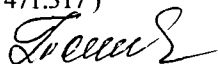


Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный гидрометеорологический университет»
(РГГМУ)

На правах рукописи
УДК 551.506 (471.317)



Тошакова Галина Геннадьевна

СОВРЕМЕННОЕ И БУДУЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Специальность: 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

2 MAR 2016

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук



Санкт-Петербург – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Владимир Алексеевич Лобанов

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор Нина Владимировна Кобышева, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Горошкова Наталья Ивановна,
Государственный гидрологический институт

Ведущая организация: Казанский (Приволжский) федеральный университет

Защита диссертации состоится 24 марта 2016 года в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 16 февраля 2016 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д.212.197.01

кандидат физико-математических наук, доцент

Л.В. Кашлева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. 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.

Чтобы выяснить, проявляется ли глобальное потепление в конкретных природных характеристиках и на конкретной территории необходимо осуществить детальное исследование и моделирование динамики временных рядов. Детальный анализ и статистическое моделирование динамики временных рядов температуры и осадков позволит выявить климатические особенности региона и создать качественную и обновленную базу климатической информации для территории Костромской области с целью дальнейших научных исследований, применения в оперативной работе, обучающем процессе, а также позволит наиболее рационально использовать климатический потенциал территории при планировании путей формирования устойчивого развития региона.

Цель и задачи исследования. Цель - оценка климатических изменений температуры воздуха и осадков 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 временных рядов температуры воздуха и осадков, основанный на применении статистических критериев для выявления резко отклоняющихся неоднородных экстремумов в эмпирических распределениях и оценки однородности;
- формирование непрерывных и многолетних рядов наблюдений одинаковой продолжительности, начиная с конца 1920х годов и заканчивая последними годами наблюдений по всем метеостанциям Костромской области;

- оценка эффективности и статистической значимости нестационарных 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 пространственных статистических моделей климатических характеристик для территории Костромской области и исследование коэффициентов этих моделей во времени и во взаимосвязи;
- выбор наиболее эффективной физико-математической модели климата при сравнении данных наблюдений и моделирования за совместный период;
- определение будущих значений температуры воздуха в Костромской области на основе наиболее эффективной модели климата.

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.

Научная новизна:

- проведена оценка однородности и качества метеорологических наблюдений и сформирована региональная база надежных данных, включающая ряды

среднемесячных температур воздуха и осадков, приведенные к многолетнему периоду с восстановленными пропусками;

- впервые для территории Костромской области выполнено детальное исследование и моделирование динамики временных рядов температуры воздуха и осадков и получены выводы о нестационарности среднегодовых и весенних температур воздуха;

- установлены причины выявленной нестационарности, связанные с изменением характера атмосферной циркуляции в конце 1980х годов, что наиболее проявилось в весенний период;

- получены пространственные закономерности параметров нестационарности, климатических норм и коэффициентов моделей для Костромской области;

- определена наиболее эффективная климатическая модель для Костромской области и на ее основе дана оценка будущих значений температуры воздуха до конца 21 века.

Теоретическая значимость диссертационного исследования.

Разработана методика по выявлению климатических изменений в рядах температуры воздуха и осадков на региональном уровне. Методика включает в себя выбор наиболее эффективной модели из трех конкурирующих: модели случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений и пространственное обобщение показателей отклонения от стационарной модели. Для стабильных и однородных условий применена методика построения пространственной статистической модели, параметры которой характеризуют региональный градиент и средние региональные условия и анализируются на наличие в них климатических изменений. Предложен метод выбора наиболее подходящей для региона климатической модели по сопоставлению данных моделирования с данными наблюдений за совместный период.

Практическая значимость работы.

Совокупность выполненных научных исследований по оценке современных и будущих проявлений климатических изменений позволит наиболее рационально использовать климатический потенциал территории Костромской области, а

также является дополнительной информацией при планировании путей формирования устойчивого развития региона.

Методы исследования.

В основе диссертационного исследования лежит применение объективных статистических методов, как для анализа данных, так и для моделирования. Методы статистического оценивания в виде статистических критериев Диксона, Смирнова - Граббса, Фишера, Стьюдента применялись для оценки качества и однородности данных, для выбора статистически эффективной модели временного ряда. Методы регрессионного анализа применялись для восстановления пропусков наблюдений и приведения непродолжительных рядов к многолетнему периоду, для построения временных и пространственных моделей, для установления взаимосвязей между коэффициентами моделей и факторами. Методы пространственной интерполяции использованы при картировании показателей нестационарности и климатических норм.

Научная обоснованность и достоверность положений и выводов подтверждается проверенной и качественной информацией, заложенной в анализ и моделирование, а также применением объективных и эффективных статистических методов и большим количеством выполненных расчетов для разных климатических характеристик с последующей согласованностью полученных результатов.

Личный вклад автора.

Автором самостоятельно была подготовлена региональная база данных, осуществлена проверка ее качества и однородности и подготовлена информация для последующего анализа и моделирования. Также автором самостоятельно выполнены расчеты для моделирования. В диссертации используются результаты работ, выполненных в соавторстве с В.А.Лобановым.

Апробация работы.

Материалы, лежащие в основе работы, докладывались и обсуждались на Итоговой сессии и семинарах в РГТМУ, на научно-техническом совете в ФГБУ «Центральное УГМС», на заседании кафедры промышленной экологии и безопасности лесомеханического факультета Костромского государственного

технологического университета (КГТУ), в Костромской областной научно-технической библиотеке им. Н.К.Крупской, используются автором в учебном процессе КГТУ по дисциплине «Опасные природные процессы», используются Костромским ЦГМС-филиалом ФГБУ «Центральное УГМС» в оперативной работе.

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 монографии и 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного содержания, включающих 40 таблиц и 53 рисунка, заключения и списка литературы из 86 наименований. Полный объем диссертации составляет 148 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обосновывается актуальность, формируются цель и задачи исследования, излагается научная новизна и значимость работы. Определены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит основные сведения о причинах исторического и современного изменения климата и свидетельств их проявлений на региональном уровне.

В отдельном разделе главы произведен критический обзор существующих методов и результатов исследований изменений климата, из которого следует, что большинство выводов о глобальном потеплении и катастрофических его последствиях делается на основе модельных расчетов и сейчас существует около 30 моделей общей циркуляции атмосферы, которые используются в расчетах для перспективной оценки будущего климата.

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 также влияния на него взаимодействия атмосферы и океана.

В главе также приводятся основные сведения о Костромской области, ее географические и климатические особенности. Даны результаты и предварительные выводы о том, что климатические нормы температуры растут, количество опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений устойчиво увеличивается.

Далее в главе изложены теоретические положения методики моделирования временных рядов, оценки проявления изменений климата, классификации полученных закономерностей динамики по территории и построения пространственных моделей.

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. Простые модели допускают, что вся климатическая изменчивость может быть представлена одной композицией случайных процессов, а возможная нестационарность климатических изменений проявляется в нестационарности средних значений. Сложные же композиционные модели предназначены для выделения отдельных составляющих разного временного масштаба и их последующего моделирования.

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

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

Моделирование временных рядов включает три основные стадии:

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

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

$$\Delta_{тр} = \left(\frac{\overline{by} - b\bar{y}}{\overline{by}} \right) * 100\%$$

$$\Delta_{ступ} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} \right) * 100\%$$

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 этой цели рассчитываются статистики критерия Фишера для отношения остаточных дисперсий каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки:

$$F_{тр} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}$$

$$F_{ступ} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{ступ}^2}$$

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.

После обработки и моделирования климатических данных в каждом пункте, осуществляется пространственное обобщение полученных закономерностей с выделением областей, где имеют место стационарные или нестационарные модели. Для однородных областей строятся пространственные модели,

связывающие ежегодные поля климатических характеристик со средним многолетним полем и устанавливаются закономерности их коэффициентов во времени и во взаимосвязи друг с другом. Линейная пространственная модель имеет вид:

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

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 и соответственно связанные с пространственным градиентом и средним по территории; E_{ij} – случайные отклонения.

Во второй главе представлена сформированная региональная база данных по характеристикам термического режима, включающая как среднегодовую и среднемесячную температуру, так и прикладные климатические характеристики на 14 метеостанциях Костромской области. Для наблюдаемых рядов проведена оценка однородности и качества данных по критериям Диксона и Смирнова - Граббса, на основе которой установлено, что резко отклоняющиеся неоднородные экстремумы в рядах климатических характеристик температуры полностью отсутствуют. Выполненное для рядов температуры приведение к многолетнему и периоду и восстановление пропусков наблюдений позволило увеличить продолжительность рядов в среднем на 20 лет и сформировать многолетние однородные ряды с общим началом примерно с середины 1920х годов и продолжительностью около 90 лет для выполнения эффективного статистического моделирования.

Прежде всего было выполнено моделирование наиболее продолжительных исторических рядов наблюдений на метеостанции Кострома с 1843 г. Для среднегодовой температуры наиболее эффективной оказалась модель ступенчатых изменений, которая идентифицирует подъем температуры в 1988 г. на 1.5°C (Рис.1).

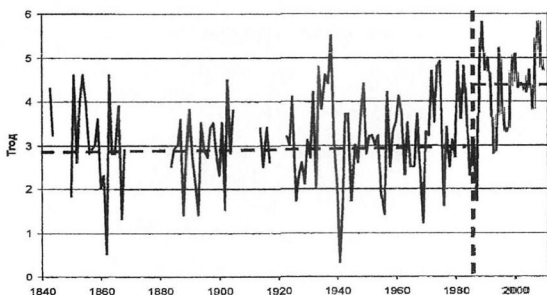


Рис.1. Хронологический график среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Кострома.

Для того чтобы раскрыть причину резкого ступенчатого увеличения среднегодовой температуры, было осуществлено статистическое моделирование среднемесячной температуры воздуха, и подобный ступенчатый рост температуры был обнаружен только для трех месяцев: февраль, март и апрель, хронологические графики для которых приведены на Рис.2, на котором также показан стационарный ряд июльских температур с неоднородным экстремумом. Причем, наибольшее ступенчатое увеличение температуры, составляющее около 4°C , наблюдается в марте.

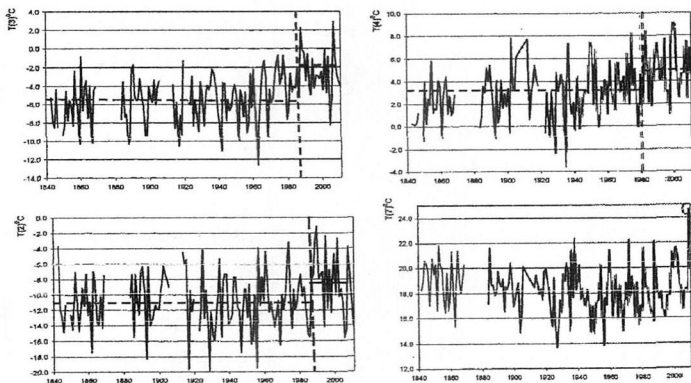


Рис.2. Хронологические графики нестационарных и неоднородных рядов среднемесячных температур воздуха, на метеостанции Кострома.

Статистическое моделирование, выполненное для температуры воздуха на остальных метеостанциях Костромской области, показало, что число эффективных нестационарных моделей составляет всего 7% от всех рассматриваемых 280 рядов разных климатических характеристик термического режима на 14 метеостанциях. Нестационарность практически во всех случаях обусловлена аналогичным ступенчатым ростом температуры в конце 1980х годов, который проявляется в центральной и северной части области, как показано на Рис.3, где приведена карта отклонений модели ступенчатых изменений от стационарной $\Delta_{\text{ступ}}$ в % для среднегодовой температуры воздуха. Причем ступенчатый рост среднегодовой температуры, составляющий 1.0-1.5^oC также обусловлен нестационарностью среднемесячной температуры марта и апреля, но для которых число нестационарных рядов еще меньше, т.к. при расчете среднегодовой температуры идет фильтрация случайных составляющих и выделение нестационарностей, которые могут быть статистически незначимы в каждом слагаемом.

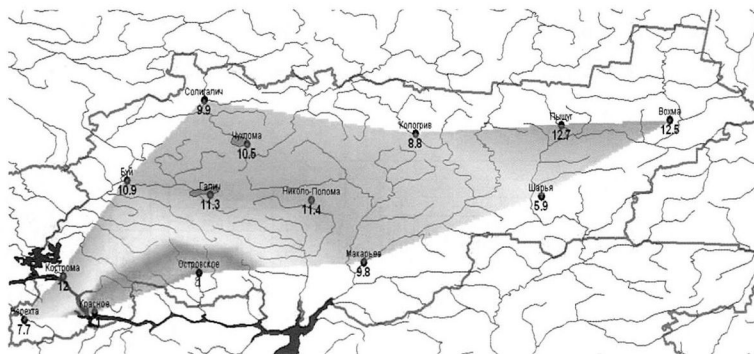


Рисунок 3. Пространственное распределение $\Delta_{\text{ступ}}$ в % для среднегодовой температуры воздуха.

Статистические пространственные модели для Костромской области были получены для каждой из 20 характеристик температурного режима и для каждого коэффициента пространственных моделей было осуществлено моделирование во времени. Из 60 рядов параметров пространственных моделей разных

температурных характеристик эффективные нестационарные модели ступенчатых изменений имеют место только в 6 случаях, а статистически значимые модели полностью отсутствуют.

Между коэффициентами пространственных моделей установлены региональные взаимосвязи, причем наиболее эффективные из них имеют место между коэффициентами A_1 и A_0 или между градиентом поля и средним региональным значением температурной характеристики. 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. Поэтому, 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.

В заключительной части главы рассчитаны уточненные климатические нормы за весь многолетний период для стационарных рядов и за период с конца 1980х – для нестационарных. Получено, что нормы среднегодовой температуры мало изменяются по территории и их размах составляет всего $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$. Из остальных климатических характеристик наибольшую территориальную изменчивость имеет средняя температура за зиму ($\Delta T = 3.8^{\circ}\text{C}$), а наименьшую ($\Delta T = 1.6^{\circ}\text{C}$) – летняя температура. На основе рассчитанных норм по каждой станции построены карты их пространственных распределений.

Глава третья, состоит из пяти разделов, в которых были выполнены: оценка однородности рядов осадков, восстановление пропусков и приведение к многолетнему периоду рядов стандартных и прикладных характеристик режима увлажнения, оценка исторических изменений осадков с середины 19 века по данным наблюдений в Костроме и по территории области, построение пространственных моделей характеристик осадков. Как следует из Рис.4, 32 пункта наблюдений размещены достаточно равномерно по территории, что

создает условия для эффективного восстановления данных по аналогам и последующего пространственного обобщения результатов анализа.

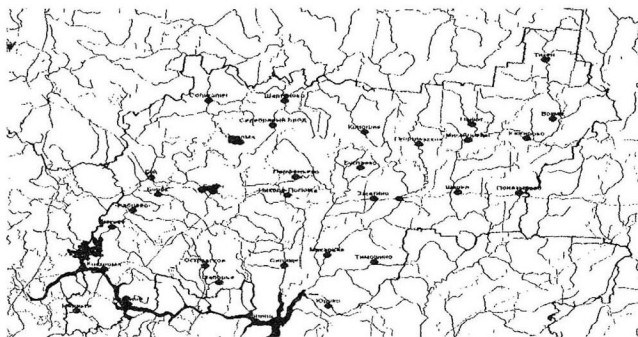


Рис.4. Схема размещения пунктов наблюдений за осадками на территории Костромской области.

Оценка однородности экстремумов осуществлялась по критериям Диксона и Смирнова-Граббса. В связи с тем, что в 1950х – 1960х годах осуществлена замена регистрирующих приборов для измерения осадков (замена дождемера на осадкомер системы Третьякова) была проведена дополнительная проверка однородности во времени по критериям Фишера и Стьюдента, в результате которой установлено, 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.5. Из графика видно, что примерно с 1957 г. произошло ступенчатое увеличение среднего многолетнего значения, связанное со сменой регистрирующих приборов.

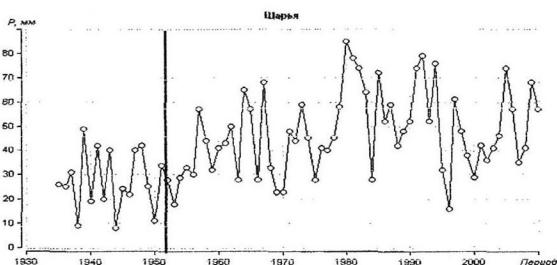


Рис.5 Неоднородный ряд сумм осадков за декабрь по метеостанции Шарья.

В результате процедуры приведения рядов к многолетнему периоду продолжительность рядов осадков 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, а в зимние месяцы - 77-80 лет.

Модели временных рядов строились для осадков теплого периода за весь многолетний период наблюдений, а для твердых осадков – начиная с 1960 г., когда закончился период смены приборов. В результате моделирования получено, что ряды осадков являются практически стационарными. Отдельные случаи нестационарности, не связанные со сменой приборов, детально рассмотрены. Из 646 рядов различных характеристик осадков (19 характеристик и 34 метеостанции) нестационарные модели 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, что скорее всего обусловлено локальными причинами.

Статистические пространственные модели были получены для каждой из 19 характеристик режима осадков за период с 1960 г. для твердых осадков и за весь период наблюдений – для остальных. В результате получено, что коэффициенты и параметры пространственных моделей осадков являются практически стационарными, хотя и испытывают нерегулярные циклические колебания. Установлены региональные закономерности коэффициентов пространственных моделей, свидетельствующие о том, что чем больше средние региональные осадки (коэффициент A_0), тем меньше пространственный градиент (коэффициент A_1) и тем меньше внутренняя неоднородность поля (параметр S_E). При этом, если можно оценить будущие значения общих для региона осадков, то по ним на основе уравнений вида $A_1=f(A_0)$ можно рассчитать и пространственный градиент

A_1 , а на его основе – коэффициент корреляции R (уравнения вида $R=f(A_1)$), по которому можно перейти к параметру S_E и к значениям характеристик осадков на отдельных станциях. При этом коэффициенты региональных зависимостей для каждой характеристики осадков достаточно высокие и составляют в среднем 0.87-0.93.

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. На Рис.6 приведен пример территориального распределения уточненных норм сумм годовых осадков по территории Костромской области 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.

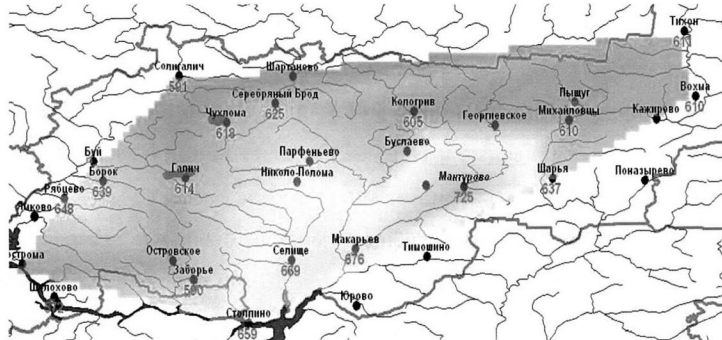


Рис.6. Пространственное распределение норм годовых осадков (в мм).

В четвертой главе решались две задачи: поиск причин установленного ступенчатого роста температуры воздуха в конце 1980х годов и оценки будущих температурных условий Костромской области.

Для решения первой задачи было проведено исследование как факторов радиационной составляющей температуры воздуха (приходящая солнечная радиация на верхнюю границу атмосферы, данные актинометрических

наблюдений по метеостанции Кострома), так и адвективной (индекс Северо-Атлантического колебания – САК, атмосферное давление на станциях).

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 0.7 кВт/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.7 приведен ряд наблюдений за суммарной за год и за март месяц солнечной радиацией по метеостанции Кострома с 1976 года по 2014 год.

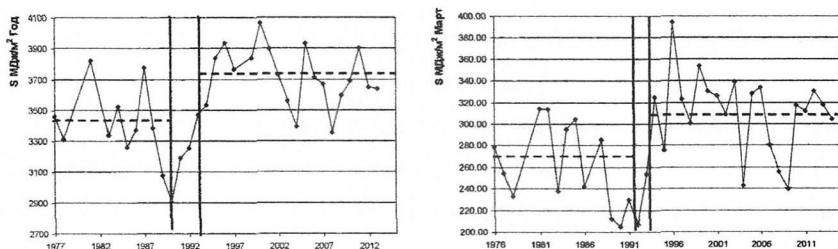


Рис.7. Изменение годовой и мартовской суммарной радиации за период с 1977 по 2014 годы в г. Кострома

Однако, изменение приходящей солнечной радиации происходит циклически и поэтому не может полностью объяснить одноразовое ступенчатое увеличение приземной температуры. Поэтому были исследованы и факторы адвекции. В непрерывном ряду среднемесячных значений индекса САК была установлена наибольшая по продолжительности из всего ряда наблюдений положительная и, практически, непрерывная фаза с 1989 г. по 1993 г. Также были исследованы многолетние ряды среднемесячных значений индекса САК и статистически значимые нестационарные модели индекса с 1935 по 2010 гг., умноженного на 10,

которые для первых четырех месяцев года (с января по апрель) приведены на

Рис.8.

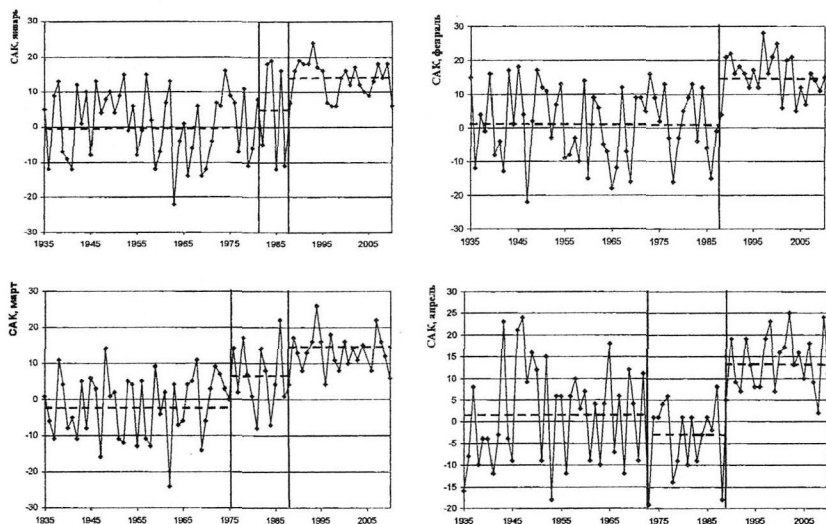


Рисунок 8. Ступенчатые изменения индекса САК за январь - апрель, приведенные в значениях САК*10.

Кроме этого, выполнен анализ многолетних рядов атмосферного давления на метеостанциях Кострома и Вохма за период с 1938 по 2013 гг. и получено, что начиная с 1990 г. имеет место период пониженного давления с тенденцией его дальнейшего падения.

Поэтому ступенчатый рост температуры воздуха в 1988 году мог быть обусловлен совместным наложением следующих факторов: прежде всего адвективным, свидетельствующем об усилении западного переноса, и радиационным, связанным с ростом приходящей радиации в этот период.

Вторая задача по оценке будущего климата, прежде всего, была связана с выбором наиболее эффективной климатической модели из пяти моделей проекта CMIP5: CNRM (Франция), MPI (Германия), HadGEM2 (Великобритания), INM (Россия), IPSL (Франция). На основе сопоставления данных моделирования и наблюдений на метеостанциях Кострома, Вохма, Чухлома и Макарьев в разных

частях Костромской области за совместный период, выбрана наиболее подходящая модель по минимуму отклонений между климатическими нормами за разные периоды времени, которой стала климатическая модель МРІ (Германия).

На основе выбранной модели была дана перспективная оценка температуры воздуха для метеостанций Костромской области на три последующие 30-летних периода времени до конца XXI века: 2011—2040 гг., 2041—2070 гг. и 2071—2100гг. по трем основным сценариям: RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5. Результаты приведены в Табл.1.

Таблица 1.

Сценарные оценки изменения норм температур воздуха на реверсных 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
Метеостанция Кострома									
1	-0.2	0.3	1.1	0.9	0.3	2.4	0.1	1.4	6.1
4	3.1	2.7	2.6	2.4	2.1	3.1	2.3	3.7	5.3
7	0.6	0.7	-0.2	-0.5	0.4	0.7	0.3	1.0	2.4
10	2.9	2.6	2.6	2.6	3.3	2.9	2.5	4.4	6.4

Для пространственного сопоставления ожидаемых климатических изменений в характерные месяцы года по наиболее реалистическому сценарию RCP4.5 на Рис.9 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.

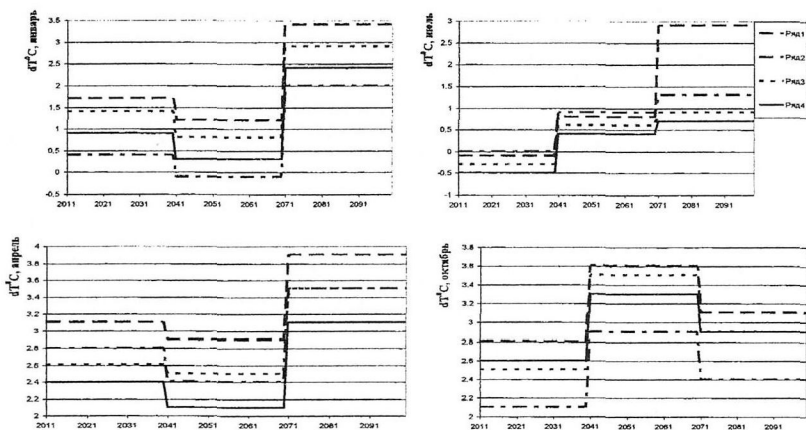


Рис.9. Изменение будущих климатических норм ($dT^{\circ}C$) характерных сезонных месяцев по сценарию RCP4.5 по отношению к норме за период 1976-2005 гг., где ряд 1 – Вохма (пунктир), ряд 2 – Макарьев (штрих-пунктир), ряд 3 – Чухлома (точки), ряд 4 – Кострома (сплошная).

Заключение содержит основные выводы, полученные в результате проведенного детального исследования температуры воздуха и осадков на территории Костромской области, главными из которых являются:

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 $^{\circ}C$ с конца 1980х годов на метеостанциях северной части области.

1. 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.

3. Ряды осадков являются практически стационарными, а выявленная нестационарность осадков холодного периода года обусловлена сменой регистрирующих приборов в середине 1950х годов.

4. 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.

5. 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.

6. 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, на основании которой по среднему сценарию RCP4.5 получено, что наибольший рост температуры на 4°C следует ожидать весной и на северо-востоке области, а наименьший – летом и всего на 1°C . Зимние температуры вначале ненамного повысятся (примерно на 1°C), затем насколько же снизятся и только в конце 21 века ожидается их повышение сразу на $1-2^{\circ}\text{C}$.

Список публикаций по теме диссертации:

Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Ткаченко Т.Е. Изыскание адаптивных возможностей у животных к изменяющимся условиям окружающей среды / Т.Е. Ткаченко, Г.Г. Тошакова // Современные наукоемкие технологии. – журнал РАЕ. – 2006. – №1. – С. 49 – 52.
2. Тошакова Г.Г. Современные проявления климатических изменений температурного режима в Костромской области / Ученые записки РГГМУ. – 2013. №31.
3. Тошакова Г.Г. Многолетняя динамика количества осадков на территории Костромской области / Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2014. – № 1. – С. 22-28.
4. Лобанов В.А. Оценка будущих температурных условий Костромской области / В.А. Лобанов, Г.Г. Тошакова // Ученые записки РГГМУ. – 2015. – № 40 (в печати).

Другие публикации за период подготовки диссертации:

1. Ткаченко Т.Е. Адаптация организма человека и животных к изменяющимся условиям окружающей среды. / Т.Е. Ткаченко, Г.Г. Тошакова // Монография. – Кострома: Студия оперативной полиграфии «Авантитул. – 2005. – 124 с.
2. Ткаченко Т.Е. Экономические предпосылки для ведения адаптивного животноводства в Костромском регионе / Т.Е. Ткаченко, Г.Г. Тошакова, С.В. Ткаченко // Кострома: Материалы 57-й международной научно-практической конференции – Том II. – февраль 2006. – С.77-79.
3. Тошакова Г.Г., Пантелеев В.И. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Опасные природные процессы» «Характеристики и расчет поражающих параметров опасных природных явлений» / Кострома: Костромской Государственный технологический университет – 2007. – 26 с.
4. Тошакова Г.Г. Гидрохимические показатели качества поверхностных вод на территории Костромской области / Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Современные наукоемкие инновационные технологии развития промышленности региона» // Кострома. – КГТУ. – 2006. –

С. 123-124.

5. Тошакова Г.Г. Стратегия гидрометеорологической безопасности Костромской области / Г.Г. Тошакова, В.И. Пантелеев, П.С. Ионичев // Пенза:УИИ международная научно-практическая конференция «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Сб. статей – декабрь 2008. – С.139-141.

6. Тошакова Г.Г. Влияние окружающей среды на организм человека / Г.Г. Тошакова, В.И. Пантелеев, П.С. Ионичев // Всероссийская научно-практическая конференция «Общественные системы в условиях мирового финансового кризиса, проблемы и перспективы стратегического и технологического развития, экологической безопасности», Волгоград. – М.: ООО «Глобус», 2010. – С. 185-186.

7. Лобанов В.А. Проявления современных изменений климата на территории Костромской области / В.А. Лобанов, Г.Г.Тошакова // Монография. – Кострома : Студия оперативной полиграфии «Авантитул». – 2013. – 172 с.

8. Лобанов В.А. Методы и результаты статистического моделирования климатических изменений. / В.А. Лобанов, А.Е. Шадурский., Г.Г. Тошакова, К.С. Кириллина, С.А.Лобанова, О.А.Шукри // Материалы международной научно-практической конференции «ГЕОГРАФИЯ И РЕГИОН». – 23-25 сентября 2015. – Пермь: из-во Пермского госуниверситета. – Том IV. Гидрометеорология, картография и геоинформатика. – С.71-77.