	8.38	3.58	1988	76	0.08
A ₀	0.4	4.9	1.01	1.11	8.17	-3.61	1988	76	-0.09
S _E	0.8	3.2	1.02	1.07	1.97	2.36	1981	76	0.13
коэффициент B0									
A ₁	2.1	5.2	1.04	1.11	3.31	-2.59	1966	76	-0.21
A ₀	5.8	10.3	1.13	1.24	1.19	3.83	1988	76	0.34
S _E	1.6	3.7	1.03	1.08	2.84	2.72	1986	76	0.18
параметр Se									
A ₁	1.3	2.8	1.03	1.06	2.54	2.33	1978	89	0.16
A ₀	1.2	2.7	1.03	1.06	1.48	-2.3	1990	89	-0.16
S _E	2.8	5.2	1.06	1.11	19.87	2.56	1938	89	0.23

По данным табл.2.10 следует, что из 60 рядов параметров пространственных моделей разных температурных характеристик эффективные нестационарные модели ступенчатых изменений при $\Delta_{ст} > 10\%$ наблюдаются только в 6 случаях: температура января (рост A_0 с 1988 г.), температура апреля (рост A_1 с 1978 г.), температура за лето (рост A_1 с 1991 г.), температура за зиму (рост A_1 и A_0 с начала 1990х), коэффициент B_0 сезонной функции (рост A_0 с конца 1980х). Статистически значимые нестационарные модели вовсе отсутствуют. В тоже время много неоднородных рядов по средним значениям и дисперсиям при сопоставлении этих параметров до и после года ступенчатых изменений. Для параметра внутренней неоднородности поля S_E многолетние ряды практически всех характеристик являются нестационарными по дисперсиям и в большинстве случаев – по средним. Анализ графиков S_E показал, что нестационарность, особенно при больших значениях F_{12} (десятки и сотни), обусловлена резко отклоняющимися экстремальными значениями. Также, в этом случае $T_{ст}$ относится к 1930м годам, т.е. практически к началу наблюдений и поэтому такое разделение ряда на две части не является репрезентативным. Если ряды с большими значениями F_{12} будут начинаться с середины 1930х, то расчетные значения F_{12} существенно уменьшатся.

В целом из анализа графиков и данных Табл.2.10 можно сделать выводы, что нестационарность в наибольшей степени проявляется в коэффициентах A_1 и A_0 температуры зимнего периода для которой увеличилось как среднее региональное значение, так и пространственный градиент поля. В тоже время средняя региональная температура за лето (коэффициент A_0) уменьшилась, а градиент поля этой температуры (A_1) увеличился. Аналогичный рост A_1 и A_0 имеет место и для поля температуры января и февраля, а уменьшение A_0 - для июля. Таким образом, те несущественные изменения в рядах наблюдений на отдельных станциях становятся более значимыми при осреднении по территории.

Помимо оценки динамики коэффициентов и параметров пространственных моделей не меньший научный и практический интерес представляется их взаимосвязанность. В связи с тем, что среднее региональное значение может быть спрогнозировано, например, по моделям ОЦА, то можно оценить, как коэффициент A_0 связан с градиентом поля - коэффициентом A_1 , а тот в свою очередь - с внутренней неоднородностью поля, выраженной параметром S_E или коэффициентом корреляции пространственной модели R . Для этой цели были построены линейные уравнения вида:

$$A_1 = -a_1 A_0 + a_0 \quad (2.1)$$

$$S_E = -b_1 A_1 + b_0 \quad (2.2)$$

$$R = c_1 A_1 + c_0 \quad (2.3)$$

где a_1 , a_0 , b_1 , b_0 , c_1 , c_0 – эмпирические коэффициенты, определяемые по МНК.

Рассчитанные коэффициенты a_1 , a_0 , c_1 , c_0 , а также коэффициенты корреляции r зависимостей (2.1) и (2.3) приведены в Табл.2.11 для каждой характеристики температуры воздуха. Эффективных зависимостей вида (2.2) между параметром внутренней неоднородности поля и пространственным градиентом получено не было.

Таблица 2.11

Коэффициенты уравнений взаимосвязи между параметрами пространственных моделей температур воздуха.

Хар-ка тем-ры	$A_1 = -a_1 A_0 + a_0$			$R = c_1 A_1 + c_0$		
	a_1	a_0	r	c_1	c_0	R
T1	0.068	1.001	0.93	0.257	0.378	0.55
T2	0.066	0.995	0.96	0.364	0.287	0.69

T3	0.127	1.009	0.81	0.195	0.301	0.48
T4	-0.134	0.980	0.56	0.336	0.408	0.67
T5	-0.080	1.010	0.94	0.334	0.476	0.57
T6	-0.060	1.000	0.98	0.354	0.312	0.70
T7	-0.054	1.000	0.98	0.224	0.495	0.47
T8	-0.062	1.001	0.98	0.310	0.300	0.60
T9	-0.085	1.000	0.90	0.389	0.389	0.58
T10	-0.113	0.975	0.51	0.335	0.443	0.61
T11	0.092	1.000	0.58	0.253	0.520	0.50
T12	0.071	1.000	0.71	0.169	0.548	0.35
Tгод	-0.088	0.997	0.35	0.084	0.612	0.11
Tмакс	-0.056	1.002	0.98	0.356	0.344	0.69
T мин	0.056	0.999	0.94	0.153	0.429	0.30
Tлето	-0.062	1.000	0.97	0.348	0.481	0.58
Tзима	0.083	1.003	0.98	0.386	0.401	0.75
B1	-0.988	0.996	0.99	0.117	0.089	0.68
B0	0.412	0.805	0.21	0.184	0.060	0.86
Se	-0.412	0.999	0.99	0.121	0.182	0.59

По результатам Табл.2.11 следует, что наиболее тесные связи имеют место между коэффициентами A_1 и A_0 или между градиентом поля и средним региональным значением температурной характеристики. Причем эти связи в холодный период положительны, т.е. чем больше среднее региональное значение, тем больше и градиент, а в теплый период года – отрицательны, т.е. при большом значении средней региональной температуры имеет место малый градиент поля. Можно сделать вывод, что чем теплее лето, тем более одинаковы температуры по региону и обратное, чем теплее зима, тем больше пространственный градиент или различие температур по области. Поэтому жаркое лето и холодная зима дают

примерно одинаковые температуры для всех станций территории области. Аналогичные результаты получены и для соответствующих характеристик теплой и холодной температуры: наибольшая и наименьшая из среднемесячных, средняя за лето и зиму. В переходные периоды весной и осенью уравнения взаимосвязи менее эффективны. Такая неоднозначность связанности коэффициентов пространственной модели внутри года приводит к тому, что для поля среднегодовой температуры они практически не связаны ($r=0.35$). Интересно отметить, что высокая связанность коэффициентов пространственной модели наблюдается для амплитуды годового хода температура (B_1) и для интенсивности макросиноптических процессов (Se). Причем эти связи отрицательные, также как и для температур теплого периода года. Для коэффициента B_0 взаимосвязь A_1 и A_0 низкая, что вполне естественно, т.к. он хорошо связан со среднегодовой температурой.

Зависимости между коэффициентами корреляции пространственных моделей и пространственным градиентом, хотя всегда и положительны, но имеют разную эффективность для разных температурных характеристик, изменяясь от $r=0.11$ для среднегодовой температуры до $r=0.7-0.8$ для температуры июня, зимы, коэффициента B_0 . Каких-либо сезонных закономерностей в динамике r не наблюдается. Можно лишь сделать общий вывод, что чем выше градиент поля, тем больше показатель его внутренней неоднородности.

В связи с тем, что климатически значимые изменения установлены только для среднегодовой температуры воздуха в виде ступенчатого увеличения с конца 1980х годов, то на основе рядов разных характеристик температурного режима, приведенных к многолетнему периоду, можно определить их более точные средние многолетние значения или климатические нормы. Рассчитанные значения климатических норм приведены в Табл. 2.12 для разных климатических характеристик и для всех рассматриваемых метеостанций. В скобках приведены менее точные значения, которые были определены по короткому ряду наблюдений. Нормы

среднегодовых температур воздуха были рассчитаны за период с 1988 по 2010 гг. Помимо значений для каждой станции в Табл.2.12 приведены также значения температурных характеристик, обобщенные по территории области: средние региональные, максимальные и минимальные (за исключением значений в скобках), размах (ΔT).

Таблица 2.12

Нормы (средние многолетние) характеристик температур воздуха по метеостанциям Костромской области.

Станция	Характеристика температуры									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Чухлома	-12.2	-11.3	-5.1	2.9	10.1	15.0	17.3	15.3	9.3	2.6
Кологрив	-12.4	-11.6	-5.2	2.9	10.1	15.1	17.3	15.1	8.9	2.3
Пыщуг	-12.7	-11.8	-5.1	3.0	10.2	15.5	17.5	15.2	8.9	2.0
Вохма	-13.3	-11.9	-5.8	2.5	9.8	15.2	17.4	15.1	8.9	1.9
Буй	-11.6	-10.9	-4.9	3.5	10.9	15.6	17.9	15.7	9.6	3.0
Галич	-11.2	-10.4	-4.3	3.8	11.1	15.9	18.1	16.0	9.9	3.1
Николо- Полома	-12.2	-11.2	-5.0	3.0	10.4	15.4	17.7	15.4	9.3	2.6
Макарьев	-12.0	-11.1	-4.5	3.8	11.1	15.8	18.0	15.7	9.5	2.8
Шарья	-12.7	-11.4	-5.1	3.3	10.7	15.6	17.9	15.5	9.3	2.5
Кострома	-11.0	-10.4	-4.4	3.8	11.3	15.8	18.1	16.2	10.1	3.4
Нерехта	-11.6	-11.2	(-6.8)	5.5	11.9	16.0	18.7	(15.8)	(10.3)	(3.1)
Красное	(-14.1)	-13.4	-5.1	(6.2)	(12.5)	(16.6)	(18.6)	15.5	(10.5)	(3.3)
Островское	-12.9	-11.2	-5.1	3.7	10.8	15.6	17.6	15.5	9.5	3.1
Солигалич	-12.4	-11.4	-5.2	2.6	(9.6)	(14.9)	(17.0)	(14.9)	9.0	2.4
Среднее	-12.4	-11.4	-5.0	3.4	10.6	15.5	17.8	15.5	9.5	2.7
Макс.	-11.0	-10.4	-4.3	5.5	11.9	16.0	18.7	16.2	10.1	3.4
Мин.	-13.3	-13.4	-5.8	2.5	9.8	15.0	17.3	15.1	8.9	1.9
ΔT	2.3	3.0	1.5	3.0	2.1	1.0	1.4	1.2	1.2	1.5
Станция	Характеристика температуры									
	T11	T12	Tгод	Tмакс	Tмин	Tлетн	Tзим	B1	B0	Se
Чухлома	-3.8	-9.4	3.4	17.8	-14.6	15.9	-10.9	1.000	-0.002	2.44

Кологрив	-4.2	-9.8	3.2	17.8	-15.0	15.8	-11.3	1.005	-0.072	2.43
Пыщуг	-4.6	-10.1	3.2	18.2	-15.1	16.1	-11.6	1.004	-0.079	2.46
Вохма	-4.8	-10.6	2.9	17.9	-15.7	15.9	-12.0	1.003	-0.084	2.47
Буй	-3.3	-8.7	4.1	18.4	-14.1	16.4	-10.4	1.013	-0.188	2.42
Галич	-3.3	-8.8	4.3	18.7	-13.6	16.7	-10.1	1.002	-0.075	2.39
Николо- Полома	-3.8	-9.6	3.7	18.2	-14.5	16.2	-11.0	1.003	-0.080	2.42
Макарьев	-3.5	-9.2	3.9	18.6	-14.3	16.5	-10.8	1.003	-0.063	2.41
Шарья	-4.1	-10.0	3.1	18.4	-15.0	16.3	-11.4	1.000	-0.069	2.43
Кострома	-3.0	-8.0	4.4	18.6	-13.1	16.7	-9.8	1.003	-0.055	2.32
Нерехта	(-4.6)	-9.2	4.3	19.0	-14.5	17.1	-10.7	0.919	0.240	(2.67)
Красное	(-5.6)	(-10.4)	3.1	19.4	-14.5	17.3	-13.6	1.030	0.170	(2.46)
Островское	-3.7	-9.7	(2.8)	18.3	-14.8	16.2	-10.7	0.995	0.053	(2.42)
Солигалич	-4.0	-9.7	3.2	17.7	-15.0	15.7	-11.3	0.999	0.129	2.48
Среднее	-4.0	-9.5	3.5	18.4	-14.6	16.3	-11.1	0.999	-0.012	2.42
Макс.	-3.0	-8.0	4.4	19.4	-13.1	17.3	-9.8	1.013	0.240	2.48
Мин.	-4.8	-10.6	2.9	17.7	-15.7	15.7	-13.6	0.919	-0.188	2.32
ΔT	1.8	2.6	1.5	1.7	2.6	1.6	3.8	0.094	0.428	0.16

Из полученных табличных данных следует, что только для трех станций: Нерехта, Красное и Солигалич значения температуры отдельных месяцев получены по коротким рядам наблюдений. Однако, именно эти станции, особенно Красное, дают территориальные экстремумы: минимумы зимой и осенью и максимумы весной и летом. Без учета этих менее надежных данных размах изменения норм среднемесячных температур по территории Костромской области не столь существенен и составляет от 1°C летом до 3°C зимой и весной. Нормы среднегодовой температуры также несущественно изменяются по территории и их размах составляет всего 1.5°C . Из остальных обобщенных климатических характеристик наибольшую территориальную изменчивость имеет средняя температуры за зиму ($\Delta T=3.8^{\circ}\text{C}$), а наименьшую ($\Delta T=1.6^{\circ}\text{C}$) – летняя температура. Из параметров годового хода температуры наименьшую пространственную изменчивость

имеет интенсивность макросиноптических процессов ($\Delta T=0.16^{\circ}\text{C}$ или около 7% от абсолютной величины), а наибольшую – коэффициент B_0 .

На основе рассчитанных норм по каждой станции интерполяцией можно получить их пространственное распределение. В данном случае был применен метод интерполяции в узлы треугольной нерегулярной сетки, используемый в ГИС MapInfo (TIN-метод). В качестве примера получены пространственные распределения норм среднегодовых температур и температур за зиму. Пространственная модель норм среднегодовых температур приведена на Рис.2.14.

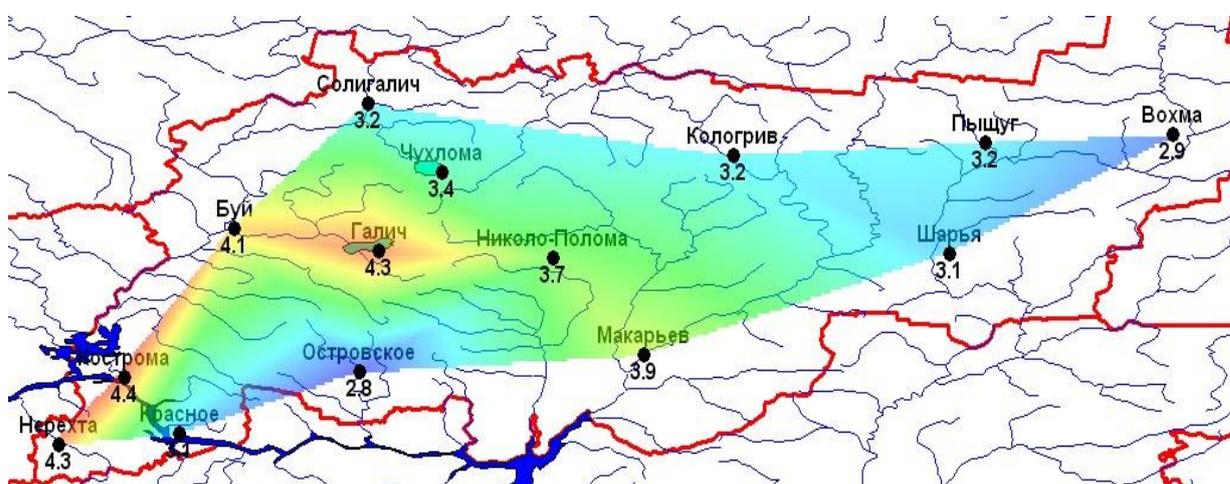


Рис.2.14. Пространственное распределение норм среднегодовых температур.

Из рассмотрения пространственной модели норм годовых температур (Рис.2.14) следует, что в целом соблюдены общие климатические закономерности увеличения средней многолетней температуры с северо-востока, на юго-запад. Аномальными являются станции Красное и Островское на юго-западе, где имеют место низкие нормы среднегодовых температур. В основном это связано со станцией Красное, где норма равна 3.1°C , а норма для станции Островское (2.8°C) определена всего за период 5 лет (1988 -1992 гг.), что приводит к ненадежному среднему. На метеостанции Красное фактические наблюдения составляют всего 16 лет и заканчиваются в 1994 г., что видимо также повлияло на точность определения нормы, т.к. с 1995 по 2010 гг. данные были восстановлены. Если

для этих двух станций нормы среднегодовых температур определить по линейной интерполяции, то они будут равны 4.3°C для метеостанции Красное и 4.0°C для станции Островское. В результате поле норм среднегодовых температур, полученных за период 1988-2010 гг. будет более однородным, как следует из Рис.2.15. Эта уточненная пространственная модель показывает закономерный рост температуры с северо-востока на юго-запад даже для такой небольшой территории и позволяет определить нормы среднегодовых температур за последний квазистационарный период для любой точки на территории Костромской области.



Рис.2.15. Уточненное пространственное распределение норм среднегодовых температур.

На Рис.2.16 приведено пространственное распределение средних температур за зиму, где также имеет место закономерность роста температуры с северо-востока на юго-запад. Искажение в общую закономерность вносит норма зимней температуры на метеостанции Красное равная -13.6°C , что практически на 3°C выше, чем на ближайших станциях.

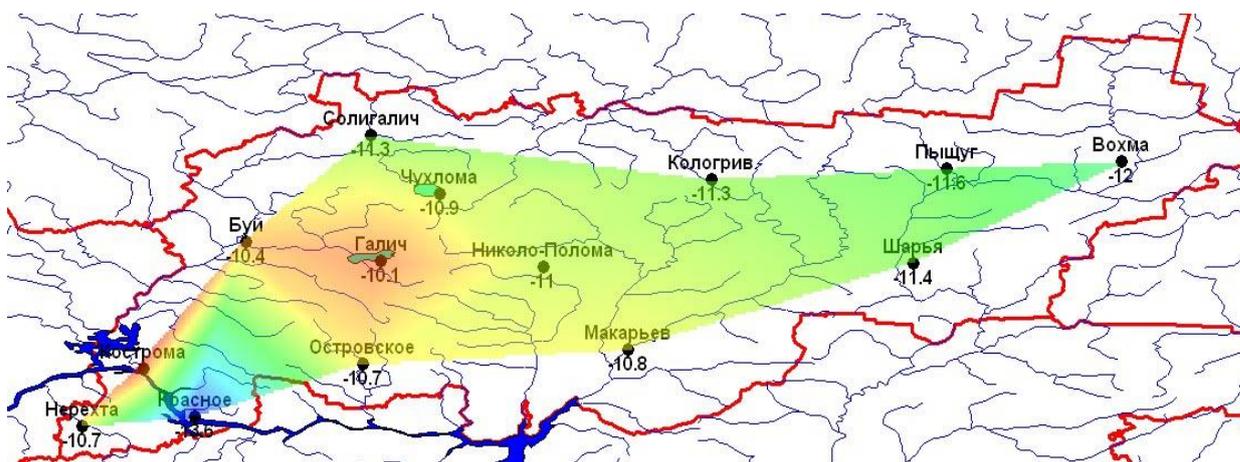


Рис.2.16. Пространственное распределение норм температур за зиму.

Если норму зимней температуры на станции Красное определить линейной интерполяцией по ближайшим станциям, то она будет равна - 10.7⁰С и пространственная модель зимней температуры станет более однородной, как показано на Рис.2.17.

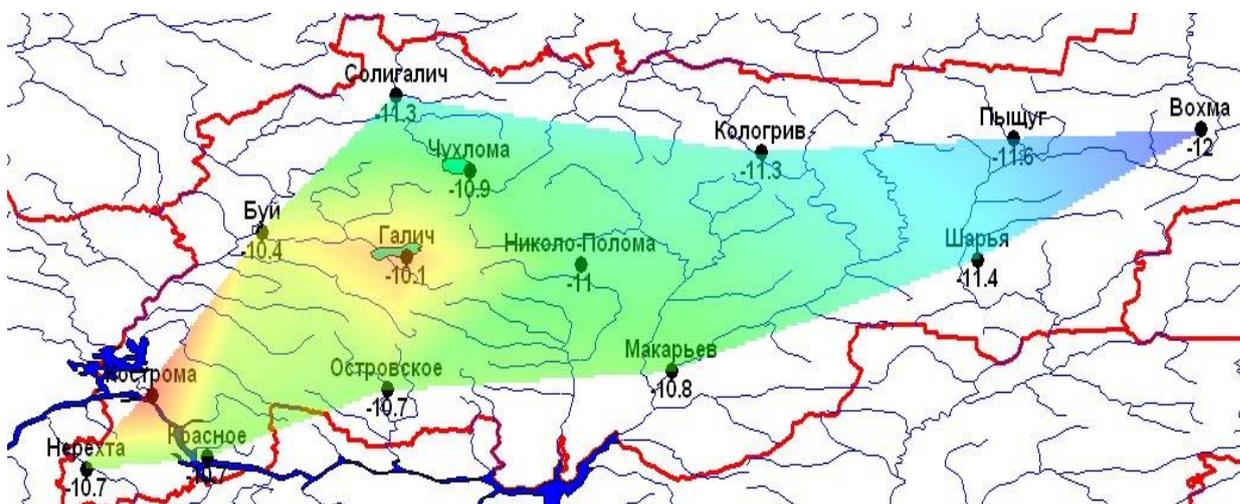


Рис.2.17. Уточненное пространственное распределение норм температур за зиму.

Аналогичные пространственные модели норм температур с учетом корректировки менее надежной информации были получены и для всех остальных температурных характеристик.

Глава 3. Оценка климатических изменений осадков на территории Костромской области

К стандартным характеристикам увлажнения относятся суммы осадков за каждый месяц года и в целом за год. К прикладным климатическим характеристикам режима увлажнения относятся:

- наибольшие в году суммарные месячные осадки;
- наименьшие в году суммарные месячные осадки;
- суммы осадков за зимний сезон;
- суммы осадков за летний сезон;
- суммы осадков за теплую половину года (апрель – октябрь);
- суммы осадков за холодную половину года (ноябрь – март).

3.1. Региональная база данных многолетних рядов осадков

За основу формирования региональной базы данных приняты данные месячной дискретности: многолетние ряды сумм месячных осадков, на основе которых были получены суммы осадков за год.

На территории Костромской области осадки за весь исторический период наблюдались в 34 пунктах. Причем 32 пункта наблюдений действуют по настоящее время, а всего два были закрыты: Нерехта – в 1987 г. и Островское - в 1992 г. Однако, информация в этих закрытых пунктах также была включена в базу данных, т.к. в них имеются продолжительные ряды наблюдений, и есть возможность восстановить осадки за последний период по аналогам. Схема размещения метеостанций и постов с наблюдениями за осадками приведена на Рис.3.1.

Как следует из Рис.3.1, пункты наблюдений размещены достаточно равномерно по территории, что создает условия для эффективного восстановления данных по аналогам и последующего пространственного обобщения результатов анализа. Координаты пунктов наблюдений, установленные с точностью 4 значащей цифры после целого градуса, приведены в Табл.3.1.

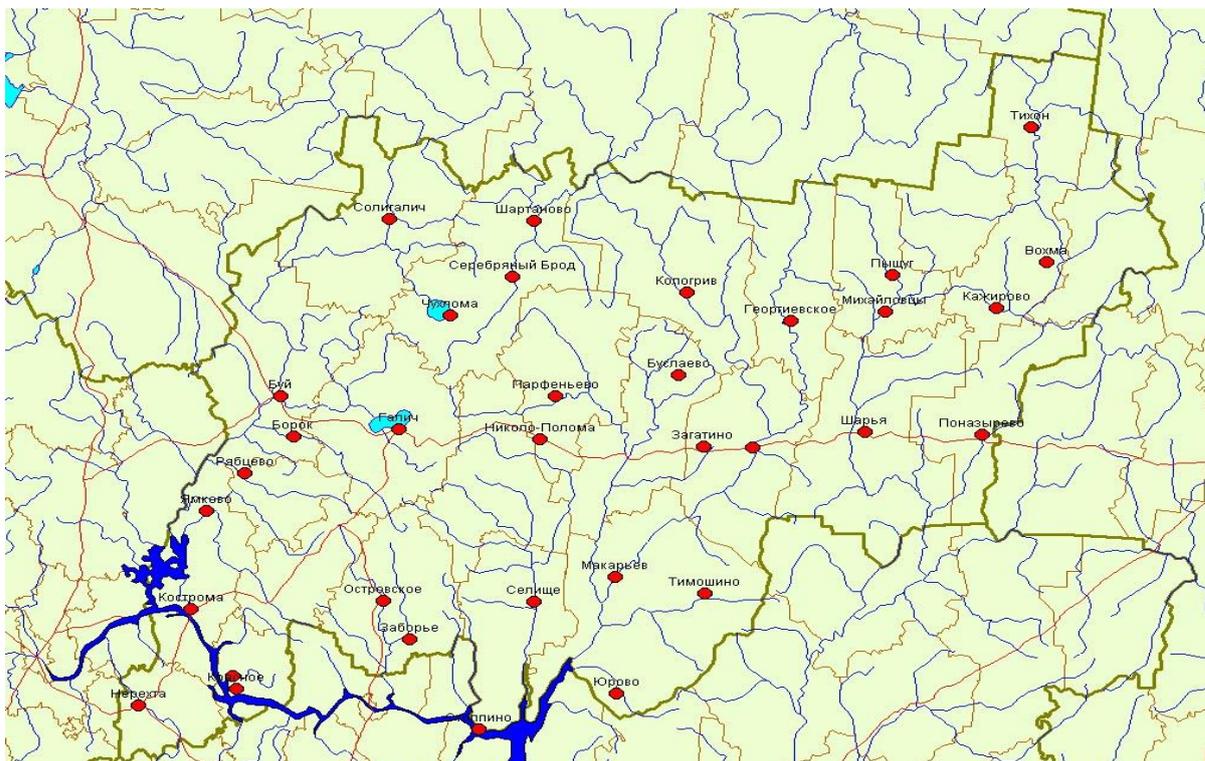


Рис.3.1. Схема размещения пунктов наблюдений за осадками на территории Костромской области.

Таблица 3.1.

Координаты пунктов наблюдений за осадками на территории Костромской области

Код станции	Наименование	Широта, град	Долгота, град
27157	Чухлома	58.7525	42.6967
27164	Кологрив	58.8278	44.3136
27174	Пыщуг	58.8861	45.7126
27176	Вохма	58.9286	46.7570
27242	Буй	58.4868	41.5450
27243	Галич	58.3773	42.3460
27252	Николо-Полома	58.3441	43.3109
27259	Макарьев	57.8864	43.8148

27260	Мантурово	58.3163	44.7553
27271	Шарья	58.3673	45.5183
27333	Кострома	57.7818	40.9304
75235	Нерехта	57.4642	40.5678
75254	Борок	58.3526	41.6300
75257	Рябцево	58.2313	41.2992
75263	Ямково	58.1073	41.0385
75265	Шолохово	57.5603	41.2068
75274	Заборье	57.6811	42.4175
75280	Селище	57.8062	43.2600
75289	Шартаново	59.0653	43.2722
75290	Георгиевское	58.7332	45.0206
75291	Загатино	58.3200	44.4200
75292	Парфеньево	58.4869	43.4151
75293	Буслаево	58.5552	44.2540
75295	Красное	57.5163	41.2377
75296	Тимошино	57.8320	44.4241
75297	Юрово	57.5022	43.8232
75298	Михайловцы	58.7662	45.6610
75301	Островское	57.8098	42.2367
75308	Солигалич	59.0717	42.2883
75673	Кажирово	58.7767	46.4206
75682	Тихон	59.3749	46.6581
75684	Поназырево	58.3566	46.3201
75765	Серебряный Брод	58.8804	43.1200
75936	Столпино	57.3843	42.8887

Информация о периоде наблюдений и продолжительности рядов приведена в Табл.3.2, причем суммы осадков за год вычислялись только в

том случае, если наблюдения сумм месячных осадков имелись за все 12 месяцев года. Как следует по данным Табл.3.2, средняя продолжительность рядов наблюдений за суммами месячных и годовых осадков составляет соответственно 41 и 40 лет, причем 65% всех рядов наблюдений имеют продолжительность 20 - 30 лет. Вместе с тем имеются ряды наблюдений продолжительность 70 – 80 лет и даже более 100 лет (метеостанция Чухлома), что создает условия для приведения непродолжительных рядов к многолетнему периоду.

Таблица 3.2.

Периоды и продолжительности наблюдений многолетних рядов осадков на территории Костромской области.

Код станции	Наименование	Суммы за год		Суммы за месяц	
		Период	Число лет	Период	Число лет
27157	Чухлома	1895 - 2010	113	1894 – 2010	117
27164	Кологрив	1935 - 2010	76	1935 – 2010	76
27174	Пыщуг	1935 - 2010	76	1935 – 2010	76
27176	Вохма	1929 - 2010	82	1929 – 2010	82
27242	Буй	1947 - 2010	64	1947 – 2010	64
27243	Галич	1931 - 2010	80	1931 – 2010	80
27252	Николо-Полома	1932 - 2010	62	1932 – 2010	63
27259	Макарьев	1938 - 2010	73	1938 – 2010	73
27260	Мантурово	1986 - 2010	13	1986 – 2010	18
27271	Шарья	1935 - 2010	76	1935 – 2010	76
27333	Кострома	1937 - 2010	74	1937 – 2010	74
75235	Нерехта	1948 - 1987	40	1948 – 1987	40
75254	Борок	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75257	Рябцево	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75263	Ямково	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75265	Шолохово	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75274	Заборье	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75280	Селище	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75289	Шарганово	1989 - 2010	22	1989 – 2010	22

75290	Георгиевское	1986 - 2010	25	1986 – 2010	25
75291	Загатино	1986 - 2010	25	1986 – 2010	25
75292	Парфеньево	1989 - 2010	13	1989 – 2010	22
75293	Буслаево	1989 - 2010	22	1989 – 2010	22
75295	Красное	1979 - 2010	32	1979 – 2010	32
75296	Тимошино	1986 - 2010	25	1986 – 2010	25
75297	Юрово	1986 - 2010	24	1986 – 2010	24
75298	Михайловцы	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75301	Островское	1960 - 1992	33	1960 – 1992	33
75308	Солигалич	1935 - 2010	62	1935 – 2010	65
75673	Кажирово	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75682	Тихон	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75684	Поназырево	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21
75765	Серебряный Брод	1989 - 2010	22	1989 – 2010	22
75936	Столпино	1990 - 2010	21	1990 – 2010	21

3.2. Оценка однородности данных по осадкам

Оценка однородности экстремумов осуществлялась по критериям Диксона и Смирнова-Граббса, приведенным в [46,51]. В связи с тем, что в 1950х – 1960х годах была осуществлена замена регистрирующих приборов для измерения осадков (замена дождемера на осадкомер системы Третьякова) была осуществлена дополнительная проверка однородности во времени по критериям Фишера и Стьюдента [46,51]. Хотя в данные по осадкам и вносились соответствующие поправки, но они могли не полностью исключить неоднородность, когда по дождемеру данные наблюдений были систематически занижены за счет ветрового выдувания, особенно в холодный период года.

Прежде всего, был выполнен анализ однородности резко отклоняющихся значений по критериям Диксона и Смирнова – Граббса для рядов наблюдений продолжительностью не менее 30 лет, чтобы частично

исключить несоответствие редкой повторяемости события и малой продолжительности выборки. Результаты анализа для сумм месячных осадков даны в Табл.3.3, а для сумм годовых осадков – в Табл.3.4.

Таблица 3.3

Результаты оценки однородности месячных сумм осадков по критериям Диксона и Смирнова – Граббса.

№п/п	Код	Название метеостанции	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.
			январь		февраль		Март	
1	27157	Чухлома	+	+	+	-1984	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	- 1963	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	(+)4.8	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	- 2009	+	+	+	+	+
11	75235	Нерехта	+	+	+	+	+	+
12	75295	Красное	- 2009	+	+	+	+	+
13	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
14	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+
			апрель		Май		июнь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	- 1932	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	(+)3.6	+	+	+	+	+
11	75235	Нерехта	+	+	+	+	+	+
12	75295	Красное	+	+	+	+	+	+
13	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
14	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+
			июль		Август		сентябрь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+

3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	(+)4.6	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	(+)4.8	+
10	27333	Кострома	+	+	+	+	+	+
11	75235	Нерехта	+	+	(-) 3.0	+	+	+
12	75295	Красное	+	+	+	+	+	+
13	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
14	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+
			октябрь		Ноябрь		декабрь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	+	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	+	+
10	27333	Кострома	(+)4.8	+	+	+	+	+
11	75235	Нерехта	+	+	+	+	+	+
12	75295	Красное	+	+	+	+	+	+
13	75301	Островское	+	+	+	+	+	+
14	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+

Таблица 3.4

Результаты оценки однородности годовых сумм осадков по критериям
Диксона, Смирнова-Граббса, Фишера и Стьюдента

№п/ п	Код	Название метеостанции	Макс.	Мин.	Год	Фишер	Стюд
1	27157	Чухлома	+	+	1952	+	-
2	27164	Кологрив	+	+	1960	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	1960	-	+
4	27176	Вохма	+	+	1951	-	-
5	27242	Буй	(-)2.7	+	1959	-	+
6	27243	Галич	+	+	1960	+	(+)3.4
7	27252	Николо-Полома	+	+	1960	+	-
8	27259	Макарьев	+	+	1960	+	(+)4.1
9	27271	Шарья	+	+	1965	+	-

10	27333	Кострома	+	+	1965	+	-
11	75235	Нерехта	+	+	1965	+	+
12	75295	Красное	+	+			
13	75301	Островское	+	+			
14	75308	Солигалич	+	+	1965	+	+

Данные, приведенные в Табл.3.3 и 3.4 свидетельствуют, что число случаев отклонения нулевой гипотезы однородности при $\alpha_p < 1\%$ невелико и составляет всего 1.5% (5 случаев) для сумм месячных осадков и 0% для сумм годовых осадков. Каждый из 5 случаев неоднородности был детально проанализирован и установлено, что по метеостанции Чухлома (27157) в феврале 1984 г. осадков действительно не было, а в остальных 4 случаях выявлены ошибки при подготовке данных, которые были устранены. В результате эмпирические распределения осадков стали однородными. Еще для одного случая сумм месячных и годовых осадков гипотеза однородности может быть условно отклонена при α_p от 1% до 3% и еще для 5 случаев условно принята в диапазоне α_p от 3% до 5%. Для остальных 96.7% случаев гипотеза однородности или отсутствия неоднородных экстремумов принимается с высокой достоверностью.

Для рядов осадков дополнительно был проведен анализ однородности во времени по критериям Фишера и Стьюдента. Причиной возможной неоднородности может служить замена регистрирующих приборов и преуменьшение осадков, определенных до начала 1950х – 1960х годов по дождемеру. Для проверки однородности во времени ряд наблюдений разбивался на две части, и дата разбиения определялась автоматически в интервале от 1951 до 1965 гг. при ступенчатом увеличении среднего значения, если оно имело место. Если резкое изменение среднего значения отсутствовало, то дата разбиения назначалась в этом же интервале с учетом приближения к одинаковой продолжительности двух частей временного ряда. Результаты оценки однородности по критериям Фишера и Стьюдента приведены в Табл.3.4 и 3.5 для сумм годовых и месячных осадков соответственно. В таблицах «Ф.» и «Стюд» обозначают результаты

проверки по критерию Фишера и Стьюдента, а также в Табл.3.4 для годовых сумм осадков дополнительно приводится год разбиения ряда на две подвыборки.

Таблица 3.5

Результаты оценки однородности месячных сумм осадков по критериям Фишера и Стьюдента.

№п/ п	Код	Название метеостанции	Ф.	Стюд	Ф.	Стюд	Ф.	Стюд
			январь		февраль		март	
1	27157	Чухлома	(+)4.7	-	-	-	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	(-)1.7	-	-	-	-
4	27176	Вохма	-	-	-	-	-	+
5	27242	Буй	+	+	(+)4.2	+	+	+
6	27243	Галич	-	-	+	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	-	+	(+)3.9	+	-	+
8	27259	Макарьев	+	(-)2.1	-	-	-	(+)3.3
9	27271	Шарья	+	-	(+)3.2	-	-	+
10	27333	Кострома	-	-	(-)1.2	-	+	-
11	75235	Нерехта	-	(-)1.6	+	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	-	+	+	(-)2.7	+
			апрель		май		июнь	
1	27157	Чухлома	+	(-)2.5	+	+	+	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	+	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	(+)3.6	+
5	27242	Буй	+	(+)3.6	+	+	(+)4.3	+
6	27243	Галич	+	+	(-)2.0	+	+	+
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	+	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	(-)2.0	+	+	+	+
10	27333	Кострома	+	(-)1.4	+	+	+	+
11	75235	Нерехта	+	-	+	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	+	+	+	+	+
			июль		август		сентябрь	
1	27157	Чухлома	(+)4.2	+	+	+	-	+
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	-	+
3	27174	Пыщуг	+	+	+	+	(+)3.7	+
4	27176	Вохма	+	+	+	+	(+)4.6	+
5	27242	Буй	+	+	+	+	+	+
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	+

7	27252	Николо-Полома	+	+	+	+	+	+
8	27259	Макарьев	(+)4.8	+	+	+	+	+
9	27271	Шарья	+	+	+	+	(-)2.4	+
10	27333	Кострома	+	+	+	+	+	+
11	75235	Нерехта	(+)3.5	+	-	+	+	+
12	75308	Солигалич	+	+	+	+	(+)3.8	+
			октябрь		ноябрь		декабрь	
1	27157	Чухлома	+	+	+	(+)4.4	+	-
2	27164	Кологрив	+	+	+	+	+	+
3	27174	Пыщуг	+	+	(+)3.6	-	+	-
4	27176	Вохма	+	+	-	-	-	-
5	27242	Буй	+	+	(+)3.0	+	-	(-)1.8
6	27243	Галич	+	+	+	+	+	-
7	27252	Николо-Полома	+	+	+	(-)1.1	+	(-)1.5
8	27259	Макарьев	+	+	+	-	(+)3.5	-
9	27271	Шарья	+	+	-	-	+	-
10	27333	Кострома	+	(+)4.2	+	-	-	-
11	75235	Нерехта	+	+	+	-	-	-
12	75308	Солигалич	+	+	(-)2.5	-	+	-

Общий вывод из полученных результатов состоит в том, что осадки холодного периода года в основном являются неоднородными, а теплого - однородными. Типичный пример неоднородного ряда осадков за декабрь по метеостанции Шарья приведен на Рис.3.2. Из графика видно, что примерно с 1957 г. произошло ступенчатое увеличение среднего многолетнего значения.

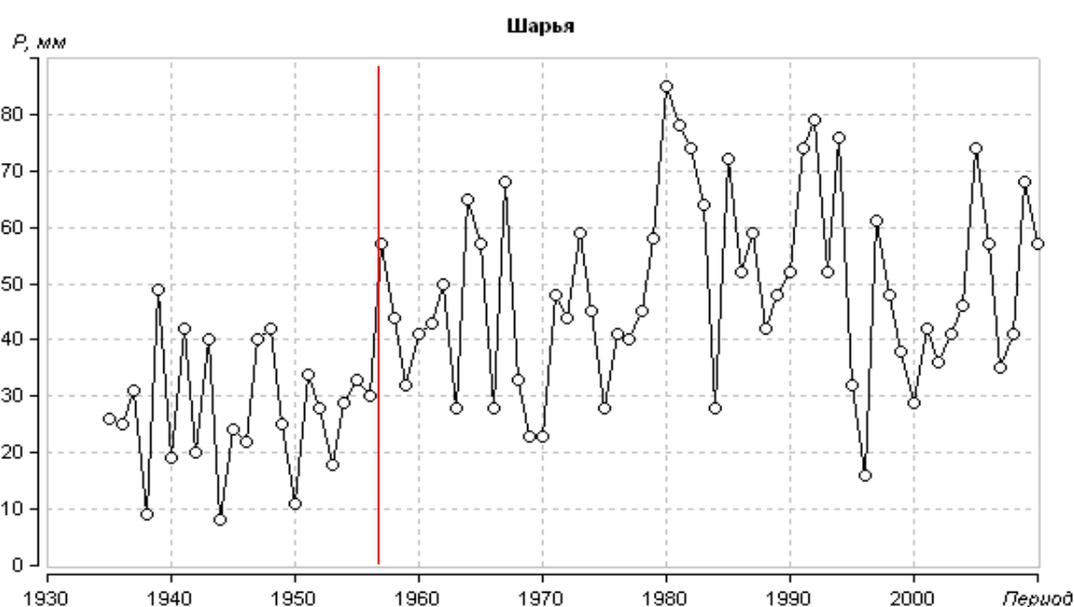


Рис.3.2 Неоднородный ряд сумм осадков за декабрь по метеостанции Шарья.

Из 12 рядов число случаев с неоднородными (и условно неоднородными) средними по критерию Стьюдента составляет 8 (67%) – в ноябре, 11 (92%) – в декабре, 9 (75%) в январе, 6 (50%) – в феврале. В теплый же период года ситуация противоположная: в марте неоднородными являются 2 ряда (17%), в апреле - 4 ряда (33%), а в период с мая по октябрь неоднородные данные полностью отсутствуют. Причина установленной неоднородности средних значений осадков в первую половину ряда наблюдений за месяцы холодного периода года (ноябрь – февраль) вероятнее всего связана с отсутствием учета поправок на ветровое выдувание. Для сумм годовых осадков (Табл.3.4) число неоднородных рядов составляет 5 (42%) и связано с неоднородностью осадков холодного периода.

По результатам оценки по критерию Фишера также следует, что число неоднородных по дисперсии рядов достаточно велико, и они также в основном имеют место в зимний период. Так в ноябре число неоднородных рядов 3 (25%), в декабре – 4 (33%), в январе, феврале, марте – 5 (42%). За теплый период года с апреля по октябрь количество рядов с неоднородной дисперсией всего 2-3, т.е. практически отсутствует. В ряде случаев неоднородность дисперсии обусловлена неоднородными экстремумами (Табл.3.3). Однако, в большинстве случаев, как показано на рис.3.3, заниженная дисперсия первой половины ряда обусловлена особенностями измерений с помощью осадкомера зимой, когда большие по величине твердые осадки в большей степени и выдувались, что приводило к систематическому преуменьшению дисперсии их многолетних колебаний. Подтверждением этого свойства является высокий процент совпадений неоднородных средних и дисперсий, который за холодный период года составляет почти 50% .

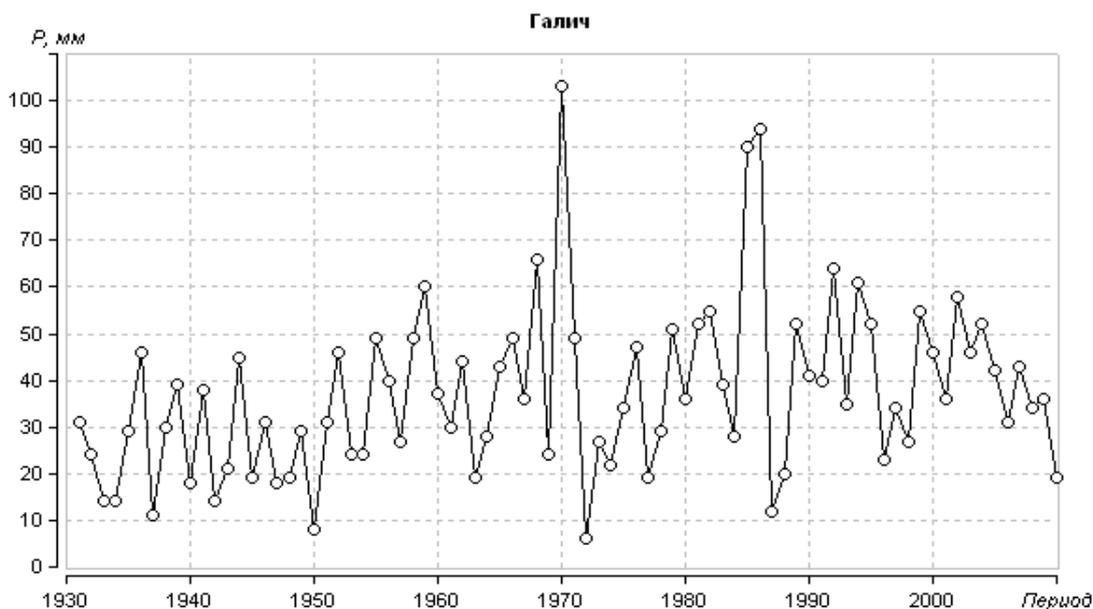


Рис.3.3 Многолетний ряд с неоднородной дисперсией по метеостанции Галич (суммы осадков января).

Общий вывод из проведенного анализа однородности осадков состоит в том, что неоднородные осадки холодного периода года, обусловленные неоднородностью измерений, необходимо привести к однородной информации второй половины ряда путем введения поправок или использовать для дальнейшего анализа только однородную информацию второй части ряда. В дальнейшем будет использован тот и другой вариант.

3.3. Восстановление пропусков и приведение рядов осадков к многолетнему периоду

В соответствии с данными Табл.3.1, существуют потенциальные возможности для формирования непрерывных многолетних рядов с начала 1930х годов по 2010 год включительно, в том числе и для восстановления информации по закрытым станциям.

3.3.1. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов стандартных характеристик режима увлажнения

В связи с тем, что осадки менее связаны между собой по территории, чем температуры, то при приведении к многолетнему периоду рядов сумм

месячных осадков минимальное критическое значение коэффициента корреляции задавалось $R_{кр}=0.75$, что соответствовало стандартной относительной погрешности восстановленных данных 43.7%. Для восстановления были использованы данные на всех 34 метеостанциях с периодом наблюдений, который варьировал в очень широком диапазоне: от 13-18 лет на метеостанции Мантурово до 117 лет на метеостанции Чухлома. Пример результатов приведения к многолетнему периоду и показатели эффективности восстановления для сумм осадков января приведены в Табл.3.6, где: σ_{ε} – стандартная погрешность восстановленных данных в мм; $P_{с\text{исх.}}$, $P_{с\text{восст}}$ – средние значения наблюдаемых и восстановленных осадков. Не смотря на то, что продолжительность рядов наблюдений удалось увеличить существенно, в среднем с 37 до 98 лет, восстановленные данные не являются достаточно надежными, т.к. расчетное значение статистики критерия Стьюдента при сравнении наблюдаемых и восстановленных средних в 2/3 случаев превышает критические равные в среднем 1.96 при уровне значимости $\alpha=5\%$ (отмечено ярким в Табл.3.6). Поэтому в следующем варианте расчетов задавалось $R_{кр}=0.8$ и предельная относительная погрешность восстановленных осадков $\Delta_{\text{макс.}}=35\%$.

Таблица 3.6

Оценка эффективности приведения к многолетнему периоду сумм осадков января при $R_{кр}=0.75$

Код	Наименование	n	N	σ_{ε} , мм.	$\sigma_{\text{исх.}}$	$\sigma_{\text{восст}}$	Φ .	$P_{с\text{исх.}}$	$P_{с\text{восст}}$	Ст.
27164	Кологрив	76	80	9.4	16.1	7.5	4.62	37.7	19.0	2.28
27174	Пыщуг	76	82	7.7	17.0	7.9	4.60	39.5	25.8	1.93
27242	Буй	64	114	9.1	17.7	13.1	1.82	39.1	27.3	3.89
27243	Галич	80	114	10.0	18.2	14.1	1.67	37.0	31.1	1.69
27252	Николо- Полома	63	79	6.1	17.3	13.7	1.61	32.8	33.5	-0.16
27259	Макарьев	73	114	9.9	21.2	16.3	1.69	42.8	33.1	2.54
27260	Мантурово	16	24	11.8	21.9	18.8	1.36	55.0	65.8	-1.14

27271	Шарья	76	114	9.8	16.0	12.1	1.74	36.7	30.3	2.15
27333	Кострома	74	114	9.2	18.7	14.0	1.78	32.2	25.1	2.08
75235	Нерехта	40	114	9.6	17.6	16.0	1.20	30.8	28.2	0.79
75254	Борок	21	114	4.9	14.3	14.8	1.08	45.7	32.5	3.68
75257	Рябцево	21	114	6.8	17.1	19.1	1.25	48.2	33.1	3.31
75263	Ямково	21	74	8.0	18.3	22.6	1.52	43.4	31.7	2.08
75265	Шолохово	21	114	6.9	14.4	15.7	1.19	35.8	26.2	2.53
75274	Заборье	21	113	4.9	16.0	18.1	1.27	39.3	27.3	2.78
75280	Селище	21	114	6.6	16.7	19.6	1.38	53.2	38.3	3.22
75289	Шарганово	22	114	5.4	16.2	15.6	1.08	42.5	26.0	4.38
75290	Георгиевское	25	57	11.1	18.9	22.3	1.39	44.6	40.6	0.78
75291	Загатино	25	114	9.2	16.3	20.9	1.64	39.3	32.9	1.40
75292	Парфеньево	20	82	9.9	20.9	22.3	1.14	50.8	35.9	2.61
75293	Буслаево	22	114	8.1	17.4	19.7	1.28	46.2	32.4	2.99
75295	Красное	32	64	12.4	17.5	17.0	1.05	35.4	22.4	2.97
75296	Тимошино	25	101	8.8	17.8	44.1	6.15	38.0	33.6	0.47
75297	Юрово	24	70	9.6	21.7	41.2	3.59	41.0	44.4	-0.37
75298	Михайловцы	21	76	5.3	17.0	20.4	1.44	49.3	37.5	2.34
75301	Островское	33	113	7.4	22.6	16.2	1.95	38.4	29.0	2.45
75308	Солигалич	64	114	7.8	15.5	14.5	1.14	34.5	34.2	0.11
75673	Кажирово	21	114	4.2	14.5	16.2	1.25	45.3	33.5	3.06
75682	Тихон	21	82	2.3	16.2	14.3	1.28	45.1	26.4	4.95
75684	Поназырево	21	114	7.5	15.3	18.8	1.51	40.6	31.1	2.13
75765	Серебряный Брод	22	114	4.7	17.3	23.3	1.80	44.6	34.8	1.85
75936	Столпино	21	114	6.9	17.2	18.3	1.14	50.7	33.6	3.88
Среднее		37	98							

Результаты расчетов и оценка эффективности приведения к многолетнему периоду при новых заданных условиях представлены в Табл. 3.7 также для сумм осадков января. Из Табл.3.7 следует, что число случаев установленной неоднородности по критерию Стьюдента сократилось почти в 3 раза, но при этом несколько увеличилось число неоднородных дисперсий,

определяемых по критерию Фишера. На основе процедуры восстановления в первом случае при $R_{кр}=0.75$ удалось привести к многолетнему периоду 32 ряда из 34, а во втором – 31 ряд. В целом, средняя продолжительность рядов, приведенных к многолетнему периоду, уменьшилась с 98 до 77 лет, но качество восстановленных данных увеличилось, что характеризуется уменьшением стандартной погрешности восстановления с 8 мм до 7 мм. Поэтому условия $R_{кр}=0.8$ и $\Delta_{макс.}=35\%$ приняты для восстановления осадков и в остальные месяцы года.

Таблица 3.7

Оценка эффективности приведения к многолетнему периоду сумм осадков января при $R_{кр}=0.8$ и $\Delta_{макс.}=35\%$.

Код	Наименование	n	N	σ_{ε} , мм.	$\sigma_{исх.}$	$\sigma_{восст}$	Φ .	$P_{с исх.}$	$P_{с восст}$	Ст.
27174	Пыщуг	76	80	7.7	17.0	7.7	2.90	39.5	29.0	1.21
27242	Буй	64	101	9.1	17.7	10.1	2.09	39.1	36.7	0.64
27243	Галич	80	101	10.0	18.2	10.9	2.77	37.0	40.0	-0.68
27252	Николо- Полома	63	77	5.8	17.3	11.3	2.34	32.8	33.3	-0.11
27259	Макарьев	73	98	10.0	21.2	12.6	2.84	42.8	43.0	-0.04
27260	Мантурово	16	23	11.5	21.9	19.8	1.23	55.0	67.3	-1.22
27271	Шарья	76	79	8.7	16.0	4.2	4.66	36.7	31.5	0.55
27333	Кострома	74	90	9.3	18.7	9.9	3.56	32.2	38.7	-1.34
75235	Нерехта	40	68	7.9	17.6	15.6	1.27	30.8	39.1	-1.91
75254	Борок	21	106	4.8	14.3	14.0	1.05	45.7	34.5	3.22
75257	Рябцево	21	92	6.4	17.1	17.0	1.01	48.2	40.1	1.90
75263	Ямково	21	49	8.0	18.3	19.9	1.18	43.4	47.3	-0.70
75265	Шолохово	21	68	5.6	14.4	14.1	1.04	35.8	34.6	0.31
75274	Заборье	21	71	1.3	16.0	19.6	1.49	39.3	31.4	1.61
75280	Селище	21	77	4.5	16.7	21.6	1.67	53.2	41.3	2.27
75289	Шартаново	22	92	5.1	16.2	14.1	1.32	42.5	32.4	2.78
75290	Георгиевское	25	49	10.6	18.9	20.9	1.22	44.6	48.8	-0.72
75291	Загатино	25	69	8.3	16.3	22.9	1.97	39.3	43.0	-0.69

75292	Парфеньево	20	64	9.9	20.9	16.9	1.52	50.8	47.6	0.66
75293	Буслаево	22	86	7.6	17.4	18.5	1.12	46.2	40.4	1.27
75295	Красное	32	38	12.3	17.5	10.4	2.83	35.4	47.7	-1.62
75296	Тимошино	25	59	8.8	17.8	49.1	7.65	38.0	49.5	-1.10
75297	Юрово	24	54	7.8	21.7	59.2	7.43	41.0	30.1	0.84
75298	Михайловцы	21	71	5.3	17.0	18.9	1.24	49.3	40.5	1.83
75301	Островское	33	83	6.9	22.6	13.0	3.03	38.4	38.1	0.07
75308	Солигалич	64	79	4.3	15.5	15.5	1.01	34.5	44.5	-2.21
75673	Кажирово	21	104	3.8	14.5	15.9	1.21	45.3	35.5	2.54
75682	Тихон	21	81	2.4	16.2	13.8	1.38	45.1	27.2	2.86
75684	Поназырево	21	83	7.1	15.3	16.9	1.22	40.6	40.0	0.14
75765	Серебряный Брод	22	102	4.6	17.3	22.3	1.66	44.6	38.8	1.13
75936	Столпино	21	97	6.7	17.2	16.2	1.13	50.7	38.9	2.90
Среднее		36	77	7						

Результаты восстановления многолетних рядов сумм осадков для остальных месяцев и года и приведены в Табл.3.8.

Таблица 3.8

Результаты приведения к многолетнему периоду осадков за месяцы и год при $R_{кр}=0.8$ и $\Delta_{\text{макс.}}=35\%$.

Станция	n	N	σ_{EMM}	n	N	σ_{EMM}	n	N	σ_{EMM}
	февраль			март			апрель		
Кологрив	76	78	7.6	76	78	9.3	76	79	11.3
Пыщуг	76	78	7.7	76	78	8.5	76	79	10.2
Буй	64	67	8.8	64	74	9.0	64	94	8.9
Галич				80	99	8.2	80	100	8.6
Николо-Полома	63	77	6.9	63	68	4.9	63	74	8.0
Макарьев	73	89	9.6	73	81	8.2	73	76	10.6
Мантурово	16	81	6.2	15	75	5.5	16	65	9.5
Шарья				76	80	9.2			
Кострома				74	81	7.3	74	75	9.6
Нерехта	40	77	6.5	40	71	6.0	40	74	6.1

Борок	21	107	4.8	21	95	5.9	21	102	5.3
Рябцево	21	107	4.0	21	105	4.0	21	101	4.6
Ямково	21	66	4.9	20	101	5.5	21	95	4.9
Шолохово	21	73	3.0	21	99	3.5	21	87	6.6
Заборье	21	66	4.0	21	98	5.7	21	61	5.7
Селище	21	75	5.2	21	70	7.1	21	68	6.5
Шартаново	22	84	5.9	22	96	6.1	22	106	4.1
Георгиевское	25	78	6.4	25	65	7.0	25	67	7.9
Загатино	25	58	8.2	25	49	9.3	25	66	6.3
Парфеньев	20	64	9.8	20	54	8.3	20	61	9.9
Буслаево	22	78	4.6	22	71	6.1	22	62	5.9
Красное				32	42	10.2			
Тимошино	25	67	6.2	25	68	4.3	25	61	7.3
Юрово	24	50	9.6	24	30	13.1	24	54	10.4
Михайловцы	21	64	7.3	21	54	9.4	21	71	4.0
Островское	33	74	4.4	33	75	5.5	33	73	7.3
Солигалич	64	106	4.5	63	74	4.7	63	76	2.7
Кажирово	21	73	4.6	21	73	6.0	21	71	3.8
Тихон	21	78	2.6	21	82	2.4	21	73	4.7
Поназырево	21	74	5.6	21	69	8.2	21	70	4.3
Серебряный Брод	22	85	6.9	22	93	6.2	22	73	10.2
Столпино	21	77	2.4	21	66	6.2	21	72	3.9
среднее	33	77	6	37	75	7	36	76	7
	май			июнь			июль		
Кологрив	76	78	13.8						
Пыщуг	76	79	13.3				76	78	25.5
Буй	64	78	11.6						
Николо-Полома	63	73	14.7	63	73	20.7	63	73	25.8
Макарьев							73	75	26.8
Мантурово	16	53	16.3	16	45	19.3	17	61	20.0
Шарья	76	78	15.5	40	54	19.0			
Нерехта	40	64	13.6	21	80	8.4			
Борок	21	98	6.7	21	80	10.8	21	81	18.5

Рябцево	21	57	10.7	21	72	5.5	21	63	12.5
Ямково	21	72	2.7	21	74	7.4	21	73	10.3
Шолохово	21	63	10.3	21	67	11.1	21	72	20.4
Заборье	21	72	3.5	21	72	15.1	21	70	12.1
Селище	21	54	13.8	22	87	18.1	21	67	14.3
Шарганово	22	97	9.4	63	73	20.7	22	100	14.0
Георгиевское	25	75	11.2						
Загатино	25	75	9.4	25	52	30.8	25	61	18.9
Парфеньево	20	70	11.6	20	49	20.6	20	57	14.4
Буслаево	22	71	7.7	22	76	15.7	22	71	12.5
Красное	32	70	10.5	32	51	18.6	25	45	19.9
Юрово	24	47	7.7	24	51	22.3	24	43	22.9
Михайловцы	21	72	7.4	21	64	20.2	21	75	9.9
Островское	33	71	10.7	33	67	14.7			
Солигалич	63	76	9.7	63	66	18.3	64	75	12.4
Кажирово	21	72	7.7	21	58	19.0	21	71	14.0
Тихон	21	81	6.8	21	58	18.2	21	74	13.8
Поназырево	21	79	6.1	21	60	13.0	21	40	30.4
Серебряный Брод	22	108	6.8	22	99	12.8	22	92	16.2
Столпино	21	64	9.0	21	94	15.1	21	82	18.3
среднее	33	73	10	28	68	16	30	70	18
	август			сентябрь			октябрь		
Кологрив				76	80	15.1	76	100	16.1
Пыщуг				76	77	14.5	76	101	14.7
Буй	64	68	24.3	64	111	12.4	64	104	10.6
Галич	80	99	20.4	80	111	13.0	80	107	11.2
Николо-Полома	63	74	19.5	62	77	11.3	62	99	13.3
Макарьев	73	77	20.0	73	76	15.8	73	94	17.9
Мантурово	17	56	18.2	17	70	12.3	17	54	12.3
Шарья							76	81	14.2
Кострома				74	77	16.5	74	100	14.3
Нерехта	40	62	13.8	40	77	13.8	40	74	10.6
Борок	21	95	12.3	21	113	8.5	21	105	6.7

Рябцево	21	88	18.0	21	111	9.2	21	104	7.1
Ямково	21	64	13.8	21	75	7.1	21	98	9.5
Шолохово	21	49	22.0	21	67	14.1	21	78	15.9
Заборье	21	66	14.2	21	75	10.0	21	100	6.2
Селище	21	93	11.2	21	72	11.0	21	22	23.2
Шарганово	22	86	12.6	22	112	9.7	22	106	7.8
Георгиевское				25	76	10.4	25	85	14.1
Загатино	25	45	18.3	25	70	14.4	25	83	13.4
Парфеньево	21	70	10.7	20	75	10.1	19	108	8.5
Буслаево	22	72	12.6	22	111	8.7	22	102	7.6
Красное				32	67	12.2	32	71	10.2
Тимошино	25	51	19.0	25	114	9.6	25	83	15.3
Юрово	24	45	21.1	24	66	16.0	24	54	20.2
Михайловцы	21	52	18.5	21	79	3.1	21	104	8.3
Островское	33	67	16.2	33	70	12.6	33	44	10.3
Солигалич	64	76	5.8	64	76	4.5	64	75	4.1
Кажирово	21	58	16.2	21	78	7.3	21	104	8.4
Тихон	21	67	12.7	21	75	8.2	21	103	5.6
Поназырево	21	89	16.6	21	112	9.6	21	110	5.3
Серебряный Брод	22	88	16.3	22	115	8.4	22	107	7.8
Столпино	21	70	25.4	21	76	7.9	21	89	10.3
среднее	32	70	16	36	85	11	37	89	11
	ноябрь			декабрь			год		
Кологрив	76	78	9.2	76	105	9.8			
Пыщуг	76	111	9.0	76	100	10.6			
Вохма				82	99	10.5			
Буй	64	108	7.9	64	104	7.7			
Галич				80	98	11.2			
Николо-Полома	62	111	7.3	62	96	8.2	62	77	47.0
Макарьев	73	104	10.8	73	103	10.9	73	82	61.5
Мантурово	17	80	12.0	16	57	13.4	13	82	63.9
Шарья	76	101	11.9						
Кострома	74	102	10.5	74	95	10.6	74	80	65.0

Нерехта	40	59	11.7	40	60	10.6			
Борок	21	109	6.2	21	95	8.2	21	113	33.4
Рябцево	21	108	6.4	21	97	7.4	21	80	32.9
Ямково	21	99	6.7	21	63	10.3	21	74	38.7
Шолохово	21	53	10.3	21	69	6.1	21	76	68.0
Заборье	21	98	7.5	21	75	3.5	21	113	49.0
Селище	21	101	8.9	21	55	11.7	21	76	50.2
Шартаново	22	105	4.9	22	100	6.5	22	113	43.2
Георгиевское	25	66	9.5						
Загатино	25	79	5.1				25	59	68.6
Парфеньево	19	95	10.7	20	21	12.2	13	74	59.1
Буслаево	22	105	6.9	22	80	3.7	22	76	48.8
Красное							32	51	42.7
Тимошино	25	64	9.4						
Юрово	24	51	13.2	24	25	8.8	24	25	92.2
Михайловцы	21	109	7.5	21	76	4.5	21	76	51.9
Островское	33	68	9.8	33	52	11.8	33	79	39.0
Солигалич	64	101	8.0	64	76	2.3			
Кажирово	21	75	8.4	21	76	7.5	21	25	38.4
Тихон	21	98	5.4	21	77	5.7	21	82	29.2
Поназырево	21	100	8.5	21	75	9.2	21	25	44.4
Серебряный Брод	22	115	5.8	22	105	5.8	22	113	45.7
Столпино	21	96	9.1	21	100	7.0	21	113	53.7
среднее	36	92	9	39	80	8	28	77	51

По данным таблиц 3.7 и 3.8 следует, что из 34 рядов за каждый месяц и год удалось восстановить от 23 до 32 рядов, причем в летние месяцы число восстановленных рядов меньше: от 23 до 26, а в остальные больше: от 28 до 32 рядов. Для сумм годовых осадков было восстановлено всего 23 ряда. В результате процедуры приведения рядов к многолетнему периоду их продолжительность была увеличена в среднем с 34 лет для наблюдаемых данных до 78 лет, включая наблюдаемые и восстановленные данные, т.е.

более, чем в 2 раза. Причем количество восстановленных лет зависело от месяца года. Так, в летние месяцы, когда естественная изменчивость осадков больше, чем в зимние (в 2-3 раза), что определило и их более низкую пространственную связанность, то и продолжительность рядов после восстановления составила всего 68-70 лет (при продолжительности наблюдаемых рядов 28-32 лет). В то же время в осенние месяцы продолжительность рядов была увеличена до 85-92 лет при продолжительности наблюдаемых рядов 36-39 лет, а в зимние месяцы среднее $N = 77-80$ лет и при такой же продолжительности $n = 36-39$ лет. Весной $N = 73-76$ лет при $n = 33-37$ лет. Стандартная погрешность восстановления, которая зависит от исходной изменчивости рядов, варьировала от 6 мм до 9 мм в холодный период года и от 11 мм до 18 мм в теплый период года.

Поэтому в холодный период года условия для восстановления данных были существенно лучше, чем в теплый, что объясняется большей пространственной связанностью осадков в это время года. В общем же, полученный период многолетних рядов в 70-90 лет вполне достаточен для надежной оценки проявления климатических изменений. Для сумм годовых осадков восстановление данных осуществлено для 23 метеостанций и средний период наблюдений был увеличен с 34 до 78 лет.

Проведенный анализ однородности эмпирических распределений осадков для восстановленных рядов по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса не выявил каких-либо неоднородных экстремумов.

3.3.2. Восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов прикладных характеристик режима увлажнения.

Рассматривались ряды 6-ти следующих прикладных климатических характеристик режима увлажнения: наибольшие и наименьшие в году суммы месячных осадков; суммы осадков за лето и зиму; суммы осадков за теплую (апрель – октябрь) и холодную (ноябрь – март) половины года. Ряды прикладных характеристик сформированы на основе рядов месячных сумм

осадков после оценки их однородности и качества данных. Поэтому до процедуры удлинения однородность сформированных рядов прикладных характеристик осадков не оценивалась. В качестве критериев восстановления задавалось минимальное значение коэффициента множественной корреляции $R_{кр}=0.8$ и предельное значение относительной погрешности восстановления $\Delta_{макс.}=35\%$. Результаты восстановления многолетних рядов прикладных характеристик осадков приведены в Табл.3.9, где $P_{макс}$ и $P_{мин}$ – максимальные и минимальные суммы месячных осадков; $P_{лет}$ и $P_{зим}$ – суммы осадков за летний и зимний сезоны; $P_{тепл.}$ и $P_{хол.}$ – суммы осадков за теплое и холодное полугодия.

Таблица 3.9

Результаты приведения к многолетнему периоду прикладных характеристик осадков.

Станция	n	N	$\sigma_{эмм}$	n	N	$\sigma_{эмм}$	n	N	$\sigma_{эмм}$
	$P_{макс}$			$P_{мин}$			$P_{лет}$		
Пыщуг							76	79	48.8
Галич							80	112	42.6
Николо-Полома							63	78	48.7
Макарьев							73	109	47.9
Мантурово	15	25	19.3	15	25	2.1	16	99	52.0
Кострома				74	75	3.7			
Нерехта				40	44	3.1			
Борок	21	76	9.6	21	73	2.5	21	111	25.8
Рябцево	21	64	11.4	21	72	2.5	21	111	32.9
Ямково	21	74	6.7	21	63	1.7	21	74	10.7
Шолохово	21	69	20.6	21	64	2.0	21	71	31.5
Заборье	21	74	1.3	21	72	0.5	21	73	17.4
Селище	21	65	23.0	21	71	2.8	21	112	22.0
Шарганово	22	25	15.4	22	70	3.0	22	112	28.3
Георгиевское	25	46	16.8	25	82	3.5			
Загатино	25	76	12.0	18	43	3.1	25	101	47.8
Парфеньево	18	76	12.4	22	56	3.1	19	70	49.1
Буслаево	22	79	12.7	32	48	3.6	22	112	32.6
Красное				74	75	3.7			
Тимошино	25	76	16.1				25	67	46.2
Юрово	24	25	24.3				24	25	49.5
Михайловцы	21	76	13.6	21	64	2.9	21	80	36.5

Островское				33	41	2.9	33	111	33.5
Солигалич				63	68	2.4	63	75	36.3
Кажирово	21	76	12.7	21	52	4.0	21	78	42.9
Тихон	21	25	15.4	21	73	1.6	21	82	20.9
Поназырево				21	22	3.5	21	109	41.9
Серебряный Брод	22	113	14.3	22	74	3.2	22	111	24.6
Столпино	21	79	10.8	21	64	2.1	21	109	33.0
среднее	21	64	14	29	60	3	32	91	36
	Рзим			Ртепл			Рхол		
Кологрив	75	78	16.6				75	78	24.8
Пыщуг	75	81	19.1				75	81	27.3
Вохма	81	108	19.4				81	111	31.5
Буй	63	109	18.9				63	113	26.0
Галич	79	111	20.4	80	113	47.8			
Николо-Полома	61	78	11.7				61	78	16.1
Макарьев	72	111	19.9	73	79	52.5	72	113	26.9
Мантурово	14	66	22.5	16	66	59.0	13	47	16.3
Шарья	75	110	19.0				75	113	28.1
Кострома	73	103	20.7	74	80	51.1	73	112	28.9
Нерехта	39	97	17.6				39	78	26.3
Борок	20	114	11.7	21	113	27.4	20	114	16.5
Рябцево	20	114	12.7	21	113	35.0	20	113	18.7
Ямково	20	24	10.0	21	74	17.7	19	24	15.1
Шолохово	20	72	9.6				20	73	17.2
Заборье	20	73	5.6				20	73	12.4
Селище	20	78	9.8				20	113	23.3
Шарганово	21	109	13.3				21	81	18.8
Георгиевское	24	46	19.4				24	72	18.2
Загатино									
Парфеньево	18	71	20.2				16	31	17.9
Буслаево	21	75	18.4				21	75	19.7
Красное									
Юрово	23	24	16.9				23	24	32.3
Михайловицы	20	74	11.2				20	74	22.4
Островское	32	104	15.3				32	79	17.3
Солигалич	63	114	15.1				62	114	20.5
Кажирово	20	111	13.2				20	79	21.5
Тихон	20	81	5.3				20	81	6.1
Поназырево	20	66	17.9				20	24	14.5
Серебряный Брод	21	112	11.4				21	114	15.0
Столпино	20	110	13.9				20	69	24.8
среднее	38	87	15	44	91	42	37	81	21

Из таблицы 3.9 следует, что из 34 рядов на всех станциях к многолетнему периоду удалось привести от 7 рядов для сумм осадков теплого периода года до 30 рядов для сумм осадков за зиму и холодный период года. Для максимальных в году сумм месячных осадков, которые приходятся на теплый период года, удалось привести к многолетнему периоду 19 рядов, а для минимальных в году сумм месячных осадков – 23 ряда. Для осадков холодного периода имеет место закономерность, что, чем продолжительнее период обобщения осадков, тем лучше пространственная связанность и тем больше данных можно восстановить. Для осадков теплого периода такая закономерность отсутствует. Увеличить продолжительность рядов наблюдений за прикладными характеристиками осадков удалось в среднем с 32 до 80 лет, т.е. более, чем в 2 раза, причем, эффективность восстановления существенно зависит от рассматриваемой характеристики. Так для максимальных и минимальных в году месячных сумм осадков продолжительность рядов была увеличена с 21 года до 64 лет, т.е. в 3 раза. Для летних осадков продолжительность увеличена в среднем с 32 лет до 91 года, а для зимних с 38 до 87 лет, хотя число рядов восстановленных зимних осадков больше, чем летних. Продолжительность рядов осадков теплого периода года увеличена с 44 лет до 91 года, а холодного периода – с 37 лет до 81 года, хотя количество удлиненных рядов теплого периода было всего 7, а холодного – 30. Стандартная погрешность восстановления зависит от количества осадков и сезона года и изменяется от 2 мм для минимальных в году месячных осадков до 21 мм для осадков холодного периода года и от 14мм для максимальных в году месячных осадков до 42 мм для осадков теплого полугодия.

Проведенный анализ однородности эмпирических распределений прикладных характеристик осадков для восстановленных рядов по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса практически не выявил неоднородных экстремумов.

3.4. Оценка климатических изменений характеристик режима осадков в пунктах наблюдений

3.4.1. Оценка исторических изменений осадков с середины 19 века по данным наблюдений в Костроме

Начало регулярных наблюдений за осадками по метеостанции Кострома относится к 1857 г. Анализ исторических рядов осадков с 1857-58гг. был осуществлен для сумм месячных и годовых осадков. Хронологический график годовых сумм осадков по метеостанции Кострома приведен на рис.3.4.

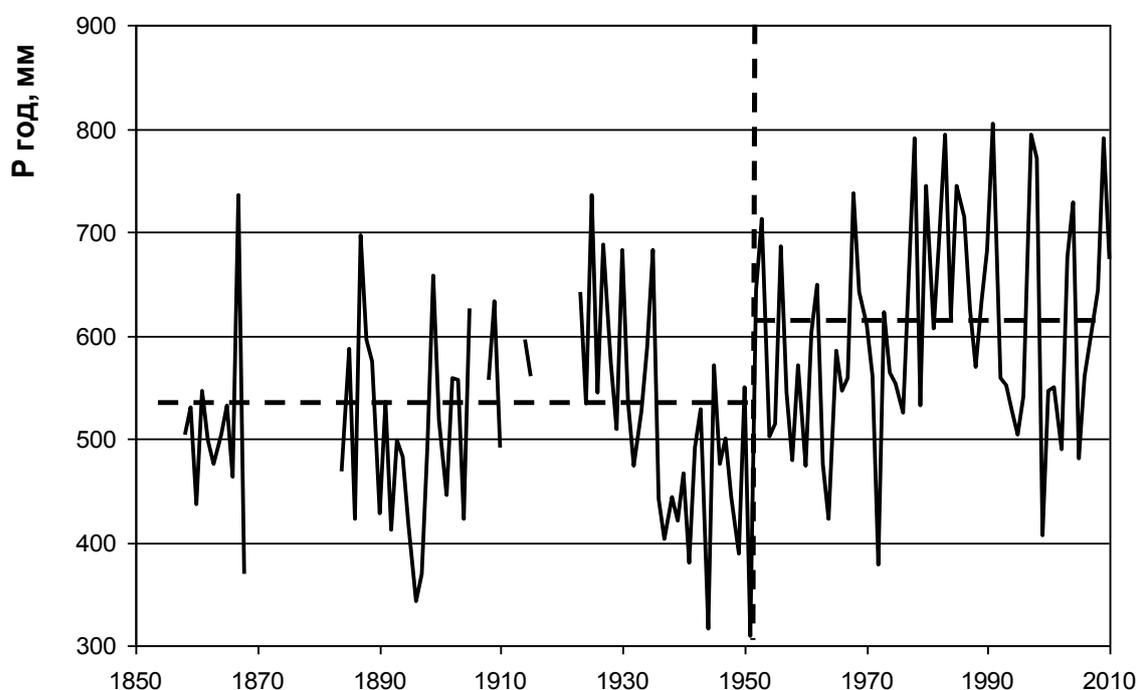


Рис.3.4 Хронологический график сумм годовых осадков по метеостанции Кострома.

Несмотря на существенные пропуски информации до 1920-х годов, связанные с отсутствием наблюдений в отдельные месяцы, из графика следует, что средние многолетние годовые осадки увеличились ступенчато с начала 1950-х годов. Эта нестационарность средних значений до и после 1952г. является статистически значимой, как установлено по критерию Стьюдента при уровне значимости, соответствующему расчетному значению

статистики критерия менее 1%. При этом, среднее значение первой части ряда равно 556 мм, а второй – 606 мм, т.е. отличается на 9%. Для установления причин нестационарности был проведен анализ многолетних рядов сумм осадков за каждый из 12 месяцев. Результаты анализа по критериям стационарности Фишера и Стьюдента приведены в табл.3.10 для тех месяцев, в которые установлена нестационарность (октябрь – февраль) и еще дополнительно для двух соседних месяцев: марта и сентября. Основной вывод из проведенного анализа состоит в том, что за холодный период года с октября по февраль данные по осадкам до 1952 г. являются неоднородными по средним значениям и в некоторые месяцы (январь и февраль) и по дисперсиям. В остальные месяцы теплого периода года (с марта по сентябрь), как частично показано в Табл.3.10, многолетние ряды осадков стационарны. Главной и единственной причиной неоднородности данных по осадкам в холодный период является смена регистрирующих приборов в начале 1950х годов.

Таблица 3.10

Результаты оценки стационарности дисперсий и средних значений для сумм месячных осадков.

Критерий	Расчетное значение	Критич. значение	Уровень значимости расч.	Вывод	М-ц
Критерий Фишера	1.7401	1.5405	2.4619	неоднороден	1
Критерий Стьюдента	3.5351	2.3555	0.9000	неоднороден	
Критерий Фишера	1.6461	1.5406	3.6579	неоднороден	2
Критерий Стьюдента	3.1540	2.4025	1.1246	неоднороден	
Критерий Фишера	1.2371	1.5262	11.0000	однороден	3
Критерий Стьюдента	1.0761	1.9787	11.0000	однороден	
Критерий Фишера	1.0283	1.5086	11.0000	однороден	9
Критерий Стьюдента	0.1179	1.9784	11.0000	однороден	
Критерий Фишера	1.1708	1.5147	11.0000	однороден	10
Критерий Стьюдента	3.4957	2.1270	0.9000	неоднороден	

Критерий Фишера	1.0061	1.5310	11.0000	однороден	11
Критерий Стьюдента	2.2332	2.1126	4.2894	неоднороден	
Критерий Фишера	1.2244	1.5390	11.0000	однороден	12
Критерий Стьюдента	3.7529	2.3730	0.9000	неоднороден	

Графики нестационарных рядов осадков за январь и февраль приведены на рис.3.5.

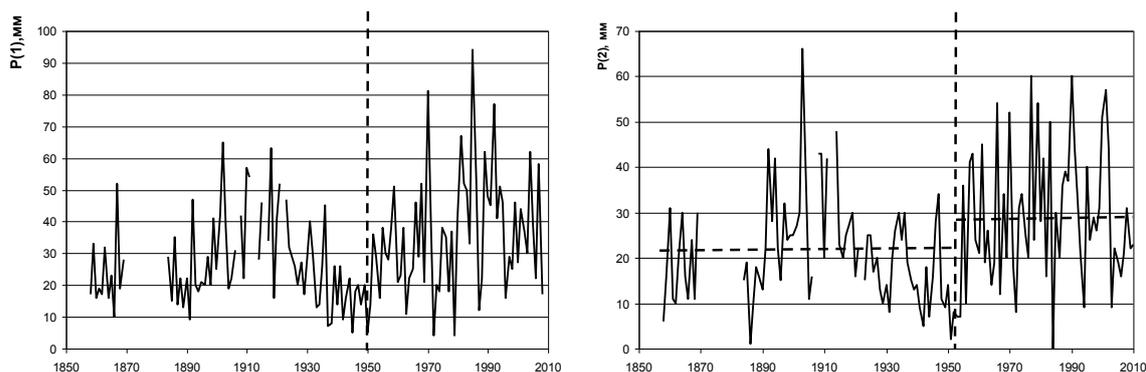


Рис.3.5 Неоднородные ряды сумм осадков за январь и февраль по метеостанции Кострома.

Результаты оценки однородности рядов осадков во времени полностью совпадают с установленным видом моделей их временных рядов. Так, для рядов месячных сумм осадков с марта по сентябрь моделью временного ряда является стационарная модель. Для месяцев холодного периода года с октября по февраль и для сумм годовых осадков преобладает модель ступенчатых изменений, если не исключать неоднородность. Если же исключить неоднородность, рассматривая вторую часть ряда или корректировать первую часть ряда на изменение среднего значения (и в отдельных случаях и дисперсии), то моделью для этих временных рядов в однородных условиях наблюдений также будет модель стационарной выборки.

Таким образом, проведенный анализ влияния изменений климата, выполненный по наиболее продолжительным рядам наблюдений за осадками по метеостанции Кострома позволил сделать выводы, что

- ряды месячных сумм осадков в холодный период года (октябрь – февраль) неоднородны из-за смены регистрирующих приборов в начале 1950х годов;
- моделью рядов месячных сумм осадков теплого периода с марта по сентябрь является стационарная выборка, также как и рядов осадков за месяцы холодного периода и годовых сумм осадков после приведения их к однородным условиям или рассмотрения периода наблюдений с 1960 г.

3.4.2. Оценка климатических изменений в многолетних рядах режима увлажнения

Оценка влияния климатических изменений была рассмотрена как для стандартных наблюдаемых характеристик режима осадков, таких суммы осадков за месяц и год, так и для прикладных характеристик таких как: максимальные и минимальные в году суммы месячных осадков, суммы осадков за летний и зимний сезоны, суммы осадков за теплое и холодное полугодия. Всего рассматривалось 19 климатических характеристик осадков: 13 стандартных и 6 прикладных. Из 34 метеостанций для моделирования выбирались те, на которых многолетние ряды имели продолжительность не менее 50 лет и процедура восстановления данных не приводила к искажению структуры многолетних колебаний. Так, если исходный ряд наблюдений являлся стационарным по средним значениям и дисперсиям, а после процедуры приведения к многолетнему периоду условия стационарности нарушались, то для моделирования использовался или исходный ряд, если его продолжительность была не менее 50 лет или ряд исключался из рассмотрения. Если же нестационарность была обусловлена сменой приборов при регистрации твердых осадков, то также был проведен анализ насколько процедура восстановления могла исказить исходные закономерности. В отдельных случаях нестационарность параметров была связана с отдельными восстановленными экстремумами, которые в дальнейшем исключались из рассмотрения, т.к. на продолжительность

восстановленного ряда они практически не влияли. Примеры нестационарности, сформированной за счет процедуры восстановления, показаны на Рис.3.6, где фактические наблюдения начинались с середины – конца 1980х, а до этого данные были восстановлены по аналогам.

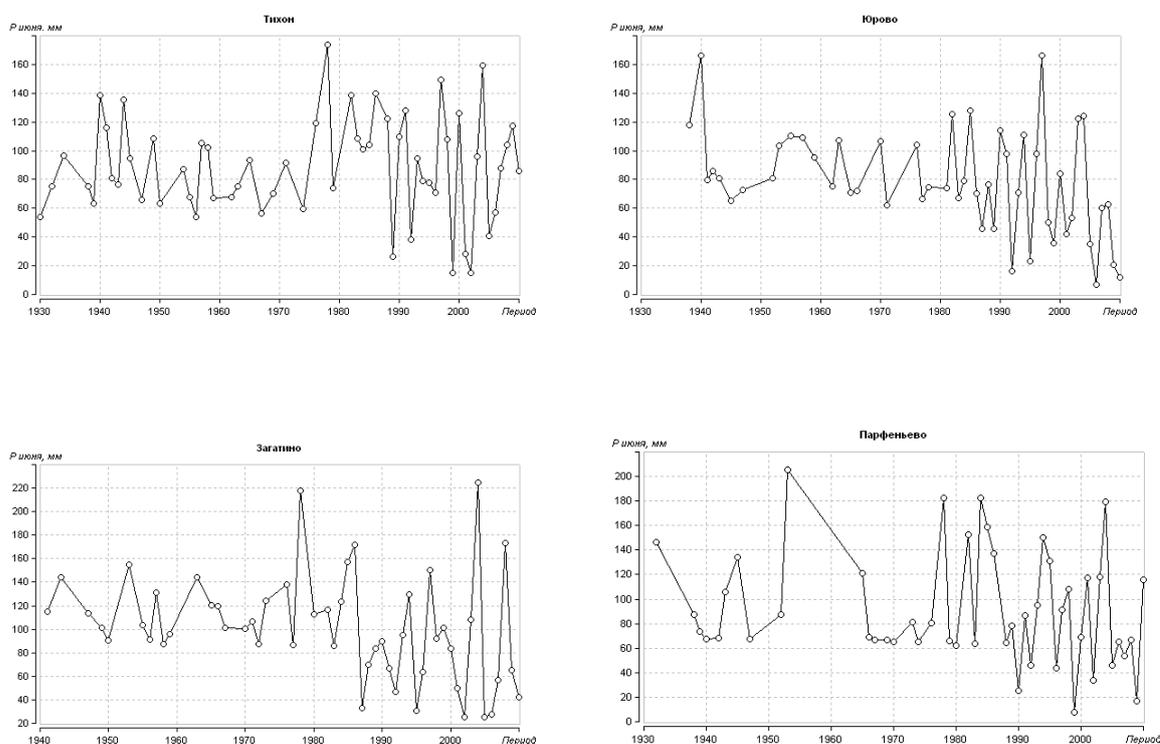


Рисунок 3.6. Примеры нестационарности средних значений и дисперсий в многолетних рядах, возникшей за счет процедуры приведения к многолетнему периоду (суммы осадков за июнь).

Пример результатов оценки эффективности и статистической значимости климатических изменений по моделям временных рядов приведен в Табл.3.11 для сумм осадков января. Из 34 рядов для моделирования выбран 31 ряд, причем для 11 рядов нестационарная ступенчатая модель является эффективной и еще столько же ситуаций, когда они близка к ней. Среднее отклонение от стационарности для всех станций составляет около 9%, средним годом ступенчатых изменений является 1959г., хотя большинство случаев (19 из 31) относятся к 1952 или 1955 гг. Статистически значимый коэффициент корреляции для линейной зависимости от времени имеет место в 25 случаев и всегда положительный,

что свидетельствует о росте осадков второй половины ряда. Также можно отметить, что если $\Delta_{ст, \%}$ или R небольшие, то дата оптимального разбиения ряда не приходится на 1950е годы. В данном, случае анализ характеристик моделей временных рядов и хронологических графиков позволяет сделать вывод, что выявленная нестационарность обусловлена ступенчатым ростом осадков в 1950е годы, что связано со сменой регистрирующих приборов.

Таблица 3.11

Характеристики моделей временных рядов для сумм осадков января.

Станция	$\Delta_{тр, \%}$	$\Delta_{ст, \%}$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	n	R
27157	8.5	12.2	1.19	1.3	1955	1895	2010	114	0.4
27164	0.1	3.1	1	1.06	1941	1931	2010	80	0.05
27171	7.1	10.7	1.16	1.25	1955	1929	2010	82	0.37
27176	13	14.2	1.32	1.36	1952	1929	2010	82	0.49
27242	7	8.3	1.16	1.19	1952	1895	2010	114	0.37
27243	5	7.2	1.11	1.16	1955	1895	2010	114	0.31
27252	1	1.7	1.02	1.04	1981	1932	2010	79	0.14
27259	7.3	9.5	1.16	1.22	1979	1895	2010	114	0.37
27271	6.4	9.6	1.14	1.22	1955	1895	2010	114	0.35
27333	7.1	10.1	1.16	1.24	1980	1895	2010	114	0.37
75235	8	10.1	1.18	1.24	1965	1895	2010	114	0.39
75254	7.1	8.2	1.16	1.19	1952	1895	2010	114	0.37
75257	7.5	8.9	1.17	1.2	1952	1895	2010	114	0.38
75263	10.5	11.7	1.25	1.28	1952	1937	2010	74	0.45
75265	8.8	10.4	1.2	1.24	1952	1895	2010	114	0.41
75274	7.9	10.1	1.18	1.24	1955	1896	2010	113	0.39
75280	6.5	8	1.14	1.18	1979	1895	2010	114	0.35
75289	6.6	7.8	1.15	1.18	1980	1895	2010	114	0.36
75290	0.6	2.5	1.01	1.05	1944	1929	2010	82	0.11
75291	8	9.6	1.18	1.22	1936	1895	2010	113	0.39

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
75292	3.9	7	1.08	1.16	1952	1929	2010	82	0.28
75293	9	8.6	1.21	1.2	1952	1895	2010	113	0.42
75296	0.8	1.8	1.02	1.04	1970	1936	2010	74	0.13
75298	5.7	7.6	1.12	1.17	1955	1935	2010	76	0.33
75301	7.8	10	1.18	1.23	1955	1896	2010	113	0.39
75308	7.1	9.3	1.16	1.22	1955	1895	2010	114	0.37
75673	7.3	10.4	1.16	1.25	1955	1895	2010	114	0.38
75682	12.9	14.7	1.32	1.37	1989	1929	2010	82	0.49
75684	9.7	9.3	1.23	1.22	1952	1895	2010	113	0.43
75765	9.1	9	1.21	1.21	1955	1895	2010	113	0.42
75936	7.4	9.5	1.16	1.22	1979	1895	2010	114	0.38

Если же рассматривать временные ряды сумм осадков января, начиная с 1960-го года, то практически все ряды являются стационарными, за некоторым исключением метеостанции Тихон, где $\Delta_{ст}=12.5\%$ и дата ступенчатого увеличения осадков – 1989 г., как следует из Табл.3.12. Однако ряд наблюдений на метеостанции Тихон начинается с 1990 г., а статистически значимое различие дисперсий и средних значений до и после 1990 г. можно объяснить влиянием процедуры восстановления. Если исключить этот случай, то среднее отклонение от стационарности для всех станций составит всего 4.4%. Таким образом, можно сделать вывод, что для твердых осадков января нестационарность обусловлена сменой регистрирующих приборов в 1950х годах, ряды же наблюдений с 1960 г. являются стационарными.

Таблица 3.12

Характеристики моделей временных рядов для сумм осадков января с 1960 г.

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
27157	2.3	4.8	1.05	1.1	1979	1960	2010	51	0.21

Станция	Δтр,%	Δст,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
27164	0.3	2.6	1.01	1.05	1996	1960	2010	51	-0.08
27171	1.4	2.8	1.03	1.06	1981	1960	2010	51	0.16
27176	3.5	9.4	1.07	1.22	1989	1960	2010	51	0.26
27242	2.2	3.9	1.05	1.08	1989	1960	2010	51	0.21
27243	0.1	1.3	1	1.03	1979	1960	2010	51	0.03
27252	2.2	4.7	1.05	1.1	1981	1960	2010	51	0.21
27259	4.5	8.1	1.1	1.18	1979	1960	2010	51	0.3
27271	0.3	3.1	1.01	1.07	1979	1960	2010	51	0.08
27333	1.1	5.7	1.02	1.13	1980	1960	2010	51	0.15
75235	2.8	4.6	1.06	1.1	1979	1960	2010	51	0.23
75254	2.4	4	1.05	1.08	1989	1960	2010	51	0.22
75257	2.2	3.5	1.05	1.07	1970	1960	2010	51	0.21
75263	1.8	5.7	1.04	1.12	1980	1960	2010	51	0.19
75265	0.1	3	1	1.06	1980	1960	2010	51	0.04
75274	1	5.2	1.02	1.11	1980	1960	2010	51	0.14
75280	3	6.4	1.06	1.14	1979	1960	2010	51	0.24
75289	2.4	6.9	1.05	1.15	1980	1960	2010	51	0.22
75290	0	1.8	1	1.04	1989	1960	2010	51	0.03
75291	0.7	2.6	1.01	1.05	1992	1960	2010	51	0.12
75292	1	3.2	1.02	1.07	1989	1960	2010	51	0.14
75293	2.3	4.2	1.05	1.09	1989	1960	2010	51	0.21
75296	0.8	2.2	1.02	1.04	1970	1960	2010	51	0.12
75298	3.6	4.6	1.08	1.1	1981	1960	2010	51	0.27
75301	1.6	4.7	1.03	1.1	1979	1960	2010	51	0.18
75308	2	6.2	1.04	1.14	1989	1960	2010	51	0.2
75673	0.9	2.6	1.02	1.05	1981	1960	2010	51	0.14
75682	4.8	12.5	1.1	1.31	1989	1960	2010	51	0.31
75684	2.4	4.5	1.05	1.1	1970	1960	2010	51	0.22

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
75765	0.5	3.6	1.01	1.08	1974	1960	2010	51	0.1
75936	3	6.7	1.06	1.15	1981	1960	2010	51	0.24

Аналогичное моделирование было выполнено для временных рядов всех остальных характеристик осадков. Результаты для случаев при $\Delta_{ст}$ или $\Delta_{тр} > 10\%$ приведены в Табл.3.13. Общее число рядов по каждой характеристике осадков было разное и варьировало от 31 для осадков января до 21 ряда для осадков марта, ноября, декабря и даже до 14 рядов для осадков теплого периода года.

Таблица 3.13

Характеристики эффективных и статистически значимых нестационарных моделей временных рядов режима увлажнения.

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
Осадки февраля									
27157	7.6	10.1	1.17	1.24	1957	1895	2010	114	0.38
27333	6.2	12.5	1.14	1.31	1955	1937	2010	74	0.35
Осадки марта									
27176	6.3	10.6	1.14	1.25	1989	1929	2010	82	0.35
Осадки июня									
75235	4.8	11.4	1.1	1.27	1982	1948	2010	54	0.31
Осадки ноября									
27176	15.1	17.1	1.39	1.45	1968	1929	2010	82	0.53
75235	7.9	14.8	1.18	1.38	1968	1938	2010	59	0.39
Осадки декабря									
27157	7.7	10.9	1.17	1.26	1957	1894	2010	117	0.39
27271	13	16.4	1.32	1.43	1957	1935	2010	76	0.49
75235	4.7	11.4	1.1	1.27	1964	1937	2010	60	0.3
75265	3.2	10.1	1.07	1.24	1964	1937	2010	69	0.25

Станция	Δтр,%	Δст,%	Фтр	Фст	Тст	Тнач	Ткон	n	R
75298	8.1	13.4	1.18	1.33	1956	1929	2010	76	0.39
Суммы за год									
27174	6.7	16.5	1.15	1.44	1952	1935	2010	76	0.36
27176	13.8	18.6	1.34	1.51	1952	1929	2010	82	0.51
27259	15.8	16	1.41	1.42	1977	1929	2010	82	0.54
27271	10.4	16	1.25	1.42	1965	1935	2010	76	0.44
27333	11.4	14.2	1.27	1.36	1952	1931	2010	80	0.46
75280	14.3	15.3	1.36	1.39	1977	1935	2010	76	0.51
75298	6.9	16.3	1.15	1.43	1952	1935	2010	76	0.36
75301	13.2	16.1	1.33	1.42	1952	1932	2010	79	0.5
75308	7.7	16	1.17	1.42	1952	1935	2010	62	0.39
75682	15.9	18.5	1.41	1.51	1952	1929	2010	82	0.54
Минимальные в году месячные осадки									
27176	8.3	10.3	1.19	1.24	1952	1929	2010	82	0.4
75274	9	12.6	1.21	1.31	1957	1937	2010	72	0.41
Осадки за зиму									
27157	15.3	21.9	1.39	1.64	1957	1895	2010	114	0.53
27174	13.9	21.7	1.35	1.63	1955	1930	2010	81	0.51
27176	11.4	17.7	1.27	1.48	1981	1899	2010	108	0.46
27242	9.9	14.1	1.23	1.35	1954	1897	2010	109	0.43
27243	6	11.1	1.13	1.27	1957	1897	2010	111	0.34
27259	12.1	16.4	1.3	1.43	1955	1897	2010	111	0.48
27271	10.7	19	1.26	1.52	1958	1897	2010	110	0.45
27333	6.6	16.2	1.15	1.43	1966	1899	2010	103	0.36
75254	13.4	18.5	1.33	1.5	1954	1895	2010	114	0.5
75257	13.3	18.8	1.33	1.52	1954	1895	2010	114	0.5
75265	11.1	20.2	1.26	1.57	1957	1938	2010	72	0.46
75274	11.4	21.6	1.27	1.63	1957	1938	2010	73	0.46

Станция	Δтр,%	Δст,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
75280	15.6	15.5	1.41	1.4	1980	1933	2010	78	0.54
75289	12.3	20.2	1.3	1.57	1955	1897	2009	108	0.48
75292	4.1	10.4	1.09	1.25	1954	1930	2010	71	0.28
75298	11.3	19.5	1.27	1.54	1955	1936	2010	74	0.46
75301	9.4	14.9	1.22	1.38	1966	1899	2010	104	0.42
75308	12.8	18.7	1.31	1.51	1955	1895	2010	114	0.49
75673	10.9	19.7	1.26	1.55	1957	1897	2010	111	0.45
75682	23	24.7	1.68	1.76	1952	1930	2010	81	0.64
75765	13.3	19.9	1.33	1.56	1957	1897	2010	112	0.5
75936	11.1	16	1.27	1.42	1957	1897	2010	110	0.46
Осадки за холодный период года (ноябрь – март)									
27157	14.5	18.8	1.37	1.52	1966	1895	2010	114	0.52
27174	17.6	25.1	1.47	1.78	1957	1930	2010	81	0.57
27176	13.9	18.6	1.35	1.51	1978	1895	2010	111	0.51
27242	9.7	12.6	1.23	1.31	1965	1895	2010	113	0.43
27243	7.6	12.6	1.17	1.31	1965	1932	2010	79	0.38
27259	13.9	18	1.35	1.49	1966	1895	2010	113	0.51
27271	10.9	17.8	1.26	1.48	1965	1895	2010	113	0.45
27333	10	19.6	1.24	1.55	1966	1895	2010	112	0.44
75235	12.1	25.3	1.29	1.79	1965	1932	2010	78	0.48
75254	11.5	14.2	1.28	1.36	1954	1895	2010	114	0.46
75257	12.8	18	1.31	1.49	1954	1895	2010	113	0.49
75265	15.6	27	1.4	1.88	1965	1938	2010	73	0.54
75274	17.4	28.1	1.47	1.94	1965	1938	2010	73	0.56
75280	11.3	15.5	1.27	1.4	1966	1895	2010	113	0.46
75289	21.3	20.5	1.62	1.58	1966	1930	2010	81	0.62
75290	25	33.2	1.78	2.24	1966	1938	2010	72	0.66
75293	27.5	24.5	1.9	1.75	1966	1936	2010	75	0.69

Станция	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{нач}	T _{кон}	n	R
75298	12.4	18.8	1.3	1.52	1957	1932	2010	74	0.48
75301	18.5	22.5	1.5	1.67	1966	1932	2010	79	0.58
75673	24.4	26.2	1.75	1.83	1957	1930	2010	79	0.65
75682	30.7	27.5	2.08	1.9	1952	1930	2010	81	0.72
75765	12.2	17.8	1.3	1.48	1966	1895	2010	114	0.48
75936	22.5	21.1	1.66	1.61	1966	1939	2010	69	0.63

Как следует из приведенных в Табл. 3.13 результатов, наибольшая нестационарность проявляется в твердых осадках или осадках холодного периода года. Причем процедура суммирования увеличивает число нестационарных рядов, т.к. является определенным математическим фильтром, которым случайные составляющие гасятся, а небольшие неслучайности усиливаются. Так доля эффективных нестационарных рядов от их общего числа составляет 35% для осадков января, 78% для осадков за зиму и 85% для осадков холодного периода года. Количество нестационарных рядов для сумм годовых осадков составляет 45% и занимает промежуточное положение, т.к. при суммировании задействованы еще и жидкие осадки, которые являются стационарными. Практически в большинстве случаев ступенчатое увеличение твердых осадков относится к 1950м годам, что также обуславливает их нестационарность за счет смены регистрирующих приборов.

Если осуществить моделирование для твердых осадков (ноябрь, декабрь, февраль, суммы за зиму, холодный период года, минимальные в году месячные осадки, которые относятся обычно к твердым осадкам) и для сумм осадков за год, начиная с 1960 г., то также как и для осадков января, число нестационарных рядов существенно сократится. Так, в декабре вместо 5 нестационарных рядов будет всего 1 (27176 Вохма) с небольшим увеличением осадков с 1980 г.; для ноября, февраля и минимальных в году месячных осадков нестационарные ряды отсутствуют. Для годовых сумм

осадков число нестационарных рядов сократилось с 10 до 3 (27164, 27259 и 75280), причем среднее отклонение от стационарности уменьшилось почти в 2 раза: с 11.2% до 6.5%. Кроме того, в одном случае (станция 75280) рост осадков с 1977 г. обусловлен влиянием процедуры восстановления. Для зимних осадков число нестационарных рядов также существенно уменьшилось с 22 до 3 (27176, 75280 и 75682) при вкладе нестационарных рядов в 12-13%, среднее же отклонение от стационарности уменьшилось в 3 раза: с 15.4% до 5.1%. Причем в двух случаях (станции 75280 и 75682) рост осадков с начала 1980х обусловлен влиянием процедуры восстановления данных, т.к. для этих станций фактические наблюдения начались с 1990 г. Для осадков холодного периода года число нестационарных рядов уменьшилось с 23 до 7, а среднее отличие от стационарности: с 18.9% до 7.3%. Детальный анализ каждого из 7 оставшихся нестационарных рядов показал, что в 5 из 7 случаев (станции 75280, 75290, 75293, 75682, 75936) фактические наблюдения начинались с 1990 г., а предыдущий период с 1960г. включал восстановленные данные, которые и определили неоднородность всего ряда за счет погрешностей восстановления данных.

Все нестационарные ряды осадков холодного периода года, которые включают в себя фактические наблюдения и для них нестационарность не может быть объяснена процедурой восстановления, приведены на Рис.3.7.

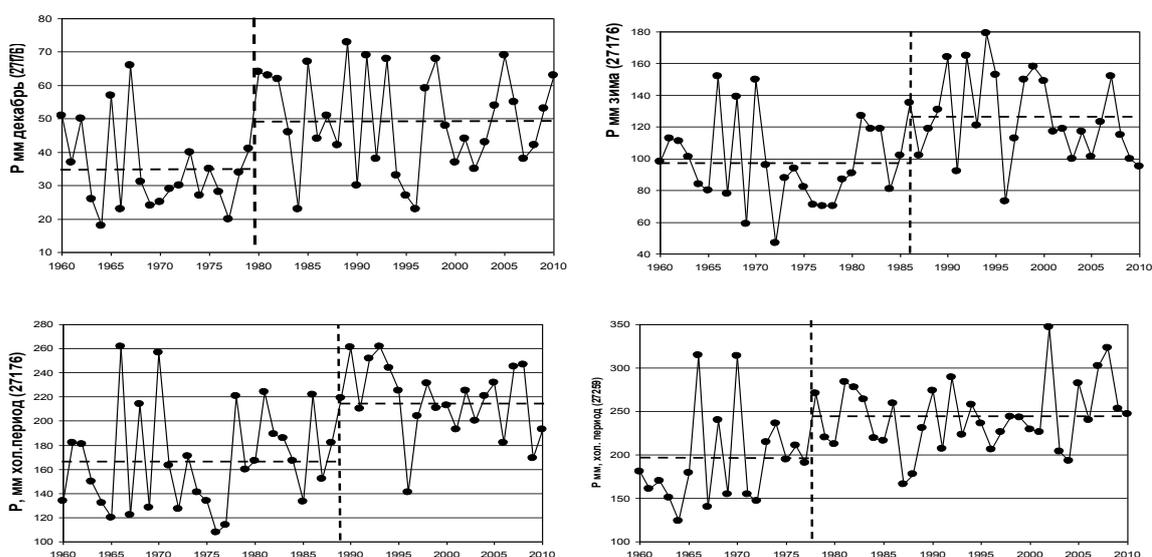


Рис.3.7. Нестационарные ряды осадков холодного периода года.

Как следует из Рис.3.7, для метеостанции Вохма (27176) ступенчатое увеличение осадков наблюдается в декабре, за зимний период и за холодный период года, причем дата ступенчатого роста относится к 1980 г. – для осадков декабря, к 1986 г. – для зимних осадков и к 1989 г. – для осадков холодного периода года, т.е. идет смещение даты при увеличении числа слагаемых (месяцев). Наибольший рост средних значений при этом имеет место для декабря (40%) и меньший (28%-30%) – для зимних осадков и осадков холодного периода года. Поэтому можно сделать вывод, что нестационарность осадков декабря, обусловленная вероятнее всего локальными причинами, привела к нестационарности осадков и за другие периоды: зима и холодная часть года, причем математическая процедура суммирования привела и к смещению даты нестационарности. Увеличение осадков холодного периода года для метеостанции Макарьев (27259) с 1978г. также может быть обусловлено суммированием отдельных несущественных нестационарностей. Наибольшее отклонение от стационарности для этой станции имеет место в осадках января с датой ступенчатого роста в 1979 г. ($\Delta_{тр} = 8.1\%$), а также в осадках декабря при $\Delta_{тр} = 6.3\%$ и $T_{ст} = 1973$ г.

Для жидких осадков или осадков теплого периода года нестационарность, связанная с увеличением осадков имеет место только в 2 случаях, которые приведены на Рис.3.8. Из них осадки марта по станции Вохма (27176) с $T_{ст} = 1989$ г. и осадки июня по станции Нерехта с $T_{ст} = 1982$ г. Из анализа хронологических графиков следует, что нестационарность осадков марта по станции Вохма обусловлена, главным образом, экстремумом 2005 г., равным 82мм. Нестационарность средних осадков июня на метеостанции Нерехта, скорее всего, обусловлена естественной цикличностью. Хотя средние за период до 1982 г и после существенно различаются и равны 55 мм и 88 мм соответственно, но если рассматривать период повышенных осадков с 1948 по 1963 гг., то его среднее равное 69 мм уже статистически значимо не отличается от среднего последнего периода.

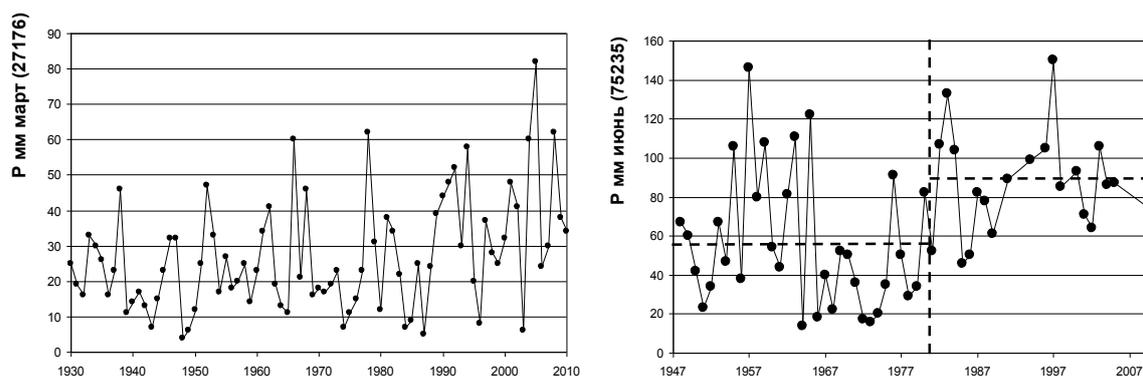


Рис.3.8. Нестационарные ряды осадков теплых месяцев года.

Для сумм осадков за год их ступенчатое уменьшение для метеостанции Кологрив (27164) с 1999 г. и увеличение с 1977 г. для метеостанции Макарьев (27259) также можно объяснить локальными причинами и процедурой суммирования.

В общем можно отметить, ряды осадков являются практически стационарными, а нестационарность осадков холодного периода года обусловлена сменой регистрирующих приборов в 1950х годах, на который дополнительно накладывается естественный период минимальных осадков 1940-1950х годов. Отдельные случаи нестационарности, не связанные со сменой приборов, детально рассмотрены. Они обусловлены, скорее всего, локальными причинами и влиянием процедуры суммирования и усиления статистических незначимых нестационарностей отдельных месяцев. Из 646 рядов различных характеристик осадков (19 характеристик и 34 метеостанции) нестационарные модели, не связанные со сменой приборов, имеют место только в 8 случаях (1%) и на 4 метеостанциях (Вохма, Макарьев, Нерехта и Кологрив), причем в 4 случаях нестационарные модели имеют место для станции Вохма (твердые и жидкие осадки), а в двух (твердые и годовые) – для станции Макарьев.

3.5. Пространственные модели и изменения климатических характеристик режима осадков

Из всех характеристик режима осадков естественная нестационарность в наибольшей степени проявляется в суммах годовых осадков. На Рис.3.9

представлена пространственная модель отклонений нестационарной модели ступенчатых изменений от стационарной ($\Delta\sigma\%$) и фактические значения $\Delta\sigma$ в пунктах наблюдений, где наибольшие значения $\Delta\sigma=8-12\%$ показаны красным цветом, а наименьшие $\Delta\sigma=1-5\%$ - синим и зеленым. Пространственное распределение $\Delta\sigma$ свидетельствует о том, что наибольшие отклонения от стационарности наблюдаются на севере и в центральной части Костромской области, а наименьшие – на западе и востоке.

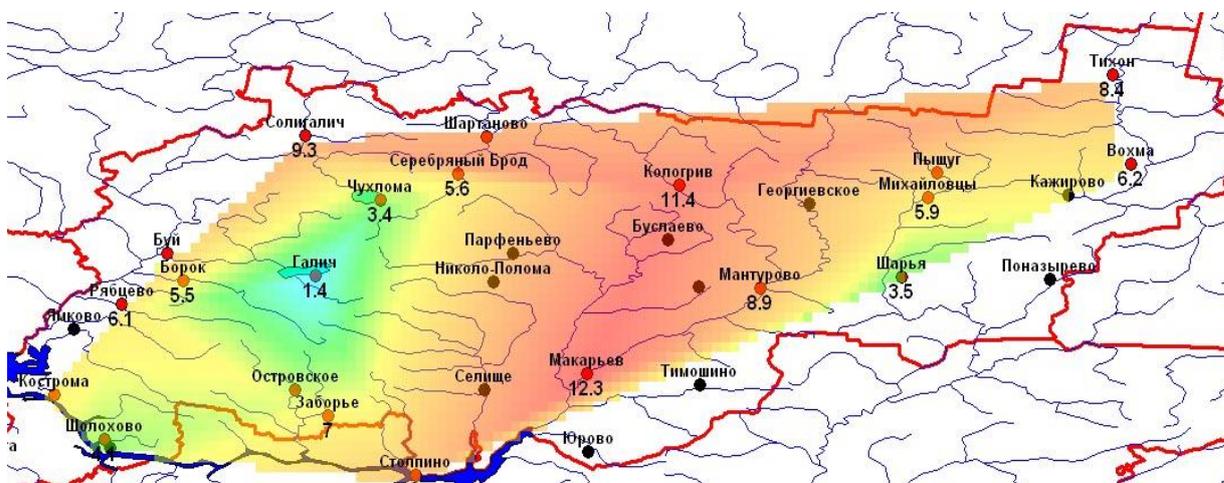


Рис.3.9. Пространственное распределение отклонений нестационарной модели ступенчатых изменений от стационарной ($\Delta\sigma\%$) для сумм годовых осадков.

Для ступенчатых нестационарных моделей за период с 1960 по 2010гг. помимо $\Delta\sigma$ были рассчитаны также статистики критерия Фишера, как отношение двух дисперсий первой и второй частей ряда, и критерия Стьюдента при сравнении соответствующих средних значений. Пространственные распределения расчетных статистик критериев Стьюдента и Фишера представлены на Рис.3.10 и 3.11 соответственно. Красным цветом показаны статистически значимые значения статистик критериев, а от желтого до зеленого и синего – статистически незначимые.

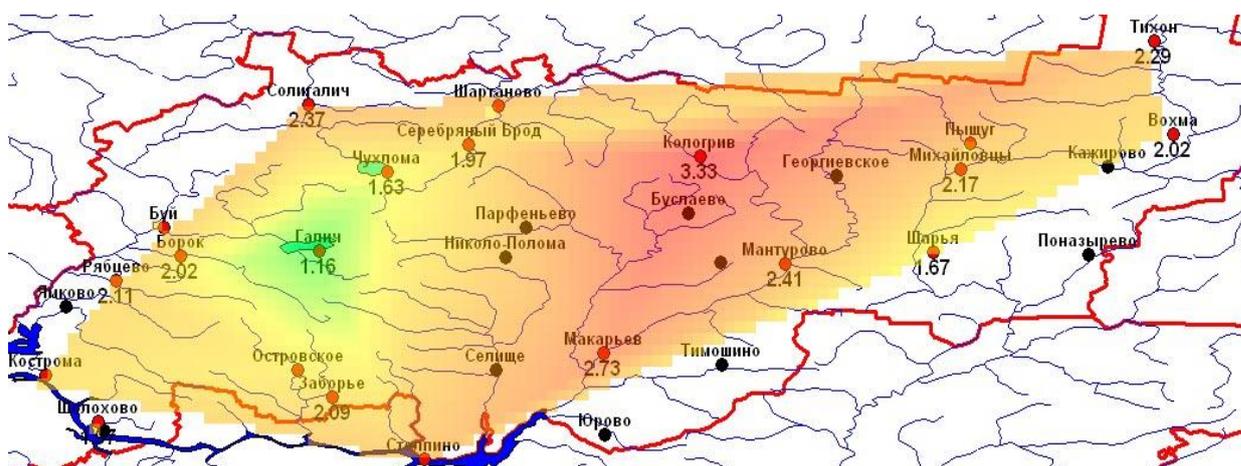


Рис.3.10. Пространственное распределение расчетных значений статистик критерия Стьюдента при сравнении средних нестационарной модели ступенчатых изменений для сумм годовых осадков.

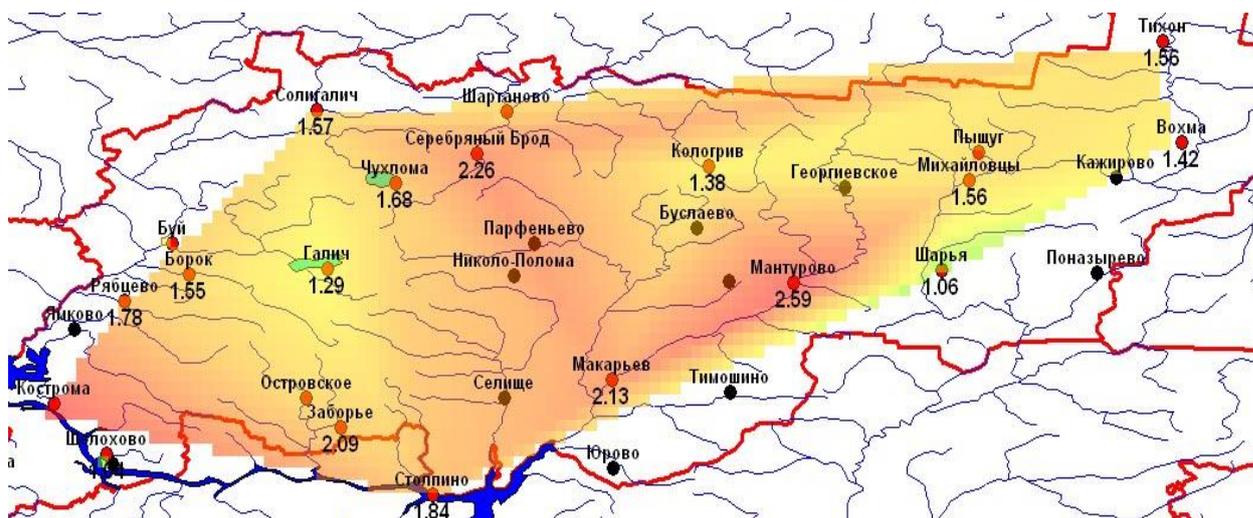


Рис.3.11. Пространственное распределение расчетных значений статистик критерия Фишера при сравнении дисперсий нестационарной модели ступенчатых изменений для сумм годовых осадков.

Как следует из сопоставления рисунков, пространственное распределение статистик критерия Стьюдента практически полностью аналогично пространственному распределению $\Delta_{ст}$ с максимальными значениями характеристик нестационарности в центре территории. Примерно такое же пространственное распределение наблюдается для расчетных статистик критерия Фишера (Рис.3.11) с максимумом в центре и на севере области. Дополнительно на Рис.3.12 приведено пространственное

распределение модулей коэффициентов корреляции нестационарной модели линейного тренда, где красным цветом отмечена область статистически значимых коэффициентов, также находящаяся в центре рассматриваемой территории.

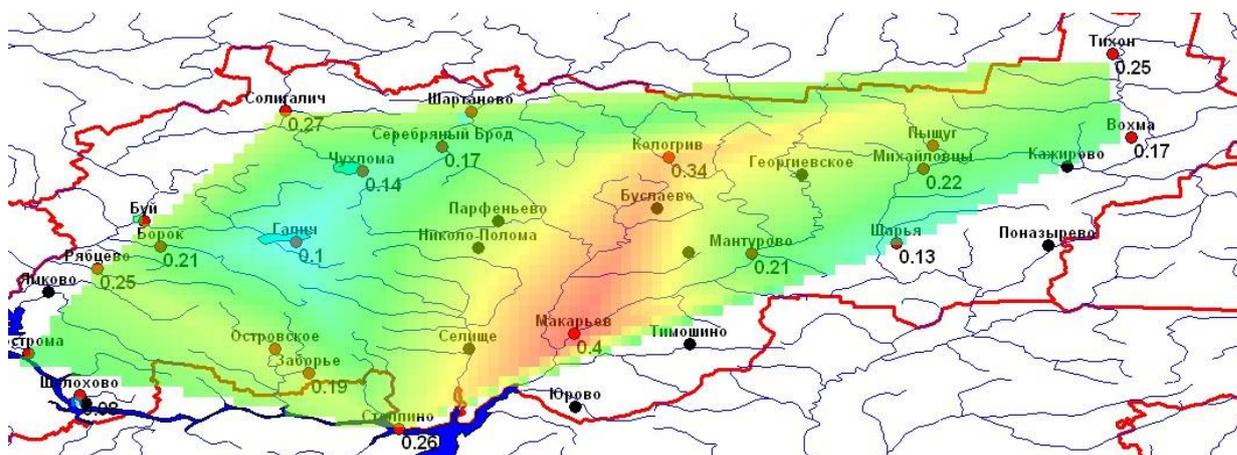


Рис.3.12. Пространственное распределение коэффициентов корреляции (по модулю) линейного тренда в рядах сумм годовых осадков.

Статистические пространственные модели были получены для каждой из 19 характеристик режима осадков, но за разные интервалы времени. Так осадки холодного периода (ноябрь – февраль, минимальные в году, зима, холодный период) и годовые были выбраны с 1960 по 2010 гг., чтобы исключить влияние неоднородности за счет смены приборов. Для остальных осадков теплого периода (март – октябрь, наибольшие в году, лето, теплый период года) ряды были выбраны за весь период наблюдаемых и восстановленных данных. В качестве примера на Рис.3.13 приведены хронологические графики коэффициентов A_1 и A_0 , параметра S_E , а также коэффициентов корреляции (R) пространственной модели годовых сумм осадков. Из рисунков следует, что каких-либо направленных тенденций увеличения или уменьшения рассматриваемых характеристик не наблюдается. Имеют место лишь циклические колебания, причем асинхронные для коэффициентов A_1 и A_0 . Между коэффициентами и

параметрами пространственной модели установлены следующие соотношения:

$$A_0 = -652.1A_1 + 652.4, \quad r = 0.989 \quad (3.1)$$

$$A_1 = 2.289R + 0.0035, \quad r = 0.911, \quad (3.2)$$

где r – коэффициент корреляции зависимостей между переменными.

Из уравнения (3.1) следует, что между коэффициентами A_1 и A_0 существует практически функциональная обратная связь, свидетельствующая о том, что чем больше пространственный градиент поля осадков, тем меньше их средние территориальные значения. Иными словами, если в данный год ожидаются большие осадки, то они равномерно распределены по территории и пространственный градиент практически отсутствует, а если осадков в среднем немного, то условия их выпадения по территории области неравномерны: в одних местах наблюдается много осадков, в других – мало, что приводит к увеличению пространственного градиента. Уравнение (3.2) характеризует тесную линейную взаимосвязь между пространственным градиентом и коэффициентом корреляции уравнения, связывающее среднее многолетнее поле осадков и поле конкретного года. Поэтому, если связь между средним полем и полем данного года высокая, то и градиент будет большой, а параметр Se , характеризующий внутреннюю неоднородность поля, – маленький. Если же поле осадков данного года имеет большую внутреннюю неоднородность, то тогда и градиент (A_1) маленький и связь со средними многолетними территориальными условиями слабая.

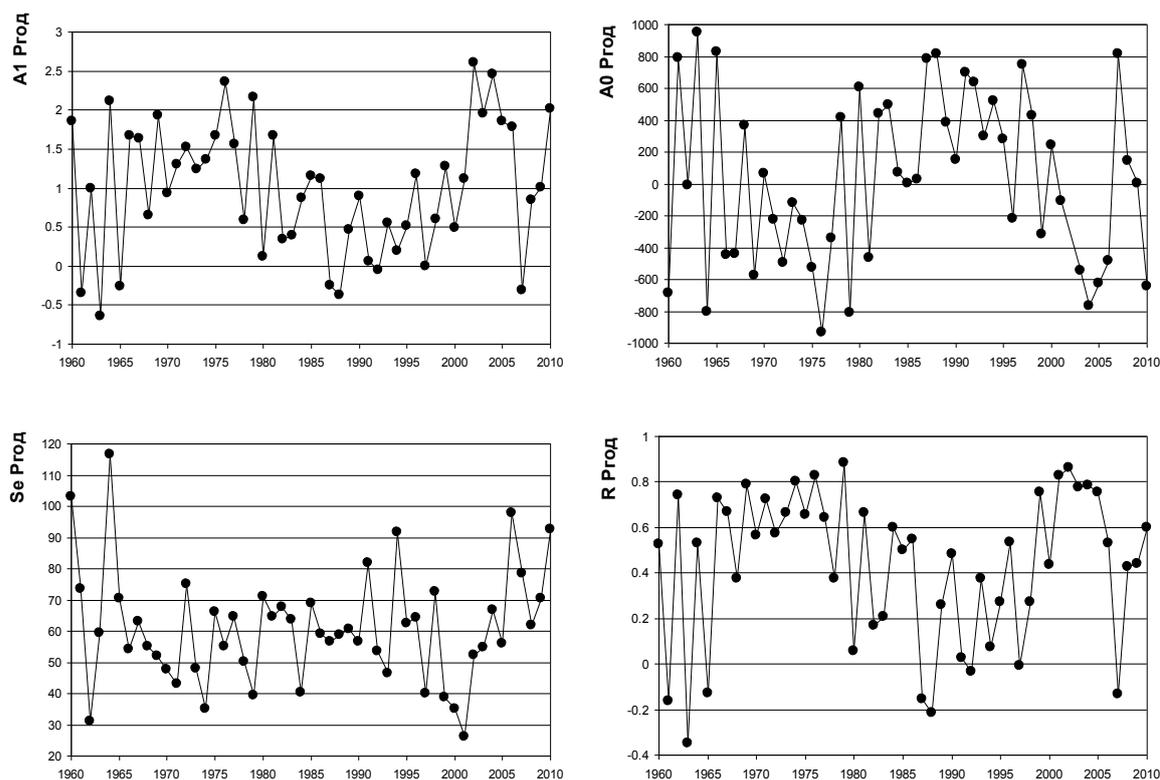


Рис.3.13. Коэффициенты и параметры пространственной модели годовых сумм осадков для Костромской области.

В целом же можно сделать вывод, что коэффициенты и параметры пространственной модели годовых сумм осадков являются достаточно стационарными, хотя и испытывают нерегулярные циклические колебания.

Для количественной оценки вклада нестационарности для каждого ряда полученных коэффициентов и параметров пространственной модели была осуществлена аппроксимация нестационарными моделями (тренд и ступенчатые изменения) и оценена их эффективность по сравнению со стационарной моделью. Результаты приведены в Табл.3.14, где также даны расчетные статистики критериев Фишера и Стьюдента при сравнении соответственно дисперсий и средних значений двух частей ряда до и после года ступенчатых изменений. Ярким цветом отмечены ситуации эффективных нестационарных моделей и статистик критериев Фишера и Стьюдента, превышающих критические значения при $\alpha=5\%$.

Таблица 3.14

Характеристики моделей временных рядов для коэффициентов и параметров пространственных моделей показателей режима осадков.

Коэф-нт	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	F_{12}	St_{12}	$T_{ст}$	n	R
Январь									
A_1	4	6.4	1.08	1.14	1.08	2.43	1999	51	0.28
A_0	1.7	6.4	1.04	1.14	1.18	-2.41	1998	51	-0.19
S_E	0	0.6	1	1.01	2.03	-0.73	1987	51	0.01
Февраль									
A_1	1.1	5.2	1.02	1.11	2.17	2.48	1997	49	0.15
A_0	1.3	5.2	1.03	1.11	1.82	-2.33	1997	49	-0.16
S_E	3.8	9.4	1.08	1.22	13.7	2.29	1973	49	0.27
Март									
A_1	1.4	3.5	1.03	1.07	3.45	-2.18	1973	77	-0.17
A_0	5.7	11.5	1.13	1.28	2.64	3.64	1973	76	0.33
S_E	0.1	0.7	1	1.01	1.3	1.04	1978	77	0.05
Апрель									
A_1	1.4	1.9	1.03	1.04	2.35	-1.57	1980	66	-0.16
A_0	2.3	2.8	1.05	1.06	1.35	1.93	1991	65	0.21
S_E	1.6	3.8	1.03	1.08	6.81	1.64	1954	66	0.18
Май									
A_1	1.8	4	1.04	1.08	1.3	-2.15	1977	67	-0.19
A_0	0.5	3.2	1.01	1.07	1.04	1.75	1973	61	0.1
S_E	0.5	2.2	1.01	1.04	1.83	1.13	1952	67	0.1
Июнь									
A_1	0.5	3	1.01	1.06	1.41	-1.89	1987	68	-0.1
A_0	0	2.8	1	1.06	1.1	1.81	1983	63	0.02
S_E	0	1.4	1	1.03	1.49	-1.23	1955	68	0.02
Июль									
A_1	3.7	6.4	1.08	1.14	1.46	-2.99	1987	68	-0.27
A_0	2	7.7	1.04	1.17	2.15	3.03	1987	59	0.2
S_E	0.1	1.3	1	1.03	1.39	1.41	2000	68	0.04
Август									
A_1	3.9	5.3	1.08	1.12	1.38	-2.33	1962	62	-0.28
A_0	2.9	4.3	1.06	1.09	1.2	2.2	1989	60	0.24
S_E	0.6	1.8	1.01	1.04	1.19	1.46	1985	62	0.11
Сентябрь									
A_1	0	2.3	1	1.05	1.34	-1.39	1952	72	0.02
A_0	1.6	4.5	1.03	1.1	1.14	-2.26	1990	62	-0.18
S_E	1.7	3.1	1.04	1.07	1.35	-1.92	1978	72	-0.19

Октябрь									
A ₁	2.2	5.2	1.05	1.11	2.38	-2.22	1943	76	-0.21
A ₀	0.4	2.8	1.01	1.06	1.16	1.79	1953	73	0.08
S _E	0.4	1.6	1.01	1.03	2.27	-1.6	1958	76	-0.09
Ноябрь									
A ₁	0.6	4.3	1.01	1.09	1.16	1.7	1970	51	0.11
A ₀	1.2	6.5	1.02	1.14	3.95	-1.52	1971	49	-0.15
S _E	0.9	4.1	1.02	1.09	3.27	1.48	1972	51	0.13
Декабрь									
A ₁	3.7	6.3	1.08	1.14	3.23	1.96	1973	51	0.27
A ₀	5.1	7.6	1.11	1.17	1.83	-3	1999	51	-0.32
S _E	0.8	4.4	1.02	1.09	1.4	1.78	1980	51	0.13
Год									
A ₁	0.1	4.2	1	1.09	1.06	2.08	1999	51	0.03
A ₀	1.3	1.4	1.03	1.03	1.21	-0.76	1984	28	-0.16
S _E	0	1.7	1	1.04	1.49	-1.08	1970	51	0
Максимумы годовые									
A ₁	0	2.2	1	1.05	4.34	1.18	1951	73	-0.02
A ₀	0.3	2	1.01	1.04	1.16	1.51	1997	57	0.08
S _E	0	1.1	1	1.02	1.02	-1.14	1957	73	0.01
Минимумы годовые									
A ₁	0.5	4	1.01	1.08	6.75	1.62	1977	46	0.1
A ₀	0.9	5.2	1.02	1.11	9.39	-1.9	1978	46	-0.13
S _E	1.9	3.2	1.04	1.07	2.43	1.46	1978	46	0.2
Лето									
A ₁	0	0.5	1	1.01	1.37	0.95	1998	74	0.03
A ₀	5.1	11	1.11	1.26	2.17	3.54	1989	48	0.31
S _E	1.1	1.9	1.02	1.04	1.03	1.72	1984	74	0.15
Зима									
A ₁	0.4	3.3	1.01	1.07	1.08	1.77	1994	51	0.09
A ₀	0	4.2	1	1.09	1.18	-1.93	1994	51	-0.03
S _E	3.6	6.5	1.08	1.14	1.49	2.43	1981	51	0.27
Теплый период									
A ₁	0.1	2.2	1	1.05	1.1	1.78	1998	75	0.04
A ₀	3.3	7.9	1.07	1.18	1.12	-2.57	1993	47	-0.26
S _E	1.9	3.2	1.04	1.07	1.51	2.21	1984	75	0.19
Холодный период									
A ₁	14.9	18.5	1.38	1.51	2.15	5.01	2000	51	0.52
A ₀	10.5	10.7	1.25	1.25	1.05	-2.88	1993	44	-0.45
S _E	0	1.2	1	1.02	2.02	-0.91	1970	51	0.03

Как следует из результатов таблицы, в ней достаточно много расчетных статистик критериев Фишера и Стьюдента, превышающих критические значения, что свидетельствует об отклонении гипотезы стационарности средних значений и дисперсий двух частей ряда, определенных по дате ступенчатых изменений. Вместе с тем, анализ хронологических графиков показывает, что большие значения расчетных статистик критериев обусловлены влиянием отдельных экстремумов, что и проявляется в низких коэффициентах корреляции временного тренда (10 статистически значимых коэффициентов корреляции, когда расчетные статистики критерия Фишера или Стьюдента превышали критические, из 57 рассчитанных). Отдельные случаи, когда имеют место и высокая корреляция тренда и нестационарность параметров и эффективность нестационарных моделей (при $\Delta > 10\%$) для параметров пространственной модели осадков холодного периода года, показаны на Рис.3.14.

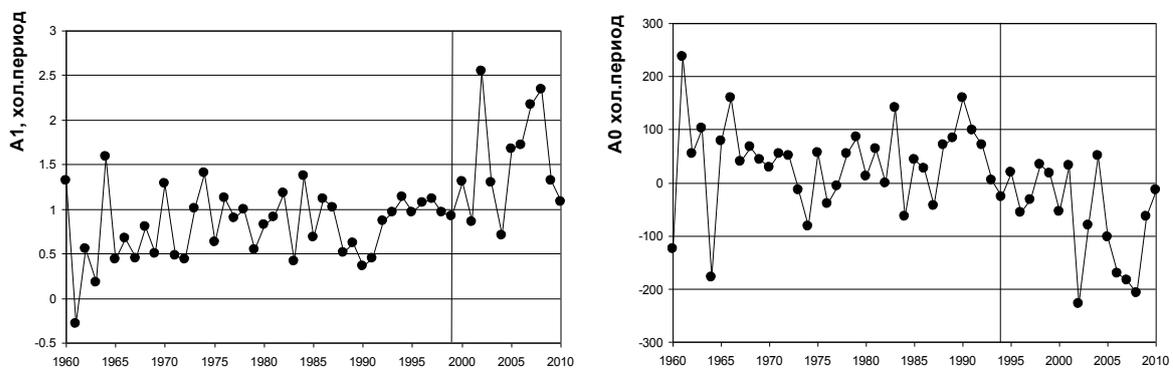


Рис.3.14 Коэффициенты A_1 и A_0 пространственной модели сумм осадков холодного периода года для Костромской области.

Как следует из графиков, с середины - конца 1990х годов уменьшилось среднее региональное количество осадков холодного периода и существенно вырос их пространственный градиент, при этом внутренняя неоднородность поля (параметр S_E) осталась неизменной.

Для оценки взаимосвязанности коэффициентов пространственных моделей характеристик осадков были рассчитаны линейные уравнения вида

(3.1) и (3.3), коэффициенты которых приведены в Табл.3.15 для каждой характеристик осадков.

Таблица 3.15

Коэффициенты уравнений взаимосвязи между параметрами пространственных моделей осадков.

Хар-ка осадков	Уравнение					
	$A_1 = -a_1 A_0 + a_0$			$R = c_1 A_1 + c_0$		
	a_1	a_0	r	c_1	c_0	r
P1	-0.024	1.000	0.75	0.236	0.163	0.73
P2	-0.035	1.026	0.91	0.279	0.086	0.85
P3	-0.030	0.994	0.92	0.299	0.096	0.84
P4	-0.028	1.031	0.95	0.219	0.050	0.91
P5	-0.020	1.029	0.96	0.182	0.028	0.95
P6	-0.012	1.007	0.92	0.315	0.036	0.92
P7	-0.013	1.032	0.96	0.227	0.041	0.89
P8	-0.013	1.029	0.88	0.204	0.038	0.87
P9	-0.016	0.985	0.98	0.165	0.005	0.94
P10	-0.017	1.016	0.96	0.224	0.036	0.90
P11	-0.020	1.000	0.93	0.210	0.064	0.84
P12	-0.023	1.002	0.87	0.326	0.142	0.80
Pгод	-0.0015	0.9998	0.99	0.362	0.073	0.91
Pмакс	-0.0089	0.994	0.99	0.195	0.032	0.90
P мин	-0.0621	1.030	0.93	0.250	0.053	0.88
Pлето	-0.0046	1.000	0.98	0.181	0.0088	0.89
Pзима	-0.0099	1.0025	0.88	0.282	0.277	0.77
Pтепл.пер.	-0.0023	0.978	0.99	0.180	0.0507	0.90
Pхол.пер.	-0.0051	0.999	0.92	0.295	0.216	0.78

По данным Табл.3.15 следует, что имеют место тесные взаимосвязи между коэффициентами пространственных моделей со средними $r=0.93$ для зависимости (3.3) и $r=0.87$ для зависимости (3.4). Имеется некоторая сезонная закономерность в величинах коэффициентов корреляции (r): летом

они выше, чем зимой и для жидких осадков или осадков теплого периода выше, чем для твердых осадков. Таким образом, установлены региональные закономерности параметров пространственных моделей, свидетельствующие о том, что чем больше средние региональные осадки, тем меньше пространственный градиент и тем меньше внутренняя неоднородность поля. При этом, если можно оценить будущие значения общих для региона осадков, то по ним на основе уравнений вида (3.3) можно рассчитать и пространственный градиент A_1 , а на его основе – коэффициент корреляции R (уравнения вида (3.4), по которому можно перейти к параметру S_E на основе уравнения (1.9), а затем по зависимости (1.16) – к значениям характеристик осадков на отдельных станциях.

В связи, с тем, что были установлены квазистационарные периоды для осадков (весь период наблюдений для жидких осадков и период с 1960 г. по настоящее время для твердых осадков), то за эти периоды можно рассчитать уточненные нормы осадков или средние многолетние значения осадков для каждой станции и построить их пространственные модели. Примеры полученных пространственных закономерностей рассчитанных норм осадков суммарных за год, за лето и зиму приведены на Рис.3.15 – 3.17.

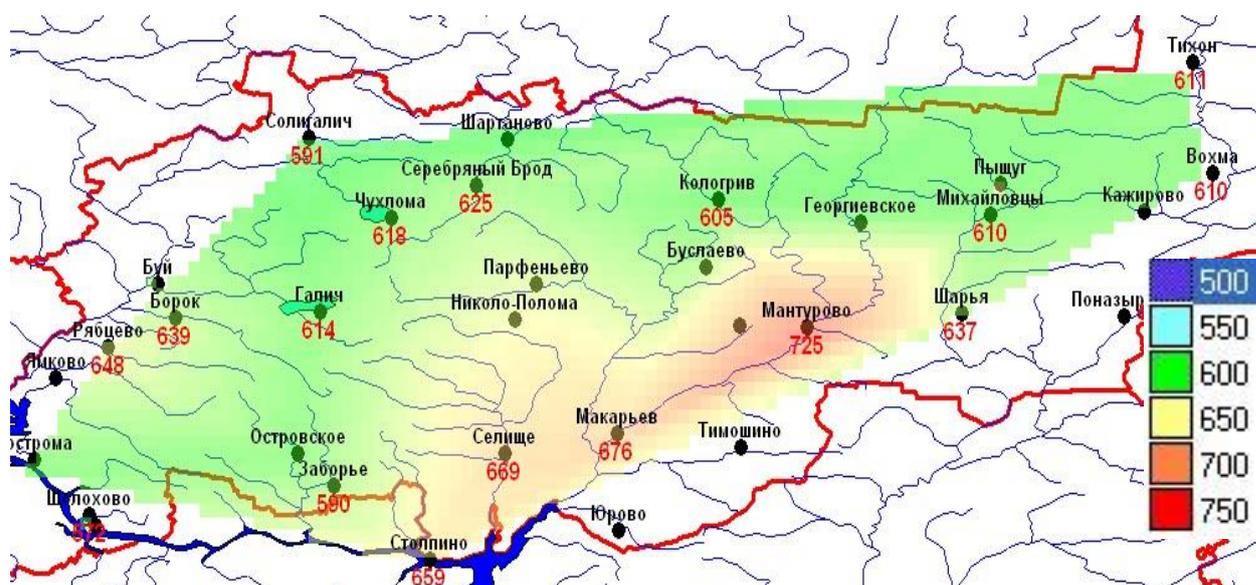


Рис.3.15. Пространственное распределение норм годовых осадков (в мм).

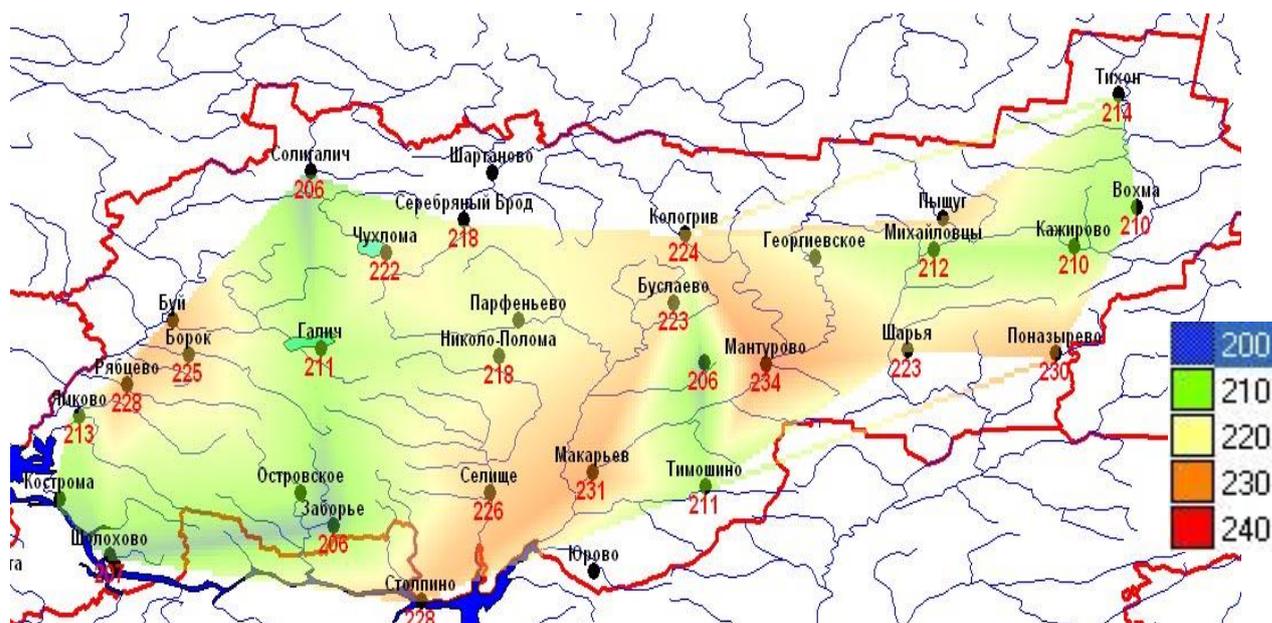


Рис.3.16. Пространственное распределение норм сумм осадков за лето (в мм).

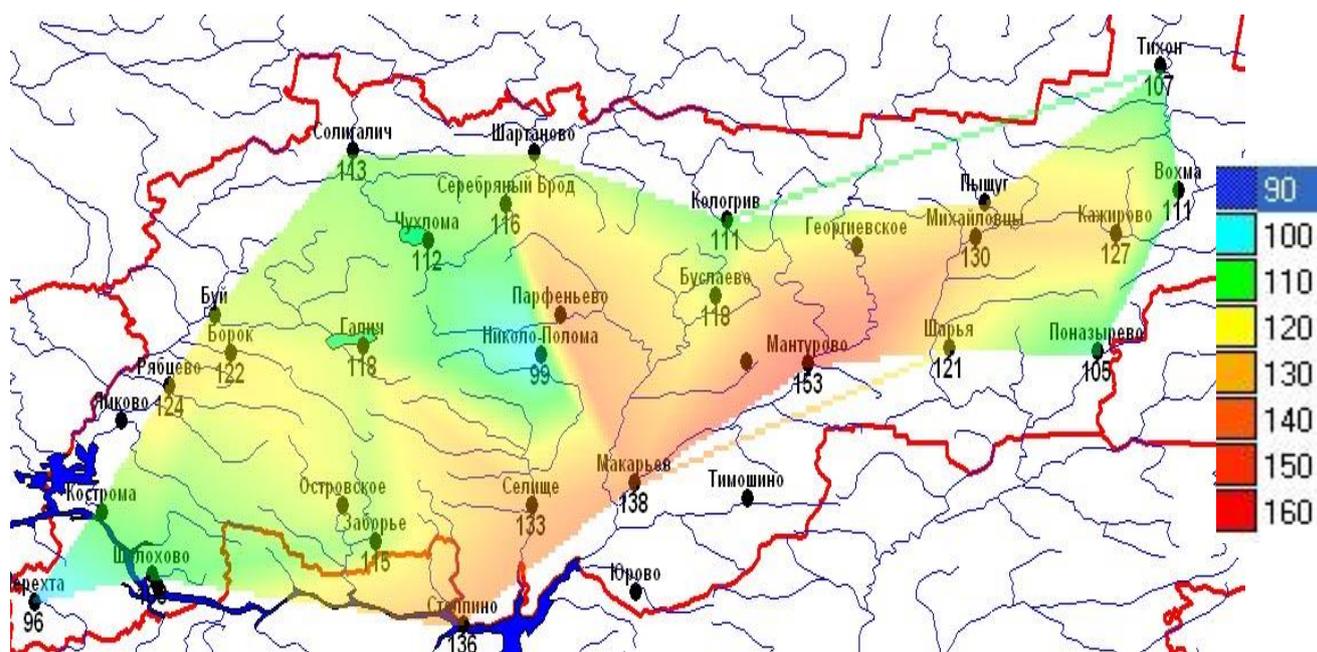


Рис.3.17. Пространственное распределение норм сумм осадков за зиму (мм).

Из трех пространственных распределений наиболее равномерным является распределение норм годовых осадков (Рис.3.15) с наибольшими осадками в центральной и южной частях и с наименьшими - на севере, востоке и западе. Нормы годовых осадков изменяются по территории почти на треть: от 572 мм до 724 мм. Крайне неравномерными по территории являются распределения норм летних и зимних осадков. Так летние осадки (Рис.3.16) минимальны на западе и востоке области, хотя есть локальный

минимум в центральной южной части территории. Летние осадки варьируют по территории несущественно, всего на 10-13%: от 206 мм до 234 мм, в среднем составляют 220 мм. Наименьшие зимние осадки наблюдаются в большей степени в западной части территории области (Рис.3.17), хотя распределены крайне неравномерно, изменяясь от 96 мм до 153 мм, т.е. почти на 60%. Поэтому по территории меньше всего изменяются летние осадки, а больше всего зимние, хотя их пространственные распределения значительно менее однородны по сравнению с распределением годовых осадков.

Нормы остальных характеристик осадков приведены в Табл.3.16 для каждой станции. Как следует из данных Табл.3.16, надежно определить суммы осадков за все месяцы оказалось возможным только для 11 метеостанций (отмечены жирным) из 34 пунктов. Для остальных метеостанций средние многолетние значения были рассчитаны по коротким рядам за период однородных наблюдений и представлены в скобках как менее надежная информация.

Таблица 3.16

Нормы (средние многолетние) осадков по метеостанциям Костромской области.

Метеостанция	Характеристика осадков									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Чухлома	38	30	27	32	51	75	77	70	65	57
Кологрив	37	30	31	34	49	71	83	70	59	62
Пыщуг	43	32	30	35	55	77	78	74	59	63
Вохма	39	29	27	31	50	67	75	68	56	55
Буй	40	32	32	37	52	72	79	78	60	61
Галич	41	31	31	36	50	70	71	71	62	61
Николо-Полома	33	27	30	35	53	81	79	68	60	63
Макарьев	47	37	32	38	53	78	87	66	61	65
Мантурово	(55)	38	41	(43)	(59)	117	(76)	82	(49)	(65)

Шарья	41	31	28	33	52	77	81	65	57	58
Кострома	37	30	26	32	47	67	73	69	62	60
Нерехта	36	29	27	34	52	68	(81)	66	64	56
Борок	41	(38)	36	35	(49)	71	(77)	85	(57)	64
Рябцево	44	(38)	31	36	57	70	79	(77)	(58)	64
Ямково	41	32	32	32	48	68	76	82	(57)	63
Шолохово	35	30	27	31	(46)	68	(62)	(67)	(50)	(63)
Заборье	37	31	32	33	49	76	77	76	61	(65)
Селище	48	39	(39)	39	(52)	86	85	73	64	(75)
Шартаново	36	(34)	(36)	37	(44)	(76)	(63)	75	(55)	62
Георгиевское	43	(37)	(33)	38	(50)	(69)	(65)	(69)	(49)	(53)
Загатино	37	(31)	(29)	37	52	(84)	(66)	(61)	(51)	(53)
Парфеньево	43	(34)	(34)	(34)	(51)	(81)	71	61	60	65
Буслаево	41	32	(37)	38	50	85	108	65	(53)	65
Красное	(35)	(28)	(28)	(34)	(45)	(78)	(71)	(64)	(56)	60
Тимошино	36	32	(29)	41	(41)	(75)	(68)	(66)	(57)	68
Юрово	(41)	(35)	(30)	(33)	41	(65)	(66)	(63)	(53)	(52)
Михайловцы	44	(36)	(38)	37	55	(83)	71	83	59	55
Островское	40	33	30	35	51	70	(79)	76	64	63
Солигалич	40	30	32	31	53	66	77	73	57	54
Кажирово	42	32	(38)	36	54	(84)	72	79	58	54
Тихон	36	(32)	27	36	55	(85)	84	78	63	58
Поназырево	39	31	(36)	40	53	83	(77)	78	(57)	63
Серебр. Брод	43	(34)	33	(36)	54	82	93	87	68	64
Столпино	45	35	(37)	37	55	85	(79)	(72)	60	67
Метеостанция	Характеристика осадков									
	P11	P12	Pгод	Pмакс	Pмин	Pлето	Pзима	Pтп пер.	Pхл пер.	
Чухлома	47	45	618	115	16	222	112	426	188	
Кологрив	45	45	605	116	14	224	111	425	185	
Пыщуг	53	50	651	119	16	226	125	438	213	
Вохма	49	44	610	108	15	210	111	403	189	
Буй	49	46	629	117	16	229	118	435	199	
Галич	48	46	614	110	15	211	118	412	196	

Ник.-Полома	45	39	(621)	112	(14)	218	99	422	171	
Макарьев	55	55	676	119	16	231	138	436	226	
Мантурово	(55)	(61)	725	(117)	(18)	234	153	441	232	
Шарья	52	49	637	114	14	223	121	423	201	
Кострома	49	45	610	112	14	209	111	405	187	
Нерехта	48	44	(560)	(112)	(15)	(207)	96		165	
Борок	48	(46)	639	114	17	225	122	424	196	
Рябцево	49	(45)	648	121	18	228	124	432	204	
Ямково	53	53	(623)	(125)	15	213	(113)	411	(194)	
Шолохово	(43)	44	572	109	(13)	207	108		181	
Заборье	50	46	590	109	14	206	115		193	
Селище	(58)	64	669	134	18	226	133		218	
Шартаново	(46)	(43)	592	(107)	17	(210)	117		178	
Георгиевское	51	(45)	(593)	105	(15)	(203)	(127)		194	
Загатино	(43)	(40)	(578)	111	(12)	206	(111)		(182)	
Парфеньево	(51)	(52)	(639)	112	16	(224)	136		(220)	
Буслаево	(54)	46	(653)	114	17	223	118		196	
Красное	(47)	(41)	(593)	(116)	13	(213)	(103)		(177)	
Тимошино	51	(40)	(583)	(109)	(14)	211	(109)		(185)	
Юрово	(41)	(40)	(559)	(102)	(12)	(194)	(117)		(190)	
Михайловцы	51	50	610	110	16	212	130		214	
Островское	(51)	49	612	(107)	(13)	211	119		200	
Солигалич	45	41	591	106	(15)	206	113		183	
Кажирово	(49)	(45)	(607)	(112)	15	210	127		189	
Тихон	(55)	(46)	611	(118)	15	214	107		186	
Поназырево	47	(43)	(647)	(118)	(16)	230	105			
Сереб. Брод	47	48	625	118	16	218	116		185	
Столпино	(56)	51	659	115	17	228	136		211	

В результате для всех пунктов наблюдений и всех характеристик осадков были получены более надежные значения соответствующих средних многолетних величин, которые могут быть рекомендованы в практику

строительного проектирования и для решения других задач прикладной климатологии.

Глава 4. Обоснование современных и будущих изменений температурных условий Костромской области

4.1 Выявление причин современных климатических изменений

Главный установленный эмпирический факт из обработки и моделирования рядов температуры воздуха и осадков, выполненных в 3-ей главе, состоит в ступенчатом росте температуры воздуха во второй половине 1980х годов в основном в весенние месяцы и особенно в марте, что в результате и определило ступенчатый рост среднегодовых температур для северной части Костромской области. Предполагается, что ступенчатый рост температуры может быть связан с изменением атмосферной циркуляции и с преобладанием западного переноса, что особенно ярко проявляется в марте. Для обоснования этого предположения были исследованы многолетние ряды приземного давления на отдельных метеостанциях Костромской области и ряд индекса Северо-Атлантического колебания (САК или NAO).

В общем случае изменение приземной температуры зависит от двух факторов: приходящей солнечной радиации и адвекции, т.е. преобладающего направления переноса воздушных масс. Энергия от Солнца поступает к верхней границе атмосферы в двух видах:

- в виде волновой энергии или известной солнечной постоянной равной в среднем 1367 Вт/м^2 ;
- в виде корпускулярной энергии солнечного ветра за счет вспышечной деятельности Солнца, которая намного меньше и в среднем равна 0.2 Вт/м^2 .

Солнечная постоянная не является неизменной как за многолетний период, так и в течение каждого года, что зависит от изменения расстояния между Землей и Солнцем. За многолетний период изменения солнечной постоянной определяются тремя основными астрономическими факторами:

- изменением прецессии со средним периодом колебаний в 23 тыс. лет,

- колебаниями угла наклона эклиптики к экватору или оси вращения Земли со средним периодом колебаний в 40 тыс. лет,
- колебаниями эксцентриситета орбиты Земли со средним периодом колебаний в 92 тыс. лет.

Именно эти астрономические факторы по теории М.Миланковича и исследованиям палеоклиматологов сформировали известные оледенения четвертичного периода. Естественно, что вклад этих факторов в современное изменение климата за последние 150-200 лет очень небольшой из-за значительных по времени периодов колебаний. Вместе с тем, расстояние от Земли до Солнца изменяется и в течение года, что обуславливает годовую вариацию солнечной постоянной. Другим фактором изменения солнечной постоянной является вспышечная активность Солнца, имеющая известные 11-летние периоды. Ранее эта активность учитывалась только в виде чисел Вольфа, но в последние десятилетия появились данные регулярных спутниковых измерений, как показано на Рис.4.2.

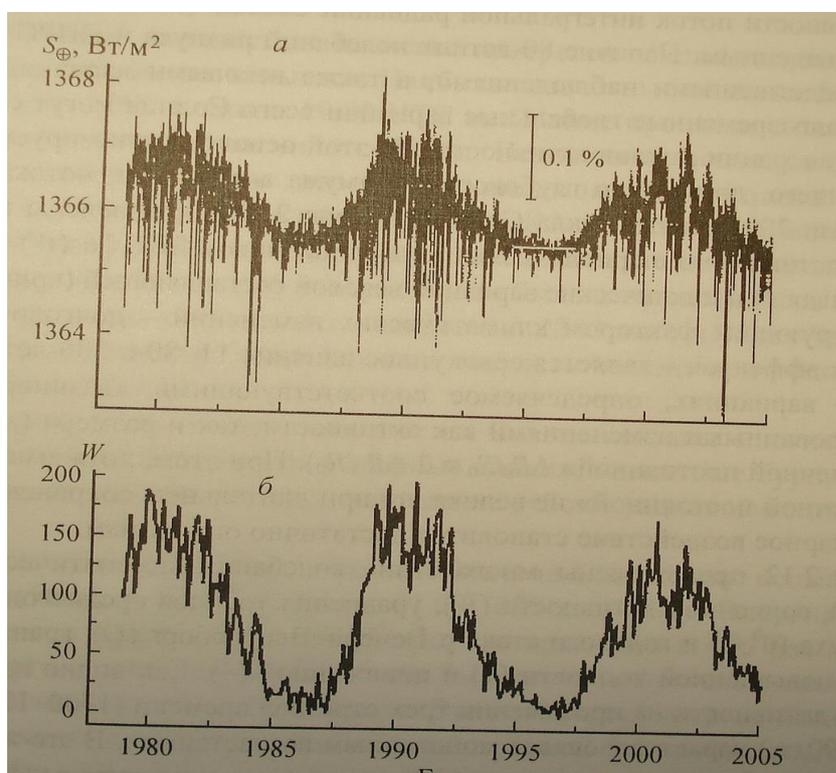


Рисунок 4.1. Спутниковые данные о приходящей солнечной радиации к верхней границе атмосферы (а) и числа Вольфа (б).

Как следует из Рис.4.1, в колебаниях суммарной солнечной энергии на данном коротком интервале времени проявляются процессы двух временных масштабов: процесс внутригодовых высокочастотных колебаний с амплитудой до 2 Вт/м^2 и процесс межгодовых колебаний с амплитудой до 1 Вт/м^2 и со средним периодом 11 лет. Процесс межгодовых колебаний приходящей радиации хорошо связан с известными числами Вольфа, как видно из сопоставления верхнего и нижнего графиков Рис.4.1, а непрерывный ряд чисел Вольфа имеется с начала 18 века сразу же после Маундеровского минимума. При этом средний период колебаний чисел Вольфа составляет 11 лет при незначительной вариации от 10 до 12 лет, но амплитуды циклов изменяются существенно (в 4 раза и чуть больше), как показано на Рис.4.2.

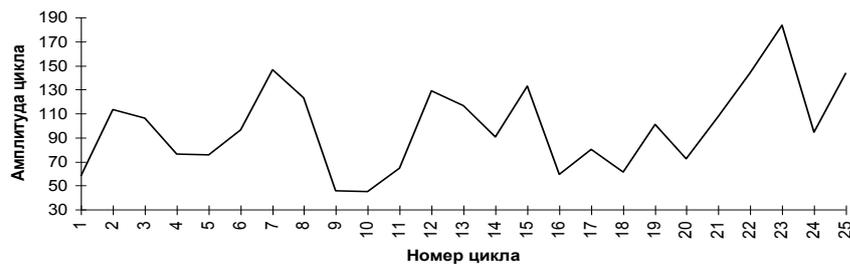


Рисунок 4.2. Изменение амплитуд циклов чисел Вольфа в зависимости от номера цикла.

Особенность конца 1980х годов в том, что здесь произошел резкий переход от минимальных значений приходящей радиации в 1365 Вт/м^2 для межгодового процесса (и даже от 1363 Вт/м^2 с учетом внутригодовых колебаний) до 1367 Вт/м^2 (и даже до 1368 Вт/м^2 с учетом внутригодовых колебаний), т.е. на $2\text{-}5 \text{ Вт/м}^2$. Если считать по среднему линейному отклику климатической системы в 0.7К/Вт м^{-2} , то этот переход должен привести к росту глобальной температуры на верхней границе атмосферы на $1.4\text{-}3.5^\circ\text{C}$. Конечно же к земной поверхности доходит всего половина радиации и повышение поверхностной температуры должно быть ниже. Фактически приходящая к поверхности земли солнечная радиация определяется по данным актинометрических наблюдений. На Рис.4.3 приведен ряд

наблюдений за суммарной за год и за март месяц солнечной радиацией по метеостанции Кострома с 1976 г. по 2014 г.

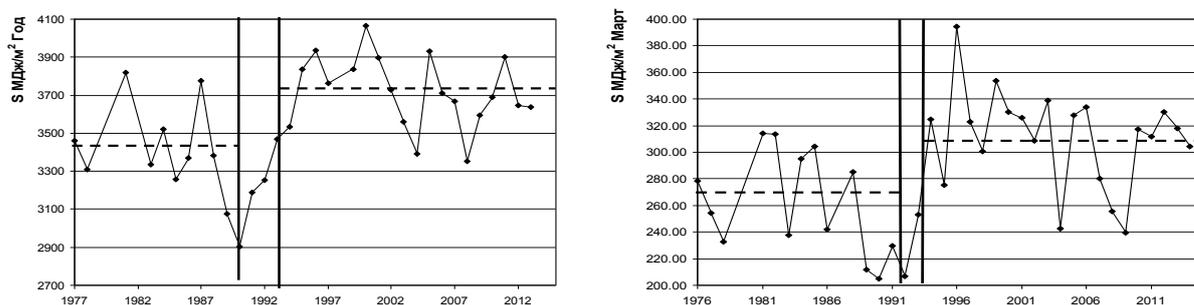


Рис.4.3. Изменение годовой и мартовской суммарной радиации за период с 1977 по 2013 годы в г. Кострома

Из анализа временных рядов на Рис.4.3 следует, что они содержат два квазистационарных периода: низкой и высокой приходящей радиации, причем переход от периода низкой радиации к высокой является достаточно быстрым и его начало приходится на конец 1980х – начало 1990х годов. Еще один пример анализа рядов актинометрических наблюдений по данным Метеообсерватории МГУ за период 1958-2000 гг. показан на Рис.4.4. Из графиков следует, что с конца 1980х годов после примерно 20-летнего периода низких значений имеет место переход к более высоким величинам, как продолжительности солнечного сияния, так и годовой суммарной радиации.

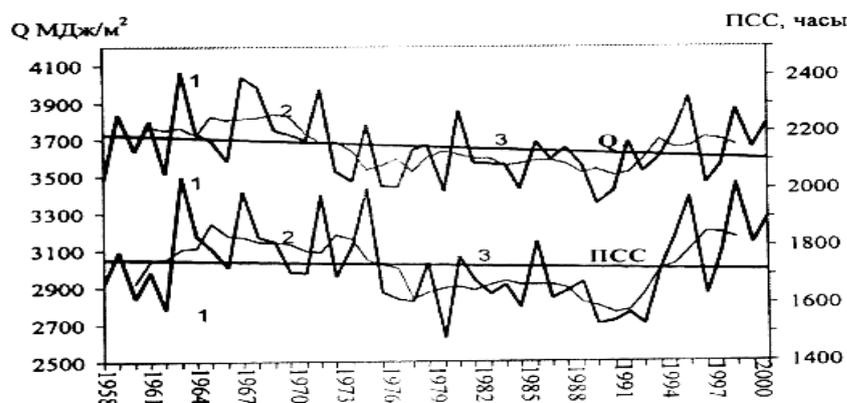


Рисунок 4.4. Хронологический график измеренных величин суммарной солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния по актинометрическим данным на метеостанции МГУ (Москва).

Все эти результаты анализа динамики инсоляционной составляющей температуры воздуха свидетельствуют о том, что в конце 1980х годов произошел переход от условий низкой приходящей радиации к более высокой. Однако, эта причина не может полностью объяснить ступенчатое увеличение приземной температуры конца 1980х годов, т.к. приходящая солнечная радиация имеет циклические колебания, а в температуре воздуха проявляется только одно существенное ступенчатое увеличение. Поэтому можно предположить, что наряду с ростом инсоляции произошла и смена атмосферной циркуляции.

Для оценки динамики атмосферной циркуляции, прежде всего, был проанализирован индекс Северо-Атлантического колебания (САК или NAO), многолетний ряд среднемесячных значений которого с 1950 г. приведен на Рис.4.5.

Положительные отклонения индекса САК (или положительная фаза) свидетельствуют об усилении зональной циркуляции, при этом исландский минимум и азорский максимум хорошо развиты и смещены к северу, градиенты давления между ними увеличены, усиливается ветер в тропосфере в зоне 50-60°с.ш., траектории циклонов смещаются на север на 200-400 км относительно их среднего положения, наблюдается положительная аномалия приземной температуры в Европе и ослабление процессов блокирования.

В отрицательной фазе САК происходит усиление меридионального типа циркуляции, ослабление ветров в тропосфере в зоне 50–60° с.ш., смещение траекторий циклонов на юг [42], усиление процессов блокирования в атмосфере [42] и имеет место положительная аномалия приземного давления и геопотенциала в исландском минимуме и отрицательная аномалия в азорском максимуме. В результате наблюдается отрицательная аномалия приземной температуры воздуха в Европе.

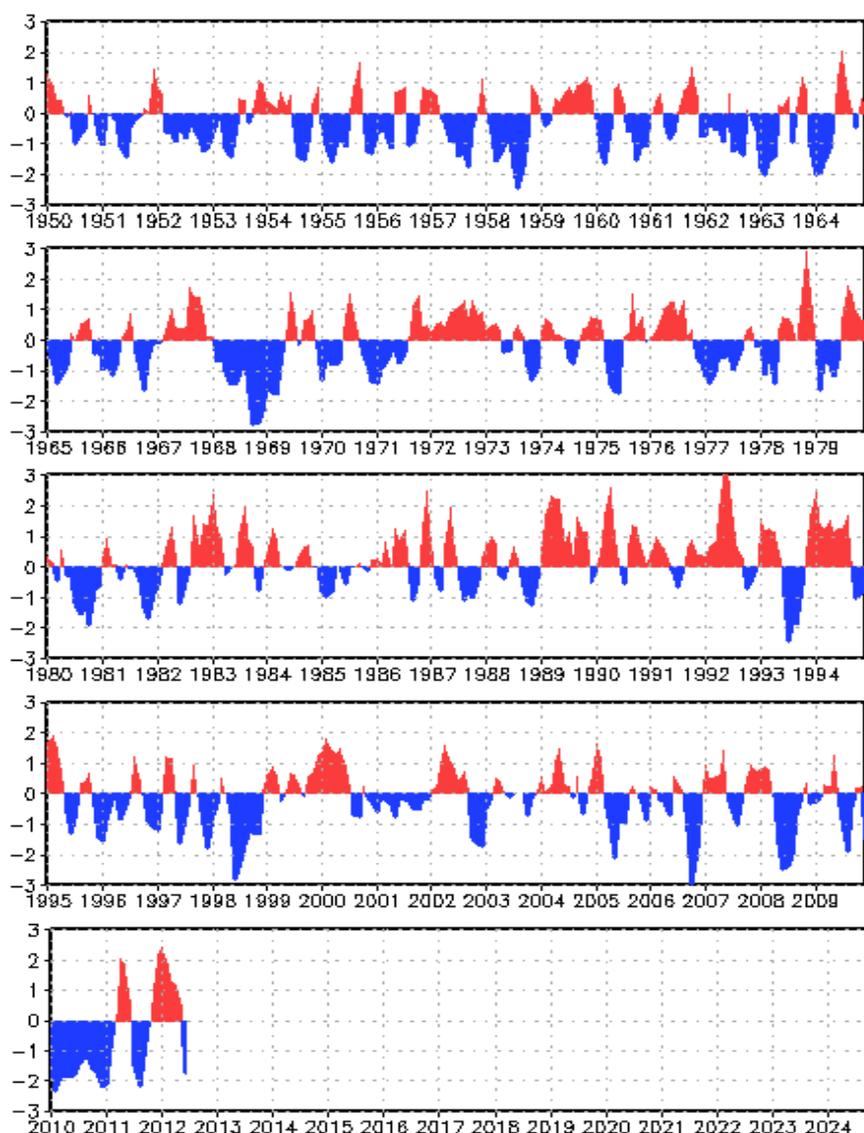


Рис.4.5.Среднемесячные значения индекса САК (1950-2012 гг.).(рисунок взят из монографии Е.С. Нестерова «Североатлантическое колебание: атмосфера и океан»)

Как следует из Рис.4.5, наибольшая по продолжительности из всего ряда наблюдений положительная и практически непрерывная фаза САК имела место именно с 1989 г. по 1993 г.

Интерес представляют также и многолетние ряды среднемесячных индексов САК с 1935 по 2010 гг., умноженного на 10, которые для первых четырех месяцев года (с января по апрель) приведены на Рис.4.6.

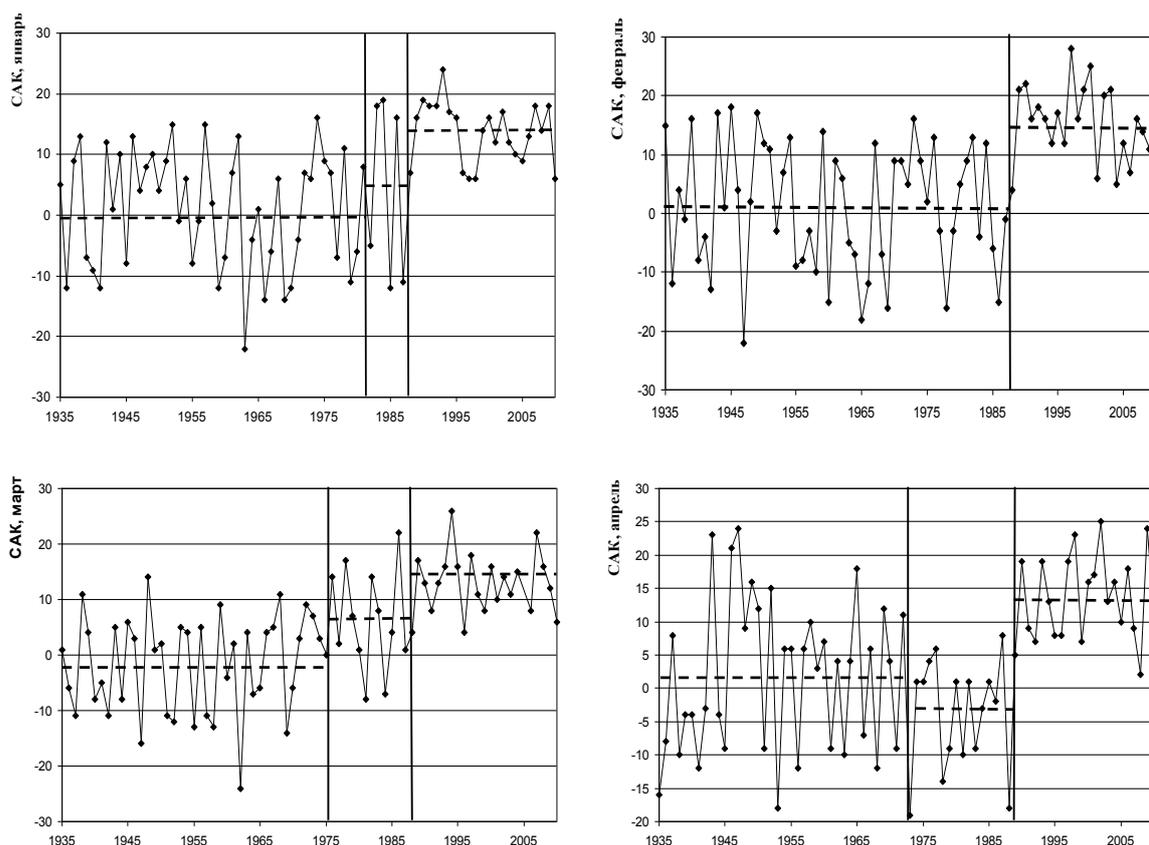


Рисунок 4.6. Ступенчатые изменения индекса САК за январь - апрель, приведенные в значениях САК*10.

Из результатов анализа временных рядов индекса САК можно сделать выводы, что со второй половины 1980х годов значения индекса САК ступенчато возросли и в настоящее время в среднем составляют $+1.5$, т.е. больше нормы примерно на 1.5σ (σ – среднее квадратическое отклонение индекса САК). Причем переходный период от предыдущего стабильного состояния САК с вариацией около нулевого среднего может быть как достаточно продолжительным, например с 1973 по 1988 гг. для апреля, или отсутствовать совсем, как для февраля.

Результаты моделирования временных рядов среднемесячных индексов САК показаны в Табл.4.1. Как видно из результатов таблицы, преобладающее преимущество имеет модель ступенчатых колебаний, наибольший вклад которой в марте 20.2%.

Таблица 4.1.

Характеристики моделей временных рядов среднемесячных индексов САК.

Месяц	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F _{тр}	F _{ст}	T _{ст}	T _{ст'}	n	R
1	8.7	15.3	1.2	1.4	1989	1988	76	0.41
2	8.9	18.2	1.2	1.49	1989	1988	76	0.41
3	19.4	20.2	1.54	1.57	1972	1988	75	0.59
4	6.7	15.6	1.15	1.4	1990	1989	76	0.36
5	9.2	15.7	1.21	1.41	1991	1991	73	0.42
6	4.8	9.1	1.1	1.21	1990	1988	75	0.3
7	7.2	18.5	1.16	1.51	1992	1991	71	0.37
8	4.8	17.9	1.1	1.48	1989	1988	74	0.31
9	2.9	8.4	1.06	1.19	1993	1991	74	0.24
10	2.2	8.2	1.04	1.19	1995	1993	75	0.21
11	7.4	16.5	1.16	1.43	1991	1991	76	0.38
12	2.9	9.2	1.06	1.21	1991	1990	76	0.24

Период ступенчатого перехода T_{ст} определен формализованной процедурой при достижении минимума суммы квадратов отклонений для модели ступенчатых изменений при одной ступени и двух стационарных средних. Если же учесть переходный период от одних стационарных значений индекса к другим, то началом последнего стационарного периода будет дата T_{ст'}, также приведенная в Табл.4.1. Эта дата может несколько отличаться от T_{ст}, но в целом она сужает диапазон времени, характеризующий начало последнего стационарного периода в колебаниях индекса САК от 1988 г. до 1991 г. Некоторым исключением является октябрь и в нем переход к последнему стационарному периоду произошел только в 1993 г. Средние многолетние значения индекса САК за два разных стационарных периода приведены в Табл. 4.2 с исключением переходного периода, если он имел место, где: T_{нач}, T_{кон} – годы начала и окончания стационарного периода, САК_{ср}, САК_σ – среднее и среднее квадратическое

значение индекса САК за период, макс, мин – максимальное и минимально значение индекса САК за период.

Таблица 4.2

Характеристики двух полупериодов индекса САК.

Месяц	Первый стационарный период					Второй стационарный период				
	Ткон	САКср	САКσ	Макс.	Мин.	Тнач	САКср	САКσ	Макс.	Мин.
1	1979	0.1	0.98	1.6	-2.2	1988	1.4	0.50	2.4	0.6
2	1987	0.1	1.09	1.8	-2.2	1988	1.5	0.63	2.8	0.4
3	1975	-0.2	0.88	1.4	-2.4	1988	1.3	0.55	2.6	0.4
4	1972	0.2	1.14	2.4	-1.8	1989	1.4	0.65	2.5	0.2
5	1990	-0.1	0.92	2.3	-1.8	1991	1.2	0.64	2.3	0.3
6	1987	-0.1	0.93	2.1	-2.1	1988	0.7	0.86	2.1	-0.8
7	1990	0.02	0.93	1.8	-2.2	1991	1.6	0.89	2.8	-0.4
8	1987	0.14	1.11	2.3	-2.9	1988	1.7	0.80	3.7	-0.1
9	1990	-0.04	1.01	2.0	-2.6	1991	0.83	0.60	2.2	-0.4
10	1992	0.17	1.08	2.6	-2.4	1993	1.2	1.10	3.2	-0.5
11	1990	-0.1	1.11	2.2	-2.5	1991	1.5	0.92	2.7	-0.5
12	1989	-0.01	0.90	1.4	-2.3	1990	0.87	0.83	1.8	-0.9

Если оценить однородность средних за два последовательных стационарных полупериода, то гипотеза об однородности отклоняется для всех месяцев при уровне значимости 5%. При оценке однородности или стационарности дисперсий можно сделать вывод, что за период с января по май, т.е. период холодного океана дисперсии второй части ряда статистически значимо меньше, чем первой части ряда. Для остальных месяцев с июня по декабрь (теплый океан) дисперсии колебаний практически не изменились.

В результате исследования многолетних изменений индекса САК по месяцам можно сделать вывод, что с конца 1980х годов западный перенос увеличился в среднем в 1.3 раза, а дисперсии для холодного периода океана уменьшились примерно в 2 раза. Поэтому в холодный период в настоящее

время имеет место устойчивый западный перенос и связанный с ним существенный приток тепла с Атлантики.

Помимо индекса САК для оценки типов циркуляции, притом как для всего Северного полушария, так и отдельных регионов, широко применяются и другие индексы, например, А. Л. Каца [34], А. А. Гирса [20, 32], Б. Л. Дзердзеевского [33]. В работе Кононовой Н.К. «Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л.Дзердзеевскому» представлены результаты исследований циркуляции атмосферы внетропических широт Северного полушария с помощью типизации элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), разработанной Б.Л. Дзердзеевским, В.М. Курганской, З.М. Витвицкой и продолжаемой в Лаборатории климатологии Института географии РАН. По этим данным в период 1987-1997 гг. меридиональная южная группа была продолжительнее средней более чем в три раза. Суммарная годовая продолжительность меридиональной южной группы циркуляции представлена на рис. 4.7.

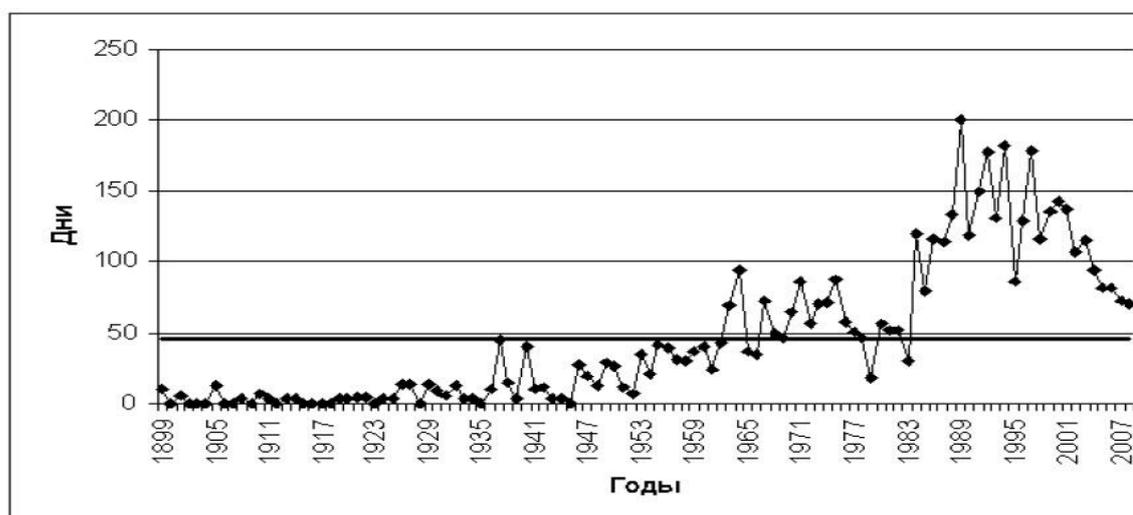


Рис. 4.7. Многолетние колебания суммарной годовой продолжительности меридиональной южной группы циркуляции за 1899–2008 гг.

Постепенный рост продолжительности этой группы с 1899г. по начало 1980х от нескольких дней до 50 дней в среднем с периодами отдельной устойчивости, далее в середине – конце 1980х годов приводит к резкому

подъему до 150 дней в среднем. Хотя этот период циркуляции в настоящее время еще продолжается, но число дней имеет тенденцию к уменьшению. По данным наблюдений метеостанции Кострома среднегодовая температура воздуха достигала своего исторического максимума (+ 5,8°C) также в 1989 году и превышала среднее значение за период 1961-1990 гг. на 1,6°.

Можно сделать вывод, что в конце 1980х годов была большая эпоха усиления индекса САК и в это же время имела место меридиональная южная группа циркуляции. Поэтому совместное наложение, как роста приходящей инсоляции, так и переход к западному и южному типу циркуляции, привело к ступенчатому росту температуры воздуха на территории Костромской области в конце 1980х годов.

Еще одним индикатором оценки смены типов атмосферной циркуляции может служить суммарное за месяц атмосферное давление на метеостанциях Костромской области, считая, что низкое атмосферное давление связано с циклонами и западным переносом, а высокое – с антициклонами, холодом зимой и теплом летом. Анализ многолетних рядов среднемесячного давления был выполнен на двух метеостанциях: Кострома и Вохма за период с 1938 по 2013 гг. и в результате получено, что модель стационарной выборки является наиболее эффективной практически во всех случаях за некоторым исключением давления марта. Временные графики среднего давления марта на двух метеостанциях приведены на Рис.4.8.

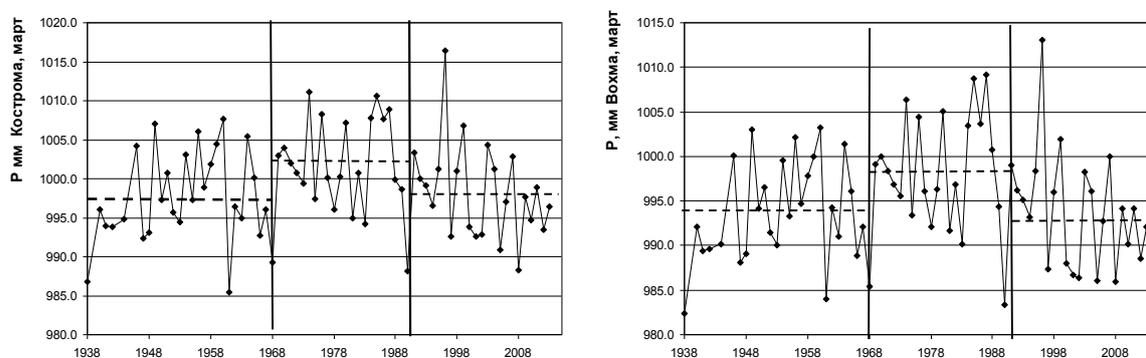


Рисунок 4.8. Временные ряды приземного атмосферного давления в марте на метеостанциях Кострома и Вохма.

Как видно из графиков, во временных рядах можно выделить 3 квазистационарных периода: 1938-1968 гг. – период пониженного давления, 1969-1989 гг. – период повышенного давления и последний период, начиная с 1990 г. пониженного давления с тенденцией его дальнейшего падения. Коэффициенты же корреляции R между температурой и давлением очень низкие и не превышают 0.4.

Таким образом, ступенчатый рост температуры воздуха в северной части территории Костромской области в 1988 году, установленный в 3-ей главе, мог быть обусловлен совместным наложением следующих факторов:

- прежде всего, преобладающим адвекционным, что проявилось в длительной положительной фазе САК и резком ступенчатым росте индекса именно с конца 1980х и начала 1990х годов во все месяцы года с наиболее устойчивым потеплением в период с января по май, когда океан теплее суши, а также в резком увеличении числа случаев с меридиональной южной группой циркуляции и снижении атмосферного давления на станциях в марте месяце.
- радиационным, т.к. в это время имел место переход от минимума солнечной инсоляции к максимуму, что проявилось и в резком повышении приходящей солнечной радиации на верхней границе атмосферы и в суммарной радиации на земной поверхности по данным актинометрических наблюдений.

Хотя коэффициенты корреляции между индексом САК и среднемесячной температурой воздуха не столь велики за счет существенной межгодовой случайной изменчивости (максимальное значение $R=0.63$ в марте), но в обеих характеристиках имеет место одинаковый ступенчатый рост. В целом же адвекционная составляющая повышения температуры включает как рост циклонической деятельности, особенно в период с января по май, что проявляется и в уменьшении давления, так и увеличение числа теплых меридиональных воздушных масс.

4.2 Оценка будущих температурных условий Костромской области.

На современном этапе развития общества знание будущих климатических условий является важнейшей необходимостью. Существуют три основных

метода прогнозирования или оценки будущего климата:

- сценарии изменений и математические модели климата [43]:
- использование климатических палеоаналогов;
- использование установленных закономерностей во времени для экстраполяции.

В настоящее время наиболее распространенным является метод, основанный на сценариях будущих оценок парниковых газов и других радиационно-активных веществ, которые и вносят основной вклад в современное изменение климата. Они изменяют радиационное воздействие на планету и вызывают климатические изменения в очень длительных временных масштабах. В связи с тем, что используются сценарные оценки при моделировании возможного состояния будущего климата вместо термина "прогноз" или "предсказание" следует употреблять термин "перспективная оценка". Для совершенствования моделей климата и выбора наиболее эффективных из них в 1990 г. был создан международный проект по сравнению моделей климата AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) в рамках которого проводится целенаправленное сравнение глобальных моделей общей циркуляции атмосферы (Global Atmospheric General Circulation Models - AGCMs), разработанных различными группами исследователей в различных странах мира, как между собой, так и с данными наблюдений [20,69]. Это дает возможность исследовать систематические погрешности в воспроизведении современного климата и оценить диапазон возможных его изменений, обусловленных различными воздействиями, например, антропогенными.

В 2005-2006 гг. рабочая группа по совместным моделям между атмосферой и океаном (Working Group on Coupled Modelling - WGCM) в рамках AMIP начала собирать результаты климатического моделирования ведущих научных центров по всему миру. Собранные в виде архивов результаты моделирования прошлого, настоящего и будущего климата сформировали третью фазу проекта по сравнению взаимосвязанных моделей

(Coupled Model Intercomparison Project - CMIP3). В частности, WGCM организовала эту деятельность, для того, чтобы специалисты за пределами крупных центров по климатическому моделированию могли использовать их результаты для подготовки четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК или IPCC, 2007г.).

В основном результаты моделирования предназначены для рабочей группы №1 МГЭИК, деятельность которой направлена на изучение физических основ климатической системы (атмосферы, суши, океана и морских льдов) и выборе переменных, которые отражают компоненты этой системы и должны быть заархивированы. Эта коллекция результатов моделирования получила название «Мультимодельные наборы данных проекта CMIP3 Всемирной программы исследований климата» или "WCRP CMIP3 multi-model dataset". Она представляют собой всеобъемлющий архив большого набора данных по климату двадцатого и двадцать первого столетий и других экспериментов, что практически полностью изменяет способ анализа результатов климатического моделирования для исследователей, студентов и всех тех, кто интересуется проблемой современного изменения климата.

В настоящее время при формировании 5-го оценочного доклада МГЭИК (2013-2014гг.) [66] были получены новые результаты моделирования, которые представлены уже в проекте CMIP5. CMIP5 [64,80], по сравнению со CMIP3, включает в себя более полные модели и более широкий набор экспериментов, адресованных большему разнообразию научных проблем. Модели и эксперименты CMIP5 отличаются от предыдущих фаз также и более высоким пространственным разрешением и используют более богатый комплект полей вывода для архивирования. В проекте CMIP5 дана лучшая документация по моделям и условиям эксперимента и сформирована новая стратегия, которая делает результаты более доступными для исследователей. Так, если в проекте CMIP3 рассматривалось 12 экспериментов с моделями, то

в СМIP5 таких экспериментов уже 35 и их перечень дан, например, в работе [73].

В проекте СМIP5 вместо известных сценариев SRES (B1, A1B, A2, соответствующих концентрации CO₂ в 2100 году в 540, 762 и 875 ppm) по СМIP3, представлены новые сценарии RCP (Representative Concentration Pathway) или РТК (репрезентативная траектория концентрации), связанные со стабилизацией общего антропогенного воздействия в 2100 году также на разных уровнях: 2.6, 4.5, и 8.5 Вт/м² и вместо концентрации CO₂ в ppm в этих сценариях дан общий эффект воздействия («форсинг») в Вт/м². И если в СМIP3 ансамблевые оценки определялись по 16 глобальным моделям общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), то в СМIP5 для обобщений использованы данные более, чем 50 моделей, представленные более 20 научными коллективами разных исследовательских центров. По сравнению с моделями предыдущей фазы проекта СМIP3, модели СМIP5 характеризуются в среднем более высоким пространственным разрешением и рядом усовершенствований в описании климатических процессов. Как и в проекте СМIP3 в новом проекте СМIP5 изменения климата рассматриваются для начала (2011- 2030 гг.), для середины (2041-2060 гг.) и конца (2080-2099 гг.) XXI века, осредненные за 20 лет по отношению к базовому климатическому периоду 1980-1999 гг.

Для выбора наиболее подходящей модели климата для оценки будущих изменений температуры воздуха на территории Костромской области решались две основные задачи:

- выбор наиболее эффективной модели при сравнении данных наблюдений и моделирования за совместный период;
- определение будущих значений температур воздуха на основе наиболее эффективной модели климата и анализ будущего климата Костромской области.

Обобщенные оценки изменения температуры воздуха по отдельным Федеральным округам и крупным районам для всей территории России

приведены на сайте ГГО по ансамблю моделей для трех основных сценариев СМIP5 [86]. На основе этих данных путем интерполяции можно получить приближенные оценки будущей температуры Костромской области за три будущих интервала времени 2011-2031 гг., 2041-2060 гг. и 2080-2099 гг. за год и сезоны года. Так для среднегодовой температуры получен рост от 1.4-1.6°C в первый интервал времени, в зависимости от сценария, до 2.4-6.5°C в последнюю двадцатилетку 21 века. При этом наиболее существенно должна расти зимняя температура: от 1.6-1.8°C в первый интервал времени до 2.8-8.1°C в конце века, хотя ее оценки, чем дальше в будущее, тем больше варьируют в зависимости от сценария. Меньше всего должна расти летняя температура: от 1.3-1.4°C в первый интервал времени до 2.0-5.8°C в конце века также в зависимости от сценария. Рост весенних и осенних температур занимает промежуточное положение между ростом температур летом и зимой и составляет от 1.4-1.6°C в первый интервал времени до 2.3-6.2°C в конце столетия. По наиболее вероятному среднему сценарию (RCP4.5) рост зимней температуры в конце 21 века ожидается на 4.7°C, а летней – на 3.1°C. Для более точной оценки будущих температур на территории Костромской области были выбраны 4 метеостанции, находящиеся в разных частях области и ближайшие узлы регулярной сетки размером ячейки $1^0 \times 1^0$, в которых получены результаты климатического моделирования. Расположение метеостанций и узлов регулярной сетки показано на Рис.4.9, из которого следует, что разность между узлами сетки и станциями не превышает 40 км.

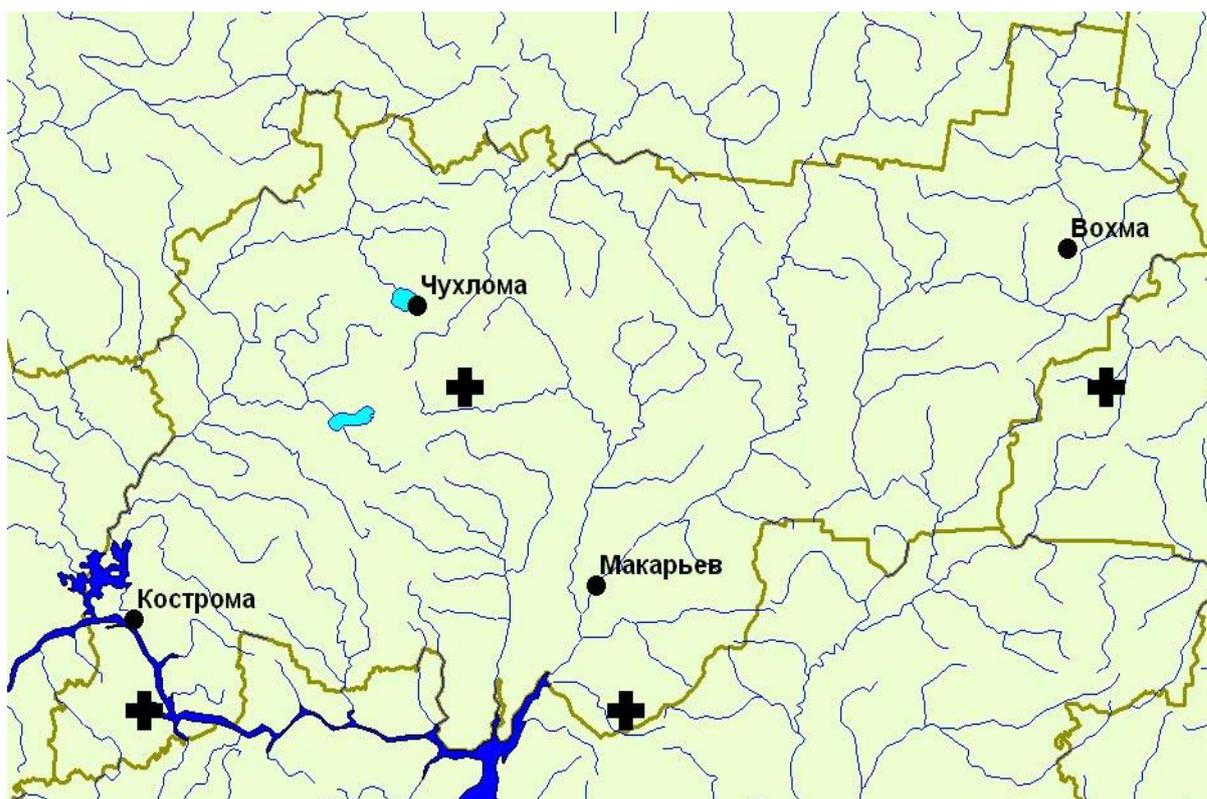


Рисунок 4.9. Расположение метеостанций и ближайших узлов регулярной сетки климатического моделирования (крестики) на территории Костромской области.

Для сопоставления с данными наблюдений за совместный период по сценарию «Исторический эксперимент», в котором данные моделировались с 1850 по 2005 гг., выбраны следующие 5 климатических моделей:

- 1) CNRM - модель центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherches Meteorologiques, CM3 Model, CERFACS);
- 2) HadGEM2 - модель HadCM3 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadCM3 Model);
- 3) INM - модель института вычислительной математики РАН, Россия (Institute for Numerical Mathematics (INM)/Russia, INM-CM4);
- 4). IPSL – CM5A-MR - французская модель CM4 V1 Института Лапласа (Institute Pierre-Simon Laplace IPSL/LMD/LSCE, France);

5). MPI - модель института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM).

Причем для модели CNRM данные моделирования имеются только начиная с 1950г. Выбор моделей обусловлен, прежде всего, тем, что для каждой из них имеются результаты сценарных оценок до 2100 г. и по всем трем сценариям: RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Кроме того, в известном эксперименте по оценке глобальной температуры при удвоении CO₂ эти модели дали разные величины роста температуры от 2.1⁰С (модель института вычислительной математики, Россия) до 4.4⁰С (модель Хэдли центра и французская модель CNRM).

Совместный период, для которого осуществлялось сравнение наблюдаемых и смоделированных значений среднемесячных температур воздуха составлял 1937-2005 гг. для метеостанций Кострома и Вохма, 1925-2005 гг. для метеостанции Чухлома и 1936-2005 гг. для метеостанции Макарьев. При этом сопоставление данных осуществлялось как за весь совместный период наблюдений, так и за последовательные 30-летние интервалы, включая рекомендованный ВМО квазистационарный период 1961 – 1990 гг. В качестве меры сравнения применялись два показателя: разность климатических норм $dt = t_m - t_{набл}$, где t_m , $t_{набл}$ соответственно средние многолетние температуры по модели и по данным наблюдений и R – коэффициент парной корреляции между наблюдаемыми и смоделированными температурами. Пример сравнения данных моделирования и наблюдений показан в Табл.4.3 для метеостанции Кострома. Ярким цветом выделены случаи наименьшей разности dt и коэффициентов корреляции $R > 0.5$

Таблица.4.3.

Результаты сравнения данных наблюдений и моделирования за совместный период по метеостанции Кострома

(координаты станции (ш.,д.): 57.78⁰, 40.93⁰, координаты узла сетки (ш.,д.): 57.5⁰, 41⁰).

Период	Модели									
	INM		HadGEM2		CNRM (с 1950 г.)		IPSL		MPI	
	dt	R	dt	R	dt	R	dt	R	dt	R
Январь										
1937-05	-5,0	0,01	-1,7	-0,07	-5,8	0,21	-2,9	-0,06	-2,2	-0,11
1937-66	-4,3	-0,01	0,8	0,18			-4,5	-0,17	-2,2	0,01
1967-96	-4,4	0,17	-3,4	-0,29	-4,6	0,25	-3,4	-0,11	-1,9	-0,32
1976-05	-7,7	0,28	-4,2	-0,19	-6,7	0,15	-4,6	0,28	-3,0	-0,26
1961-90	-4,9	0,00	-2,0	-0,28	-6,5	-0,05	-2,2	0,06	-1,0	-0,09
Февраль										
1937-05	-4,7	-0,18	-1,4	0,03	-3,5	-0,11	0,6	-0,15	-0,9	0,27
1937-66	-3,1	-0,23	-1,2	0,10			-1,4	-0,46	-1,4	0,22
1967-96	-5,1	-0,10	-3,4	0,20	-2,1	-0,30	0,5	0,07	-0,7	0,24
1976-05	-7,3	-0,01	-2,8	0,19	-2,1	-0,03	0,6	0,11	-0,4	0,27
1961-90	-4,6	-0,16	-2,1	0,20	-2,6	-0,10	0,3	0,01	-0,4	0,42
Март										
1937-05	-6,0	-0,07	-1,5	-0,20	-4,6	0,36	-1,5	-0,05	0,3	0,00
1937-66	-4,6	-0,15	1,6	-0,26			-2,8	-0,28	-0,2	-0,61
1967-96	-7,2	-0,05	-4,0	0,13	-4,2	0,38	-2,3	0,11	0,4	0,08
1976-05	-7,3	-0,08	-3,7	0,09	-4,8	0,26	-2,9	0,25	1,0	0,31
1961-90	-5,7	-0,20	-2,4	0,00	-5,3	0,66	-1,7	0,15	-0,1	-0,13
Апрель										
1937-05	-4,9	0,00	-0,3	-0,17	-4,9	0,31	-3,1	-0,38	1,7	0,07
1937-66	-3,2	0,04	-2,2	0,11			-3,1	-0,52	2,6	-0,07
1967-96	-6,2	0,25	-2,0	0,03	-4,4	0,36	-3,0	0,01	1,1	0,20
1976-05	-6,4	0,38	-2,3	-0,10	-4,9	0,17	-5,2	-0,16	1,0	0,30
1961-90	-4,8	0,06	-0,7	0,05	-4,8	0,14	-3,3	-0,05	1,3	0,16
Май										
1937-05	-0,1	0,33	2,0	0,08	-3,0	-0,06	0,7	0,13	0,2	-0,07
1937-66	0,1	0,43	2,4	-0,15			0,2	0,30	0,3	-0,28
1967-96	0,1	0,18	1,9	0,16	-2,0	0,01	0,7	-0,11	-0,4	-0,07
1976-05	-0,3	0,14	1,5	0,16	-3,5	-0,03	0,3	0,04	-0,3	0,23
1961-90	0,1	0,30	2,1	0,16	-3,2	-0,03	1,2	-0,01	-0,5	-0,04
Июнь										
1937-05	0,4	-0,16	1,2	-0,12	-0,2	0,11	2,1	-0,20	-1,2	0,06
1937-66	1,1	0,22	2,0	0,12			1,5	-0,06	-1,3	0,18
1967-96	-0,1	-0,40	0,9	-0,26	0,2	-0,02	2,0	-0,42	-1,1	0,04
1976-05	-0,3	-0,48	0,3	-0,37	-0,4	0,15	1,9	-0,35	-1,2	-0,12
1961-90	0,5	-0,47	1,6	-0,20	-0,4	0,06	2,4	-0,30	-0,5	0,06
Июль										
1937-05	-2,4	-0,20	0,5	-0,23	1,9	-0,09	2,1	-0,33	-0,8	-0,05
1937-66	-2,1	-0,33	0,9	-0,44			1,4	-0,02	-0,6	-0,20
1967-96	-2,2	0,03	1,0	0,03	2,8	0,26	2,9	-0,07	-0,6	-0,08
1976-05	-2,7	-0,15	0,1	-0,03	1,3	-0,42	1,6	-0,40	-0,9	0,05
1961-90	-2,2	-0,06	1,0	-0,02	2,0	-0,06	2,9	-0,14	-0,1	-0,22
Август										
1937-05	-2,8	-0,06	0,5	0,07	2,3	-0,06	1,8	0,04	-1,1	-0,10
1937-66	-3,1	0,05	0,3	0,00			1,8	0,41	-1,9	0,01
1967-96	-3,2	-0,06	1,0	0,16	2,3	-0,05	2,6	-0,10	-0,4	-0,08

1976-05	-2,3	-0,08	0,9	0,08	2,4	-0,05	2,7	0,03	-0,2	-0,05
1961-90	-3,1	-0,03	1,0	0,09	2,2	-0,04	2,2	-0,07	-0,6	-0,07
Сентябрь										
1937-05	-2,5	-0,09	0,7	0,05	1,3	0,13	0,5	0,03	-0,4	-0,01
1937-66	-3,0	0,05	0,6	0,05			0,2	0,11	-1,2	0,06
1967-96	-2,0	-0,25	1,0	0,00	1,9	0,01	1,0	0,03	0,2	-0,13
1976-05	-2,0	-0,18	1,0	0,12	1,0	0,19	1,0	-0,07	0,5	0,00
1961-90	-1,9	-0,33	1,0	-0,01	1,9	0,33	1,1	0,04	0,0	-0,13
Октябрь										
1937-05	-2,3	0,00	0,5	0,16	0,1	-0,04	-1,3	-0,17	0,0	0,03
1937-66	-2,5	0,17	1,0	0,37			-0,7	-0,20	-0,4	0,08
1967-96	-1,7	-0,11	0,3	-0,05	0,4	0,11	-1,9	-0,11	0,1	-0,02
1976-05	-1,5	-0,21	0,4	0,15	-0,1	-0,04	-1,6	-0,15	0,8	0,00
1961-90	-2,8	0,05	0,2	-0,05	0,3	-0,21	-1,6	0,06	-0,5	0,01
Ноябрь										
1937-05	-1,9	0,16	-1,1	-0,06	-1,4	0,16	-0,1	-0,18	-0,2	-0,15
1937-66	-2,5	0,12	0,3	0,06			1,9	-0,35	0,9	-0,34
1967-96	-2,1	0,29	-2,6	-0,12	-2,5	0,20	-0,5	0,09	-1,3	0,03
1976-05	-1,4	0,17	-1,3	-0,03	-1,0	0,07	-1,8	-0,13	-0,6	0,00
1961-90	-2,0	0,24	-2,5	-0,12	-1,4	0,13	0,1	0,14	-1,3	-0,02
Декабрь										
1937-05	-3,7	0,15	-2,3	-0,06	-4,2	0,06	-1,8	-0,02	-1,1	-0,30
1937-66	-5,0	0,15	-1,5	-0,06			-1,6	-0,22	-1,9	-0,31
1967-96	-3,0	0,05	-1,8	-0,16	-5,5	0,11	-2,2	-0,09	-0,3	-0,38
1976-05	-3,0	0,13	-2,6	0,11	-3,1	-0,03	-2,3	0,24	-1,7	-0,39
1961-90	-3,1	0,11	-2,0	-0,09	-4,9	0,11	-2,6	-0,14	0,1	-0,29

Из результатов Табл.4.3 следует, что не было ни одного случая с достаточно высоким коэффициентом корреляции $R > 0.5$. Это свидетельствует о том, что климатические модели недостаточно эффективно воспроизводят естественную межгодовую изменчивость и их пока можно использовать только для получения климатических средних за период. При сравнении климатических норм в разные месяцы года всегда выделяется одна или максимум две наиболее эффективных модели с наименьшей разностью dt . Причем величина dt меняется от месяца к месяцу, также как и вид модели. Так, для температуры января наиболее эффективной является МРІ-модель со средним $dt = -2.1^\circ\text{C}$ и при вариации в зависимости от периода от -3.0°C (1976-2005 гг.) до -1.0°C (1961-90 гг.), но во всех случаях значение температуры по модели было систематически ниже фактической. При сравнении по другим моделям разности были существенно больше и достигали $dt = -5^\circ\text{C}$ - -7°C . В целом МРІ-модель можно считать самой эффективной или одной из самых

эффективных для 10 из 12 месяцев (за исключением июня и августа) и в месяцы теплого периода года с марта по октябрь dt меньше, знакопеременны и в большинстве случаев не превышают 1°C . В некоторые месяцы практически такими же эффективными являются и другие модели наравне с MPI-моделью. Так, для февраля подходит также и IPSL-модель, для апреля HadGEM2-модель, для мая INM-модель и для июля - HadGEM2-модель. В два месяца лучшие, чем MPI-модель, результаты дают другие модели: в июне это INM-модель, а в августе - HadGEM2-модель. Хотя сами погрешности по обеим моделям отличаются менее, чем на градус и по MPI-модели не превышают 2.0°C . Поэтому можно сделать вывод, что метеостанция Кострома во все месяцы года наиболее подходящей является по MPI-модель. Этот же вывод подтверждается и Рис.4.10, на котором приведены наблюдаемые нормы среднемесячных температур и аналогичных температур, полученных по климатическим моделям в рамках исторического эксперимента. При этом, распределения даны как для всего совместного периода с 1937 по 2005 гг., так и для периода, рекомендованного ВМО с 1961 по 1990 гг.

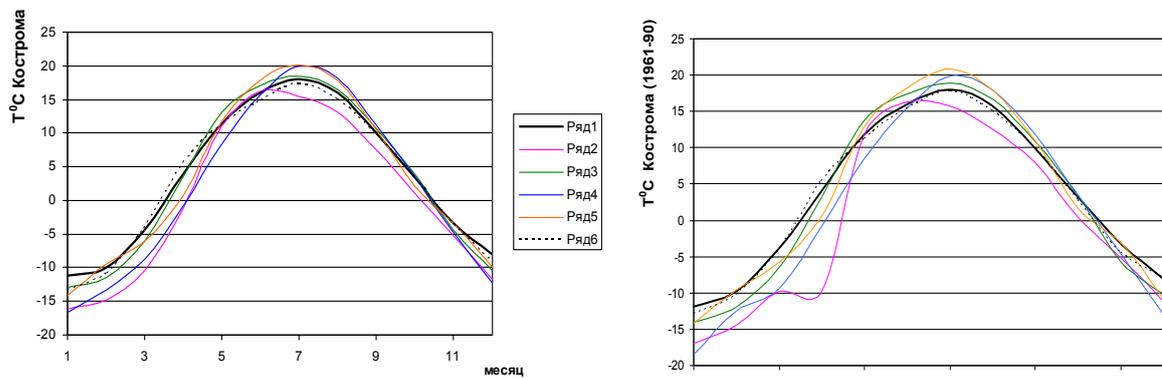


Рисунок 4.10. Внутригодовые распределения фактических и смоделированных температур за периоды 1937-2005 гг. (левый график) и 1961-1990 гг. (правый график), где яркая черная линия – данные наблюдений (Ряд 1), пунктирная линия – полученные по MPI-модели (Ряд 6) и остальные линии – другие модели (Ряд 2 – INM-модель, Ряд 3 – HadGEM2-модель, Ряд 4 – CNRM -модель, Ряд 5 – IPSL -модель)

Вычисленное среднее квадратическое отклонение разностей между наблюдаемыми и смоделированными значениями для МРІ-модели является наименьшим и составляет соответственно 0.9°C и 0.6°C за весь период и период, рекомендованный ВМО.

Аналогичным образом было проведено сравнение смоделированных и фактических норм и для остальных трех метеостанций. В подавляющем большинстве случаев для этих метеостанций МРІ-модель также дает наименьшие отклонения между климатическими нормами, полученными по данным наблюдений и моделирования за разные периоды времени и разные месяцы года. Коэффициенты же корреляции между наблюдаемыми и смоделированными рядами во всех случаях были низкими. В Табл.4.4 приведены dt для МРІ-модели за разные месяцы и разные периоды года для трех остальных метеостанций.

Таблица 4.4.

Отклонения dt в $^{\circ}\text{C}$ между нормами температур, полученными по данным наблюдений и моделирования по МРІ-модели для метеостанций Вохма, Макарьев и Чухлома.

Период	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Метеостанция Вохма												
1937-05	-0,9	0,0	1,2	1,8	0,3	-0,8	-0,2	-0,1	0,5	0,4	0,5	0,3
1937-66	-0,7	0,2	1,8	2,4	0,8	-1,2	-0,2	-1,0	0,3	0,5	1,3	0,0
1967-96	-0,5	-0,3	0,2	1,4	0,1	-0,9	0,9	0,6	1,0	0,5	-0,3	1,4
1976-05	-1,5	-0,3	1,5	1,2	-0,1	-0,7	-0,4	0,9	1,2	0,5	0,3	0,3
1961-90	-1,0	0,1	-0,5	1,3	-0,7	-0,4	0,0	-0,2	0,6	0,3	-0,2	1,3
Метеостанция Макарьев												
1936-05	-2,3	-0,4	0,1	0,8	-0,3	-1,6	-0,9	-0,9	-0,4	-0,1	-0,7	-1,3
1936-65	-2,3	-0,6	0,5	4,7	-0,8	-2,3	-1,6	-2,1	-1,5	-0,2	0,0	-1,6
1965-94	-1,0	-0,4	-0,5	0,0	-0,1	-0,8	0,2	-0,1	0,4	-0,4	-1,6	-0,3
1976-05	-3,6	-0,3	0,5	0,2	-0,6	-1,3	-0,7	0,4	0,7	0,6	-0,6	-2,5
1961-90	-1,6	-0,4	-0,7	0,5	-0,2	-0,8	0,3	-0,3	0,3	-0,4	-1,9	-0,4
Метеостанция Чухлома												
1925-05	-1,3	-0,4	-0,4	1,5	0,3	-0,5	-0,5	-0,7	-0,3	-0,3	-0,5	-0,6
1925-54	0,3	1,5	0,1	2,2	1,3	-0,4	-1,2	-0,9	-0,4	-0,2	-1,2	-1,8

1954-83	-1,9	-1,6	-1,2	2,1	-0,2	-0,3	0,1	-0,9	-0,8	-0,3	0,1	-0,6
1976-05	-2,2	-1,4	-0,3	0,6	-0,6	-0,7	-0,3	0,0	0,2	-0,6	-1,2	0,0
1961-90	-1,6	-1,8	-1,7	1,1	-0,9	-0,5	0,2	-1,0	-0,3	0,0	-0,4	-0,5

Из результатов Табл.2 следует, что зимой модельные данные обычно систематически ниже, чем наблюдаемые, и в зимние месяцы, особенно в январе, разность климатических норм Δt является наибольшей и может достигать 2° - 3°C . В летние же месяцы отклонения Δt знакопеременны и, как правило, не превышают 1°C . В целом же за все месяцы года и за разные периоды средние квадратические отклонения Δt составляют 0.7° - 1.1°C для метеостанции Вохма, 0.5° - 1.3°C для метеостанции Макарьев и 0.7° - 1.2°C для метеостанции Чухлома. Если оценивать климатические нормы по другим моделям, то стандартная погрешность сразу же существенно вырастет. Так при использовании INM- модели для метеостанции Кострома средняя квадратическая погрешность возрастет более, чем в 2 раза и составляет 1.8° - 2.8°C .

В результате проведенных исследований для оценки будущего климата Костромской области наиболее эффективной оказалась немецкая MPI-модель института Макса Планка со стандартной погрешностью 2°C зимой и менее 1°C летом. На основе этой климатической модели была дана оценка будущего климата Костромской области на три последующие 30-летних периода времени до конца XXI века: 2011—2040 гг., 2041—2070 гг. и 2071—2100 гг. Оценка производилась по трем основным сценариям: RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5 по отношению к норме 1976-2005гг. Полученные будущие климатические нормы температур в $^{\circ}\text{C}$ и в виде разностей по отношению к норме за период 1976-2005гг. по разным сценариям для метеостанции Кострома приведены в Табл.3. Цифрами в Табл.4.5 обозначены следующие будущие 30-летние периоды: 1 - 2011—2040 гг., 2 - 2041—2070 гг. и 3 - 2071—2100 гг.

Таблица 4.5.

Сценарные оценки норм температур воздуха на метеостанции Кострома до конца XXI века в °С.

М-цы	Сценарии, периоды								
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
климатические нормы									
1	-10.1	-9.6	-8.8	-9	-9.6	-7.5	-9.8	-8.5	-3.8
2	-7.8	-7	-7.2	-6	-7.2	-5.3	-7.4	-4.8	-3.3
3	-1.4	-0.5	0	-0.9	-0.7	0.3	-0.6	0.8	2.6
4	7.7	7.3	7.2	7	6.7	7.7	6.9	8.3	9.9
5	13.4	12.7	12.7	12.3	13.2	13.6	13.4	14	15.4
6	16.6	17.2	16.1	16.5	16.9	17.6	16.8	17.2	19.5
7	18.8	18.9	18	17.7	18.6	18.9	18.5	19.2	20.6
8	16.8	17	15.9	16.6	17.5	17.2	16.3	18	19.3
9	12.3	12	11.5	12	12.7	12.6	12	13.7	14.8
10	6.2	5.9	5.9	5.9	6.6	6.2	5.8	7.7	9.7
11	-1.2	-0.5	-0.4	0.1	-0.9	-0.4	-1.1	0.6	2.7
12	-6.3	-6.7	-6	-7.2	-6.5	-5.6	-6.2	-5.2	-3
по отношению к норме за период 1976-2005 гг.									
1	-0.2	0.3	1.1	0.9	0.3	2.4	0.1	1.4	6.1
2	1.2	2.0	1.8	3.0	1.8	3.7	1.6	4.2	6.7
3	1.8	2.7	3.2	2.3	2.8	3.5	2.6	4.0	5.8
4	3.1	2.7	2.6	2.4	2.1	3.1	2.3	3.7	5.3
5	1.8	1.1	1.1	0.7	1.6	2.0	1.8	2.4	3.8
6	0.6	1.2	0.1	0.5	0.9	1.6	0.8	1.2	3.5
7	0.6	0.7	-0.2	-0.5	0.4	0.7	0.3	1.0	2.4
8	1.2	1.4	0.3	1.0	1.9	1.6	0.7	2.4	3.7
9	2.3	2.0	1.5	2.0	2.7	2.6	2.0	3.7	4.8
10	2.9	2.6	2.6	2.6	3.3	2.9	2.5	4.4	6.4
11	2.2	2.9	3.0	3.5	2.5	3.0	2.3	4.0	6.1
12	1.7	1.3	2.0	0.8	1.5	2.4	1.8	2.8	5.0

В качестве примера на Рис.4.11 показан многолетний ряд температур января, апреля, июля и октября на метеостанции Кострома с 1937 г. по 2014 г. г., а также значения норм за периоды наблюдений и сценарных норм за будущие периоды до конца 21 века на основе трех основных сценариев и по МРІ-модели института Макса Планка (Германия).

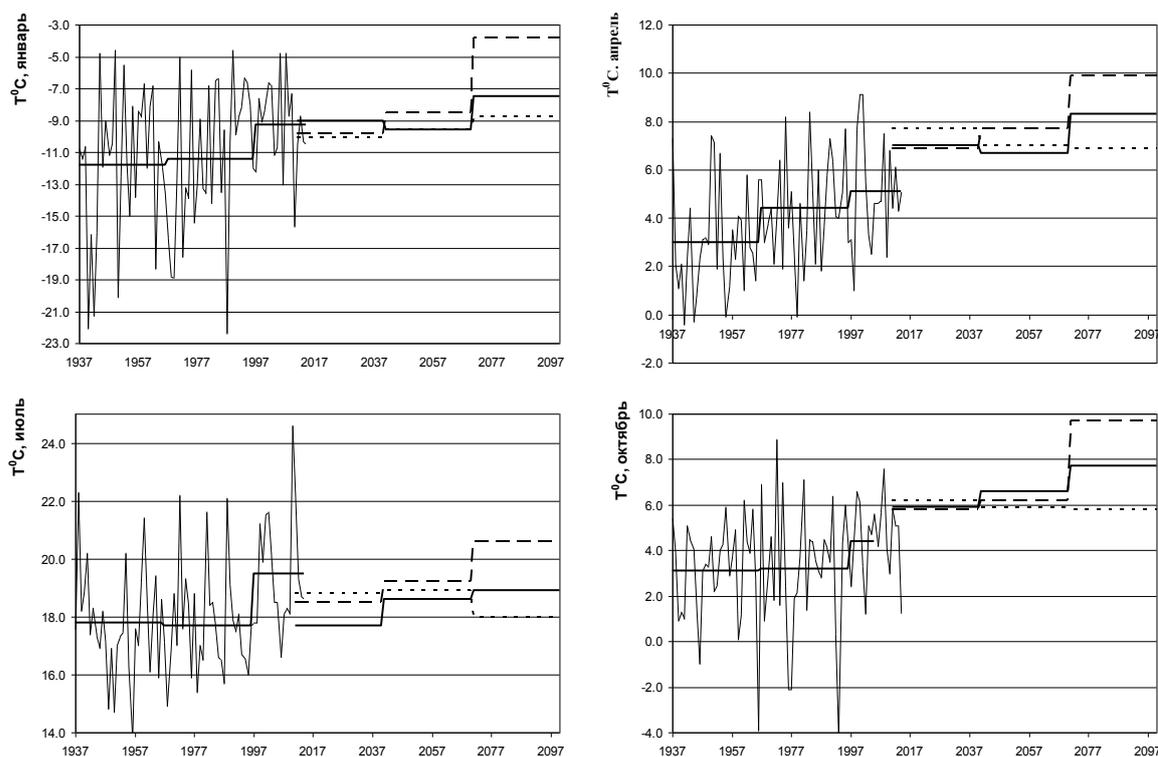


Рис.4.11. Многолетние ряды температуры января, апреля, июля и октября на метеостанции Кострома и климатические нормы по данным наблюдений и сценарных оценок до конца XXI века.

На Рис.4.11 будущие климатические нормы по среднему сценарию RCP4.5, также как и по данным наблюдений, показаны сплошной линией. В целом же можно сделать вывод, что климатическая норма января за последние 30 лет наблюдений (1985-2014 гг.) равна -9.6°C , а ожидаемые климатические нормы на последующие три 30-летних периода, начиная с 2011 г. по наиболее реалистичному сценарию RCP4.5 будут составлять -9.0°C , -9.6°C и -7.5°C соответственно. Поэтому до 2071 г. климатическая норма января практически не изменится и только в последней трети 21 века следует ожидать ее рост примерно на 2°C . По самому неблагоприятному сценарию RCP8.5 климатические нормы до последней трети 21 века также практически не увеличатся, а резкое повышение почти на 5°C ожидается также только в конце века. Кроме того, естественная изменчивость температуры января очень большая при размахе колебаний в 17°C и при среднем квадратическом отклонении 2.3°C .

Для весенней температуры на примере апреля предполагается рост нормы уже в первой трети 21 века с 2011 г. сразу на 2°-3°C. Хотя наблюдаемый прирост нормы за последних два тридцатилетних периода (1955-1984 гг. и 1985-2014 гг.) составил всего около 1.5°C. В последней трети 21 века весной ожидается дальнейшее увеличение нормы еще на 1.5°C по RCP4.5 и на 2.2°C по RCP8.5. Естественная стандартная многолетняя изменчивость температуры в апреле также высокая и составляет 2.3°C при размахе около 10°C.

Летом же в июле стандарт естественной изменчивости несколько ниже и составляет 2.0°C при размахе колебаний около 11°C. Если вместо аномально большого среднего за последние 18 лет в 19.5°C (1997 - 2014 гг.) рассматривать норму за последний 30-летний период (1985-2014 гг.) равную 18.7°C, то последующие нормы отдельных 30-леток 21 века практически мало будут от нее отличаться. При этом в первый период с 2011 по 2040 гг. ожидается даже небольшое уменьшение нормы примерно на 1°C по среднему сценарию RCP4.5, а затем небольшой рост примерно на 0.5°C по сравнению с последним 30-летним периодом наблюдений. Поэтому можно считать, что климатическая норма летних температур практически не изменится в течение 21 века.

Норма осенних температур (октябрь) в последний 30-летний период (1985-2014 гг.) составляла 4.0°C (при изменчивости за весь период наблюдений в 2.4°C при размахе в 13°C) и превышала предыдущие нормы с 1937г. примерно на 1.0°C. Практически по всем сценариям в первой трети века (2011-2040 гг.) норма должна вырасти еще на 2°C и составлять 5.8°-6.2°C, затем практически остается неизменной и только по сценарию RCP4.5 растет до 6.6°C, но зато в последней трети века увеличивается по среднему сценарию до 7.7°C, а по наиболее неблагоприятному RCP8.5 до 9.7°C. Поэтому повышение осенней нормы ожидается уже скоро на 2°C, а к концу века – почти на 4°C по среднему сценарию и почти на 6°C по неблагоприятному.

Поэтому можно сделать вывод, что наибольший рост температурных норм по сценариям ожидается в весенний и осенний периоды (в среднем на 3°-4°C), наименьший – летом (на 1.5°C) и зимой – примерно на 2°C. и то в последней трети века. Об этом же свидетельствуют и данные наблюдений с 1937 г. на основании которых за весь период наблюдений 30-летняя климатическая норма выросла 1.5°C зимой, более, чем на 2°C весной и всего на 1.0°C летом и осенью. Единственно, что мало обосновано данными наблюдений – это ближайший предполагаемый рост весенних и осенних температур сразу на 2°-3°C.

Аналогичные расчеты по климатическим сценариям выполнены и для трех остальных метеостанций и результаты для характерных месяцев года по отношению к норме за период 1976-2005 гг. приведены в Табл. 4.6. Как следует из Табл. 4.6 для остальных трех метеостанций Костромской области получены практически такие же результаты, как и для метеостанции Кострома: небольшие изменения по сценариям RCP2.6 и RCP4.5 особенно до 2070 г. и большие увеличения температур до $\Delta t = 6^\circ\text{-}7^\circ\text{C}$ по сценарию RCP8.5 в последней трети 21 века.

Таблица 4.6.

Сценарные оценки изменения норм температур воздуха на реперных метеостанциях Костромской области до конца XXI века в °С.

М-цы	Сценарии, периоды								
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Метеостанция Вохма									
1	1.4	1.5	1.9	1.7	1.2	3.4	1.1	2.6	6.9
4	3.5	3.3	3.6	3.1	2.9	3.9	2.8	4.3	6.1
7	0.9	1.1	0.3	-0.1	0.8	1.1	0.6	1.5	3.1
10	3.2	2.6	3	2.5	3.5	2.9	2.6	4.5	6.8
Метеостанция Макарьев									
1	-0.3	0.1	-0.3	0.4	-0.1	2	-0.9	1.1	5.6
4	3.1	3	3	2.8	2.4	3.5	2.5	4	5.8
7	1	1.1	0.4	0	0.9	1.3	0.7	1.6	3.2
10	3.2	2.8	3	2.8	3.6	3.1	2.7	4.7	6.8
Метеостанция Чухлома									

1	0.5	0.9	1.6	1.4	0.8	2.9	0.8	2	6.6
4	3	2.9	3	2.6	2.5	3.5	3.5	3.9	5.6
7	0.8	1	0.1	-0.3	0.6	0.9	0.5	1.2	2.7
10	2.5	2.1	2.3	2.1	2.9	2.4	2.1	3.1	6

Для пространственного сопоставления ожидаемых климатических изменений в характерные месяцы года по наиболее реалистичному сценарию RCP4.5 на Рис.4.12 приведены климатические нормы по всем четырем метеостанциям за три 30-летних периода 21 века. При этом метеостанция Вохма отражает самую холодную северо-восточную часть области, Кострома – самую теплую – юго-западную часть территории, Макарьев – центр, а Чухлома – северо-запад.

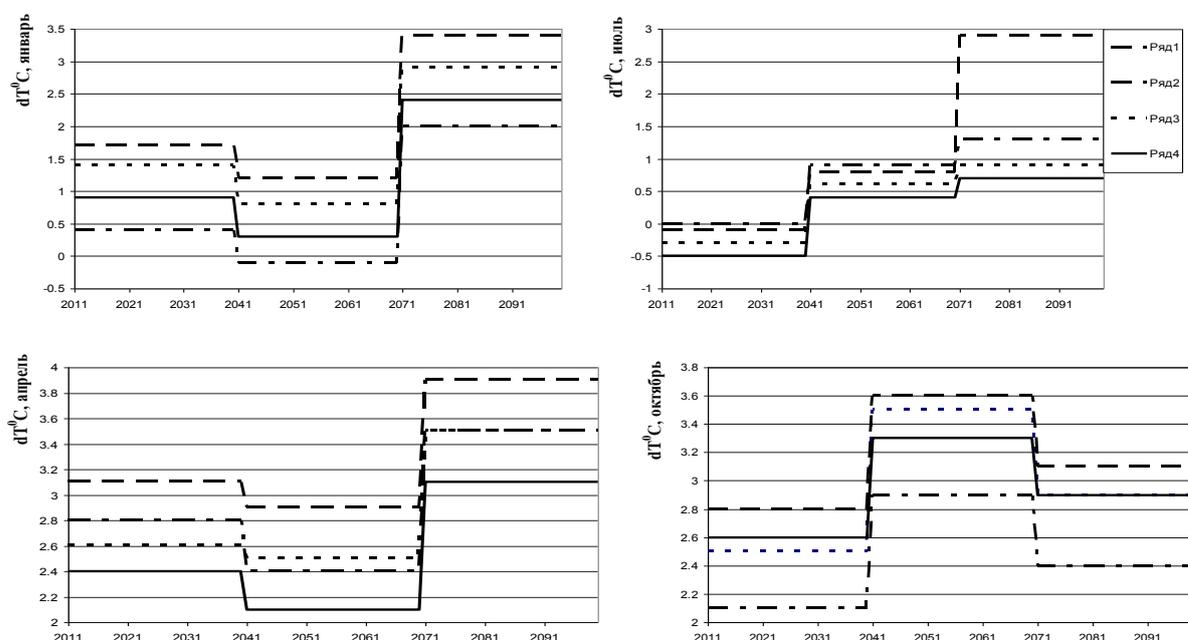


Рис.4.12. Изменение будущих климатических норм ($dt^{\circ}C$) характерных сезонных месяцев по сценарию RCP4.5 по отношению к норме за период 1976-2005 гг., где ряд 1 – Вохма (пунктир), ряд 2 – Макарьев (штрих-пунктир), ряд 3 – Чухлома (точки), ряд 4 – Кострома (сплошная).

Из анализа будущих климатических норм следует, что наибольших изменений следует ожидать в апреле (почти до $dt = 4^{\circ}C$ на метеостанции Вохма), а наименьших – в июле. Причем в июле рост температур даже в конце 21 века составит всего около $1^{\circ}C$ за исключением метеостанции Вохма, где предполагается, что dt резко возрастет с $dt = 1^{\circ}C$ до $dt = 3^{\circ}C$, что

маловероятно. Январские температуры ожидает рост в ближайшие 30 лет от $dt = 0.4^{\circ}\text{C}$ (Макарьев) до $dt = 1.7^{\circ}\text{C}$ (Вохма), затем падение от $dt = -0.1^{\circ}\text{C}$ (Макарьев) до $dt = 1.2^{\circ}\text{C}$ (Вохма) и затем снова рост от $dt = 2.4^{\circ}\text{C}$ (Макарьев, Кострома) до $dt = 3.4^{\circ}\text{C}$ (Вохма). Поэтому зимой наибольший рост температур ожидается на северо-востоке, а наименьший на юге области. Наибольший рост ожидается весной и также на северо-востоке до $dt = 3.9^{\circ}\text{C}$ (Вохма), причем в середине 21 века ожидается даже некоторое падение dt до 2.1°C (Кострома) и до $dt = 2.9^{\circ}\text{C}$ (Вохма). Осенью наоборот наибольший рост температур ожидается в середине 21 столетия от $dt = 2.9^{\circ}\text{C}$ (Макарьев) до $dt = 3.6^{\circ}\text{C}$ (Вохма), а затем к концу века падение по отношению к середине столетия примерно на 0.5°C .

Для подтверждения начавшегося роста апрельских температур воздуха на Рис.4.13 приведены графики наблюдаемой температуры этого месяца с начала наблюдений до 2014г. для каждой из 4х рассматриваемых метеостанций.

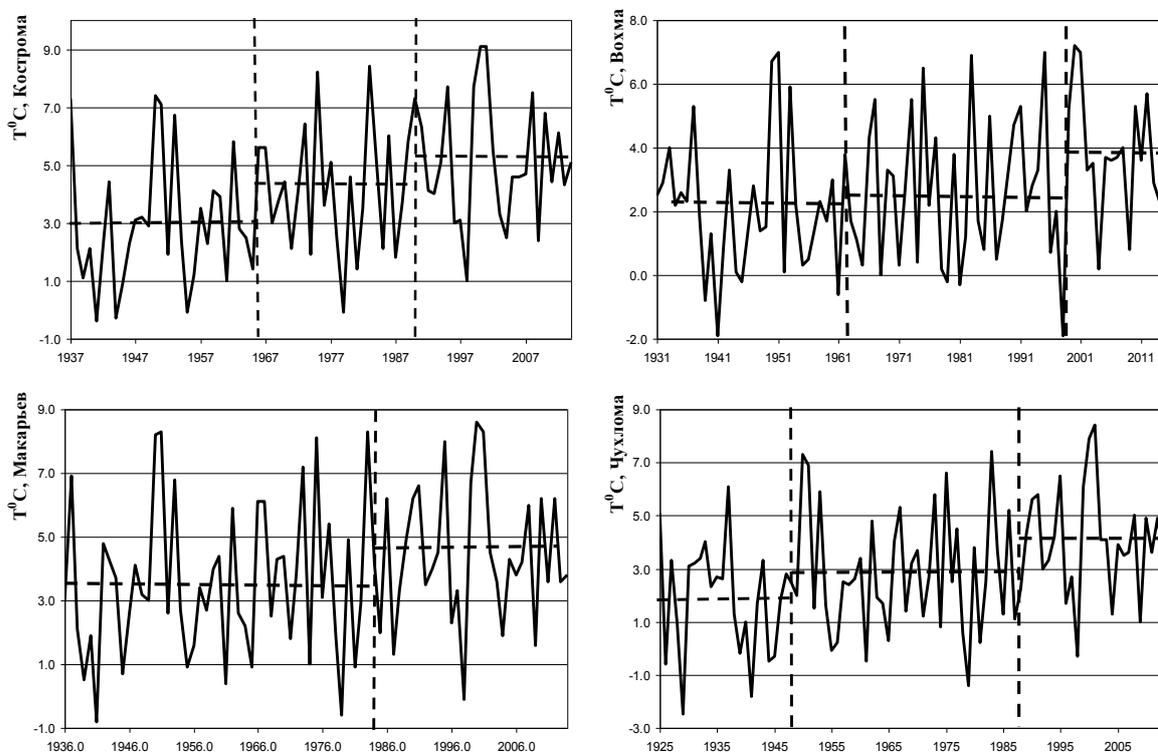


Рис.4.13. Климатические изменения среднемесячной температуры апреля по данным наблюдений на четырех реперных метеостанциях Костромской области.

Даже визуальный анализ графиков позволяет сделать вывод, что норма температур апреля в течение всего периода наблюдений ступенчато повышалась, что соответствует наиболее распространенному виду модели климатических изменений [32,33,34,27]. Если же выбрать 2-3 квазистационарных периода, то это повышение нормы составляет: $dt=2.5^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Кострома, $dt=1.7^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Вохма, $dt=1.1^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Макарьев и $dt=2.1^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Чухлома. Хотя на метеостанции Вохма за весь период наблюдений подъем температур и не столь большой, но эти изменения относятся к последнему периоду. В тоже время на метеостанции Кострома за последний период dt всего около 1°C . Поэтому вполне можно ожидать большего прироста температур в ближайшее время именно в северо-восточной части области по отношению к южной, что как раз и дают климатические сценарии.

Таким образом, в результате исследований:

- выбрана наиболее подходящая климатическая модель метеорологического института Макса Планка (Гамбург, Германия), которая имеет наименьшие расхождения с климатическими нормами температуры по данным наблюдений за совместный период;
- на основании этой модели и наиболее реалистического климатического сценария RCP4.5 получено, что наибольший прирост температур до 4°C следует ожидать весной и на северо-востоке области, а наименьший – летом и всего на 1°C . Зимние температуры вначале ненамного поднимутся (примерно на 1°C), затем насколько же упадут и только в конце 21 века ожидается их повышение сразу на $1-2^{\circ}\text{C}$;
- данные наблюдений весенних температур также свидетельствуют о наибольшем ступенчатом росте и в последний период именно для северо-востока области.

Заключение

На основании проведенного детального исследования по оценке регионального изменения таких основных климатических характеристик как температура воздуха и осадки на территории Костромской получены следующие результаты:

1. Сформированы региональные базы данных для Костромской области, включающие ряды наблюдений среднемесячных и среднегодовых температур воздуха на 14 метеостанциях со средней продолжительностью 64-65 лет, при наибольшей продолжительности 89 - 90 лет и ряды сумм месячных и годовых осадков на 34 метеостанциях со средней продолжительностью 41-42 года и наибольшей в 100 лет. На основании данных месячной дискретности получены прикладные климатические характеристики, такие как максимальные и минимальные в году среднемесячные температуры и осадки, средние температуры и осадки за лето, зиму, полугодия, коэффициенты функции годового хода температуры и показатель интенсивности синоптических процессов.
2. Анализ однородности эмпирических распределений температурных характеристик и характеристик осадков показал практическое отсутствие в них неоднородных экстремумов за исключением отдельных ошибок при подготовке данных и аномальных событий, таких, например, как жаркий июль 2010 г. Для рядов осадков был выполнен также анализ однородности во времени в связи со сменой регистрирующих приборов в 1950х годах, который показал, что осадки холодного периода года в основном являются неоднородными, а теплого - однородными. Поэтому в дальнейших исследованиях осадки холодного периода года исследовались только с 1960г.
3. Приведение к многолетнему периоду осуществлялось последовательно для многолетних рядов температур каждого месяца при задании минимального критического значения коэффициента корреляции $R_{кр}=0.85$. В результате продолжительность рядов в среднем удалось довести до 87-88 лет и для дальнейшего анализа на 13 метеостанциях (за исключением станции

Красное) использовать непрерывные продолжительные ряды наблюдений практически с 1926 г. по 2010 г. При этом погрешность восстановленных данных в среднем составляет $1/3$ от многолетней изменчивости временного ряда. Из 14 рядов наблюдений за каждой прикладной климатической характеристикой к многолетнему периоду были приведены 13 рядов за исключением параметра Se , для которого восстановлены всего 10 рядов наблюдений. Средний период наблюдений в 63 года (при вариации от 61 до 74 для разных характеристик) был увеличен за счет процедуры восстановления пропусков и удлинения рядов до 85 лет (при вариации от 81 до 87 лет), т.е. на 35%. Проведенный анализ однородности восстановленных рядов не показал каких-либо существенных отклонений гипотезы однородности и полученные ряды прикладных характеристик термического режима были использованы для оценки современных климатических изменений.

4. Из 34 рядов сумм месячных осадков за каждый месяц и год удалось восстановить от 23 до 32 рядов, для сумм годовых осадков было восстановлено всего 23 ряда. В результате процедуры приведения рядов к многолетнему периоду их продолжительность была увеличена в среднем с 34 лет для наблюдаемых данных до 78 лет, включая наблюдаемые и восстановленные данные, т.е. более, чем в 2 раза. Причем количество восстановленных лет зависело от месяца года. Так, в летние месяцы, когда естественная изменчивость осадков больше, чем в зимние (в 2-3 раза), что определило и их более низкую пространственную связанность, то и продолжительность рядов после восстановления составила всего 68-70 лет (при продолжительности наблюдаемых рядов 28-32 лет). В то же время в осенние месяцы продолжительность рядов была увеличена до 85-92 лет при продолжительности наблюдаемых рядов 36-39 лет, а в зимние месяцы среднее $N = 77-80$ лет и при такой же продолжительности $n=36-39$ лет. Весной $N = 73-76$ лет при $n=33-37$ лет. Стандартная погрешность восстановления,

которая зависит от исходной изменчивости рядов, варьировала от 6 мм до 9 мм в холодный период года и от 11 мм до 18 мм в теплый период года.

5. В качестве математического инструмента для моделирования выбраны три простые модели временных рядов: базовая модель стационарной выборки и две конкурирующие нестационарные модели линейного тренда и ступенчатых изменений, которые отвечают двум разным откликам климатической системы на внешние воздействия - или сразу же откликается или с учетом какого-то периода сопротивления этим воздействиям (триггерный механизм).

6. По наиболее продолжительному ряду наблюдений в г.Костроме установлено, что среднемесячная температура воздуха практически стационарна во все месяцы за исключением марта, в который имеет место ступенчатое увеличение температуры примерно на 4°C в начале 1980х годов, что в меньшей степени (на 2°C) проявляется и в соседние месяцы (февраль и апрель). Это ступенчатое увеличение температуры сказалось на другие температурные характеристики, такие как среднегодовая температура воздуха и коэффициент B_0 сезонной функции. Для остальных пунктов наблюдений на территории области на основе сопоставления стационарной модели с нестационарными был получен вывод, что климатические изменения проявляются ступенчато (с увеличением температуры на $1.0-1.5^{\circ}\text{C}$ с конца 1980х годов) только для рядов среднегодовой температуры воздуха и только на метеостанциях северной части территории.

7. На основе анализа коэффициентов построенных пространственных моделей удалось установить, что чем теплее лето, тем более одинаковы температуры по Костромской области и обратное, чем теплее зима, тем больше пространственный градиент или различие температур по области. Поэтому жаркое лето и холодная зима дают примерно одинаковые температуры для всех станций территории области. Аналогичные результаты получены и для соответствующих характеристик теплой и холодной температуры: наибольшая и наименьшая из среднемесячных, средняя за лето

и зиму. В переходные периоды весной и осенью таких взаимосвязей между пространственным градиентом и средней региональной температурой не наблюдается.

8. В связи с тем, что климатически значимые изменения установлены только для среднегодовой температуры воздуха в виде ступенчатого увеличения с конца 1980х годов, то на основе рядов разных характеристик температурного режима, приведенных к многолетнему периоду, были определены их более точные средние многолетние значения или климатические нормы. Анализ пространственных распределений норм температуры по Костромской области показал общие климатические закономерности увеличения средней многолетней температуры с севера-востока, на юго-запад.

9. Анализ и моделирование осадков позволило установить, что их ряды являются практически стационарными, а нестационарность осадков холодного периода года обусловлена сменой регистрирующих приборов в 1950х годах, на который дополнительно накладывается естественный период снижения осадков в 1940-1950е годы. Отдельные случаи нестационарности, не связанные со сменой приборов, детально рассмотрены и они обусловлены локальными причинами и влиянием процедуры суммирования и усиления статистических незначимых нестационарностей отдельных месяцев. Из 646 рядов различных характеристик осадков нестационарные модели имеют место только в 8 случаях или для 1% от общего их числа. Все нестационарности относятся к 4 метеостанциям (Вохма, Макарьев, Нерехта и Кологрив), причем в 4 случаях нестационарные модели имеют место для станции Вохма (твердые и жидкие осадки), а в двух (твердые и годовые) – для станции Макарьев.

10. Полученные региональные закономерности параметров пространственных моделей осадков свидетельствуют о том, что чем больше средние региональные осадки, тем меньше пространственный градиент и тем меньше внутренняя неоднородность поля. В связи с тем, что были установлены квазистационарные периоды для осадков (весь период

наблюдений для жидких осадков и период с 1960 г. по настоящее время для твердых осадков), то за эти периоды были рассчитаны уточненные нормы осадков для каждой станции и построены их пространственные модели. Наиболее равномерным является распределение норм годовых осадков с наибольшими осадками в центральной и южной частях Костромской области и с наименьшими - на севере, востоке и западе. Нормы годовых осадков изменяются по территории почти на треть: от 572мм до 724 мм. Крайне неравномерными по территории являются распределения норм летних и зимних осадков. Летние осадки варьируют по территории незначительно, всего на 10-13%: от 206 мм до 234 мм, в среднем составляют 220 мм. Наименьшие зимние осадки наблюдаются в западной части территории области, хотя распределены крайне неравномерно, изменяясь от 96 мм до 153 мм, т.е. почти на 60%. Поэтому по территории меньше всего изменяются летние осадки, а больше всего зимние, хотя их пространственные распределения значительно менее однородны по сравнению с распределением годовых осадков.

11. Ступенчатый рост температуры воздуха в северной части территории Костромской области в конце 1980х годов мог быть обусловлен совместным наложением следующих факторов:

- прежде всего, преобладающим адвекционным, что проявилось в длительной положительной фазе САК и резком ступенчатым росте индекса именно с конца 1980х и начала 1990х годов во все месяцы года с наиболее устойчивым потеплением в период с января по май, когда океан теплее суши, а также в резком увеличении числа случаев с меридиональной южной группой циркуляции и снижении атмосферного давления на станциях в марте месяце.
- радиационным, т.к. в это время имел место переход от минимума солнечной инсоляции к максимуму, что проявилось и в резком повышении приходящей солнечной радиации на верхней границе атмосферы и в суммарной радиации на земной поверхности по данным актинометрических наблюдений.

12. Выбрана наиболее подходящая климатическая модель метеорологического института Макса Планка (Гамбург, Германия), которая имеет наименьшие расхождения с климатическими нормами температуры по данным наблюдений за совместный период, на основании которой по сценарию RCP4.5 получено, что наибольший прирост температур до 4°C следует ожидать весной и на северо-востоке области, а наименьший – летом и всего на 1°C . Зимние температуры вначале ненамного поднимутся (примерно на 1°C), затем насколько же упадут и только в конце 21 века ожидается их повышение сразу на $1-2^{\circ}\text{C}$;

Выводы:

1. Анализ однородности эмпирических распределений температурных характеристик и характеристик осадков показал практическое отсутствие в них неоднородных экстремумов, что позволило привести ряды климатических характеристик к многолетнему периоду наблюдений, увеличив продолжительность рядов для температуры до 90 лет, для осадков до 70-80 лет и создать региональную базу данных по Костромской области для выполнения эффективного статистического моделирования.
2. На основе статистического моделирования временных рядов температуры воздуха получено ступенчатое увеличение среднегодовой температуры на $1.0-1.5^{\circ}\text{C}$ с конца 1980х годов на метеостанциях северной части области.
3. Установлены региональные взаимосвязи между коэффициентами пространственных моделей температуры: между градиентом поля и средним региональным значением температурной характеристики эти связи в холодный период положительны и прямо пропорциональны, а в теплый период года – отрицательны с обратной зависимостью.
4. Ряды осадков являются практически стационарными, а выявленная нестационарность осадков холодного периода года обусловлена сменой регистрирующих приборов в середине 1950х годов.

5. По установленным региональным зависимостям коэффициентов пространственных моделей осадков получено, что чем больше средние региональные осадки, тем меньше пространственный градиент и тем меньше внутренняя неоднородность поля.
6. Установлено, что ступенчатый рост температуры воздуха в конце 1980х годов, прежде всего, обусловлен изменением формы атмосферной циркуляции и усилением западного переноса, а также ростом в этот период приходящей солнечной радиации.
7. Выбрана наиболее подходящая климатическая модель MPI метеорологического института Макса Планка (Гамбург, Германия), которая имеет наименьшие расхождения с климатическими нормами температуры по данным наблюдений за совместный период.

Литература

1. Алисов Б. П. Курс климатологии, ч. 3. Климат земного шара. / Б. П. Алисов, И. А. Берлин, В. М. Михель. Л., 1954. – 97 с.
2. Анисимов О.А., Белолуцкая М.А., Лобанов В.А. Современные изменения климата и природной среды в области высоких широт Северного полушария // Метеорология и гидрология, 2003, № 1, с. 18-30.
3. Анисимов О.А., И.И.Борзенкова, Дж. Ванденберге, Е.Л. Жильцова, В.А.Лобанов, Т.В.Сапелко Быстрое потепление климата на границе позднеледниковья – голоцена как возможный аналог изменения климата и окружающей среды в первой четверти XXI века. Метеорология и гидрология, №12, 2004, с.31-42.
4. Бардин М. Ю.Изменчивость температуры воздуха над западными территориями России и странами ближнего зарубежья в XX веке, Метеорология и гидрология, № 8, 2002, с. 5–23.
5. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З. Опасные гидрометеорологические явления и их влияние на экономику России. - Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 2001.

6. Блинова Е. Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы // Докл. АН СССР. — 1943. — Т. 39, № 7. — С. 284–287.
7. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячи лет. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, 2003. - 234 с.
8. Будыко М.И., Винников К.Я. Глобальное потепление, Метеорология и гидрология, № 7, 1976, с. 16–26.
9. Будыко М.И., Анисимов О.А., Борзенкова И.И., Ефимова Н.А., Кобак К.И., Менжулин Г.В., Строкина Л.А. Прогноз антропогенных изменений климата и их последствий. //Труды Международной теоретической конференции «Проблемы гидрометеорологии и окружающей среды на пороге XXI века». Санкт-Петербург, 24-25 июня 1999г. -С.-Петербург: Гидрометеиздат, 2000. - С.35-59.
10. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н., Шаймарданов М. З., Швец Н. В. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 167, 2000б, с. 16–32.
11. Вильфанд Р.М. Современные направления прогнозирования экстремальных гидрометеорологических явлений различного масштаба.//Тезисы пленарных докладов Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности. 26-29 сентября 2006г. – М.: Росгидромет, 2006. - С.15.
12. Вительс Л. А. Месячные, сезонные и годовые характеристики барикоциркуляционного режима европейского естественного синоптического района, 1900–1964 гг. — Л.: Изд-во Гидромет. ин-та, 1965. — 128 с.
13. ВКИК. Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября —3 октября 2003 г., М., Новости, 2003, 620 с.
14. Вязилова Н. А. Роль крупномасштабного влагообмена в развитии циркуляции атмосферы в Индийском и Тихом океанах: - М., 2004. – 16 с.

15. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 280 с.
16. Груза Г. В., Клещенко Л. К., Ранькова Э. Я. Об изменениях температуры воздуха и осадков на территории СССР за период инструментальных наблюдений, Метеорология и гидрология, № 1, 1977, с. 2003, с. 66–185.
17. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата, Метеорология и гидрология, № 4, 2004, с. 50–66.
18. Дзердзеевский Б. Л. Общая циркуляция атмосферы и климат: Избр. труды. — М., 1975. — 286 с.
19. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 г. // Росгидромет. - Москва, 2011. - 66 с.
20. Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений. М.: Наука, 2006. – 173 с.
21. Зимин Ж. А. Природно-экологические ситуации Приангарской лесостепи: Автореф. дис. канд. геогр. наук. Иркутск, 2003. – 16 с.
22. Израэль Ю. А. Мониторинг климата и служба сбора климатических данных, необходимых для определения климатических изменений и колебаний. Мониторинг данных, связанных с климатом, в кн.: Всемирная конференция по климату. Расширенные тезисы докладов, представленных на конференцию ВМО, Женева, февраль 1979 г., публикация ВМО, 1979, с. 111–130.
23. Израэль Ю. А., Груза Г. В., Катцов В. М., Мелешко В. П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий// Метеорология и гидрология. – 2001. – №5. – С. 5–21.
24. Каплуненко Д.Д. Изменения климата в Северо-Восточной Азии и северо-западной части тихоого океана во второй половине 20-го столетия: Автореф. дис. канд. геогр. наук. – Владивосток, 2002. – 22 с.

25. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 270 с.
26. Кислов А.В. Климат Земли и его изменения. //Современные глобальные изменения природной среды, т.1. М.: Научный мир. -2005. 88-209с.
27. К.С. Кириллина, В.А. Лобанов Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия). Ученые записки РГГМУ, 2015, № 38, с.137-152.
28. Кононова Н.К., Хмелевская Л.В. Многолетние колебания дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов внетропических широт Северного полушария. // Известия РАН, сер.геогр., 2011, № 3. - с. 43-62.
29. Котляков В.М. Глобальные изменения климата: антропогенное влияние или естественные вариации? //Экология и жизнь. -2001. -N 1. -С.44-47,288
30. Лобанов В.А., Анисимов О.А. Современные изменения температуры воздуха на территории Европы // Метеорология и гидрология. 2003, № 2, с. 5-
31. Лобанов В.А., А.Е. Шадурский. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73-88.
32. Лобанов В.А., А.Е.Шадурский Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. Монография. Санкт-Петербург, издание РГГМУ, 2013. – 123 с.
33. Лобанов В.А., Тошакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Кострома. 2013 – 171 с.
34. Лобанов В.А., О.А.Шукри Оценка климатических изменений температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове. Ученые записки РГГМУ, № 37, с.72-83.
35. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник. - СПб.: изд. РГГМУ, 2008.-408 с.

36. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский-Малевич С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Чон В.Х. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей. *Метеорология и Гидрология*. №4, 2004, 38-49.
37. Мелешко В.П., В.М. Катцов, В.М. Мирвис, В.А. Говоркова, Т.В. Павлова. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного воздействия на климат и новые возможности оценки его изменений на территории России. – *Метеорология и гидрология*, 2008, №6, 5-19.
38. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В. А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 3: Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3, *Метеорология и гидрология*, № 9, 2008б, с. 5–19.
39. Морозова С.В. Исследование волн тепла и холода для долгосрочного прогноза резких изменений температуры воздуха в течение месяца: Автореф. дис. канд. геогр. наук. – Саратов, 2001. – 22 с.
40. Мохов И. И., Елисеев А. В., Демченко П.Ф., Хон В.Ч., Акперов М. Г., Аржанов М.М., Карпенко А.А., Тихонов В.А., Чернокульский А.В. Климатические изменения и их оценки с использованием глобальной модели ИФА РАН, *Доклады РАН*, т. 402, № 2, 2005, с. 243–247.
41. Научно-прикладной справочник по агроклиматическим ресурсам СССР. Серия 2, ч.1-2, вып. 29. Нижний Новгород, 1991. – С. 656.
42. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М.:Триада, лтд, 2013. – 144 с.
43. Переведенцев Ю.П. Теория климата. Казанский государственный университет, 2009 – 503 с.
44. Платова Т. В. Климатическая характеристика некоторых показателей экстремальности температуры приземного воздуха и атмосферных осадков на территории России, *Бюллетень “Использование и охрана природных ресурсов в России”*, № 1, 2007, с. 38–47.

45. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Ленинград, Гидрометеиздат, 1984. – 78 с.
46. Росгидромет. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. Росгидромет, Москва, 2005 - 28 с.
47. Росгидромет, 2008: Первый оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации.
48. Семенов Д. А. Воздействие биоты на глобальный климат: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Красноярск, 2003. – 23 с.
49. Справочник по климату СССР. Вып.29. Температура воздуха и почвы. Ленинград, 1964. – с. 208.
50. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., Госстрой России, 2004. – 73 с.
51. СС РАН. Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола: материалы Совета-семинара при Президенте РАН, М., Наука, 2006. - 408 с.
52. Справочник по климату СССР. Вып.29. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Ленинград, 1968. – С.334.
53. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии под. Ред. И.Г. Грингофа. Ленинград, 1986. – С.527.
54. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Учебное пособие. - СПб, изд. РГГМУ, 2006. - 84 с.
55. Хворостьянов Д. В. Диагностика и моделирование климатических квазициклов, связанных с Эль-Ниньо и Северо-Атлантическим колебанием: Автореф. дис. канд. физ. – мат. наук. – М., 2002. – 20 с.
56. Храмова И. Г. Сезонные особенности зональных и меридиональных процессов над территорией Западной и Восточной Сибири // Труды Зап.-Сиб. регион. НИГМИ. — М.: Гидрометеиздат, 1978. - Вып. 36. - С. 62-69.

57. Б.Г. Шерстюков, В.Н. Разуваев, В.В. Соколов, С.Э. Дринева, О.Н. Булыгина, Н.Н. Коршунова, Е.Г. Апасова, Л.В. Филина, А.А. Оськин. Климат Чувашской Республики и его возможные изменения в условиях глобального потепления. – Обнинск -Нижний- Новгород-Чебоксары.: «Меркурий». -2006. -231с.
58. Шерстюков Б.Г., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н. Современное состояние климатических условий Калужской области и их возможные последствия в условиях глобального потепления. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2001. -229с.
59. Шерстюков Б.Г. Сценарии тенденций некоторых характеристик климата Москвы в условиях текущего глобального потепления. //Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып.171, 2003, С.Петербург, Гидрометеиздат – Обнинск ГУ ВНИИГМИ-МЦД, - с.51-78.
60. Школьник И.М., В.П.Мелешко, В.М.Катцов Возможные изменения климата на европейской части России к концу 21 века: расчет с региональной моделью ГГО. – Метеорология и гидрология, 2006. №3, с.5-16.
61. Школьник И. М. Гидродинамическая модель регионального климата для Европейской территории России: Автореф. дис. канд. физ.- мат. наук. – СПб., 2004. – 18 с.
62. Яковенко Э. С. Роль циркуляционных и радиационных факторов в формировании режима местных погод в некоторых районах Прибайкалья, Забайкалья и юга Дальневосточного Приморья // Курортные ресурсы Сибири и задачи их освоения. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1970. — С. 183–189.
63. Alexander L. V., Zhange X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., et al., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, J. Geophys. Res. Atmosphere, vol. 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
64. About the WCRP CMIP5 Multi-Model Dataset Archive at PCMDI: http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php

- 79.64 Benestad R. E., 2005. Climate change scenarios for northern Europe from multi-model IPCC AR4 climate simulations, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, L17704, doi: 10.1029/2005GL023401.
65. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1552 pp.
66. Chaffee R. R. Temperature acclimation in birds and mammals / R. R.Chaffee, Roberts J. C. // *Annu. Rev. Physiol.*, 1971, vol. 33, p. 155 – 202.
67. Irving L., *Appl J. Temperature of skin in pig / Physiol.*, 1956. № 9. – P.414 – 420.
68. Frich P., Alexander L. V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A. M. G., and Peterson T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Res.*, vol. 19, pp. 193–212.
69. Gates W.L., 1992: AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 1962-1970.
70. Jessen R. An assessment of human regulatory mechanisms of non shivering thermogenesis / *Acta anaesthesiol.*, 1980, vol. 24, № 3, p. 138 – 143.
71. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A., eds. Climate change 2001: the scientific basis Contribution of working group I to the Third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2001, Cambridge University Press, Cambridge, 881 p.
72. Hudson I.W. Patterns of torpidity in small mammals / I. W. Hudson, K. C. Fisher // *International Symposium on Natural Mammalian Hibernation*. American Elsevier Publ. Co., New York. 1968. – P. 30 – 40.

73. Karl E. Taylor, Ronald J. Stouffer, and Gerald A. Meehl, An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, Bull. American Meteorological Society, April 2012, p.485-498.
74. Lobanov V.A., Lobanova H.V. Trends in cold climate characteristics // Urban Drainage in specific Climates in Cold Climate. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, N 40, Vol. II UNESCO, Paris, 2000, p 171-199.
75. Lobanov V.A. Empirical-statistical methodology and methods for modelling and forecasting of climate variability of different temporal scale // Advances in Atmospheric Sciences. 2001, Science Press, Beijing, p. 844-863.
76. Lobanov V.A. Application of models of nonstationary processes for hydrological computations. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, № 9 UNESCO Publ., Paris, 1999: p.155-164.
77. Rossby C.-G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action // Journ. Marine Res. — 1939. — Vol. 2. — P. 38–55.
78. Scholander P. F. Insulation of some arctic and tropical mammals and birds / P. F. Scholander, V. Walters, R. Hock, L. Irving. – Biol. Bull., 1950, vol. 99, p.225.
79. Schmidt – Nielsen K. Panting in dogs / K. Schmidt – Nielsen, Bretz W. L., Taylor C. R. /Science. 1970.- №169. P. 1102 – 1104.
80. Taylor K.E., J R. Stouffer, G.A.Meehl, 2012. An overview of CMIP5 and experiment design. Bull. American Meteorological Society. April 2012, p.485-498.
81. Waites G. M. Temperature regulation by scrotum of ram. / Exp. Physiol. 1963.-№14. – P. 839 – 851.

Электронный ресурс:

82. Изменение климата России. ИГКЭ. Режим доступа <http://climatechange.su/>
83. Кононова Н.К. Колебания циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. Режим доступа www.atmospheric-circulation.ru
84. Новости погоды. Режим доступа <http://www.meteonovosti.ru>
85. Climatic Research Unit: Data Режим доступа <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

86. <http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613> -
Раздел «Изменения климата в России в 21 веке (модели СМIP 5)» с
официального сайта ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И.
Воейкова»;