

Гурьянов Дмитрий Алексеевич

Изменчивость климатических сезонов года и экстремальных характеристик температуры воздуха в Санкт-Петербурге и на территории Ленинградской области в условиях современных изменений климата

Специальность 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург

2016

Работа выполнена на кафедре физической географии и природопользования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена" (РГПУ им. А. И. Герцена)

Научный руководитель:

Малинин Валерий Николаевич

доктор географических наук, профессор, кафедра промышленной океанологии и охраны природных вод, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Официальные оппоненты:

Мещерская Анна Васильевна

доктор географических наук, заведующая лабораторией расчетных методов метеорологических прогнозов отдела динамической метеорологии Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова.

Павловский Артём Александрович

кандидат физико-математических наук, начальник отдела градоэкологического обоснования развития территорий Санкт-Петербурга Управления инженерной инфраструктуры города Комитета по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга

Ведущая организация:

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации.

Защита диссертации состоится «26» мая 2016 г. в 15 часов 30 мин. на заседании Диссертационного совета Д 212.197.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. (812) 633-01-82, 372-50-92

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м.н, доцент

Л.В. Кашлева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В течение нескольких последних десятилетий отмечается беспрецедентно высокая скорость роста изменений глобального климата, которая сопровождается резким увеличением количества опасных гидрометеорологических явлений, в том числе на территории России. В связи с этим в 2009 году была принята новая «Климатическая доктрина России», в которой зафиксирована стратегическая цель политики в области климата – обеспечение безопасного и устойчивого развития в условиях изменяющегося климата и возникновения соответствующих угроз. Одним из необходимых условий политики в области климата названо проведение фундаментальных и прикладных исследований в области климата и применение результатов исследований для оценки рисков и выгод, связанных с последствиями изменений климата, а также возможности адаптации к этим последствиям.

Во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории России указывается, что средняя температура, осреднённая по территории России за период 1881 – 2014 гг., повысилась более чем на 2°C, причем временной промежуток с 1976 года характеризуется максимальной скоростью потепления, которая составила 0,48°C/10 лет. При этом скорость роста температуры в Северо-Западном федеральном округе еще выше – 0,51°C/10 лет.

За период инструментальных наблюдений (более 250 лет) средняя годовая температура воздуха в Санкт-Петербурге повысилась на 2°C, в зимний период – на 3,4°C, в летний – на 0,5°C. Наиболее значительными, причем неодинаковыми темпами в разные сезоны года происходил рост температуры с 1979 года. Это существенно сказывается на продолжительности климатических (естественных) сезонов и повторяемости экстремальных характеристик климата. В связи **актуальность работы** состоит в необходимости получения достоверных сведений и выявлении закономерностей изменчивости продолжительности климатических сезонов и экстремальных характеристик температуры воздуха, необходимых для рационального функционирования таких отраслей экономики, как энергетика, ЖКХ, сельское хозяйство и др.

Степень разработанности проблемы. Вопрос о выделении естественных климатических сезонов в Санкт-Петербурге (Ленинграде) был поставлен ещё в классических работах по климату Ленинграда и его окрестностей (Покровская, 1957; Покровская, Бычкова, 1967; Швер, 1982). Одной из наиболее фундаментальных работ по изменению современного климата Санкт-Петербурга является монография «Климат Санкт-Петербурга и его изменения», вышедшая в 2010 году в ГГО им. А.И. Воейкова. Однако в данных работах отсутствует единый подход к выделению естественных сезонов, не выполнены расчеты их продолжительности и соответственно не выявлены закономерности их межгодовой изменчивости, как для Санкт-Петербурга, так и для территории Ленинградской области.

Цель работы заключается в разработке комплексного метода определения границ климатических сезонов года, изучении закономерностей продолжительности климатических сезонов и выявлении особенностей распределения экстремальных характеристик температуры в Санкт-Петербурге и на территории Ленинградской области в условиях современных изменений климата.

Задачи исследования.

1. Разработать комплексный метод определения границ климатических сезонов года на основе дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через заданные значения 0 и 15°C.
2. Выявить временную изменчивость и пространственные особенности продолжительности климатических сезонов года в Санкт-Петербурге и на территории Ленинградской области.
3. Разработать малопараметрические статистические модели оценки продолжительности климатических сезонов.
4. Выявить изменчивость и пространственные особенности экстремальных температурных характеристик в Санкт-Петербурге и на территории Ленинградской области.
5. Выявить особенности распределения экстремальных характеристик климатических сезонов по территории Ленинградской области.

Материалы и методы. В качестве исходного материала для проведения данной работы были использованы данные о максимальной, минимальной и средней температуре приземного воздуха суточного временного разрешения в Санкт-Петербурге и на станциях Ленинградской области. Данные хранятся в архивах ВНИИГМИ-МЦД и находятся в открытом доступе в сети Интернет. Использованные в работе данные на станции Санкт-Петербург охватывают период с 1881 по 2014 годы, данные остальных станций характеризуют температурный режим за период 1950 – 2014 гг. Для решения поставленных задач использовался комплекс методов статистического анализа, теории случайных функций, вейвлет-анализ, а также методы интерполяции при построении карт.

Научная новизна работы.

1. Предложен комплексный метод определения дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через заданные значения 0 и 15°C в условиях неопределённости, вносимых продолжительными оттепелями и заморозками в зимний период, а также периодами потепления и похолодания в весенне-летний и летне-осенний периоды.
2. Впервые для Санкт-Петербурга и территории Ленинградской области по среднесуточным данным о температуре воздуха выделены за многолетний период естественные климатические сезоны и выявлены закономерности их временной изменчивости.
3. Впервые для территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга разработаны малопараметрические регрессионные модели оценки продолжительности климатических сезонов года, предикторами для которых использовались данные о продолжительности предыдущего сезона года и дата начала искомого сезона.
4. На основе срочных данных выявлена пространственно-временная изменчивость экстремальных температурных характеристик по территории Ленинградской области. Установлено, что с начала 1980-х годов резко ускорился рост положительных экстремумов и уменьшение отрицательных, причём уменьшение отрицательных экстремумов более чем вдвое превосходит рост положительных.

5. Впервые для территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга выявлены экстремальные характеристики продолжительности климатических сезонов года: их начало, завершение, а также средней для сезонов температуры воздуха.

Положения, выносимые на защиту.

1. Комплексный метод определения дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через заданные значения.
2. Закономерности временной изменчивости продолжительности климатических сезонов в Санкт-Петербурге и на территории Ленинградской области.
3. Малопараметрически-статистические модели оценки продолжительности климатических сезонов
4. Пространственно-временные особенности изменчивости экстремальных температурных характеристик по территории Ленинградской области.

Теоретическая значимость работы. Предложен комплексный метод определения дат устойчивого перехода температуры через заданные пределы, основанный на среднесуточных данных о приземной температуре воздуха в Санкт-Петербурге и на станциях Ленинградской области. Данный метод позволяет выполнить однозначное выделение границ климатических сезонов. Получены новые знания о закономерностях временной изменчивости продолжительности климатических сезонов года. Разработаны малопараметрические регрессионные модели оценки продолжительности климатических сезонов года. Установлены пространственно-временные особенности изменчивости экстремальных температурных характеристик по территории Ленинградской области.

Практическая значимость работы. Достоверные сведения о продолжительности климатических сезонов и экстремальных характеристиках температуры воздуха могут быть востребованы Правительством Санкт-Петербурга и Администрацией Ленинградской области в целях более эффективного планирования работ в таких отраслях экономики, как энергетика, ЖКХ, сельское хозяйство и др. Полученные результаты использованы при подготовке лекционного курса «Математические методы в географии» на географическом факультете в РГПУ им. А.И. Герцена.

Личный вклад автора. Постановка задач исследования, подготовка архивов информации, проведение статистических расчетов, выполнение необходимых графических построений, обобщение и анализ результатов.

Соответствие диссертации паспорту специальности.

Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.30 Метеорология, климатология, агрометеорология согласно п. 14 Микроклимат природных объектов, микроклимат мегаполисов.

Апробация работы и публикации.

Сделаны доклады:

- на Международной научно-практической конференции LXVII Герценовские чтения, посвящённой 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского: "География: инновации в науке и образовании", проходившей в 2013 году в Герценовском университете, Санкт-Петербург.

- на конференции "Нерешённые проблемы климатологии и экологии мегаполисов" в рамках международного форума "Экология большого города", проходившем 20 марта 2013 года в Санкт-Петербурге.

- на расширенном семинаре кафедры физической географии и природопользования РГПУ им. А.И. Герцена 09.10.2015.

Стал победителем:

- конкурса персональных грантов 2014 года для аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, организованном Правительством Санкт-Петербурга и проведённом Комитетом по науке и высшей школе Санкт-Петербурга в рамках реализации комплексной программы "Наука. Промышленность. Инновации" на 2012 – 2015 годы.

- конкурсов (в 2013 и 2014 годах) грантовой поддержки публикационной активности аспирантов и молодых научно-педагогических работников РГПУ им. А.И. Герцена.

Участие в качестве исполнителя в гранте РФФИ "Генезис межгодовой изменчивости характеристик увлажнения Европейской территории России в условиях современных изменений климата" (грант 14-05-00837).

Данные диссертационного исследования внедрены в учебный процесс кафедры физической географии и природопользования факультета географии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 5 из них в рецензируемых журналах по перечню ВАК.

Структура и объём работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и библиографического списка использованной литературы. Объём диссертации составляет 150 страниц, включая 30 таблиц и 52 рисунка, 1 приложение. Список литературы составляет 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, приведены результаты апробации диссертационного исследования.

В первой главе «**Особенности температурного режима Санкт-Петербурга и Ленинградской области в условиях современных изменений климата**» делается обзор современных климатических изменений, указывается, что важнейшей характеристикой состояния атмосферы и глобального климата является приповерхностная температура воздуха (ПТВ), описываются глобальные архивы информации о ПТВ и иллюстрируется её межгодовой ход. Даются оценки трендов ПТВ за разные промежутки времени: указывается, что наибольшие оценки скорости роста ПТВ характерны для периода 1976-2005 гг., причём для Северного полушария (0,25°C/10 лет) она почти вдвое превосходит для Земли в целом (0,18°C/10 лет). Дается представление о неравномерности современных изменений ПТВ: на протяжении XIX–XX века наблюдались эпохи потепления и похолодания. Причём, последнее потепление ещё продолжается, хотя интенсивность его упала почти до нуля. На территории России потепление идёт ускоренными темпа-

ми. Коэффициент линейного тренда в целом по территории России с 1976 года по настоящее время составил $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет, что в 2,5 раза превышает скорость роста глобальной температуры полушарии. А в целом за этот период потепление составило $1,33^{\circ}\text{C}$.

В разделе 1.2 приводится физико-географическая характеристика Ленинградской области. Исследуемый регион находится в зоне умеренного климатического пояса, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом. Территориальное расположение в северной части умеренных широт вблизи полярного атмосферного фронта обуславливает основную особенность климата - непостоянство погоды. На климат Ленинградской области и прилегающих территорий оказывают влияние также соседние территории – Западная Европа и Северная Азия и Атлантический и Северный Ледовитый океаны. Круглый год здесь преобладает западный перенос воздушных масс. За холодное время года из различных частей Атлантики на территорию Восточно-Европейской равнины приходит от 8 до 12 циклонов, большая часть из которых проходит над Ленинградской областью. С приходом юго-западных (атлантико-средиземноморских) циклонов с юга вторгается тёплый воздух субтропических широт, способствующих сильному потеплению и наступлению оттепелей в зимний период. С приходом циклонов из северной Атлантики и юго-западной Арктики связано вторжение холодного воздуха.

В разделе 1.3 даётся представление о среднемноголетнем температурном режиме Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Указывается, что температурный режим исследуемой территории в целом типичен для умеренного климата с отепляющим влиянием приморского географического положения. Различия в годовом ходе средней температуры по станциям области зависят от географического положения. Станции можно разделить на 2 типа: с положительными и с отрицательными отклонениями от средних значений по области.

Пространственная дифференциация среднегодовой температуры воздуха по Ленинградской области имеет свои особенности (Рис. 1).

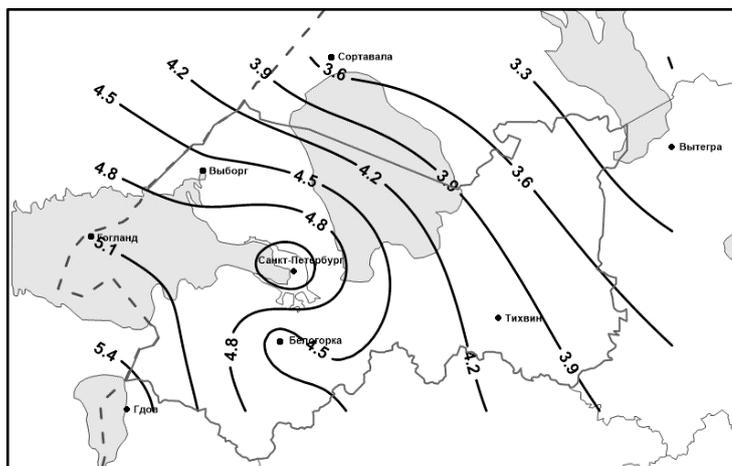


Рис. 1. Среднегодовые значения приземной температуры воздуха на территории Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг.

В разделе 1.4 приводятся сведения о межгодовой изменчивости температуры воздуха в Санкт-Петербурге (1881 – 2014 гг.) и Ленинградской области (1950 – 2014 гг.). Показано, что в среднем за весь период инструментальных наблюдений за температурой в Санкт-Петербурге прослеживается повышение среднегодовой температуры воздуха на 2°C, причём с 1979 года температура повысилась на 1,7°C.

Рост температуры на исследуемой территории согласуется с ростом средней температуры как на Земном шаре в целом, так и в Северном полушарии. Причём, на Европейской территории России потепление продолжается ускоренными темпами – за последний период с 1970-х годов скорость потепления по разным данным составляла от 0,48°C/10 лет до 0,55-0,56°C/10 лет, что почти в два раза превышает аналогичный показатель для Северного полушария. Безусловно, потепление климата проявляется далеко не однозначно: в пределах Северного полушария есть области, характеризующиеся как стремительным увеличением приземной температуры, так и области, где температурные тренды практически отсутствуют. На Рис. 2 приводятся графики межгодового хода аномалий температуры в Санкт-Петербурге за период времени 1881 – 2014 гг. (а) и в Ленинградской области за период времени 1950 – 2014 гг. (б). Временной ряд по Ленинградской области получен путём осреднения данных с восьми станций, расположенных в разных районах области и приграничных районах других субъектов России для тех районов, где отсутствуют станции с продолжительным периодом наблюдений.

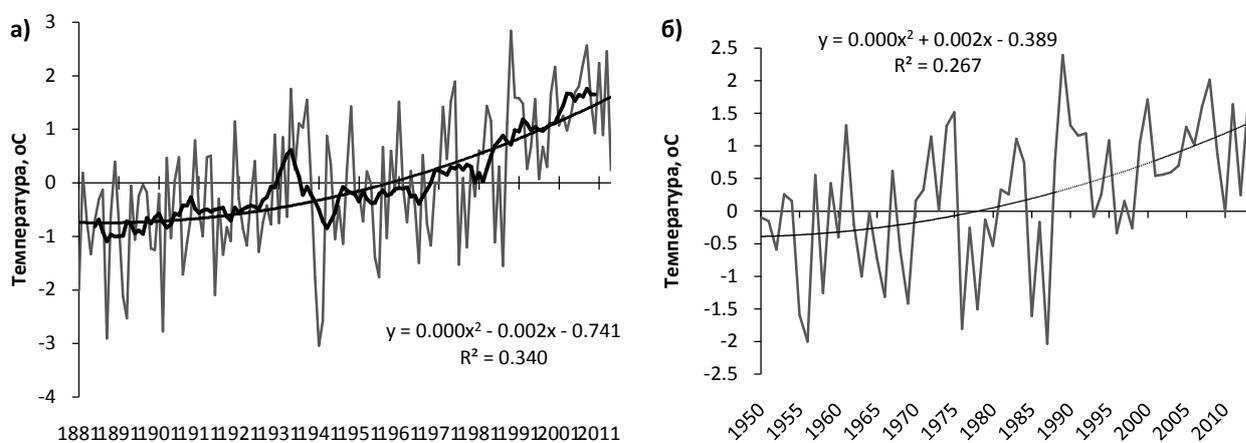


Рис. 2. Межгодовой ход средних годовых аномалий приземной температуры воздуха в Санкт-Петербурге (а) (за период 1881 – 2014 гг.) и в Ленинградской области (б) (за период 1950 – 2014 гг.). Жирная линия – 11-летнее осреднение, пунктир – квадратичный тренд.

Во второй главе «Исходные данные и статистические методы их анализа» приводятся сведения об исходных данных для проведения исследования и методах их обработки. За исходные данные были приняты среднесуточные значения температуры воздуха, а также их максимальные и минимальные значения за сутки. Сбор исходной информации был произведён за период с 1950 по 2014 год для семи станций: Гогланд, Выборг, Тихвин, Гдов, Вытегра, Сортавала, Белогорка. Для станции Санкт-Петербург в работе использованы данные за 1881 – 2014 гг. Архив данных о температуре воздуха на перечисленных

метеостанциях находятся в открытом доступе в сети Интернет на сайте ВНИИГ-МИ-МЦД по адресу <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation>. Затем кратко излагаются методы статистической обработки данных, включая первичный анализ, множественную линейную регрессию, методику выделения и анализа трендовой составляющей временного ряда и основы вейвлет-анализа.

В третьей главе «Выявление продолжительности климатических сезонов и их межгодовая изменчивость» даётся понятие о климатических сезонах года и методике их выделения. Поскольку календарные сезоны года обычно не совпадают с сезонной ритмикой природных процессов, то возникает необходимость выделения климатических сезонов года. В работах (Покровская, 1957; Покровская, Бычкова, 1967; Швер, 1982) предложено несколько вариантов выделения климатических сезонов в Санкт-Петербурге (Ленинграде). Критериями их выделения являются: установление устойчивого снежного покрова и периода устойчивых морозов для зимы, установление безморозного периода для переходных сезонов, периоды без заморозков для лета и т.п. Однако все критерии носят качественный характер и не доведены до конкретных расчетов за продолжительные промежутки времени. Вместе с тем, очевидно, что наиболее точным индикатором смены климатических сезонов является температура воздуха (T). Установление устойчивых отрицательных температур, очевидно, соответствует зимнему периоду. За границу летнего периода предлагается принимать промежуток времени со среднесуточной температурой выше 15°C по нескольким причинам. Во-первых, в настоящее время отсутствует единая точка зрения, каким образом выделять летний сезон, что позволяет определять собственные границы в целях исследования. Во-вторых, именно в это время на рассматриваемой территории не регистрируются заморозки, либо такие случаи единичны. В-третьих, этот период соответствует времени наиболее активной вегетации растительности, а также создаются необходимые температурные условия для произрастания теплолюбивых сельскохозяйственных культур. Периоды между 0 и 15°C , соответственно, составляют переходные сезоны - весну и осень. Существуют различные способы оценки даты устойчивого перехода T через 0°C , однако ни один вычислительный алгоритм не в состоянии обеспечить однозначное выделение границ сезонов, т.к. многочисленные переходы температуры через заданные границы формируют в течение года «бесконечное» множество вариантов отклонений температуры от этих значений, которое не поддается количественной систематизации, а, следовательно, и алгоритмизации.

В данной работе для оценки границ климатических сезонов предложен комбинированный подход, состоящий из нескольких последовательных этапов. При этом за границу климатического сезона принимался такой устойчивый переход среднесуточной T воздуха через 0 или 15°C , после которого отклонения T в противоположную сторону уже не являются возвратом к предшествующему сезону. Первоначальное выделение границ осуществляется экспертным путем, суть которого состоит в следующем. Каждый случай перехода T через граничные значения рассматривается с учетом ее последующих и предыдущих значений. При необходимости рассчитываются суммы градусов дней мороза и тепла в обе стороны от

точки перехода. Кроме того, принимается во внимание характер синоптических ситуаций и т.п.

После этого выполняется сверка всех переходов и для экстремальных границ проводится дополнительное уточнение. В качестве критерия точности может быть принято условие, что даты переходов по среднемноголетней кривой температуры воздуха должны соответствовать среднему значению переходов, вычисленных для каждого года (Табл. 1). Результаты таких переходов практически совпадают. Кроме того, была выполнена дополнительная проверка, согласно которой для каждого временного ряда переходов температуры рассчитывались линейные тренды. По уравнениям тренда несложно вычислить его значения на любой день года, которые соответствуют средним многолетним условиям за рассматриваемый период времени. Из Табл. 1 следует, что вычисленные таким образом значения тренда почти в точности совпадают с аналогичными оценками переходов температуры воздуха через 0 и 15°C, определенными другими способами.

Таблица 1. Сопоставление определенных разными способами дней среднего многолетнего перехода температуры воздуха через 0 и 15°C для Санкт-Петербурга за период 1881–2014 гг.

Переход температуры воздуха через ...	День среднего многолетнего перехода			
	По данным среднемноголетней кривой	По данным осреднения переходов за каждый год	Рассчитанный по линейному тренду	Статистка Стьюдента для тренда ($t_{кр.} = 1,98, \alpha = 0,05$)
0°C весной	89 (30 марта)	88,9	88,4	5,5
15°C весной	165 (14 июня)	164,9	164,8	2,3
15°C осенью	237 (27 августа)	237,6	237,8	4,2
0°C осенью	321 (18 ноября)	321,4	321,7	3,1

Для Санкт-Петербурга выполнен расчет продолжительности сезонов и средней T для каждого из них за период 1881 – 2014 гг. Межгодовая изменчивость средней температуры зимы в Санкт-Петербурге выражена слабо, хотя и наблюдается её непрерывный рост. Временная изменчивость средней температуры весны за весь период в целом практически не регистрируется. Межгодовой ход средней летней температуры характеризуется отсутствием линейного тренда до 1970-х годов и начавшимся затем её резким ростом, с температурными аномалиями 1972 и 2010 годов. Временная изменчивость средней температуры климатической осени практически отсутствует.

Вследствие ярко выраженной нестационарности временных рядов средней температуры климатических сезонов, выполнен их вейвлет-анализ. Показано, что в зимний период прослеживается квазидвадцатилетнее циклическое колебание, исчезающее в 90-х годах XX века с меняющимся периодом от 26 в начале ряда до 17 лет в конце. Весной хорошо заметно колебание с периодом от 20 лет в конце XIX века до 30 лет к концу XX века, которое обрывается примерно в начале 2000-х годов. Во временном ряду средней температуры лета присутствует цикличность с постепенным увеличением периода колебаний с 11 лет в начале до 30 лет к середине XX века. Цикличность во временном ряду средней температуры осени

прослеживается с периодом 11 лет, продолжавшееся с начала временной оси до 30-х годов XX века и затем исчезнувшее.

В разделе 3.2 характеризуется межгодовая изменчивость климатических сезонов года за период 1881-2014 гг. в Санкт-Петербурге, графики которых представлены на Рис.3. Продолжительность климатической зимы сократилась за исследуемый период более чем на месяц, причём большая часть сокращения была компенсирована увеличением продолжительности летнего периода, который стал длиннее почти на 22 дня. Несколько увеличилась продолжительность весны, а вот продолжительность климатической осени осталась неизменной. Однако изменилось её положение в календарном году: начинаться и заканчиваться она стала на две недели позже, чем в начале периода. Характеристики линейных трендов рядов продолжительности климатических сезонов представлены в Табл. 2.

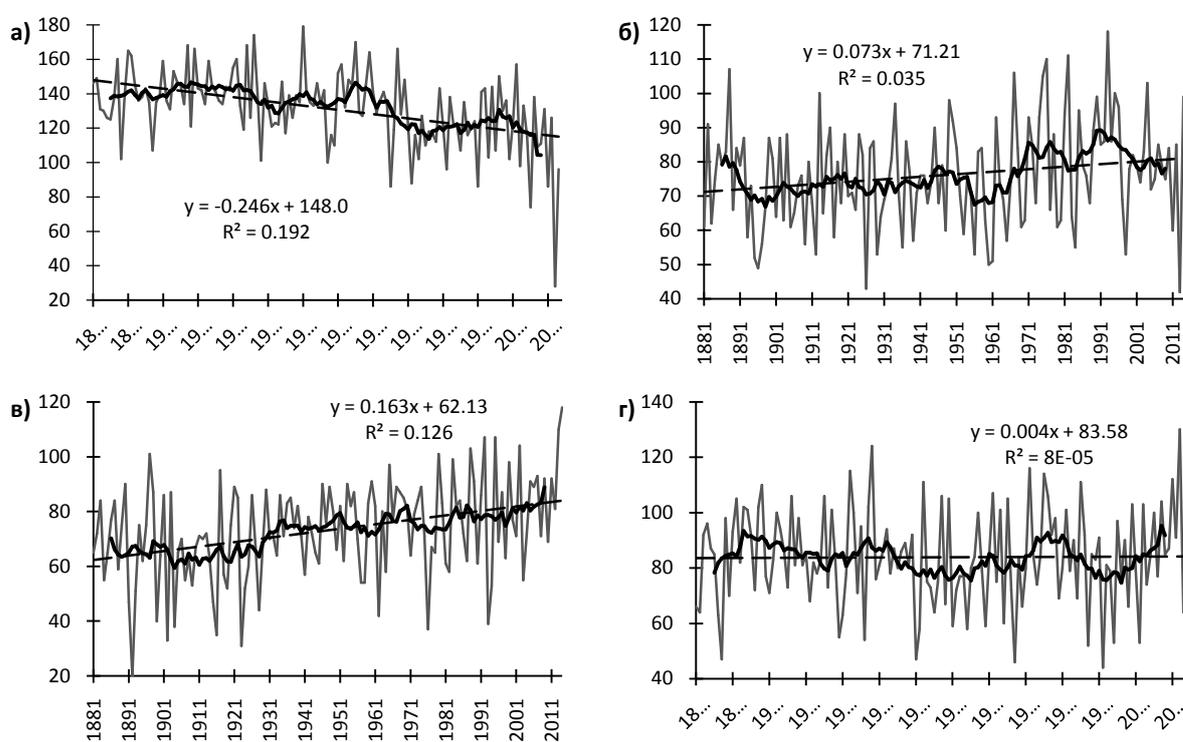


Рис.3. Межгодовая изменчивость продолжительности климатических сезонов (в днях) в Санкт-Петербурге за период 1881 – 2014 гг.: зима (а), весна (б), лето (в), осень (г).

Жирная линия – 11-летнее осреднение, пунктир – линейный тренд.

Таблица 2. Характеристики линейного тренда рядов продолжительности климатических сезонов за период 1881 – 2014 гг. в Санкт-Петербурге.

	Начальное значение, дни	Среднее значение, дни	Конечное значение, дни	Приращение, дней	Предельные значения, дни		Стандартное отклонение	Статистика Стьюдента ($t_{кр.} = 1,98, \alpha=0,05$)
					min	max		
Зима	148,1	132,2	116,0	-32,1	28	179	21,82	5,6
Весна	71,3	76,1	81,0	9,8	42	118	15,18	2,2
Лето	62,3	73,1	84,0	21,7	20	118	17,82	4,4
Осень	83,6	83,9	84,1	0,5	44	130	17,24	0,1

Временные ряды продолжительности климатических сезонов также подвергались вейвлет-анализу. Хорошо выраженная цикличность прослеживается во временном ряду продолжительности зимы. Здесь чётко выделяется периодичность в 35-40 лет, которая постепенно уменьшается к концу ряда до 25 лет. В межгодовом ходе продолжительности весны также выделяется цикл, присутствующий на протяжении всего временного промежутка. Начинается он с периода в 26 лет и остаётся неизменным до 50-х годов XX века, а затем период уменьшается до 11 лет. Во временном ряду продолжительности лета присутствует цикл, начинающийся с периода в 14 лет, который затем становится более интенсивным и периодичность возрастает до 20 лет. В продолжительности осени циклы носят локальный характер и выражены слабо.

В разделе 3.3. характеризуется изменчивость климатических сезонов года на территории Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг. (Рис. 4). Особенностью межгодовой изменчивости климатических сезонов года по территории Ленинградской области является существенное сокращение зимы, происходящее за счёт увеличения продолжительности остальных сезонов года. Продолжительность сезонов менялась во времени неравномерно как за весь период, так и за локальные его промежутки. За период с 1950/51 по 2014/15 гг. продолжительность зимы сократилась почти на месяц – на 22,4 дней (Табл. 3) в основном за счёт увеличения продолжительности климатического лета.

Хотя зима всё ещё является наиболее продолжительным сезоном года, тенденция её сокращения весьма существенна: только суммарный рост продолжительности всех остальных сезонов компенсирует уменьшение продолжительности зимнего периода. Межгодовой ход продолжительности зимы характеризуется и наибольшим разбросом значений около среднего, выраженном в дисперсии ряда. Продолжительность климатической весны за весь период изменилась незначительно, приращение линейного тренда составляет 3,4 дня. Зато сроки её наступления существенно сдвинулись на более раннее время. Если в 1950 г. весна начиналась 4 апреля и заканчивалась 19 июня, то сейчас её среднее начало датируется 23 марта, а конец 10 июня.

Начало климатического лета также сместилось на более ранние сроки, но несколько меньшие, чем начало весны. Существенно изменилась за рассматриваемый период его продолжительность. Произошло это за счёт более раннего его наступления и позднего окончания при ведущей роли первого фактора: дата начала лета смещается с 20 июня на 11 июня, а его конца – с 22 августа на 27 августа. Климатическая осень напротив, сместилась на более поздние сроки: если в начале периода она продолжалась с 23 августа по 11 ноября, то сейчас с 28 августа по 22 ноября. Продолжительность ее удлинилась на 6,2 дня.

Однако оценка линейного тренда для всего периода не отражает изменчивость внутренней структуры временных рядов. Поэтому были рассчитаны тренды для двух интервалов времени: (1950-1982 и 1982-2014 гг.), визуализация которых приводятся на Рис. 5. Как видно из Рис. 5, отмечается разнонаправленный характер трендов для некоторых сезонов. Прежде всего, для весны. Так, до 1982 года

происходило быстрое увеличение её продолжительности, а затем оно сменилось более медленным сокращением.

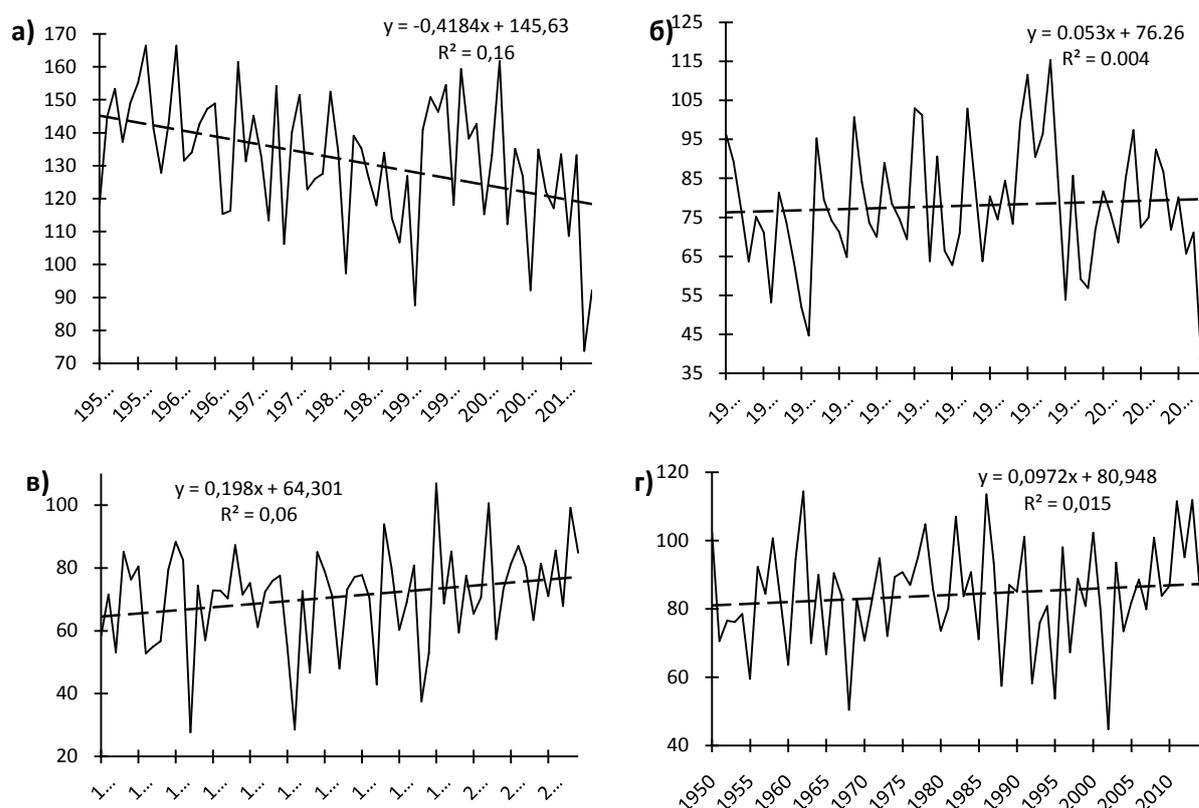


Рис. 4. Межгодовая изменчивость средней продолжительности климатических сезонов (в днях) в Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг.: зима (а), весна (б), лето (в), осень (г). Пунктир – линейный тренд.

Таблица 3. Характеристики линейного тренда рядов средней продолжительности климатических сезонов за период 1950 – 2014 гг. в Ленинградской области.

	Начальное значение, дней	Среднее значение, дней	Конечное значение, дней	Приращение, дней	Предельные значения, дни		Стандартное отклонение	Статистика Стьюдента ($t_{кр.} = 2,00, \alpha = 0,05$)
					min	max		
Зима	143,4	132,4	121,0	-22,4	73,8	166,4	19,6	3,49
Весна	76,3	78,0	79,8	3,4	38,4	115,4	15,6	0,52
Лето	64,5	70,7	77,2	12,7	27,7	106,9	15,7	1,95
Осень	81,0	84,1	87,3	6,2	44,7	114,3	15,3	0,96

Продолжительность лета, как и осени, также имела разнонаправленные тенденции, но до 1982 года она практически не изменилась. Зато впоследствии она начала существенно расти, более чем вдвое превышая увеличение продолжительности осени.

Длина климатической зимы сокращалась на протяжении всего времени, но после 1982 года скорость её сокращения увеличилась вдвое. Отсюда следует вывод, что на протяжении второй половины XX века – начала XXI века изменилась

структура продолжительности климатических сезонов: если до 1982 года за счёт увеличения продолжительности одной лишь весны сокращались все остальные сезоны года (в первую очередь зима), то затем удвоившееся сокращение зимы стало компенсировать стремительно прибавившее в продолжительности лето. Также стал заметен больший разброс в изменчивости всех климатических сезонов.

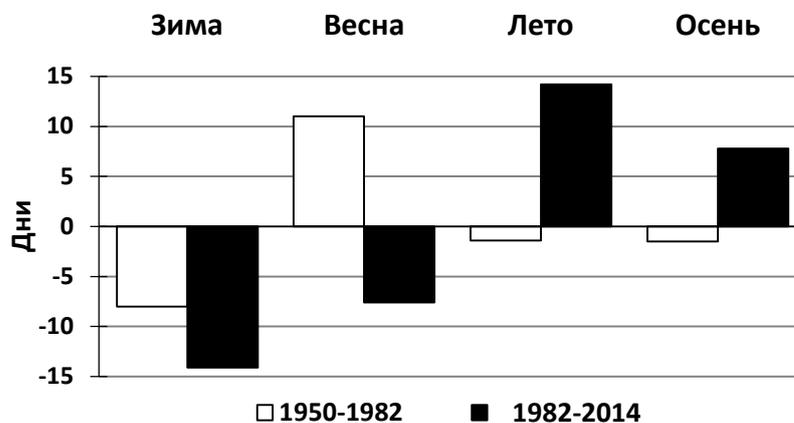


Рис.5. Изменение продолжительности климатических сезонов в Ленинградской области за периоды времени 1950 – 1982 и 1982 – 2014 гг.

Таблица 4. Оценка статистической значимости трендов за полупериоды по статистике Стьюдента ($t_{кр.} = 2,00, \alpha = 0,05$)

Период	Зима	Весна	Лето	Осень
1950-1982	2,05	0,96	0,37	0,99
1982-2014	1,08	1,66	1,79	0,70

В разделе 3.4 даётся пространственная изменчивость продолжительности климатических сезонов на территории Ленинградской области (Рис. 6). Как видно из Рис. 6, изменения продолжительности климатических сезонов года на территории Ленинградской области разнонаправлены и характеризуются значительной пространственной дифференциацией. Изолинии продолжительности зимы, весны и осени в целом простираются зонально, в то время, как изолинии продолжительности лета имеют черты широтности, осложнённые в западной части области, в первую очередь под влиянием Санкт-Петербурга. Отопляющее влияние крупного города сказывается в первую очередь на продолжительности зимы и лета. На Рис. 6 (а) хорошо заметен изгиб изолинии в районе Санкт-Петербурга – в районах лежащие западнее и южнее станций Выборг и Белогорка соответственно средне-многолетняя зима продолжительнее. На картосхеме продолжительности лета же изолиния 75 дней всеокараивает Санкт-Петербург. Поле средне-многолетней продолжительности лета по области имеет отличную от полей других сезонов структуру – общие черты широтной зональности размыты на западе и востоке и имеют проявление только в северной части.

В разделе 3.6 приводятся результаты статистического моделирования продолжительности климатических сезонов в Санкт-Петербурге за период 1881 –

2014 гг. и на территории Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг. на основе уравнения множественной линейной регрессии.

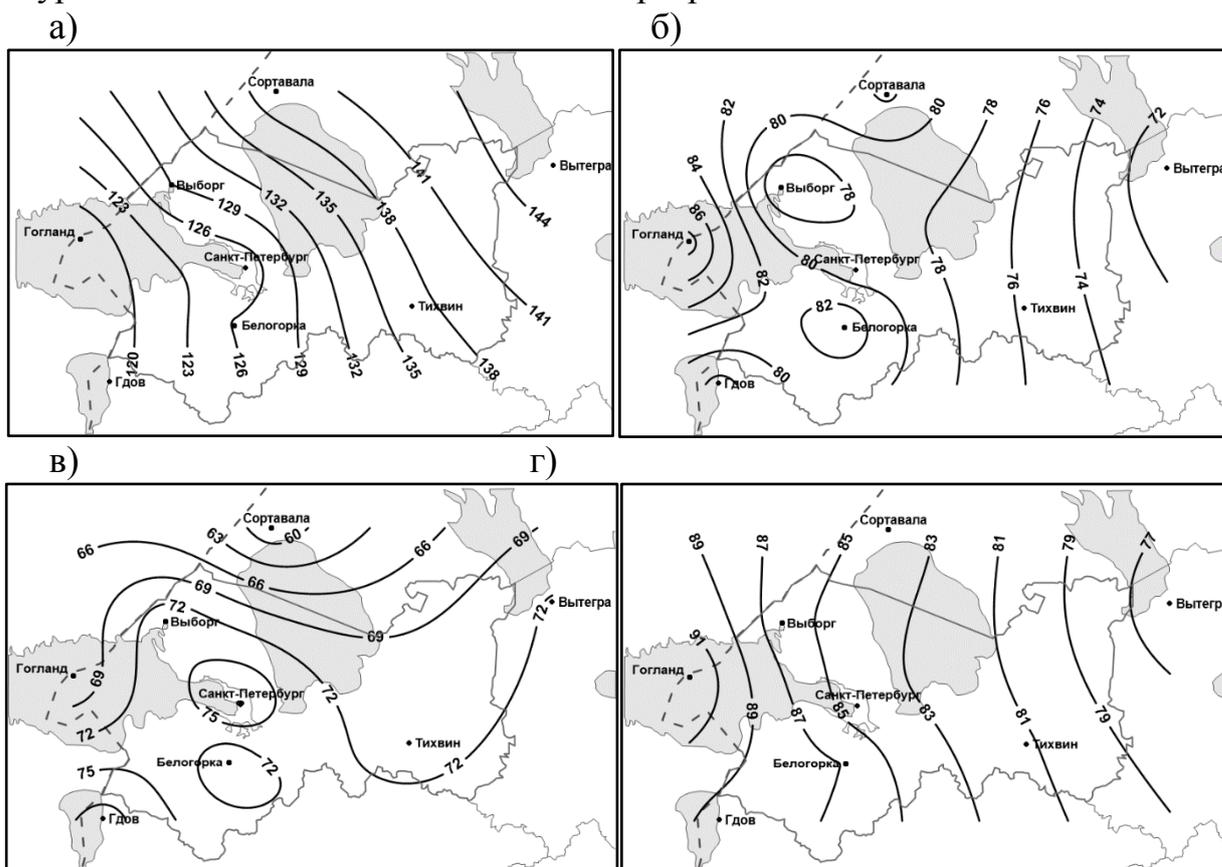


Рис. 6. Среднегодовья продолжительность климатической зимы (а), весны (б), лета (в), осени (г) в днях на территории Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг.

При этом с помощью корреляционного анализа выявлено, что продолжительность климатических сезонов зависит от дат их начала и продолжительности предыдущего сезона, значения которых использованы в качестве предикторов.

Уравнения для конкретных сезонов года для территории Ленинградской области:

$$\begin{aligned}
 D_{\text{зимы}} &= 0,092D_{\text{осени}} - 1,310N_{0\text{С}} \text{осенью} + 545,55 \\
 D_{\text{весны}} &= 0,010D_{\text{весны}} - 0,879N_{0\text{С}} \text{весной} + 154,56 \\
 D_{\text{лета}} &= 0,016D_{\text{весны}} - 1,116N_{15\text{С}} \text{весной} + 256,04 \\
 D_{\text{осени}} &= -0,188D_{\text{лета}} - 0,667N_{15\text{С}} \text{осенью} + 255,75
 \end{aligned}$$

Сравнение вычисленных по моделям продолжительностей сезонов года с фактическими данными для Ленинградской области позволило выяснить, что наилучшим образом модель описывает фактическую продолжительность лета (65% дисперсии) и зимы (60% исходной дисперсии). Переходные сезоны значительно хуже описываются моделями, составляя для весны 41% дисперсии, а для осени 32%. Тем не менее, по критерию Фишера все модели адекватны, а по критерию Стьюдента их коэффициенты значимы.

Моделирование климатических сезонов в Санкт-Петербурге за период 1881 – 2014 гг. показало примерно тот же результат, что и моделирование для Ленин-

градской области за период 1950 – 2014 гг. Наиболее качественными здесь также являются модели продолжительности лета (66% дисперсии) и зимы (63% дисперсии). (цифры смотрю по диссертации) Качество моделей переходных сезонов в Санкт-Петербурге оказалось чуть хуже, чем по Ленинградской области, тем не менее, они все адекватны и значимы.

Модельные уравнения продолжительности сезонов в Санкт-Петербурге:

$$\begin{aligned}
 D_{\text{зимы}} &= 0,173D_{\text{осени}} - 1,283N_{0\text{С осень}} + 529,71 \\
 D_{\text{весны}} &= 0,041D_{\text{весны}} - 0,693N_{0\text{С весной}} + 132,14 \\
 D_{\text{лета}} &= 0,283D_{\text{весны}} - 1,272N_{15\text{С весной}} + 261,12 \\
 D_{\text{осени}} &= -0,065D_{\text{лета}} - 0,693N_{15\text{С осенью}} + 253,52
 \end{aligned}$$

В четвёртой главе "**Экстремальные температурные характеристики Санкт-Петербурга и Ленинградской области**" даётся характеристика температурных экстремумов в Санкт-Петербурге и по территории Ленинградской области, а также их межгодовая изменчивость. Межгодовую изменчивость экстремумов характеризуют следующие параметры:

- *годовые максимум и минимум* – максимальные и минимальные ежегодные значения температуры;

- *внутригодовой размах колебаний* – разность между максимальной и минимальной температурой внутри каждого года.

Среднегодовалые температурные экстремумы характеризуются следующими параметрами:

- *абсолютные максимум и минимум* – это максимальная и минимальная когда-либо зарегистрированные температуры;

- *среднегодовалые максимум и минимум* – осреднённые за весь период времени значения ежегодной максимальной и минимальной температуры;

- *абсолютный размах* – разность между абсолютным минимумом и абсолютным максимумом.

В межгодовом ходе среднегодовых температурных минимумов в Санкт-Петербурге отмечается увеличение температуры отрицательных экстремумов, заметно усилившееся с начала 90-х годов XX века. Приращение по линейному тренду абсолютных минимумов составило за весь период 3°C.

Временная изменчивость среднегодовых максимумов также отражает их увеличение. Однако прирост максимальной температуры за весь период был меньше, чем прирост минимумов – значения максимальной температуры по тренду выросли на 2,1 °С. Межгодовая изменчивость внутригодовой амплитуды колебаний температуры практически отсутствует – он остаётся стабильным на всём промежутке и в среднем равным 55 °С. Пределы изменения от 45,6 до 65,3°C. Статистика Стьюдента для минимумов 2,20, для максимумов 3,16, для внутригодового размаха 0,02 (при $t_{кр.} = 1,98$ и $\alpha = 0,05$).

Вейвлет-преобразование ряда среднегодовых минимумов, говорит об отсутствии строгой цикличности. В 1900-1950 годах присутствует периодическое 22-летнее колебание. Затем отмечается затухающее 11-летнее колебание, обрываю-

щееся в начале 90-х годов. Внутривековая структура временного ряда температурных максимумов имеет более чёткую структуру по сравнению с минимумами. С начала XX века вплоть до его середины наблюдался цикл с периодом около 17 лет. Затем его сменил 11-летний цикл, сохранивший свою интенсивность до настоящего времени. Стоит отметить, что оба цикла достаточно устойчивы и не размыты на временной оси.

В разделе 4.2 даётся оценка межгодовой изменчивости температурных экстремумов на территории Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг. Прослеживаются отчётливые тренды увеличения максимумов и минимумов, причём оценки роста максимумов и минимумов практически идентичны. За весь период значения максимумов возросли на 2,5°C, а значения минимумов уменьшились на 2,3°C. Таким образом, размах температурных колебаний существенно не изменился и составил в целом по области в среднем 58,1°C с пределами изменений от 48,4 до 66,2°C. Статистика Стьюдента для минимумов 1,72, для максимумов 3,84, для внутрigoдового размаха 0,03 (при $t_{кр.} = 2,00$ и $\alpha = 0,05$).

Помимо оценок собственно линейного тренда в целом по области интерес представляет и оценка тренда межгодового хода температурных экстремумов по отдельным станциям. В Табл. 5 представлены результаты вычислений размаха колебаний и оценки квадратичных трендов рядов.

Таблица 5. Характеристики квадратичных трендов межгодового хода температурных экстремумов по станциям Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг.

Станция	Минимумы, °С					Максимумы, °С				
	Начальное значение	Приращение 1950–1982	Среднее значение	Приращение 1982–2014	Конечное значение	Начальное значение	Приращение 1950–1982	Среднее значение	Приращение 1982–2014	Конечное значение
Выборг	-26,1	-3,1	-29,2	+6,8	-22,4	29,0	-0,2	28,8	+2,0	30,8
Вытегра	-34,4	-2,0	-36,4	+6,9	-29,5	29,9	0	29,9	+2,5	32,4
Сортавала	-31,1	+0,1	-31,0	+3,5	-27,5	28,4	+0,1	28,5	+0,7	29,2
СПб	-25,6	+0,8	-24,8	+4,5	-20,3	30,0	-0,1	29,9	+2,3	32,2
Тихвин	-32,7	-1,4	-34,1	+4,6	-29,5	30,0	+0,5	30,5	+3,1	33,6

Прирост температурных значений на первом промежутке значительно уступает приросту на втором промежутке практически для всех станций как для рядов максимальной температуры, так и для рядов минимальных значений. Причём для некоторых станций имеет место разнонаправленная тенденция изменения экстремумов: на первом промежутке наряду с положительным трендом наблюдается также и отрицательный. Некоторое исключение здесь составляют станции Белогорка, Гдов и Гогланд. Их ряды наблюдений короче остальных (Гдов: 1966 – 2014 гг. (38 лет), Гогланд: 1950 – 1994 гг. (45 лет), Белогорка: 1965 – 2014 гг. (49 лет)), поэтому использование здесь квадратичного тренда не оправдано.

Для всех временных рядов были построены и линейные тренды, характеристики которых представлены в Табл. 6. Поскольку ряды станций Белогорка, Гдов и Гогланд короче остальных, для корректного сравнения изменения температурных

экстремумов были высчитаны скорости приращения по линейным трендам в °С/10 лет.

Таблица 6. Характеристики линейных трендов межгодового хода температурных экстремумов по станциям Ленинградской области и прилегающих территорий 1950 – 2014 гг. (периоды для станций Белогорка, Гдов и Гогланд см. в абзаце выше).

Станция	Минимумы				Максимумы			
	Начальное значение	Конечное значение	Приращение	°С/10 лет	Начальное значение	Конечное значение	Приращение	°С/10 лет
Белогорка	-32,4	-28,3	+4,1	0,84	29,1	31,0	+1,9	0,39
Выборг	-29,3	-25,5	+3,8	0,58	28,3	30,0	+1,6	0,25
Вытегра	-37,3	-32,2	+5,1	0,78	29,1	31,7	+2,6	0,40
Гдов	-28,3	-25,7	+2,6	0,69	28,0	31,1	+3,1	0,82
Гогланд	-22,9	-20,6	+2,3	0,51	26,0	26,9	+0,9	0,20
Сортавала	-32,2	-28,4	+3,8	0,59	28,1	29,1	+1,0	0,15
СПб	-26,8	-21,6	+5,2	0,80	29,3	31,5	+2,2	0,34
Тихвин	-34,6	-31,4	+3,2	0,49	29,2	32,7	+3,5	0,54

Среднемноголетние характеристики температурных экстремумов по станциям Ленинградской области представлены в Табл. 7. Оценки значений температурных экстремумов отражают географическое положение станций: на станции Тихвин, находящейся на большом удалении от водных бассейнов, отмечаются самые низкие и высокие температуры как в среднемноголетнем, так и в абсолютном отношении. Здесь же регистрируется и максимальный размах температуры. Самые высокие зимние минимумы и самые низкие летние максимумы вместе с минимальным размахом колебаний характерны для островной станции Гогланд.

Таблица 7. Среднемноголетние значения температурных экстремумов по станциям Ленинградской области и прилегающих территорий за период 1950 – 2014 гг.

Станция	Средне-много-летний min, °С	Средне-много-летний max, °С	Абсолютный min, °С	Абсолютный max, °С	Размах, °С	σ для ряда средне-много-летних min, °С	σ для ряда средне-много-летних max, °С
Белогорка	-30,3	30,0	-44,4	34,0	78,4	8,1	9,9
Выборг	-27,4	29,1	-36,8	34,6	71,4	8,9	9,6
Вытегра	-34,8	30,4	-45,9	35,7	81,6	9,2	10,6
Гдов	-27,0	29,6	-38,8	34,8	73,6	7,9	9,4
Гогланд	-21,7	26,5	-33,2	32,2	65,4	7,9	8,3
Сортавала	-30,3	28,6	-42,8	35,4	78,2	8,7	9,7
СПб	-24,2	30,4	-35,2	37,1	72,3	8,6	9,5
Тихвин	-33,0	31,0	-44,5	37,8	82,3	8,6	10,4

В разделе 4.3 оцениваются экстремальные характеристики переходов температуры через заданные пределы в Санкт-Петербурге за период 1881 – 2014 гг. и Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг.. Для каждого перехода выбирались по 5 самых ранних и самых поздних дат перехода через граничные значения температуры 0 и 15°С в Санкт-Петербурге и по Ленинградской области в це-

лом. Также в этом разделе даются значения самых коротких и длинных климатических сезонов подля Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также самые тёплые и холодные сезоны.

Наиболее ранние даты весенних переходов через 0 и 15°C в большинстве своём приходятся на конец XX – начало XIX века, в то время как наиболее ранние осенние переходы регистрировались значительно чаще в конце XIX–начале XX века. Такие изменения вполне объяснимы изменчивостью продолжительности климатических сезонов и сдвигом их границ внутри года: весна сместилась в календарном году на более ранние сроки, осень – на более поздние, хотя продолжительность их менялась мало.

Для наиболее поздних сроков начала климатических сезонов в Санкт-Петербурге характерно в общих чертах обратное распределение: наиболее поздние весенние переходы чаще регистрировались в начале рассматриваемого периода, в то время, как поздние осенние переходы регистрировались в конце периода, за исключением начала осени – здесь разброс достаточно большой и трудно отнести экстремальные значения к какому-либо интервалу времени.

Для Ленинградской области за более короткий промежуток времени в целом сохраняется распределение крайних дат начала климатических сезонов для Санкт-Петербурга. Самые ранние даты начала климатической весны приходятся на последнее 25-летие, а самое раннее наступление лета в 3 из 5 случаев регистрировалось во второй половине рассматриваемого периода.

В сроках самого позднего наступления климатических сезонов также присутствуют особенности, отмеченные для Санкт-Петербурга, но на более коротком ряду. Из 10 самых поздних сроков наступления климатических весны и лета только 2 раза отмечены годы за последние 25 лет. В то же время самые поздние даты начала осени и зимы за последние 25 лет отмечены уже в 6 случаях из 10, причём экстремально позднее наступление зимы в этот период отмечено 4 раза из 5.

В целом экстремальные даты начала и конца климатических сезонов отражают временную изменчивость их продолжительности в условиях современных изменений климата. Наиболее показательный пример здесь – наступление климатической зимы в Санкт-Петербурге. Установление устойчивых отрицательных температур в последние годы существенно смещается вперёд от даты её средне-многолетнего начала – 18 ноября. Частые и продолжительные оттепели в ноябре-декабре не позволяют установиться снежному покрову и затягивают промерзание почвы, в результате чего наступление зимы может и вовсе сдвинуться на следующий календарный год.

В заключении сформулированы основные **выводы**, полученные при выполнении диссертационной работы:

1. Разработан метод выделения границ климатических сезонов года, за которые принимался такой устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0 или 15 °С, что после него отклонения температуры в противоположную сторону уже не являлись возвратом к предшествующему сезону. Вначале экспертным путем определяются устойчивые переходы среднесуточной температуры воздуха через 0 и 15 °С и рассчитываются их средние многолетние значения. Проверка их точности выполняется путем сравнения с датами переходов по средне-

многолетней кривой температуры и построением линейных трендов для каждого временного ряда переходов температуры. При совпадении дат переходов можно считать, что границы климатических сезонов определены верно. На основе метода определены даты начала/конца климатических сезонов года, предложены критерии выделения оттепелей и заморозков в холодный период без использования данных о минимальной суточной температуре. Показано, что среднеклиматическая весна в Петербурге (1881-2014 гг.) начинается 30 марта, лето – 14 июня, осень – 25 августа, зима – 17 ноября. Соответственно продолжительность среднеклиматической зимы составляет 133 дня, весны – 76 дней, лета – 72 дня, осени – 84 дня. В Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг. среднеклиматическая весна начинается 30 марта, лето – 16 июня, осень 25 августа, зима – 17 ноября. Продолжительность зимы составляет 133 дня, весны – 78 дней, лета – 70 дней, осени – 84 дня. То есть средние даты переходов и средняя продолжительность климатических сезонов в Санкт-Петербурге и Ленинградской области практически не отличаются.

2. Выявлены закономерности и впервые проанализирована временная изменчивость продолжительности климатических сезонов года в Санкт-Петербурге за период 1881 – 2014 гг. и на территории Ленинградской области за период 1950 – 2014 гг. Установлено значительное сокращение зимнего периода в Петербурге (на 32 дня) за счет увеличения продолжительности других сезонов, которое обусловлено более ранним наступлением весны (на 19 дней) и более поздним наступлением осени (13 дней). При этом лето увеличилось почти на 22 дня, весна – более чем на 9 дней, а продолжительность осени почти не изменилась. Скорость увеличения (уменьшения) продолжительности сезонов существенно менялась во времени. Наиболее интенсивно продолжительность зимы уменьшалась в течение 1940–1991 гг., при этом абсолютный максимальный тренд отмечался в течение 1950/51–1980/81 гг. и составлял -1.3 дней. С помощью вейвлет-анализа выявлены нестационарные по периоду и амплитуде циклы: для зимы цикл в 35-40 лет, который уменьшается к концу ряда до 25 лет, для лета – основной цикл с периодом 14 лет, который затем увеличивает свою продолжительность до 20 лет, для весны основной цикл с продолжительностью 26 лет, который остаётся неизменным до 50-х годов XX века. В продолжительности осени циклы носят локальный характер и выражены слабо.

3. Впервые разработаны малопараметрические статистические модели оценки продолжительности климатических сезонов для Санкт-Петербурга и Ленинградской области. На основе корреляционного анализа выявлено, что продолжительность климатических сезонов зависит от дат их начала и продолжительности предыдущего сезона, которые использованы в качестве предикторов. Все 4 модели являются значимыми по критериям Стьюдента и Фишера. Установлено, что наиболее высокую точность имеет модель продолжительности климатического лета как на территории Ленинградской области, так и в Санкт-Петербурге (66% дисперсии исходного ряда в Санкт-Петербурге и 65 % дисперсии исходного ряда в Ленинградской области).

4. Выявлена изменчивость экстремальных температурных характеристик в Санкт-Петербурге (1881 – 2014 гг.) и на территории Ленинградской области за

период 1950 – 2014 гг., а также впервые построены карты пространственной дифференциации и временной изменчивости температурных экстремумов Ленинградской области. Установлено, что с начала 1980-х годов резко ускорился рост положительных экстремумов и уменьшение отрицательных экстремумов, причём уменьшение отрицательных экстремумов более чем вдвое превосходит рост положительных. На отдельных станциях за этот период уменьшение отрицательных температур составило более 6^oC в то время, как увеличение положительных экстремумов достигало чуть более 3^oC. Установлена существенная пространственная неоднородность трендов отрицательных температурных экстремумов: Ленинградская область оказалась разделена на западную часть, где значения трендов максимальные, и восточную часть, характеризующую пониженной скоростью уменьшения отрицательных экстремумов. В это же время рост максимумов по всей территории области происходит зонально.

5. Проанализированы экстремальные характеристики продолжительности климатических сезонов как в Санкт-Петербурге (за период 1881 – 2014 гг.), так и на территории Ленинградской области (за период 1950 – 2014 гг.). Установлено, что наиболее ранние сроки наступления весны и лета в Санкт-Петербурге регистрировались в последние 30 лет, в то время, как самые ранние сроки начала осени и зимы оказались почти исключительно на рубеже XIX - XX веков. Наиболее поздние сроки наступления сезонов имеют зеркальный характер. В сроках самого раннего и позднего наступления климатических сезонов в Ленинградской области также присутствуют особенности, отмеченные для Санкт-Петербурга, но на более коротком ряду. Наиболее ранние сроки наступления весны и лета отмечались в последнее время (2 половина XX века – начало XIX века), наиболее ранние сроки наступления осени и зимы не имеют значимых особенностей. Из 10 самых поздних сроков наступления климатических весны и лета только 2 раза отмечены годы за последние 25 лет. В то же время самые поздние даты начала осени и зимы за последние 25 лет отмечены уже в 6 случаях из 10, причём экстремально позднее наступление зимы в этот период отмечено 4 раза из 5.

Публикации

Основное содержание работы отражено в 8 научных публикациях, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

1. Малинин В.Н., **Гурьянов Д.А.** Структурные особенности формирования межгодовой изменчивости температуры воздуха в северо-западном районе России // Общество. Среда. Развитие. 2013. № 2(27). С. 227-232.

2. Малинин В.Н., **Гурьянов Д.А.** К оценке продолжительности климатических сезонов года в Санкт-Петербурге // Общество. Среда. Развитие. 2013. №3(28). С. 252-256.

3. **Гурьянов Д.А.** Статистический анализ продолжительности климатических сезонов года в Санкт-Петербурге // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2013. №163. С. 107-113.

4. Малинин В.Н., **Гурьянов Д.А.** Роль атмосферной циркуляции в изменчивости температуры в зимний период в Санкт-Петербурге // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2014. №168. С. 43-49.

5. Малинин В.Н., **Гурьянов Д.А.** Межгодовая изменчивость климатических сезонов в Санкт-Петербурге // Известия РГО. 2015. Т147, вып. 5. С. 17 – 27.

6. **Гурьянов Д.А.**, Малинин В.Н. Тренды в колебаниях характеристик температуры воздуха в северо-западном регионе России // География: инновации в науке и образовании. Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции LXVI Герценовские чтения, посвященной 150-летию со дня рождения В. И. Вернадского. Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена; отв. ред.: В.П. Соломин, В.А. Румянцев, Д.А. Субетто, Н.В. Ловелиус. 2013.

7. Малинин В.Н., Гордеева С.Г., **Гурьянов Д.А.** Особенности температурного режима Санкт-Петербурга в современный период // Нерешённые проблемы климатологии и экологии мегаполисов. Материалы международного форума «Экология большого города». Санкт-Петербург, Ленэкспо, 20 марта 2013 года.

8. **Гурьянов Д.А.** Структурные особенности изменения продолжительности сезонов года на Северо-Западе России в условиях современных изменений климата // Сборник тезисов Девятнадцатой Санкт-Петербургской Ассамблеи молодых учёных и специалистов. СПб., 2014. С. 111.