



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Анализ климатических особенностей летнего сезона на западе ЕТР и
в Белоруссии»

Исполнитель Загидуллина Диана Дамировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Ефимова Юлия Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«31» мая 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Изменение климата	5
1.1 Современные признаки изменения климата	5
1.2 Глобальное потепление	6
2. Общая информация об исследуемой территории.....	9
2.1 Физико-географическое положение ЕТР	9
2.2 Физико-географическое положение Беларуси	12
3. Анализ климатических характеристик летнего сезона западной части ЕТР и Беларуси.	14
3.1 Анализ границ, продолжительность и средней температуры на выбранных станциях западной части ЕТР и Беларуси	14
3.1.1 Брест	14
3.1.2 Брянск.....	18
3.1.3 Великие Луки.....	23
3.1.4 Выборг.....	28
3.1.5 Калининград	32
3.1.6 Минск	37
3.1.7 Псков	42
3.1.8 Санкт-Петербург	46
3.1.9. Смоленск	51
3.1.10 Тихвин	56
3.2 Сравнительный анализ полученных климатических характеристик летнего сезона западной части ЕТР и Беларуси	60
3.3 Анализ условий формирования сдвига летней границы в Калининграде на более ранний срок.	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	73
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	75

ВВЕДЕНИЕ

Изучение климатических особенностей летнего периода в западной части Европейской территории России и Республики Беларусь приобретает особую актуальность. Это обусловлено тем, что летний сезон оказывает существенное влияние на все сферы жизни каждого человека: от благополучия населения и сельского хозяйства до промышленности и функционирования экономики. Изменения климата в современном мире требуют непрерывного отслеживания метеорологических показателей, выявления устойчивых трендов и закономерностей в климатических процессах.

В современных условиях изменения климата в научных исследованиях особое внимание уделяется зимнему сезону, как индикатору глобального потепления. В последние десятилетия в летнем климатическом сезоне наблюдается повышение температуры воздуха. Фиксируются рекордные значения. Комплексного анализа летнего периода на территории исследования с точки зрения дат устойчивого перехода температуры воздуха через 15 °С в последние годы не проводилось, т.е. магистерская диссертация имеет научную новизну.

Данная работа посвящена анализу климатических особенностей летнего сезона на западе ЕТР и в Белоруссии.

Цель работы: исследовать термические изменения летнего климатического сезона в западной части ЕТР и Беларуси с 1961 по 2020 гг.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Рассчитать и проанализировать границы и продолжительность летних климатических сезонов года.
2. Рассчитать и проанализировать средние температуры летних климатических сезонов.
3. Провести сравнительную характеристику полученных результатов и выявить особенности изменения летнего сезона на территории исследования.

Летний климатический сезон: даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 15°C.

Начало – на повышение. Окончание – на понижение.

Даты устойчивого перехода температуры воздуха рассчитываются методом В.А.Хаустова (РГГМУ).

Исследование было выполнено на основе архивных данных о среднесуточной температуре воздуха в городах Брест, Брянск, Великие Луки, Выборг, Калининград, Минск, Псков, Санкт-Петербург, Смоленск и Тихвин за период с 1961 по 2020 год из архива данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Объем и структура работы: выпускная квалификационная работа включает введение, 3 главы, заключение, список использованных источников.

Первая глава уделена влиянию изменения климата и его причинам, а также более подробно рассмотрена одна из причин – глобальное потепление.

Вторая глава посвящена комплексному рассмотрению физико-географического положения территории исследования.

Третья глава представлена изучению особенностей летнего климатического сезона на всех исследуемых станциях. В ходе выполнения магистерской диссертации был проведен расчёт и анализ средней температуры воздуха, продолжительности и границ летнего климатического сезона.

Результаты работы можно использовать при планировании мероприятий в отраслях городского хозяйства, в туристической отрасли, изменение летнего сезона также является важным фактором для развития сельского хозяйства.

1. Изменение климата

1.1 Современные признаки изменения климата

Изменение климата — это долгосрочное изменение температуры и типичных погодных условий в определенном месте. В отличие от более узкого понятия "глобального потепления", которое фокусируется на росте средней температуры, изменение климата охватывает комплекс взаимосвязанных процессов, такие как стихийные бедствия, изменение среды обитания диких животных, повышение уровня моря и ряд других последствий. Глобальное потепление вызывает изменение климата, что представляет серьезную угрозу для жизни на Земле. Изменение климата может относиться к определенному месту или к планете в целом. Это может привести к тому, что погодные условия станут менее предсказуемыми. Эти неожиданные погодные условия могут затруднить поддержание и выращивание урожая в регионах, которые зависят от сельского хозяйства, поскольку на ожидаемые уровни температуры и осадков больше нельзя полагаться. Изменение климата также связано с другими разрушительными погодными явлениями, такими как более частые и более сильные ураганы, наводнения, ливни и зимние штормы. [6]

В полярных регионах глобальное потепление, связанное с изменением климата, привело к ускоренному таянию ледяных щитов и ледников от сезона к сезону. Это способствует повышению уровня моря в разных регионах планеты. Наряду с расширением океанских вод из-за повышения температуры, вызванное этим повышение уровня моря начало наносить ущерб береговым линиям из-за усиления наводнений и эрозии.

Причиной нынешнего изменения климата в значительной степени является деятельность человека, например, сжигание ископаемого топлива, например, природного газа, нефти и угля. Сжигание этих материалов высвобождает в атмосферу Земли так называемые парниковые газы. Там эти газы удерживают тепло от солнечных лучей внутри атмосферы, вызывая повышение средней температуры Земли. Это повышение температуры

планеты называется глобальным потеплением. Потепление планеты влияет на местный и региональный климат. На протяжении всей истории климат Земли постоянно менялся. Когда это происходит естественным образом, это медленный процесс, который происходил в течение сотен и тысяч лет. Изменение климата под влиянием человека, которое происходит сейчас, происходит гораздо быстрее. [2]

1.2 Глобальное потепление

Земля становится теплее. Это явление, называемое глобальным потеплением, вызвано увеличением концентрации газов, удерживающих тепло в атмосфере парниковых газов, таких как углекислый газ и метан. Естественные процессы всегда влияли на температуру и климат Земли, но в последнее время температура и климат планеты менялись быстрее, чем может объяснить сама природа. Эти быстрые изменения вызваны деятельностью человека и широким использованием ископаемого топлива для получения энергии.

Когда выбросы ископаемого топлива попадают в атмосферу, они изменяют химический состав нашей атмосферы, позволяя солнечному свету достигать Земли, но препятствуя выделению тепла в космос. Благодаря этому Земля удерживает тепло подобно тепличному эффекту, который называется парниковым эффектом. Наиболее распространённым среди парниковых газов является углекислый газ, составляющий значительную долю атмосферных загрязнений, приводящих к климатическим изменениям. Выбросы CO_2 происходят преимущественно вследствие переработки и сжигания нефтепродуктов, природного газа и угольного сырья. Примерно четверть углекислого газа поступает в воздух из-за уничтожения лесов ради сельскохозяйственных нужд либо лесопромышленной деятельности. Ещё одним важным компонентом является метан, хотя его доля относительно невелика — около 16%, он обладает мощностью почти в 25 раз большей, чем

углекислый газ, и исчезает гораздо быстрее. Это делает его ответственным за значительное ускорение глобального потепления, но вместе с тем сокращение метанового загрязнения способно оперативно снизить темпы нагрева атмосферы. Основные источники выделения метана включают сельскохозяйственную деятельность (особенно животноводство), нефтегазовую отрасль и мусорные полигоны. [7]

Промышленная революция, начавшаяся в середине XVIII века, привела к началу антропогенного (вызванного человеком) роста выбросов парниковых газов в Европе и Соединенных Штатах. Изобретение парового двигателя, работающего на угле, сделало уголь основным источником энергии. Вскоре он стал использоваться для отопления домов и заправки машин на фабриках. С тех пор сжигание ископаемого топлива неуклонно росло. Сегодня многие страны мира используют ископаемое топливо для производства электроэнергии, тепла и транспорта. Выбросы парниковых газов резко возросли за последние 100 лет, и особенно с 1980-х годов. Это ускорило рост температуры Земли.

Люди повсеместно сталкиваются с последствиями глобального потепления, выражающимися в виде интенсивных засух, масштабных лесных пожаров и мощных штормов с сильными ливнями. Повышение температур влияет на экосистемы, вынуждая многих животных перемещаться в регионы с более умеренным климатом для выживания. Исследователи предупреждают, что без принятия мер по снижению роста мировой температуры некоторые виды рискуют исчезнуть навсегда.

Океан также нагревается, а ледники, ледяные шапки и ледяные щиты тают. Это приводит к повышению уровня моря, создавая проблемы наводнений для многих людей, которые живут на островах и в прибрежных общинах.

Ведущие мировые ученые регулярно собираются, чтобы рассмотреть последние исследования о том, как меняется планета. Результаты этого обзора обобщаются в регулярно публикуемых докладах, известных как доклады

Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В комплексном докладе описывается, насколько разрушительным может быть глобальное повышение температуры:

- Коралловые рифы в настоящее время представляют собой экосистему, находящуюся под угрозой исчезновения. Когда кораллы сталкиваются с экологическим стрессом, таким как высокая температура, они выбрасывают свои разноцветные водоросли и становятся полупрозрачными, этот эффект известен как обесцвечивание кораллов. В таком ослабленном состоянии они легче погибают.
- Деревья все чаще гибнут от засухи, и эта массовая гибель изменяет лесные экосистемы.
- Повышение температуры и изменение характера выпадения осадков делают лесные пожары более распространенными. Исследования показывают, что они распространяются даже на восточные районы США, где пожары исторически были менее распространены.
- Ураганы становятся все более разрушительными и приносят все больше осадков, что приводит к еще большему ущербу. Некоторые ученые говорят, что нам даже нужно готовиться к штормам категории 6. (Текущая система ранжирования заканчивается на категории 5). [8]

Страны по всему миру пытаются снизить выбросы парниковых газов, чтобы замедлить глобальное потепление. В 2015 году почти 200 стран подписали Парижское соглашение на конференции ООН по изменению климата. Международный договор обязывает каждую страну снизить выбросы парниковых газов. Цель состоит в том, чтобы замедлить интенсивность глобального потепления и не допустить повышения температуры Земли на 2°C выше доиндустриальных температур.

2. Общая информация об исследуемой территории

2.1 Физико-географическое положение ЕТР

Европейская территория России включает обширные пространства Восточно-Европейской равнины, а также горные системы Кавказа и Урала. Доминирующим ландшафтом региона является Восточно-Европейская (Русская) равнина, входящая в число крупнейших на планете.

Северные границы равнины омываются холодными арктическими морями - Белым и Баренцевым. Южные берега имеют выход к тёплым Чёрному и Азовскому морям. Юго-восточная часть примыкает к акватории Каспийского моря-озера. Западные рубежи соприкасаются с Балтийским морем, при этом часть равнины выходит за пределы государственной границы России. Восточным естественным рубежом служат Уральские горы. На юге природной границей выступает горная система Кавказа.

ЕТР в основном занимает Восточно-Европейскую (Русскую) равнину. Восточно-Европейская равнина представляет собой типичную холмистую равнину с чередованием низменностей и возвышенностей. Для её рельефа характерны плавные колебания высот, преимущественно в диапазоне 200-500 метров над уровнем моря. Такие особенности поверхности сформировались в результате длительных геологических процессов и специфического строения земной коры в этом регионе. [10]

Помимо рельефа, существенное воздействие на хозяйственную деятельность в регионе оказывают климатические особенности. Основная территория материковой части Европейской России расположена в пределах умеренного климатического пояса, тогда как северные районы относятся к субарктической зоне (рис. 2.1). Большую часть осадков на Восточно-Европейскую равнину приносит воздушный поток с Атлантического океана, при этом количество осадков постепенно снижается с запада на юг и юго-восток. Так, западная часть получает около 600–800 мм осадков ежегодно, тогда как на юге и юго-востоке этот показатель падает до 200–300 мм. Самым

сухим регионом является Прикаспийская низменность, где годовой уровень осадков составляет менее 200 мм.



Рисунок 2.1 – Климатические пояса

Воздушные потоки с Атлантики влияют на климат не только в летний сезон, но и зимний, вызывая регулярные оттепели и циклоны в течение всего года. При вторжении арктического воздуха летом наблюдаются похолодания и засуха, а зимой устанавливается морозная погода с ясным небом. В зимний период арктический воздух распространяется на всю территорию Восточно-Европейской равнины, достигая самых южных областей. [3]

Благодаря влажному климату на территории равнины имеется густая сеть рек. Крупнейшие реки — Волга, Днепр и Дон — начинаются на Валдайской, Смоленско-Московской и Среднерусской возвышенностях и направляются на юг. Северные реки, такие как Печора, Северная Двина и Онега, хотя и короче, отличаются большим количеством воды и течениями на север. Западная Двина, Нева и Неман несут свои воды на запад, в Балтийское море. Все реки покрываются льдом зимой, продолжительность которого

сокращается по мере продвижения на юг. В весенний период реки наполняются водой из-за таяния снегов, а летом становятся мелководнее. [9]

Современные гидротехнические сооружения, такие как канал имени Москвы, Волго-Балтийский, Волго-Донской и Беломорско-Балтийский каналы, соединяют реки между собой, образуя единый водный путь на Европейской территории России. Благодаря близкому расположению истоков и русл различных рек, а также созданной системе каналов, на территории сформировалась единая водная транспортная система, обеспечивающая эффективные транспортные связи, хорошую доступность различных регионов и возможности для экономического развития территории.

Баренцево побережье покрыто влажными холодными низменностями, расположенными в зонах тундры и лесотундры, где условия неблагоприятны для земледелия, однако активно развиваются такие отрасли, как оленеводство, охота и добыча полезных ископаемых — угольные пласты, нефтяные и газовые месторождения, железорудные залежи, меднорудные ресурсы и апатиты.

Центральную часть равнины занимает лесная зона, где к северу преобладает тайга, а к югу сменяют смешанные и широколиственные леса.

Южная часть равнин характеризуется обширными пространствами лесостепей и степей на богатых чернозёмных землях, отличающихся самыми оптимальными природно-климатическими условиями для аграрного производства. [4] Этот регион является основным центром российского земледелия и располагает значительными запасами природных ресурсов — железорудными бассейнами Курской магнитной аномалии, нефтегазовыми полями Поволжья и Урала.

Европейская территория России обладает благоприятными условиями для сельского хозяйства, транспорта и расселения людей, чем объясняется его высокая экономическая и демографическая значимость для России.

2.2 Физико-географическое положение Беларуси

Беларусь расположена в центре Европы, занимая площадь 207,6 тыс. км². Страна граничит с пятью государствами: Польшей (запад), Литвой (северо-запад), Латвией (север), Россией (восток и северо-восток) и Украиной (юг). Административно страна делится на 6 областей (Брестская, Витебская, Гомельская, Гродненская, Минская и Могилёвская) и 118 районов, столицей является Минск.

Территория страны расположена в западной части Восточно-Европейской равнины со средней высотой 160 м (рис. 2.2). Наивысшая точка – гора Дзержинская (345 м), а самая низкая (80 м) находится на границе с Литвой, где протекает Неман. Центральные районы характеризуются наибольшими высотами. Около 70% территории занимают низменности (до 200 м), остальное – возвышенности. [1]

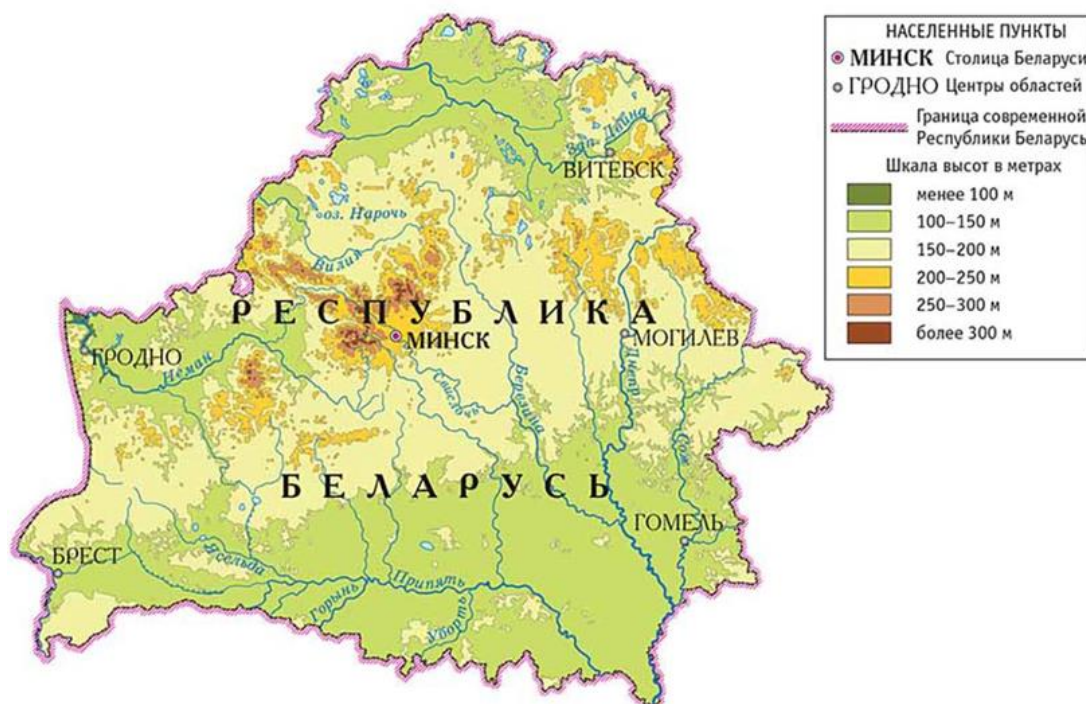


Рисунок 2.2 – Высоты территории

Климат страны умеренно-континентальный, с частыми зимними оттепелями. Уровень атмосферных осадков существенно варьируется зависимо от особенностей рельефа. Так, регионы с преобладанием

возвышенностей (центральная и северная части страны) получают больше влаги — от 650 до 700 миллиметров годовых осадков. Наиболее увлажняемым местом считается Новогрудская возвышенность, принимающая свыше 750 мм осадков ежегодно. Напротив, южные низменности отличаются меньшим количеством осадков — от 550 до 600 мм. Годовое колебание влажности также значимо: в сухие периоды этот показатель снижается до 300 мм, в особо дождливые сезоны достигает свыше 1100 мм.

В Беларуси около 21 тыс. рек общей протяжённостью 90,6 тыс. км. Крупнейшие, длиной свыше 500 км – Днепр, Западная Двина, Неман, Припять, Сож и Березина (единственная, полностью протекающая по территории страны). Средних рек, длиной от 101 до 500 км, насчитывается 41 единица, чья совокупная протяжённость равна примерно 6,7 тысяч километров. Большинство рек (93%) – малые (менее 100 км), что связано с равнинным рельефом и достаточным увлажнением. [5]

Природная среда Беларуси практически полностью занята зоной смешанных лесов, представленной видами животных, характерными для широколиственных лесов, тайги и лесостепи. Лесная фауна богата такими представителями, как лось, заяц, бобр, дикий кабан.

Беларусь сочетает благоприятные условия для сельского хозяйства (равнины, умеренный климат, плодородные почвы) с выгодным транспортным положением. Высокая урбанизация (80%) и рациональное расселение способствуют развитию. Эти факторы обеспечивают стране статус важного экономического и логистического центра Восточной Европы.

3. Анализ климатических характеристик летнего сезона западной части ЕТР и Беларуси

3.1 Анализ границ, продолжительность и средней температуры на выбранных станциях западной части ЕТР и Беларуси

3.1.1 Брест

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Брест. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.1.

Как видно из таблицы, начало сезона с 1961 по 1992 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов обнаружены только в мае и июне. В 1993 году появляется первый случай перехода в апреле – 23 числа, и до конца исследуемых годов будут переходы с периодичностью в трех месяцах. Самый ранний переход на повышение – 18 апреля 2000 года, а самый поздний – 20 июня 1994 года.

Так же, табличные показатели отражают, что конец сезона с 1961 года по 2010 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов зафиксированы и в августе, и в сентябре. К тому же, в этом периоде наблюдался самый ранний переход 22 августа в 1980 и 1981 годах. Самый поздний переход являлся 29 сентября в 1975 и 2006 годах. А уже с 2011 года по 2020 год переходы наблюдались только в сентябре.

Таблица 3.1 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха
через 15°C (апрель - июнь – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Апрель(4)	Май(5)	Июнь(6)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961		26		1961		19
1962			14	1962	29	
1963		3		1963		20
1964		26		1964	31	
1965			15	1965		12
1966			5	1966	24	
1967			15	1967		23
1968			1	1968		10
1969			12	1969		18
1970			4	1970		3
1971		9		1971		6
1972		15		1972	23	
1973		28		1973		11
1974			17	1974		11
1975		6		1975		29
1976			19	1976		19
1977			7	1977		9
1978		20		1978	25	
1979		15		1979		5
1980		28		1980	22	
1981		9		1981	22	
1982		17		1982		23
1983		12		1983		18
1984		15		1984		11
1985		6		1985		5
1986		14		1986	30	
1987			7	1987	29	
1988		14		1988		4
1989		13		1989	30	
1990			7	1990		3
1991			7	1991		6
1992		31		1992		2
1993	23			1993	24	
1994			20	1994		16
1995		25		1995		16
1996		9		1996		5
1997			5	1997		10
1998		27		1998	23	
1999		20		1999		12
2000	18			2000		4
2001			15	2001		8
2002		2		2002		12
2003	29			2003		1
2004		31		2004		8
2005		23		2005		16
2006			11	2006		29
2007		14		2007	28	
2008		30		2008		12
2009			7	2009		18
2010		11		2010	29	
2011		18		2011		15
2012	27			2012		14
2013		5		2013		2
2014		17		2014		16
2015		30		2015		20
2016		21		2016		18
2017		18		2017		15
2018	29			2018		22
2019		16		2019		14
2020			5	2020		28

Далее рассмотрим даты начала летнего сезона города Брест. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.1.

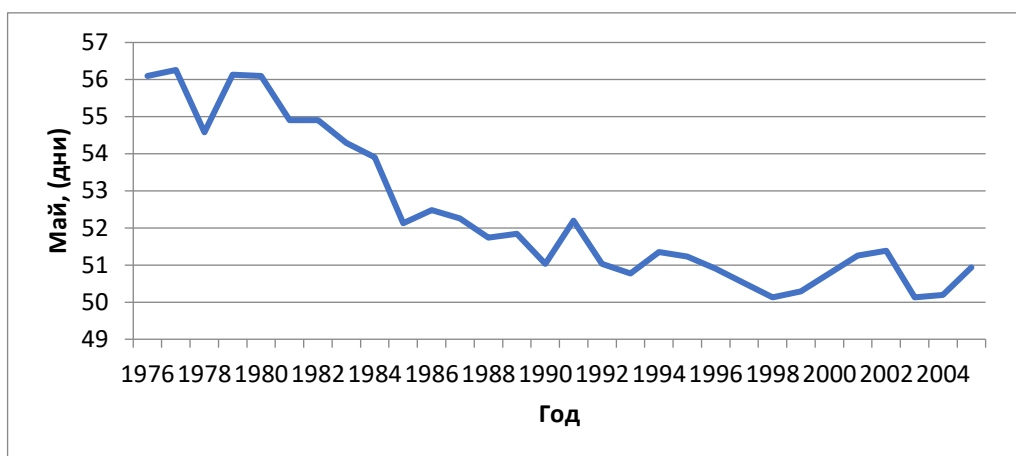


Рисунок 3.1 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Брест за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (окно осреднения 30 лет)

График на рисунке 3.1 демонстрирует, что начало лета смещается на более ранние сроки.

Аналогично были рассмотрены даты конца летнего сезона города Брест. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график конца летнего сезона представлены на рисунке 3.2.

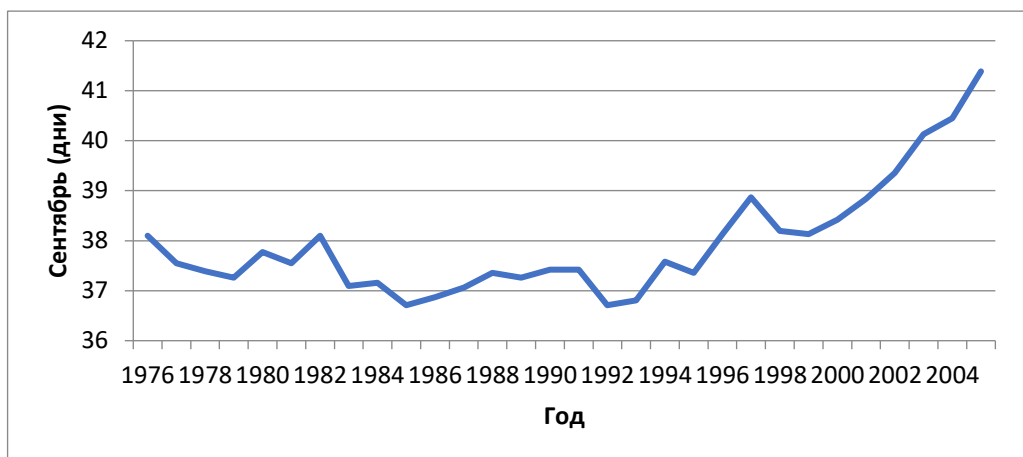


Рисунок 3.2 – Границы конца летнего климатического сезона в г. Брест за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (окно осреднения 30 лет)

Информация на графике указывает на то, что границы окончания лета начали смещаться более интенсивно только с 90-х годов на более поздние сроки. Таблица 3.2 содержит осредненные за два базовых периода данные дат начала и конца летнего сезона, а также его продолжительности.

Таблица 3.2 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Брест за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период(годы)	Начало	Окончание	Продолжительность
1961 - 1990	26 мая	7 сентября	104
1991 - 2020	21 мая	10 сентября	112

Исходя из таблицы, становится очевидным, что продолжительность летнего климатического сезона г. Брест увеличилось на 8 дней. Этот рост обусловлен более ранним наступлением летнего сезона, в то же время как его окончание отодвигается на более поздние сроки.

С целью изучения изменений средней летней температуры в г. Брест был выполнен анализ термического режима летнего сезона.

Рассмотрим среднюю температуру воздуха города Брест. На рисунке 3.3 представлен график средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

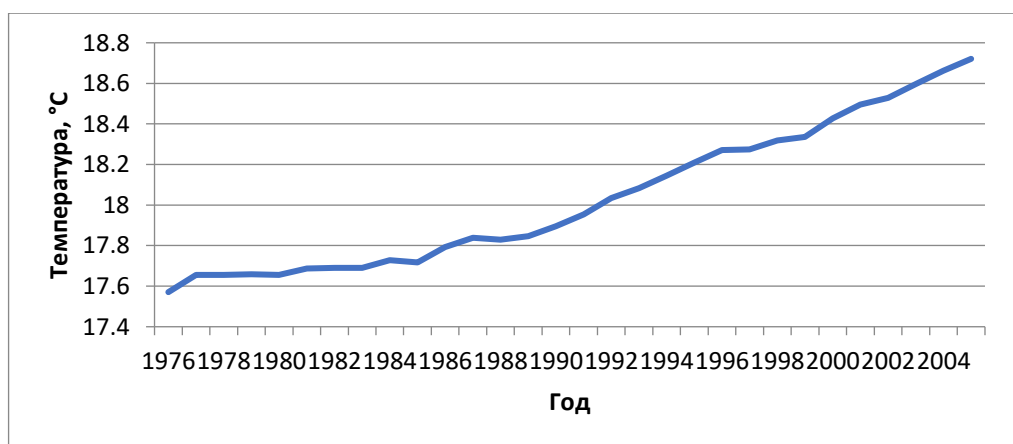


Рисунок 3.3 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Брест. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Согласно графику на рисунке 3.3, средняя температура воздуха с начала исследуемых годов до середины 80-х увеличивалась всего на 0.2 °С. В

последующих годах средняя температура воздуха летнего климатического сезона начала более уверенно повышаться. Эти же показатели отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца средней температуры летнего сезона в г. Брест за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	26 мая	7 сентября	17.5
1991 - 2020	21 мая	10 сентября	18.8

Как представлено в таблице, средняя температура воздуха г. Брест увеличилась на 1.3 $^{\circ}\text{C}$. В работе был проведён статистический анализ среднелетних температур, результаты представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.5	0.6	0.4
2 период	18.8	0.8	0.6
Весь ряд	18.2	0.9	0.8

Для двух базовых периодов наблюдается низкая дисперсия. Для оценки значимости изменений среднелетней температуры воздуха была рассчитана стандартная ошибка среднего для всего ряда. Изменения считались статистически значимыми, если стандартная ошибка средней не превышала величину изменения температуры воздуха лета. Наблюдаемое превышение величины изменения температуры над стандартной ошибкой ($1.3 > 0.1$) подтверждает, что такие изменения являются статистически значимыми.

3.1.2 Брянск

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Брянск. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.5.

Анализ таблицы позволяет утверждать, что начало сезона с 1961 по 2011 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов установлены только в мае и июне. Самый первый переход на повышение в апреле был 2012 года 25 числа, эта же дата и является самым ранним переходом. Помимо этого, в апреле зафиксирована еще одна дата устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов – 30 числа в 2018 году. 28 июня 1993 года – самый поздний переход на повышение.

Вдобавок, по результатам таблицы видно, что конец сезона за весь исследуемый период с периодичностью даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов наблюдались в августе и сентябре. Самый ранний переход на понижение отображен – 3 августа в 1961 году, а самый поздний – 28 сентября в 2015 году.

Таблица 3.5 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха
через 15°C (апрель - июнь – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Апрель(4)	Май(5)	Июнь(6)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961		26		1961	19	
1962		21		1962	20	
1963		4		1963		13
1964		30		1964	4	
1965			8	1965		8
1966		5		1966	26	
1967		2		1967		7
1968			6	1968		8
1969			8	1969		1
1970		30		1970	14	
1971		18		1971	23	
1972		14		1972	26	
1973			2	1973	22	
1974			10	1974		11
1975		2		1975		8
1976			20	1976	21	
1977			7	1977	15	
1978			24	1978	27	
1979		15		1979	28	
1980		29		1980	16	
1981		25		1981	24	
1982			27	1982		10
1983		12		1983	26	
1984		15		1984	13	
1985		4		1985		7
1986		15		1986		1
1987			6	1987	7	
1988		21		1988		5
1989		25		1989		6
1990			23	1990	22	
1991			6	1991	20	
1992		28		1992		7
1993			28	1993	19	
1994			26	1994		23
1995		21		1995		12
1996		1		1996		9
1997			7	1997		1
1998		29		1998	10	
1999		23		1999		11
2000		25		2000		5
2001			15	2001	28	
2002		23		2002		11
2003		10		2003		1
2004			19	2004		3
2005		16		2005		14
2006			14	2006	31	
2007		15		2007	28	
2008		18		2008		11
2009		27		2009		17
2010		1		2010	29	
2011		19		2011		2
2012	25			2012	29	
2013		8		2013	26	
2014		15		2014	23	
2015		21		2015		28
2016		25		2016		14
2017			5	2017	24	
2018	30			2018		23
2019		13		2019		14
2020			6	2020		8

Рассмотрим далее даты начала летнего сезона города Брянск. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.4.

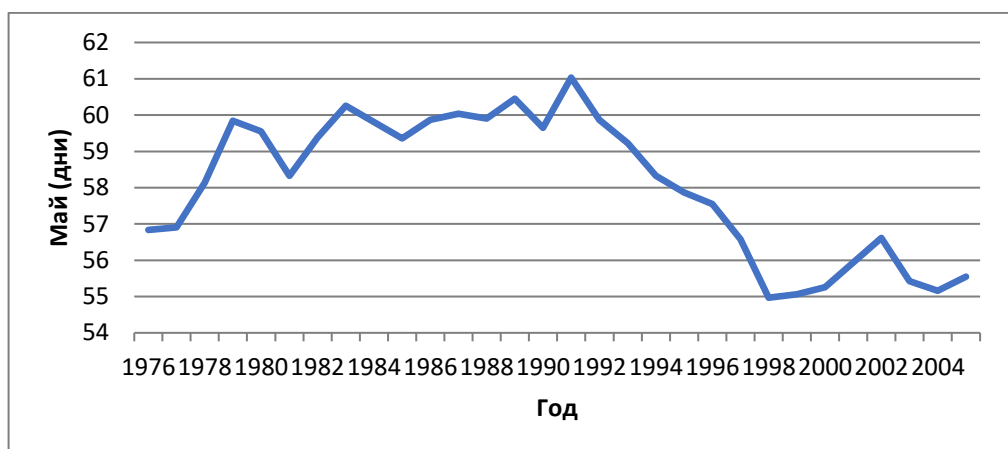


Рисунок 3.4 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Брянск за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (окно осреднения 30 лет)

Согласно графику, в последние десятилетия наблюдается тенденция к более раннему началу лета. В начале 90-х наблюдалось самое позднее наступление лета.

Таким же образом были рассмотрены даты конца летнего сезона города Брянск. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график конца летнего сезона представлены на рисунке 3.5.

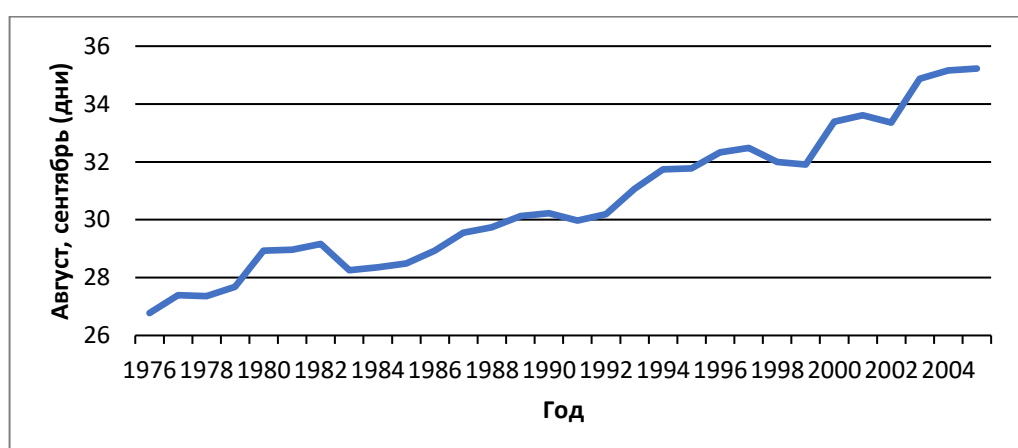


Рисунок 3.5 – Границы конца летнего климатического сезона в г. Брянск за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (окно осреднения 30 лет)

Судя по графику на рисунке 3.5 в течении всего исследуемого периода окончание лета смещалось на более поздние сроки. Таблица 3.6 содержит осредненные за два базовых периода данные дат начала и конца летнего сезона, а также его продолжительности.

Таблица 3.6 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Брянск за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период(годы)	Начало	Окончание	Продолжительность
1961 - 1990	27 мая	27 августа	92
1991 - 2020	26 мая	4 сентября	101

Таблица 3.6 показывает, что продолжительность летнего сезона в городе Брянск увеличилась на 9 дней.

Анализ термического режима летнего периода в Брянске позволило выявить изменения средних летних температур.

Рассмотрим среднюю температуру воздуха города Брянск. На рисунке 3.6 представлен график средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

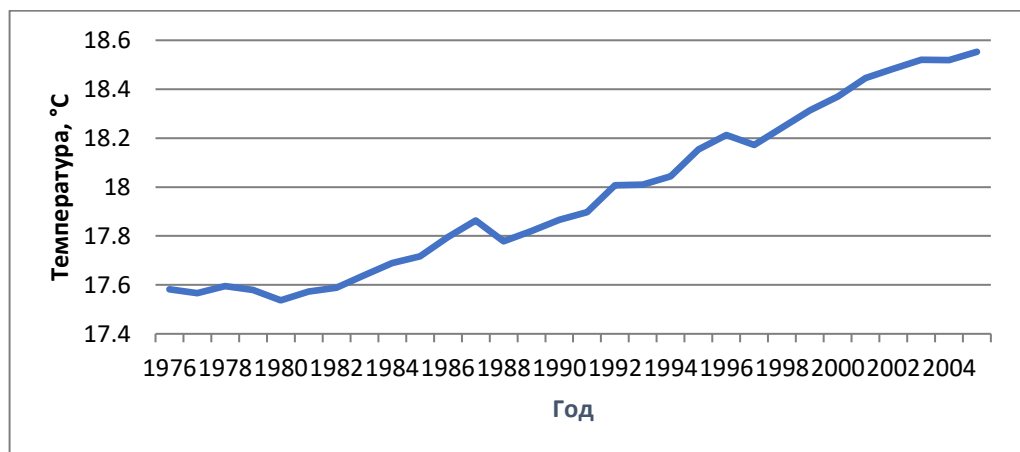


Рисунок 3.6 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Брянск. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Таблица иллюстрирует, что минимум средней температуры воздуха наблюдался в начале 80-х годов. В начале 90-х годов средняя температура воздуха пару лет держалась неизменной – 18 °С.

Таблица 3.7 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца средней температуры летнего сезона в г. Брянск за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	27 мая	27 августа	17.5
1991 - 2020	26 мая	4 сентября	18.6

Информация в таблице указывает на то, что средняя температура воздуха в городе Брянск увеличилась на 1.1 градус по Цельсию. Результаты статистического анализа среднелетних температур указаны в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.5	1.0	1.0
2 период	18.6	1.0	1.0
Весь ряд	18.1	1.1	1.2

Для первого и второго базовых периодов наблюдается низкая дисперсия. Была рассчитана стандартная ошибка среднего для оценки значимости изменений средней летней температуры воздуха города Брянск. Так как величина изменения температуры воздуха (1.1) больше, чем значения стандартной ошибки (0.1), такие изменения считаются статистически значимыми.

3.1.3 Великие Луки

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Великие Луки. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.9.

Таблица 3.9 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (май - июль – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Июль(7)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	28			1961	14	
1962			3	1962	21	
1963		24		1963		8
1964	31			1964	3	
1965		8		1965	1	
1966		5		1966	25	
1967		11		1967	19	
1968		6		1968		8
1969		10		1969	31	
1970	31			1970	17	
1971	27			1971	22	
1972		5		1972	25	
1973	31			1973	21	
1974		11		1974		11
1975		8		1975	10	
1976		24		1976	3	
1977		7		1977	14	
1978		24		1978	10	
1979	15			1979	27	
1980	30			1980	11	
1981	19			1981	23	
1982			9	1982	29	
1983	11			1983	19	
1984			7	1984	12	
1985			11	1985	29	
1986		1		1986	13	
1987		6		1987	3	
1988	20			1988	27	
1989	25			1989	23	
1990		23		1990	21	
1991		17		1991	13	
1992		12		1992		7
1993			3	1993	18	
1994		26		1994	15	
1995	25			1995		4
1996		2		1996		4
1997		7		1997		1
1998		1		1998	6	
1999	22			1999	21	
2000		11		2000	23	
2001		16		2001	28	
2002	30			2002		9
2003			1	2003	25	
2004		20		2004		3
2005	23			2005	31	
2006		13		2006		5
2007	15			2007	27	
2008		9		2008		10
2009		9		2009		12
2010	8			2010	26	
2011	28			2011	31	
2012		9		2012	21	
2013	8			2013	23	
2014	17			2014	22	
2015	26			2015	31	
2016	26			2016		4
2017		17		2017	23	
2018		10		2018		10
2019	19			2019		14
2020		5		2020		7

Исходя из установленных данных таблицы, можно сказать, что наступление лета в 1961 и 1962 годах даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов наблюдались только в мае и июле. В мае и июне с 1963 – 1981 гг. и с 2004 – 2020 гг. В остальных годах дата устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов была во всех трех исследуемых месяцах. Самый ранний переход на повышения является – 8 мая в 2010 и 2013 годах. А 11 июля 1985 года самый поздний переход.

Окончание лета 1961 – 1974 гг. и 1992 – 2020 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов зафиксирована и в августе, и в сентябре. С 1975 – 1991 гг. переход наблюдался только в августе. Самая ранняя дата перехода на повышение – 1 августа 1965 года. Самая поздняя – 14 сентября 2019 года.

Проанализируем даты начала летнего сезона города Великие Луки. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.7.

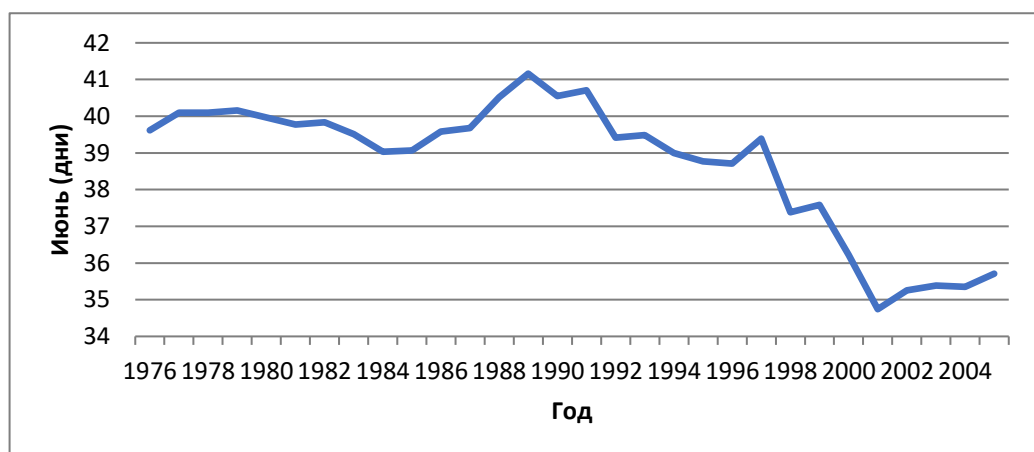


Рисунок 3.7 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Великие Луки за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (30 лет)

Как можно заметить из графика на рисунке 3.7, самое раннее наступление лета было в начале 2000-х гг. А самое позднее начало лета в конце 80-х.

Далее проанализируем даты окончания летнего сезона города Великие Луки. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.8.

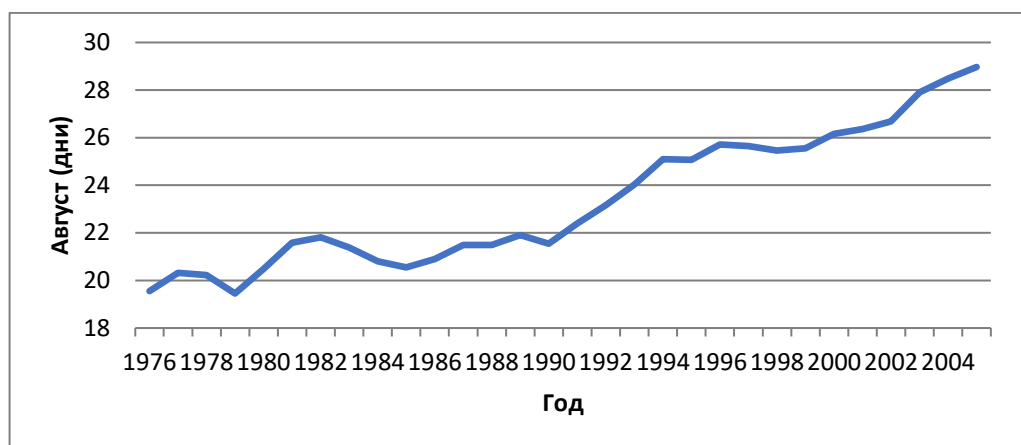


Рисунок 3.8 – Границы конца летнего климатического сезона в г. Великие Луки за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (30 лет)

Согласно рисунку 3.8, границы окончания летнего климатического сезона смещались на более поздние сроки. Таблица 3.10 содержит осредненные за два базовых периода данные дат начала и конца летнего сезона, а также его продолжительности.

Таблица 3.10 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Великие Луки за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период(годы)	Начало	Окончание	Продолжительность
1961 - 1990 г.	9 июня	20 августа	72
1991 - 2020 г.	5 июня	29 августа	85

Из таблицы 3.10 видно, что продолжительность летнего климатического сезона увеличилась на 13 дней. Кроме того, это увеличение вызвано тем, что начало лето сместилось на 4 дня назад, а окончание на 9 дней вперед.

Анализ термического режима летнего периода в Великих Луках позволило выявить изменения средних летних температур.

Рассмотрим среднюю температуру воздуха города Великие Луки. На рисунке 3.9 представлен график средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

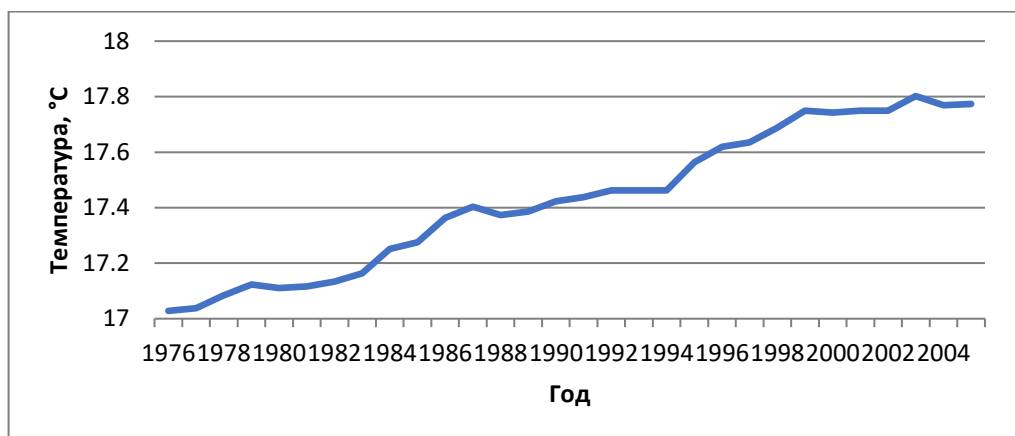


Рисунок 3.9 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Великие Луки. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

По графику заметно, что средняя температура воздуха города Великие Луки увеличивалась с каждым годом. Максимум средней температуры приходился на начало 2000-х гг. Так же несколько лет в начале 90-х средняя температура воздуха оставалась неизменной – 17.5 °С.

Таблица 3.11 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца средней температуры летнего сезона в г. Великие Луки за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	9 июня	20 августа	17.0
1991 - 2020	5 июня	29 августа	17.8

По таблице видно, что средняя температура воздуха второго периода увеличилась на 0.8 °С по сравнению с первым периодом. Результаты статистического анализа среднелетних температур указаны в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.0	0.8	0.6
2 период	17.8	0.9	0.8
Весь ряд	17.4	0.9	0.9

Низкая дисперсия наблюдается для двух базовых периодов. Для всего ряда была рассчитана стандартная ошибка среднего, она составила – 0.1. Величина изменения температуры воздуха – 0.8. Из-за того, что величина изменения температуры воздуха больше, чем значения стандартной ошибки, изменения считаются статистически значимыми.

3.1.4 Выборг

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Выборг. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.13.

Как видим из таблицы, что начало летнего сезона в городе Выборг в 1961 и 1962 годах даты перехода – в мае и июле. С 1963 по 1972 годы даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов наблюдались лишь в июне. С 1973 года по 2003 год и с 2014 года по 2020 год даты устойчивого перехода были зафиксированы в мае, июне, июле. 2004 – 2013 гг. даты наблюдались в мае и июне. Самый ранний переход на повышение отмечен – 11 мая 2018 года. Самый поздний переход на повышение – 23 июля 1996 года.

Окончание летнего сезона с 1961 по 1985 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов отмечены как в августе, так и в сентябре. С 1986 по 1994 год даты перехода были только в августе. В этом же промежутке был и самый ранний переход на понижение – 2 августа 1988 года. Помимо этого года, был еще один, где был самый ранний переход на понижение – 2 августа 1962 года. С 1995 – 2020 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха так же наблюдались и в августе, и в сентябре. А дата самого позднего перехода на понижение – 13 сентября 2019 года.

Таблица 3.13 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (май - июль – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Июль(7)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	28			1961	16	
1962			3	1962	2	
1963		19		1963		9
1964		12		1964	10	
1965		7		1965		4
1966		8		1966	22	
1967		15		1967		12
1968		12		1968		8
1969		9		1969		1
1970		3		1970	23	
1971		27		1971	22	
1972		12		1972	29	
1973	31			1973	21	
1974		12		1974		9
1975		17		1975	11	
1976			14	1976	20	
1977		8		1977	13	
1978		21		1978	5	
1979	24			1979		1
1980	30			1980	16	
1981		24		1981	20	
1982			3	1982	29	
1983		27		1983	13	
1984	15			1984	12	
1985			5	1985		6
1986		1		1986	13	
1987			19	1987	4	
1988		4		1988	2	
1989		4		1989	21	
1990		23		1990	24	
1991		23		1991	31	
1992	26			1992	19	
1993			10	1993	14	
1994		24		1994	16	
1995	26			1995		7
1996			23	1996		4
1997		7		1997		1
1998		8		1998	6	
1999		6		1999	13	
2000		20		2000		4
2001		22		2001	27	
2002	31			2002		11
2003			1	2003	25	
2004		24		2004		4
2005		10		2005		10
2006		13		2006		9
2007	27			2007	27	
2008		28		2008	26	
2009		22		2009		11
2010		23		2010	24	
2011	31			2011	30	
2012		13		2012	20	
2013	16			2013	30	
2014			5	2014	25	
2015		19		2015		2
2016		15		2016	28	
2017			9	2017	22	
2018	11			2018		10
2019		4		2019		13
2020		14		2020	27	

Проанализируем даты начала летнего сезона города Выборг. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.10.

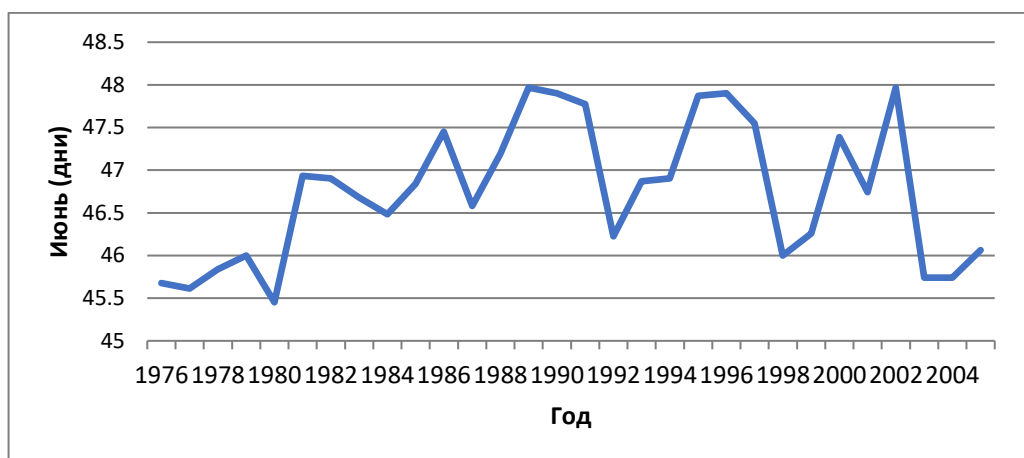


Рисунок 3.10 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Выборг за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (окно осреднения 30 лет)

Как видим из рисунка 3.10, самое раннее наступление лета было в начале 80-х годов. А самое позднее наступление лета приходилось на конец 80-х и начало 2000-х годов.

Далее проанализируем даты окончания летнего сезона города Выборг. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.11.

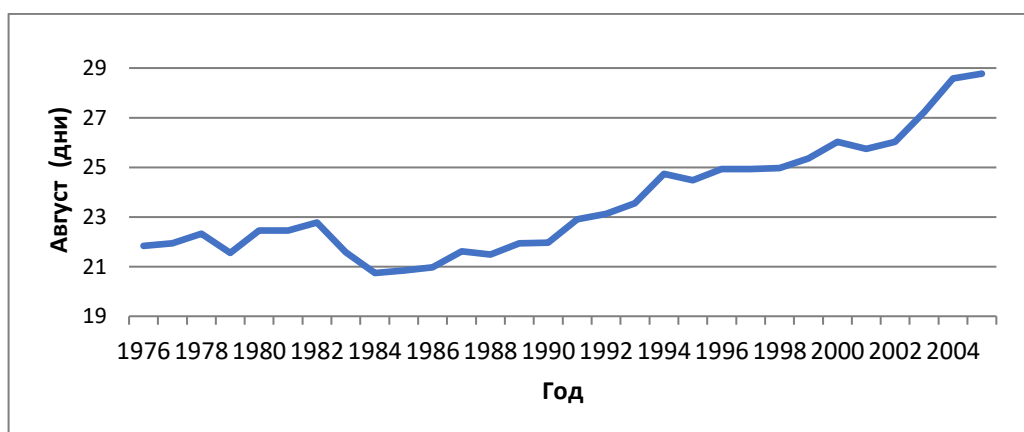


Рисунок 3.11 – Границы конца летнего климатического сезона в г. Выборг за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (окно осреднения 30 лет)

Можем наблюдать, что в начале 80-х лето стало заканчиваться намного раньше. Далее окончание лета стало смещаться на более поздние сроки. Таблица 3.14 содержит осредненные за два базовых периода данные дат начала и конца летнего сезона, а также его продолжительности.

Таблица 3.14 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Выборг за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период(годы)	Начало	Окончание	Продолжительность
1961 - 1990 г.	15 июня	22 августа	68
1991 - 2020 г.	15 июня	29 августа	75

Глядя на таблицу 3.14, заметим, что продолжительность летнего сезона в городе Выборг увеличилась на 7 дней. Это увеличение зависит только от смещения окончания лета, так как начало лета осталось неизменным.

Анализ термического режима летнего периода в Выборг позволило выявить изменения средних летних температур.

Рассмотрим среднюю температуру воздуха города Выборг. На рисунке 3.12 представлен график средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

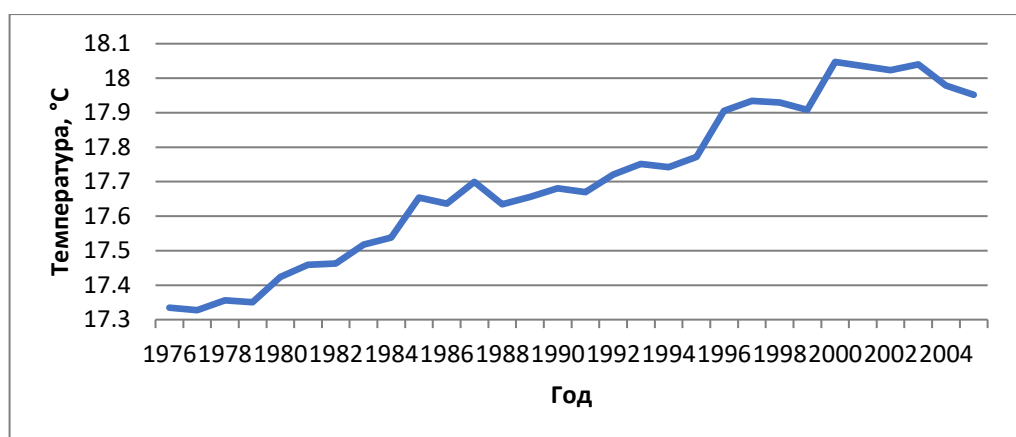


Рисунок 3.12 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Выборг. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Максимум средней температуры воздуха – 18 °С наблюдался в начале 2000-х годов. По графику видно, что наблюдался рост средней температуры воздуха города Выборг.

Таблица 3.15 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца средней температуры летнего сезона в г. Выборг за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	15 июня	22 августа	17.3
1991 - 2020	15 июня	29 августа	18.0

Заметно, что средняя температура воздуха города Выборг увеличилась на 0.7 градус по Цельсию.

Таблица 3.16 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.3	1.0	1.0
2 период	18.0	1.2	1.5
Весь ряд	17.7	1.2	1.3

Для первого и второго базовых периодов заметна низкая дисперсия. Для всего ряда была рассчитана стандартная ошибка среднего – 0.1. Величина изменения температуры воздуха – 0.7. Так как величина изменения температуры воздуха больше, чем значения стандартной ошибки, изменения считаются статистически значимыми.

3.1.5 Калининград

Рассмотрим летний климатический сезон города Калининград. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.17.

В результате анализа данной таблицы следует отметить, что окончание сезона с 1961 по 2010 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 °С зафиксированы и в августе, и в сентябре. Начиная с 2011 года даты устойчивого перехода температуры воздуха были зафиксированы только в сентябре. 2 августа 1987 года является самым ранним переходом на понижение является. Самым поздним переходом на понижение было 29 сентября 1975 года.

Таблица 3.17 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (апрель - июль – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

период	апрель	май	июнь	июль	период	август	сентябрь
1961		30			1961		4
1962				18	1962	21	
1963			26		1963		7
1964		25			1964		9
1965				13	1965	26	
1966			5		1966	26	
1967			17		1967		15
1968			2		1968		10
1969			13		1969	25	
1970			20		1970		2
1971		10			1971	23	
1972			4		1972	24	
1973			22		1973	22	
1974			13		1974		11
1975			8		1975		29
1976			23		1976		3
1977			8		1977		8
1978		21			1978	25	
1979		15			1979		5
1980			4		1980	17	
1981		9			1981	18	
1982				3	1982	29	
1983		16			1983		7
1984				8	1984		6
1985			20		1985		5
1986			11		1986	19	
1987			29		1987	2	
1988		27			1988		4
1989			21		1989	25	
1990			8		1990		3
1991			18		1991		6
1992		20			1992		2
1993	25				1993	22	
1994			25		1994		16
1995		27			1995		16
1996			1		1996		5
1997			6		1997		9
1998		27			1998	23	
1999		21			1999		12
2000			10		2000		1
2001			24		2001	28	
2002		2			2002		12
2003		24			2003	27	
2004			23		2004		8
2005			14		2005		16
2006			11		2006		22
2007		20			2007	28	
2008		30			2008		10
2009			22		2009		12
2010			1		2010	27	
2011		30			2011		15
2012			9		2012		13
2013		7			2013		2
2014		17			2014		16
2015			28		2015		3
2016		22			2016		15
2017		18			2017		6
2018		8			2018		22
2019		18			2019		12
2020			10		2020		28

По результатам анализа данной таблицы можно сделать вывод о том, что начало сезона в первом периоде с 1961 по 1990 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C были зафиксированы в мае, июне и июле. При чем в июле было всего 4 даты перехода - 18 числа в 1962, 13 числа в 1965, 3 числа в 1982 и 8 числа в 1984 году. Самая поздняя дата на повышение наблюдается 18 июля 1962 года. А во втором периоде с 1991 по 2020 гг. вообще не было переходов в июле, но зато появился устойчивый переход в апреле, это был единственный случай, и так же он является самым ранним переходом на повышение – 25 числа 1993 года. Помимо одной даты устойчивого перехода в апреле, во втором периоде переходы были в мае и июне

В работе были рассчитаны даты начала летнего сезона. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.13.

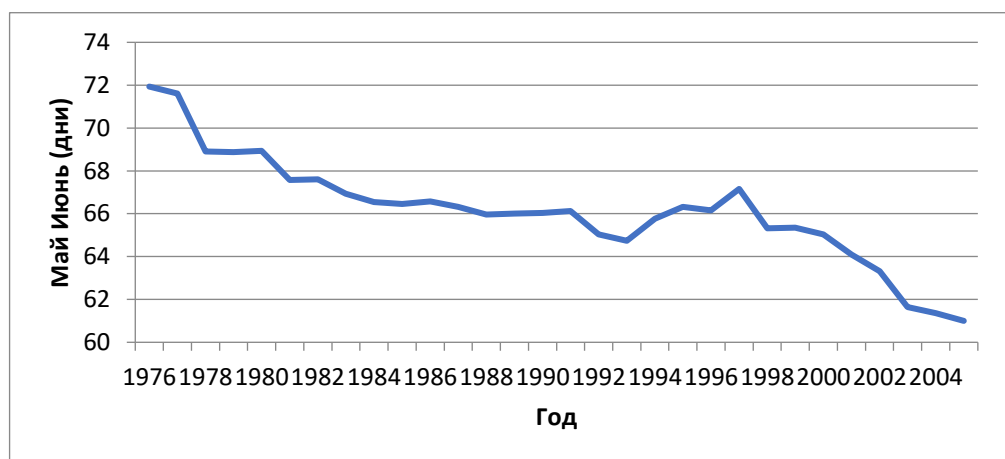


Рисунок 3.13 – Границы начала летнего климатического сезона в г.

Калининград за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (30 лет)

По анализу графика на рисунке 3.13 можно сказать, что границы лета в г. Калининград до середины 90-х годов смещаются в сторону более раннего начала. С середины 90-х до конца 90-х граница стала смещаться на более поздние сроки. Однако, в последующих годах границы вновь стабилизировались и начали смещаться на ранние сроки. По итогу, можно сделать вывод о том, что климатическое начало лета сместилось на 11 дней на более ранние сроки.

В дальнейшем, в ходе работы были рассчитаны даты окончания летнего сезона. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.14.

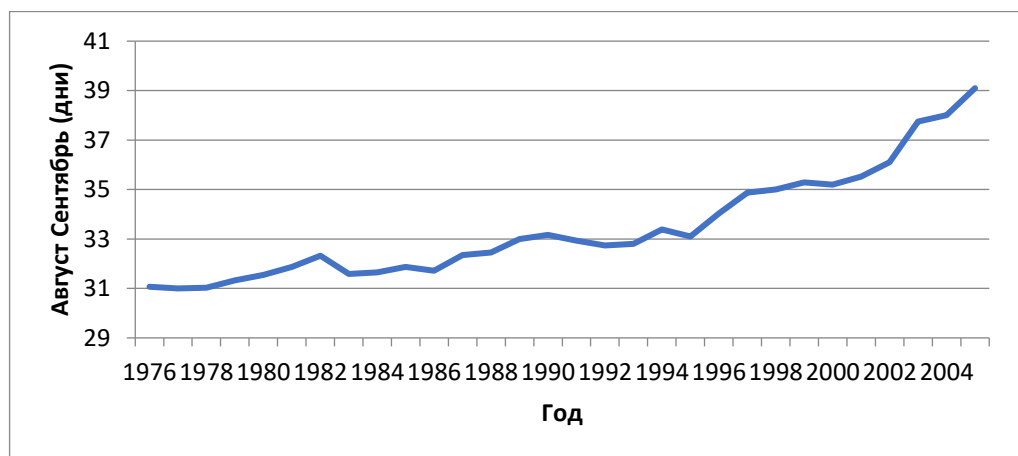


Рисунок 3.14 – Границы окончания летнего климатического сезона в г. Калининград за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (30 лет)

Анализ полученных данных на рисунке 3.14 показал, что границы окончания лета за весь исследуемый период смещаются на более поздние сроки. В таблице 3.18 представлены осредненные за два базовых периода данные дат начала и конца зимнего сезона, а также его продолжительности.

Таблица 3.18 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Калининград за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Продолжительность
1961 - 1990	11 июня	31 августа	81
1991 - 2020	31 мая	8 сентября	100

Приведенные данные показывают, что продолжительность летнего климатического сезона за период с 1961 года по 2020 год увеличивается на 19 дней. Причем, это увеличение вызвано смещением начала летнего сезона на более ранние сроки.

Анализ термического режима летнего периода в городе Калининград позволило выявить изменения средних летних температур.

Проанализируем среднелетнюю температуру воздуха города Калининград. На рисунке 3.15 представлены графики средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

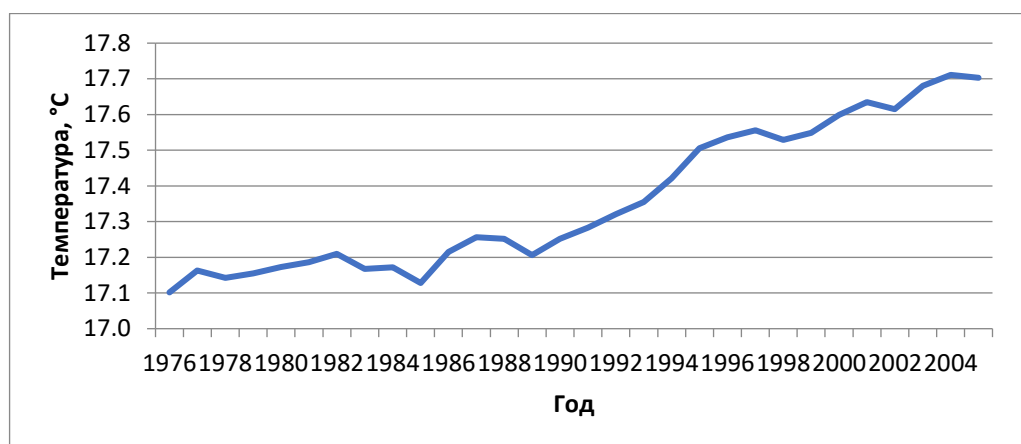


Рисунок 3.15 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Калининград. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Анализ полученных данных на рисунке 3.15 показал, что происходит повышение средней температуры воздуха за весь рассматриваемый период. Так же, можно заключить вывод о том, что средняя температура воздуха начала более уверенно повышаться в середине исследуемого срока. Климатические данные о среднелетних температурах по базовым периодам показаны в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца, средней температуры летнего сезона в г. Калининград за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	11 июня	31 августа	17.1
1991 - 2020	31 мая	8 сентября	17.7

Рассматривая данную таблицу, можно сделать вывод о том, что среднелетняя температура воздуха в городе Калининград увеличилась на 0.6 градусов по Цельсию.

Таблица 3.20 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.1	0.7	0.5
2 период	17.7	0.8	0.7
Весь ряд	17.4	0.8	0.7

Можно заключить, что «старый» базовый период с 1961 по 1990 гг. и «новый» не отличаются высокими значениями дисперсии. Была рассчитана значимость изменений температуры. Стандартная ошибка средней составила 0.1, изменения 0.6. Такие изменения температуры считаются статистически значимыми. Ряд является стационарным по критерию Фишера.

3.1.6 Минск

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Минск. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.21.

По таблице 3.21, можно сказать, что начало лета с 1961 – 1964 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C были только в мае. С 1965 – 2012 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха наблюдались с периодичностью в мае и июне. В последние периоды с 2013 года, даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 °C в июне больше не наблюдались, кроме 2020 года. Самый ранний переход на повышение был 1 числа в мае 2018 года. Самый поздний переход на повышение – 26 июня 1994 года.

Таблица 3.21 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (май, июнь – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	27		1961	14	
1962	26		1962	20	
1963	3		1963		13
1964	29		1964	2	
1965		9	1965	28	
1966		5	1966	26	
1967	2		1967		9
1968		2	1968		9
1969		12	1969	3	
1970		4	1970	18	
1971	9		1971	23	
1972	17		1972	25	
1973	29		1973	22	
1974		12	1974		1
1975	5		1975		7
1976		20	1976		4
1977		7	1977	15	
1978		24	1978	25	
1979	15		1979	27	
1980	29		1980	17	
1981	8		1981	26	
1982		6	1982		5
1983		5	1983	26	
1984	15		1984		7
1985	26		1985		5
1986	21		1986	21	
1987		6	1987	2	
1988	16		1988		4
1989	25		1989	25	
1990		18	1990	21	
1991		16	1991		6
1992	28		1992		2
1993	4		1993	18	
1994		26	1994		8
1995	18		1995	30	
1996	9		1996		5
1997		6	1997		2
1998	28		1998	23	
1999	20		1999		12
2000	25		2000	23	
2001		15	2001	29	
2002	23		2002		11
2003	20		2003	24	
2004		20	2004		3
2005	23		2005		14
2006		11	2006		5
2007	19		2007	28	
2008	31		2008		10
2009		19	2009		13
2010	13		2010	27	
2011	20		2011		1
2012		8	2012		6
2013	8		2013	23	
2014	17		2014	21	
2015	26		2015		4
2016	22		2016		14
2017	19		2017	23	
2018	1		2018		22
2019	17		2019		14
2020		6	2020		7

Конец лета с 1961 года по 1981 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C по большей части зафиксированы были в августе, в сентябре же было отмечено только 6 случаев. С 1982 по 2017 год с периодичностью переходы наблюдались в августе и сентябре. В последние три исследуемых года даты устойчивого перехода были только в сентябре. Самый ранний переход на понижение – 2 августа в 1964 и 1987 годах. 22 сентября 2018 год – самый поздний переход на понижение.

В работе были рассчитаны даты начала летнего сезона в городе Минск. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.16.

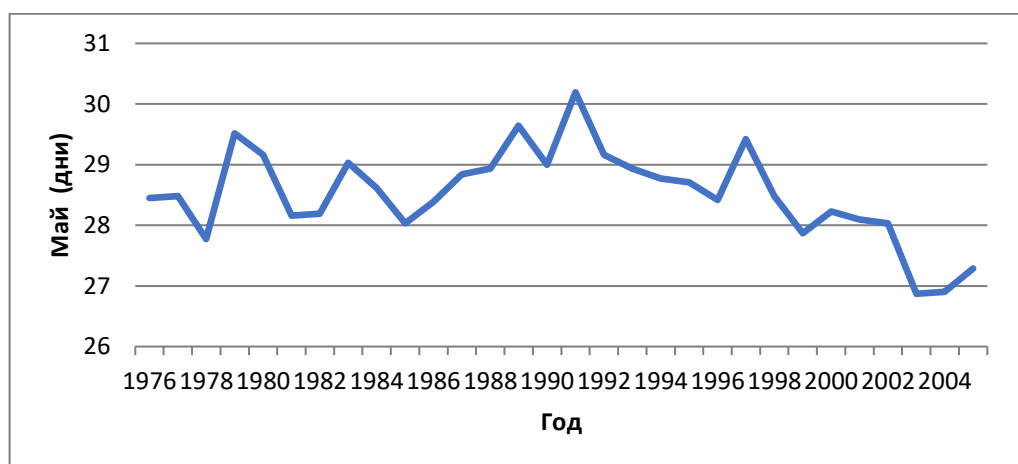


Рисунок 3.16 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Минск за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Из рисунка 3.16 видно, что в начале 90-х годов было самое позднее наступление лета. А самое раннее наступление лета зафиксировано в начале 2000-х годов.

В дальнейшем, в ходе работы были рассчитаны даты окончания летнего сезона. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.17.

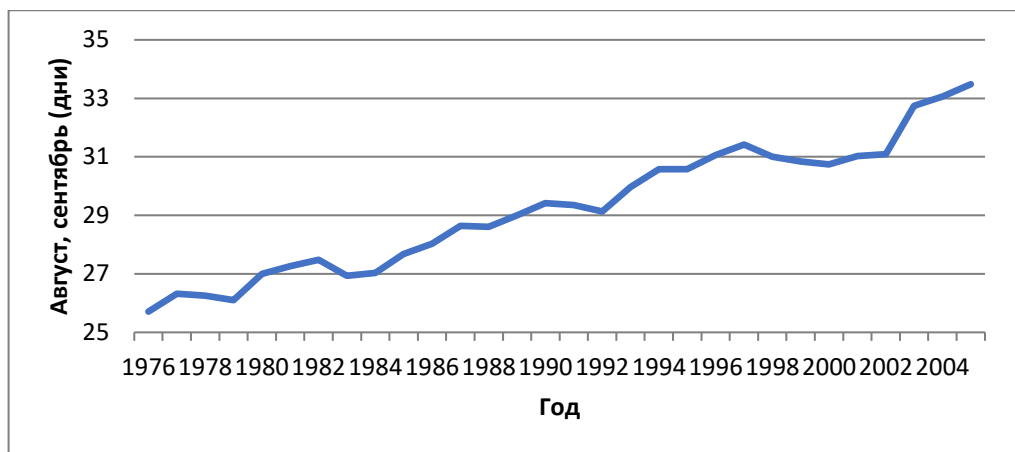


Рисунок 3.17 – Границы окончания летнего климатического сезона в г. Минск за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (30 лет)

Из графика на рисунке 3.17 отображено, что границы окончания летнего климатического сезона на протяжении всего исследуемого периода смещались на более поздние сроки.

Таблица 3.22 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Минск за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Продолжительность
1961 - 1990	28 мая	26 августа	90
1991 - 2020	27 мая	2 сентября	98

Можно увидеть, что продолжительность летнего сезона увеличилась на 8 дней. Ко всему прочему, границы начала лета сместились только на 1 день раньше по сравнению с первым периодом. А границы окончания лета сместились на более поздние сроки на 7 дней.

Для того чтобы проанализировать изменения средней температуры лета, был проведен анализ термического режима летнего сезона города Минск.

Проанализируем среднелетнюю температуру воздуха города Минск. На рисунке 3.18 представлены графики средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

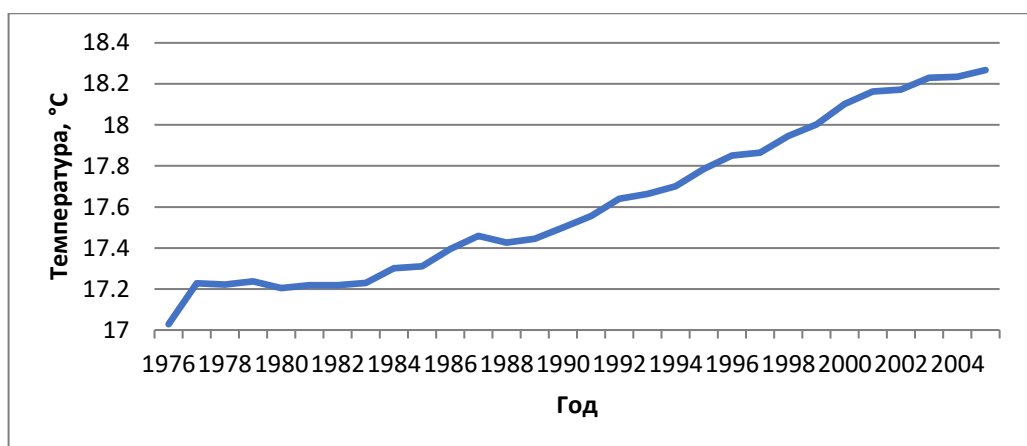


Рисунок 3.18 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Минск. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Как можно увидеть на рисунке 3.18 средняя температура воздуха летнего климатического сезона демонстрировала положительную динамику на протяжении всех исследуемых лет.

Таблица 3.23 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца, средней температуры летнего сезона в г. Минск за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	28 мая	26 августа	17.0
1991 - 2020	27 мая	2 сентября	18.3

Рассматривая представленную таблицу, можно сказать, что среднелетняя температура воздуха увеличилась на 1.3 °С.

Таблица 3.24 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.0	1.1	1.2
2 период	18.3	1.0	0.9
Весь ряд	17.7	1.2	1.5

Можно заключить, что «старый» базовый период и «новый» не отличаются высокими значениями дисперсии. Стандартная ошибка средней имеет значение – 0.2, изменения температуры воздуха – 1.3. Такие изменения

температуры считаются статистически значимыми. Ряд является стационарным по критерию Фишера.

3.1.7 Псков

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Псков. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.25.

Начало лета с 1961 года по 1964 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C наблюдались и в мае, и в июне. С 1965 – 1970 гг. даты перехода были только в июне. С 1971 года до конца исследуемого срока даты устойчивого перехода наблюдались с периодичностью в оба месяца. Самый ранний переход на повышение зафиксирован был – 8 мая 2013 году. Самый поздний переход – 28 июня в 1993 году.

Информация в таблице 3.25 показывает, что окончание лета с 1961 года по 1965 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C были зафиксированы в июле, августе и сентябре. С 1966 года по 1986 год даты устойчивого перехода температуры воздуха наблюдались преимущественно в августе, а также в сентябре. 27 июля 1987 год – самый ранний переход на понижение. К тому же это был последний год, когда даты устойчивого перехода фиксировались в июле. В последние периоды с 1987 года даты устойчивого перехода температуры воздуха наблюдались только в августе и сентябре. Самый поздний переход на понижение – 13 сентября в 2018, 2019 годах.

Таблица 3.25 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (май, июнь – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Период	Июль(7)	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	28		1961		13	
1962		24	1962	26		
1963	9		1963			7
1964	25		1964		12	
1965		7	1965	26		
1966		6	1966		22	
1967		15	1967		21	
1968		3	1968			8
1969		9	1969		31	
1970		4	1970		23	
1971	27		1971		22	
1972		5	1972		25	
1973	29		1973		22	
1974		12	1974			9
1975		7	1975		27	
1976		24	1976		20	
1977		7	1977		14	
1978		24	1978		25	
1979	15		1979		27	
1980	29		1980		16	
1981	19		1981		22	
1982		27	1982		29	
1983	16		1983		18	
1984	15		1984		12	
1985		17	1985			5
1986		1	1986		12	
1987		6	1987	27		
1988	21		1988			5
1989	24		1989		23	
1990		22	1990		21	
1991		18	1991			5
1992	25		1992			3
1993		28	1993		14	
1994		26	1994		17	
1995	19		1995			6
1996		2	1996			5
1997		7	1997			1
1998		1	1998		6	
1999		3	1999			10
2000		20	2000		22	
2001		16	2001		28	
2002	29		2002			10
2003		23	2003		25	
2004		21	2004			2
2005		11	2005		31	
2006		13	2006			4
2007	20		2007		27	
2008		2	2008		26	
2009		22	2009			12
2010	13		2010		25	
2011	30		2011		30	
2012		8	2012		21	
2013	8		2013		24	
2014	18		2014		20	
2015		12	2015		30	
2016	24		2016			3
2017		16	2017		21	
2018	11		2018			13
2019	18		2019			13
2020		5	2020		27	

В работе были рассчитаны даты начала летнего сезона в городе Псков. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.19.

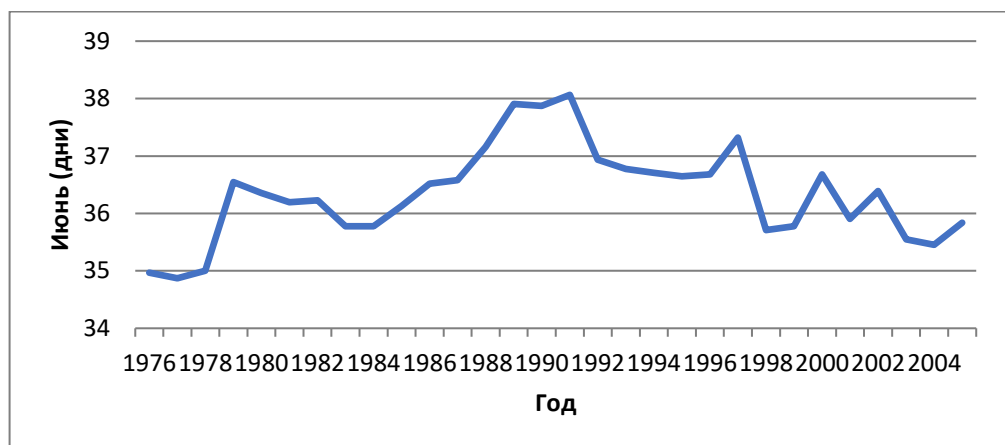


Рисунок 3.19 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Псков за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

График на рисунке 3.19 свидетельствует о том, что в середине исследуемого срока было зафиксировано самое позднее начало лета. Самое раннее начало лета было в конце 70-х.

Аналогично, в ходе работы были рассчитаны даты окончания летнего сезона. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.20.

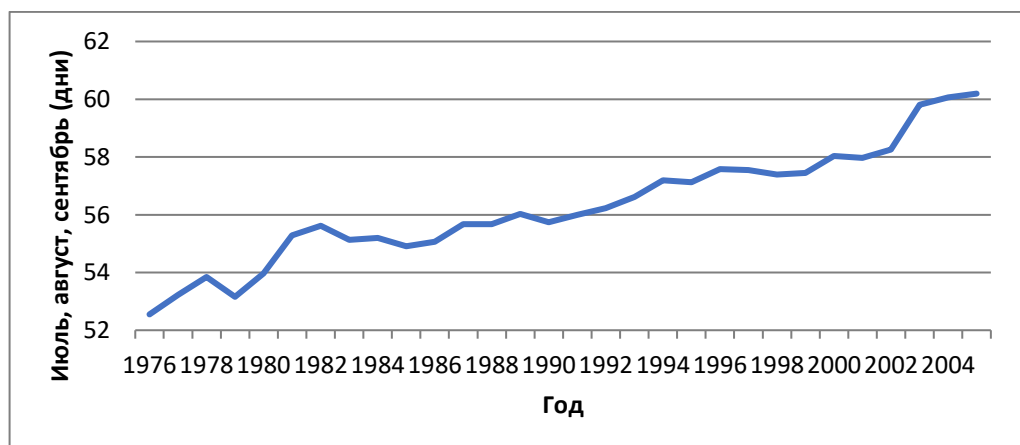


Рисунок 3.20 – Границы окончания летнего климатического сезона в г. Псков за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

График на рисунке 3.20 иллюстрирует, что границы окончания летнего климатического сезона сдвигались на более поздние сроки.

Таблица 3.26 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Псков за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Продолжительность
1961 - 1990	4 июня	22 августа	79
1991 - 2020	5 июня	29 августа	85

Судя по данным из таблицы 3.26, заметно, что продолжительность летнего сезона увеличилась на 6 дней. И между прочим, как и начало, так и окончание лета смещались на более поздние сроки. Начало лета на 1 день, окончание лета на 7 дней.

Для того чтобы проанализировать изменения средней температуры лета, был проведен анализ термического режима летнего сезона города Псков.

Проанализируем среднелетнюю температуру воздуха города Псков. На рисунке 3.21 представлены графики средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

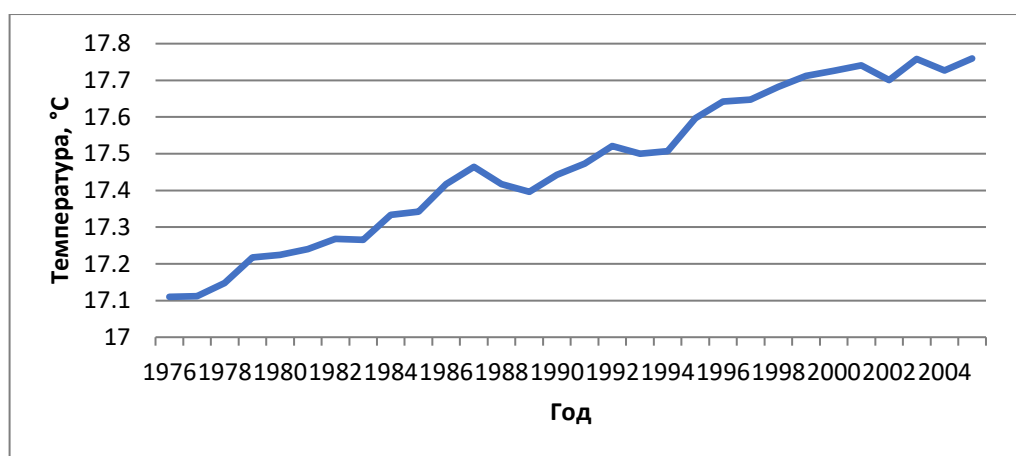


Рисунок 3.21 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Псков. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

На рисунке 3.21 можно заметить, что средняя температура воздуха возрастала. Так же, можем наблюдать, что в начале 90-х средняя температура воздуха была одинаковой – 17,5 °.

Таблица 3.27 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца, средней температуры летнего сезона в г. Псков за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	4 июня	22 августа	17.1
1991 - 2020	5 июня	29 августа	17.8

Анализ таблицы позволяет утверждать, что среднелетняя температура воздуха увеличилась на 0.7 градусов по Цельсию.

Таблица 3.28 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.1	0.8	0.6
2 период	17.8	0.9	0.8
Весь ряд	17.4	0.9	0.8

На основе данных таблицы можно сказать, что первый базовый период и второй не отличаются высокими значениями дисперсии. Изменения считались статистически значимыми, если стандартная ошибка средней не превышала величину изменения температуры воздуха. Стандартная ошибка средней – 0.1, изменения температуры воздуха имеют значения – 0.7. Такие изменения температуры считаются статистически значимыми.

3.1.8 Санкт-Петербург

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Санкт-Петербург. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.29.

Таблица 3.29 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (апрель - июнь – на повышение, август - октябрь– на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Июль(7)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	27			1961	17	
1962			3	1962	2	
1963		19		1963		8
1964		12		1964	11	
1965		7		1965		3
1966		6		1966	22	
1967		15		1967		12
1968		5		1968		8
1969		9		1969	31	
1970		4		1970	24	
1971		27		1971	22	
1972		5		1972	30	
1973	30			1973	22	
1974		12		1974		9
1975		8		1975	27	
1976			10	1976	20	
1977		7		1977	13	
1978		21		1978	5	
1979	17			1979	31	
1980	30			1980	21	
1981		24		1981	24	
1982			2	1982	29	
1983	17			1983	24	
1984	15			1984	12	
1985			5	1985		6
1986		1		1986	16	
1987		6		1987	7	
1988	21			1988		8
1989	24			1989	23	
1990		23		1990	23	
1991		18		1991		5
1992	25			1992		9
1993		30		1993	18	
1994		27		1994	16	
1995	18			1995		9
1996		28		1996		5
1997		6		1997		1
1998		8		1998	10	
1999		2		1999		10
2000		20		2000		5
2001		17		2001	27	
2002	30			2002		11
2003			1	2003	25	
2004		20		2004		4
2005		11		2005		10
2006		12		2006		9
2007	26			2007	27	
2008		14		2008	26	
2009		11		2009		11
2010		10		2010	26	
2011	31			2011	31	
2012		9		2012	29	
2013	16			2013		3
2014	18			2014	25	
2015		13		2015		3
2016		14		2016	29	
2017		29		2017	25	
2018	11			2018		23
2019		4		2019		13
2020		6		2020		7

В результате анализа данной таблицы можно увидеть, что начало сезона с 1961 года по 1985 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов зафиксированы в мае, июне и июле. При этом в июле было только 4 перехода, и так же в этом промежутке зафиксирован самый поздний переход – 10 июля в 1976 году. С 1986 года по 2002 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов были только в мае и июне. Первый переход на повышение в июле за последнее время появился 1 числа в 2003 году. До конца исследуемого срока даты устойчивого перехода в июле больше не наблюдалось, то есть были только в мае и июне. Самый ранний переход является 11 мая в 2018 году.

Так же, можем наблюдать, что конец сезона с 1961 по 1974 гг. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 градусов были зафиксированы в августе и сентябре. В этом промежутке наблюдается самый ранний переход – 2 августа 1962 год. С 1975 года по 1984 год были переходы только в августе. А с 1985 года по последний срок исследуемого периода даты устойчивого перехода температуры воздуха наблюдались в августе и сентябре. И к тому же в 2018 году был самый поздний переход – 23 сентября.

В работе были рассчитаны даты начала летнего сезона города Санкт-Петербург. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.22.

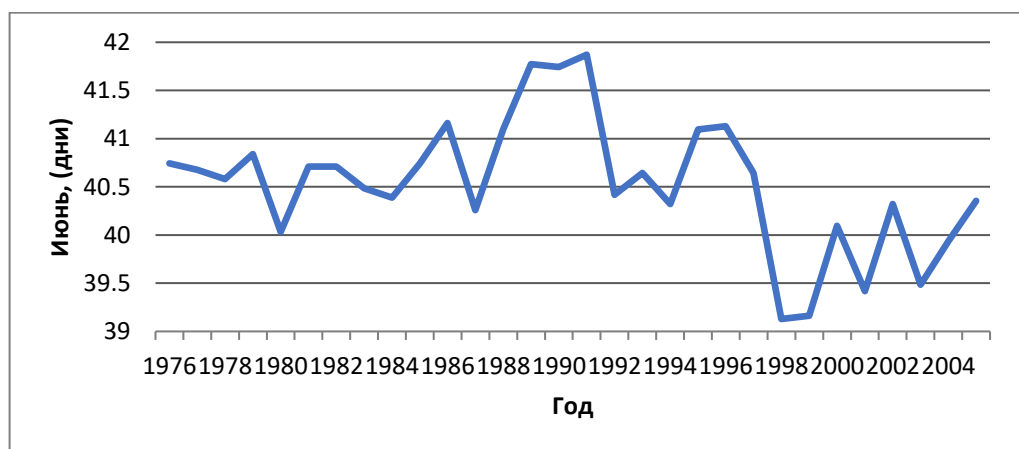


Рисунок 3.22 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Санкт-Петербург за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (30 лет)

По графику на рисунке 3.22 можно сделать вывод о том, что самое позднее начало лето наблюдалось в начале 90-х, а самая раннее наступление лета было в конце 90-х.

Так же в ходе работы были рассчитаны даты окончания летнего сезона города Санкт-Петербург. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график окончания летнего сезона представлены на рисунке 3.23.

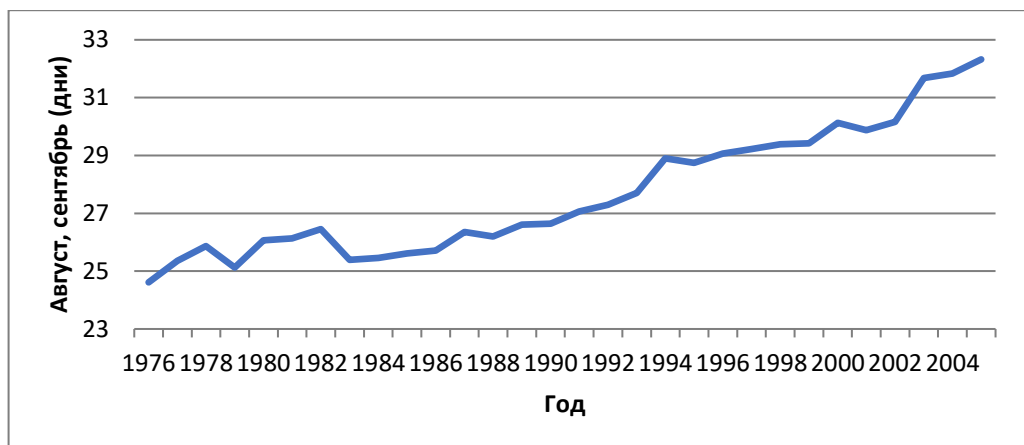


Рисунок 3.23 – Границы конца летнего климатического сезона в г. Санкт-Петербург за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее среднее (30 лет)

Анализ полученных данных на рисунке 3.23 показал, что с самого начала и до конца исследуемого периода конец лета смещался на более поздние сроки. В таблице 3.30 представлены осредненные за два базовых периода данные дат начала и конца летнего сезона, а также его продолжительности.

Таблица 3.30 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Санкт-Петербург за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период(годы)	Начало	Окончание	Продолжительность
1961 - 1990	10 июня	25 августа	76
1991 - 2020	9 июня	1 сентября	84

Данные в таблице 3.30 показывают, что продолжительность летнего климатического сезона за период с 1961 года по 2020 год увеличивается на 8

дней. В основном, это увеличение вызвано смещением окончания летнего сезона на более поздние сроки, так как начало лета сместилось незначительно.

Для города Санкт-Петербург был проведен анализ термического режима летнего сезона, чтобы проанализировать изменения средней температуры лета.

Рассмотрим среднюю температуру воздуха города Санкт-Петербург. На рисунке 3.24 представлен график средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

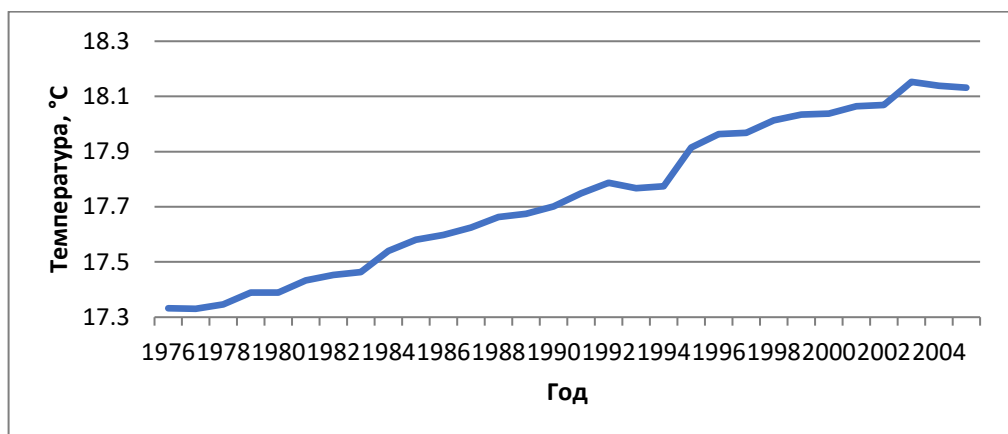


Рисунок 3.24 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Санкт-Петербург. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

По данным графика можно заметить, что средняя температура воздуха летнего климатического сезона в середине 90-х начала падать. И далее температура воздуха вновь начала постепенно увеличиваться до конца исследуемых годов. Эти же данные подтверждаются в таблице 3.31.

Таблица 3.31 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца средней температуры летнего сезона в г. Санкт-Петербург за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	10 июня	25 августа	17.3
1991 - 2020	9 июня	1 сентября	18.1

Судя по таблице 3.31, наблюдается, что средняя летняя температура воздуха г. Санкт-Петербург увеличилась на 0,8 °С. В работе был проведён статистический анализ среднелетних температур, результаты представлены в таблице 3.32.

Таблица 3.32 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.3	0.7	0.4
2 период	18.1	0.9	0.9
Весь ряд	17.7	0.9	0.8

Можно заметить, что «старый» базовый период и «новый» с 1991 по 2020 гг. имеют низкие значения дисперсии. Была рассчитана значимость изменений температуры. Стандартная ошибка средней составила 0.1, изменения 0.8. Такие изменения температуры считаются статистически значимыми. Ряд является стационарным по критерию Фишера.

3.1.9. Смоленск

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Смоленск. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.33.

Из данных в таблице 3.3 можно заметить, что начало летнего сезона в городе Смоленск с 1961 года по 1965 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C зафиксированы в мае, июне и июле. В этом же промежутке были самый поздний переход на повышение – 6 июля 1962 года. С 1966 – 1981 гг. даты устойчивого перехода были только в мае и июне. С 1982 по 1993 год даты устойчивого перехода температуры воздуха вновь наблюдались во всех трех исследуемых месяцах. А с 1994 года до конца исследуемого срока даты перехода больше не наблюдались в июле, то есть были только в мае и июне. Самый ранний переход на повышение – 3 мая 1967 года.

Таблица 3.33 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (май - июль – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Июль(7)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	27			1961	12	
1962			6	1962	20	
1963		26		1963		8
1964	31			1964	3	
1965			9	1965		8
1966		18		1966	25	
1967	3			1967	21	
1968		6		1968		8
1969		30		1969	31	
1970	31			1970	17	
1971	28			1971	23	
1972		4		1972	24	
1973		1		1973	22	
1974		11		1974	20	
1975	4			1975		8
1976		20		1976	3	
1977		7		1977	14	
1978		24		1978	10	
1979	15			1979	27	
1980	30			1980	11	
1981	24			1981	24	
1982			10	1982	30	
1983	12			1983	20	
1984			8	1984	13	
1985	26			1985		6
1986	22			1986	15	
1987		6		1987	29	
1988	21			1988	26	
1989	25			1989	24	
1990		23		1990	20	
1991		9		1991	13	
1992	26			1992		7
1993			10	1993	18	
1994		26		1994	15	
1995	25			1995		12
1996	9			1996		5
1997		7		1997		1
1998	29			1998	6	
1999	23			1999	21	
2000	25			2000	23	
2001		15		2001	28	
2002	27			2002		11
2003		26		2003	24	
2004		20		2004		3
2005	23			2005	27	
2006		14		2006	31	
2007	15			2007	27	
2008		9		2008		10
2009		22		2009	8	
2010	7			2010	26	
2011	20			2011	31	
2012		10		2012	21	
2013	8			2013	24	
2014	17			2014	22	
2015	26			2015	30	
2016		15		2016		4
2017		17		2017	23	
2018		11		2018		14
2019	13			2019		13
2020		6		2020		8

Конец лета с 1961 года по 1975 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C были как в августе (преимущественно), так и в сентябре. Интересно, что в этот период в сентябре даты устойчивого перехода всегда выпадали на 8 число, в таких годах, как 1963, 1965, 1968 и 1975. С 1976 – 1984 гг. даты устойчивого перехода были только в августе. С 1985 года по 2020 год даты перехода отмечались преимущественно в августе, но также и в сентябре. Самый ранний переход на понижение – 3 августа в 1964 и 1976 годах. Самый поздний – 14 сентября в 2018 году.

В работе были рассчитаны даты начала летнего сезона в городе Смоленск. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.25.

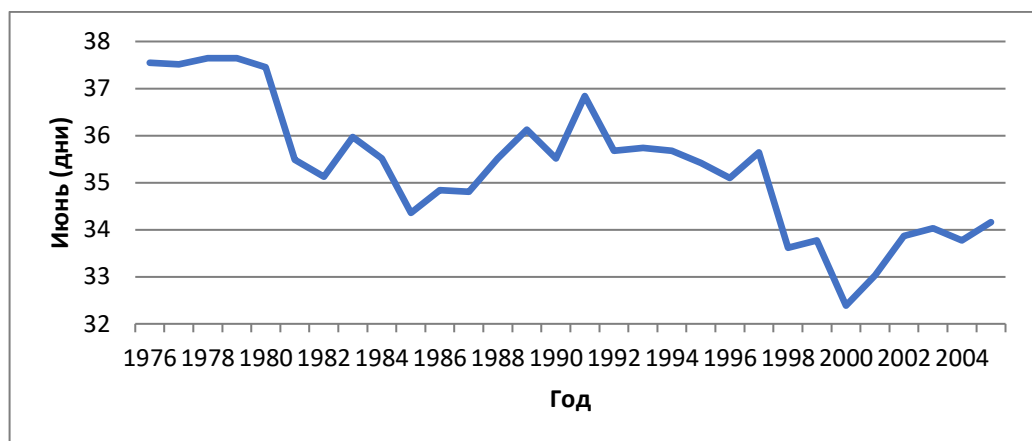


Рисунок 3.25 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Смоленск за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Рассматривая рисунок 3.25, замечен сдвиг начала летнего сезона в сторону более ранних дат. Самый ранний переход с весны на лето был в 2000-х. А самый поздний переход с весны на лето – конец 70-х.

Таким же образом были рассчитаны даты окончания летнего сезона. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.26.

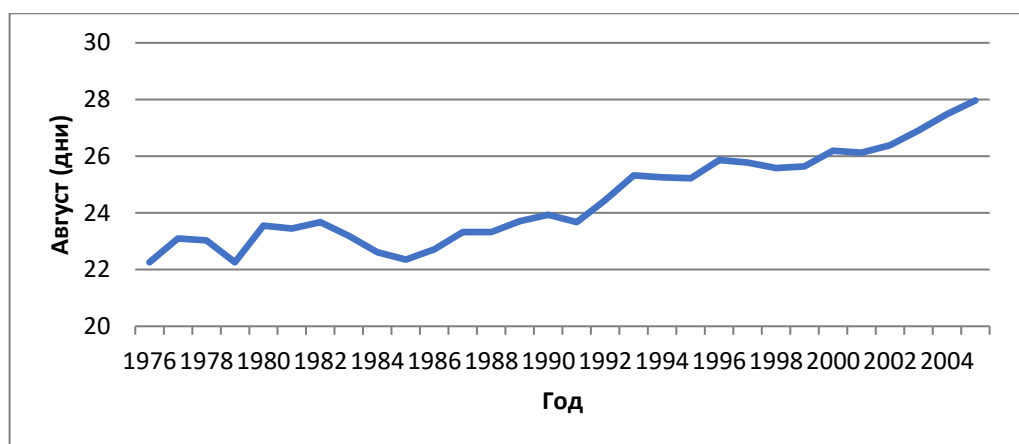


Рисунок 3.26 – Границы окончания летнего климатического сезона в г. Смоленск за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (30 лет)

Информация, взятая из графика на рисунке 3.26 предоставляет нам данные о том, что окончание летнего климатического сезона сдвигался в сторону более поздних дат. До середины исследуемого срока даты окончания лета были в пределах 22 – 24 августа, а уже после середины периода границы окончания лета были смещены на конец августа.

Таблица 3.34 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Смоленск за период с 1961 г. по 2020 г. (скользящее осреднение 30 лет)

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Продолжительность
1961 - 1990	7 июня	22 августа	76
1991 - 2020	3 июня	28 августа	86

Согласно таблице 3.34, продолжительность летнего климатического сезона города Смоленск увеличилась на 10 дней. Это связано с тем, что начало лета сдвинулось на более ранние сроки на 4 дня, а окончание лета на 6 дней.

Для того чтобы проанализировать изменения средней температуры лета, был проведен анализ термического режима летнего сезона города Смоленск.

Проанализируем среднелетнюю температуру воздуха города Смоленск. На рисунке 3.27 представлены графики средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

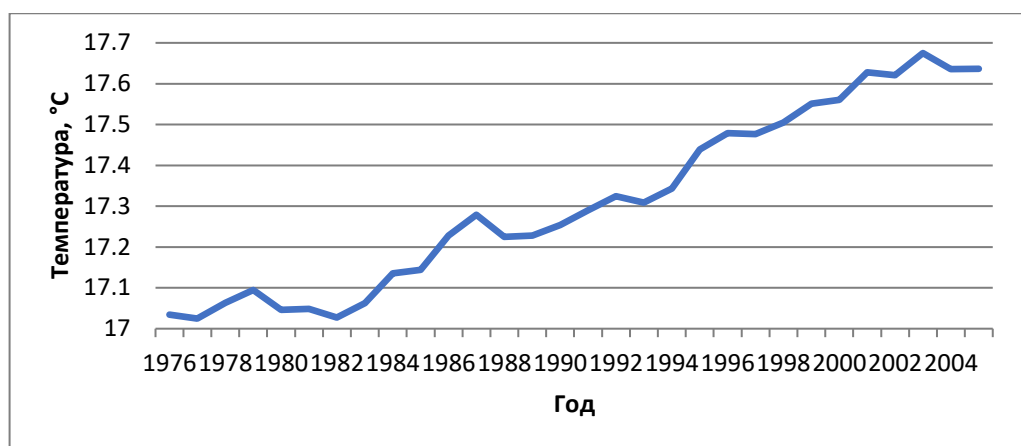


Рисунок 3.27 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Смоленск. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

Как видно из графика на рисунке 3.27, средняя температура воздуха в городе Смоленск выросла с начала исследуемого срока.

Таблица 3.35 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца, средней температуры летнего сезона в г. Смоленск за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	7 июня	22 августа	17.0
1991 - 2020	3 июня	28 августа	17.7

Данные таблицы позволяют утверждать, что средняя температура воздуха Смоленска увеличилась на 0.7°C

Таблица 3.36 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.0	0.9	0.8
2 период	17.7	0.9	0.8
Весь ряд	17.3	0.9	0.9

На основе данных таблицы можно сказать, что первый базовый период и второй не отличаются высокими значениями дисперсии. Стандартная ошибка средней составила 0.1, изменения температуры воздуха – 0.7 . Такие изменения температуры считаются статистически значимыми, так как

стандартная ошибка средней не превышает величину изменения температуры воздуха.

3.1.10 Тихвин

Рассмотрим летний климатический сезон в городе Тихвин. В результате расчетов дат устойчивого перехода воздуха через 15 градусов, была получена сводная таблица 3.37.

На основании изложенного в таблице 3.37 можно сказать, что начало лета с 1961 года по 1963 год даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15°C наблюдались только в мае и июле. А вот с 1964 года до 1975 года даты устойчивого перехода температуры воздуха появились и в июне. В мае, июне и июле даты устойчивого перехода были с 1976 – 1996 гг. К прочему, 1976 года 16 числа был самый поздний переход на повышение. С 1997 года по 2006 год вновь даты устойчивого перехода температуры воздуха наблюдались только в июне. В мае и июле даты перехода наблюдались с 2007 по 2014 год. Как раз в этом периоде зафиксирован самый ранний переход на повышения 12 мая в 2013 году. С 2015 года до конца исследуемого периода даты устойчивого перехода зафиксированы преимущественно в июне, и в одном году (2018) в июле.

Так же в городе Тихвин лето в основном заканчивалось в августе, изредка в сентябре. Из всего исследуемого периода в сентябре лето заканчивалось только 8 раз, в таких годах, как 1963, 1968, 1985, 1995, 2002, 2006, 2009 и 2018. Самое раннее окончание лета было в 1962, 1969, 1988 и 2019 годах 2 числа августа. Самое позднее – 20 сентября в 2002 году.

Таблица 3.37 – Даты перехода среднесуточных температур воздуха через 15°C (май - июль – на повышение, август, сентябрь – на понижение)

Период	Май(5)	Июнь(6)	Июль(7)	Период	Август(8)	Сентябрь(9)
1961	27			1961	11	
1962			4	1962	2	
1963			11	1963		8
1964		10		1964	11	
1965		7		1965	3	
1966		6		1966	22	
1967		21		1967	19	
1968		14		1968		8
1969		9		1969	2	
1970		25		1970	18	
1971		27		1971	10	
1972		13		1972	26	
1973		2		1973	21	
1974		8		1974	5	
1975		17		1975	8	
1976			16	1976	4	
1977		7		1977	13	
1978		24		1978	5	
1979	16			1979	28	
1980	30			1980	15	
1981		23		1981	9	
1982			4	1982	15	
1983		27		1983	14	
1984	16			1984	12	
1985			10	1985		8
1986		2		1986	12	
1987		16		1987	5	
1988	18			1988	2	
1989	25			1989	20	
1990		23		1990	22	
1991		18		1991	10	
1992			10	1992	18	
1993			10	1993	18	
1994		28		1994	15	
1995	18			1995		7
1996			5	1996	24	
1997		7		1997	31	
1998		8		1998	5	
1999		2		1999	7	
2000		21		2000	9	
2001		16		2001	20	
2002		7		2002		10
2003		30		2003	25	
2004		20		2004	10	
2005		11		2005	28	
2006		13		2006		4
2007	19			2007	27	
2008		20		2008	27	
2009		10		2009		11
2010		19		2010	19	
2011	31			2011	30	
2012		9		2012	9	
2013	12			2013	22	
2014	18			2014	22	
2015		13		2015	14	
2016		15		2016	28	
2017			10	2017	25	
2018		15		2018		9
2019		4		2019	2	
2020		6		2020	11	

В работе были рассчитаны даты начала летнего сезона в городе Тихвин. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.28.

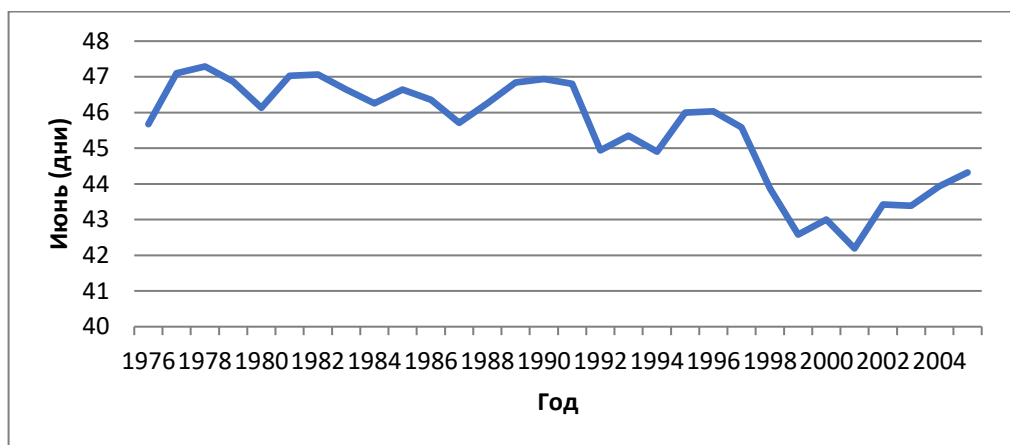


Рисунок 3.28 – Границы начала летнего климатического сезона в г. Тихвин за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

На рисунке 3.28 отображено, что с начала исследуемого периода до середины 90-х границы начала летнего сезона колебались в пределах 15 -16 числа июня. Далее границы смещались на более раннее наступление лета. Самое раннее наступление летнего климатического сезона зафиксировано в начале 2000-х.

Точно так же были рассчитаны даты окончания летнего сезона. Было произведено осреднение. Осредненные скользящим средним график начала летнего сезона представлены на рисунке 3.29.

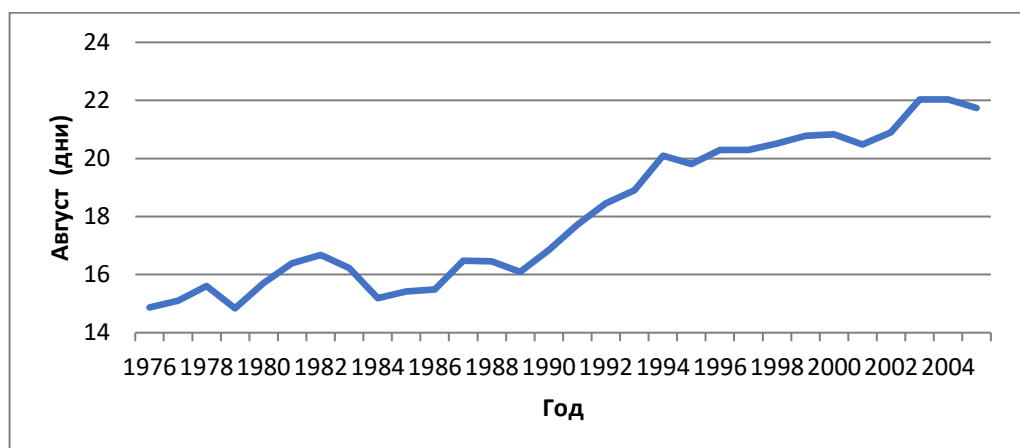


Рисунок 3.29 – Границы окончания летнего климатического сезона в г. Тихвин за период с 1961 – 2020 гг. Скользящее осреднение (30 лет)

Анализируя график на рисунке 3.29, заметно, что до середины исследуемого периода сдвиг окончания летних границ был незначительным. А уже с начала 90-х даты окончания лета сдвинулись на 5 дней.

Таблица 3.38 – Осредненные даты начала и окончания летнего сезона в г. Тихвин за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Продолжительность
1961 - 1990	15 июня	15 августа	61
1991 - 2020	13 июня	22 августа	70

По представленной таблице 3.38, видно, что продолжительность летнего сезона города Тихвин увеличилась на 9 дней. Это связано с тем, что начало лета сдвинулось на более ранние сроки на 2 дня, а окончание лета на 7 дней.

Для того чтобы проанализировать изменения средней температуры лета, был проведен анализ термического режима летнего сезона города Тихвин.

Проанализируем среднелетнюю температуру воздуха города Тихвин. На рисунке 3.30 представлены графики средней температуры воздуха через 15 °С в осредненном скользящем среднем виде.

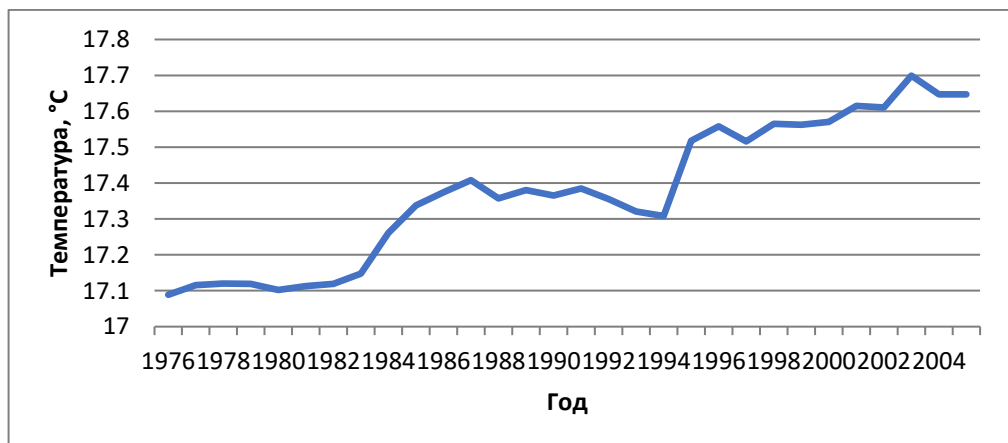


Рисунок 3.30 – Средняя температура воздуха летнего климатического сезона в г. Тихвин. Скользящее осреднение (окно осреднение 30 лет)

По данным графика на рисунке 3.30, можно сказать, что среднелетняя температура воздуха до 80-х годов особо не менялась. Далее до конца 80-х средняя температура воздуха стремительно росла. С конца 80-х до середины

90-х средняя температура воздуха колебалась с 17.3 °С до 17.5 °С. В последующих годах зафиксировано повышение температуры.

Таблица 3.39 – Осредненные по 30-летиям даты начала и конца, средней температуры летнего сезона в г. Тихвин за период с 1961 г. по 2020 г.

Период (годы)	Начало лета	Окончание лета	Средняя t°
1961 - 1990	15 июня	15 августа	17.1
1991 - 2020	13 июня	22 августа	17.7

Подводя итог, таблица 3.39 подтверждает, что средняя температуры воздуха увеличилась на 0.6 °С в городе Тихвин.

Таблица 3.40 – Статистические характеристики среднелетней температуры за 2 базовых периода.

Ряд	Среднее	СКО σ	Дисперсия σ^2
1 период	17.1	1.0	1.0
2 период	17.7	1.2	1.5
Весь ряд	17.4	1.2	1.3

Исходя из данных таблицы можно сказать, что «новый» базовый период с 1991 по 2020 гг. и «старый» базовый период с 1961 по 1990 гг. не имеют высокие значения дисперсии. Стандартная ошибка средней составила 0.2, изменения температуры воздуха – 0.6. Такие изменения температуры считаются статистически значимыми, так как величина изменения температуры воздуха превышает стандартную ошибку средней.

3.2 Сравнительный анализ полученных климатических характеристик летнего сезона западной части ЕТР и Беларуси

В работе были произведены расчеты значения дат перехода летнего периода и продолжительности на всех станциях за первый и второй период, результаты которого представлены в таблице 3.41

Таблица 3.41 – Осредненные по 30-летию даты начала, окончания и продолжительности летнего сезона на всех станциях за первый и второй период.

Город	Дата начала		Продолжительность		Дата окончания	
	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
Брест	26 мая	21 мая	104	112	7 сентября	10 сентября
Брянск	27 мая	26 мая	92	101	27 августа	4 сентября
Великие Луки	9 июня	5 июня	72	85	20 августа	29 августа
Выборг	15 июня	15 июня	68	75	22 августа	29 августа
Калининград	11 июня	31 мая	81	101	31 августа	8 сентября
Минск	28 мая	27 мая	90	98	26 августа	2 сентября
Псков	4 июня	5 июня	79	85	22 августа	29 августа
Санкт-Петербург	15 мая	10 мая	76	84	4 сентября	19 сентября
Смоленск	7 июня	3 июня	76	86	22 августа	28 августа
Тихвин	15 июня	13 июня	61	70	15 августа	22 августа

В программе QGIS было построено пространственное изменение даты начала и окончания летнего сезона, где демонстрируется пространственное распределение изменения даты начала лета второго периода (1991-2020 гг.) относительно первого периода (1961-1990). Так же рассмотрим пространственное изменение продолжительности летнего сезона на западной части ЕТР и Беларуси.

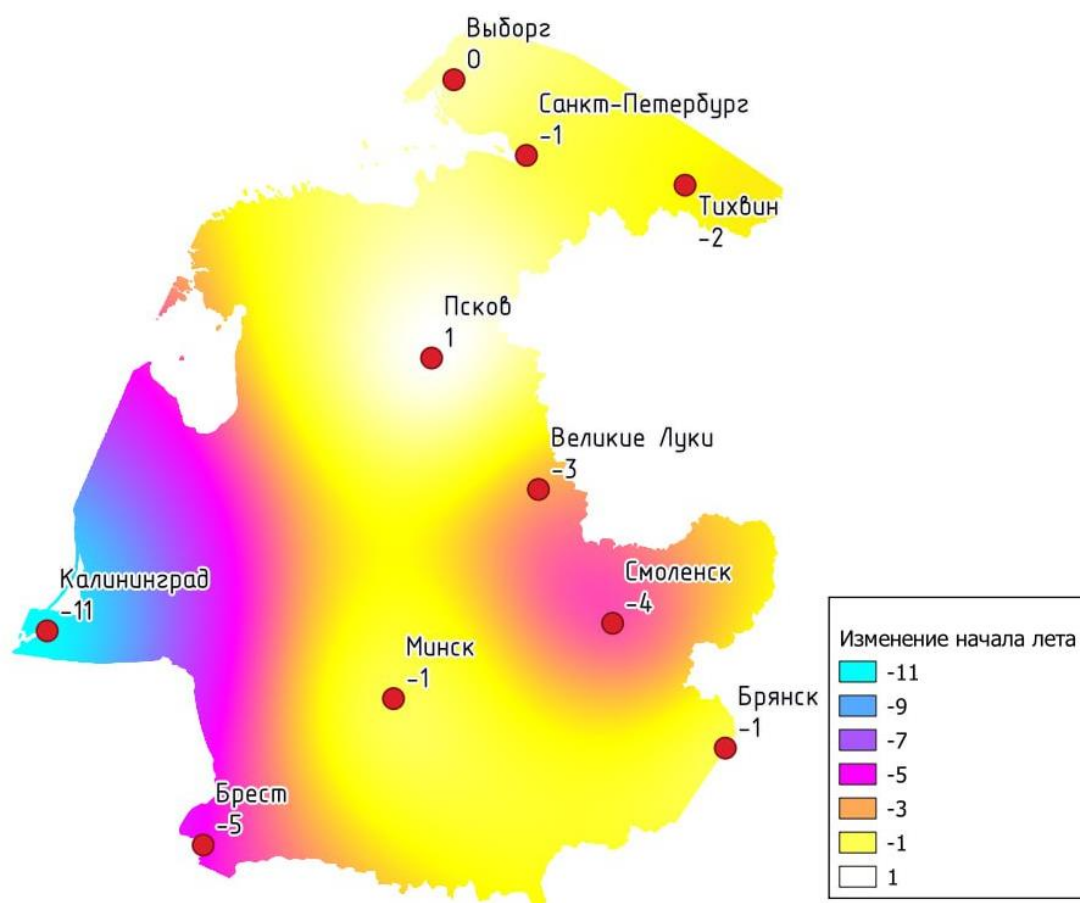


Рисунок 3.31 – Пространственное изменение даты начала лета на западной части ЕТР и Беларуси

На рисунке 3.31 можем заметить, что максимальное изменение наблюдалось на западе исследуемой территории и составляет -11 дней, то есть дата начала лета второго периода сместилась на 11 дней раньше, по сравнению с первым периодом. Минимальные изменение были по центру исследуемой территории 0, 1, и -1. На юге и востоке это изменение, практически, одинаково и варьируется от -2-х. до -5 дней.

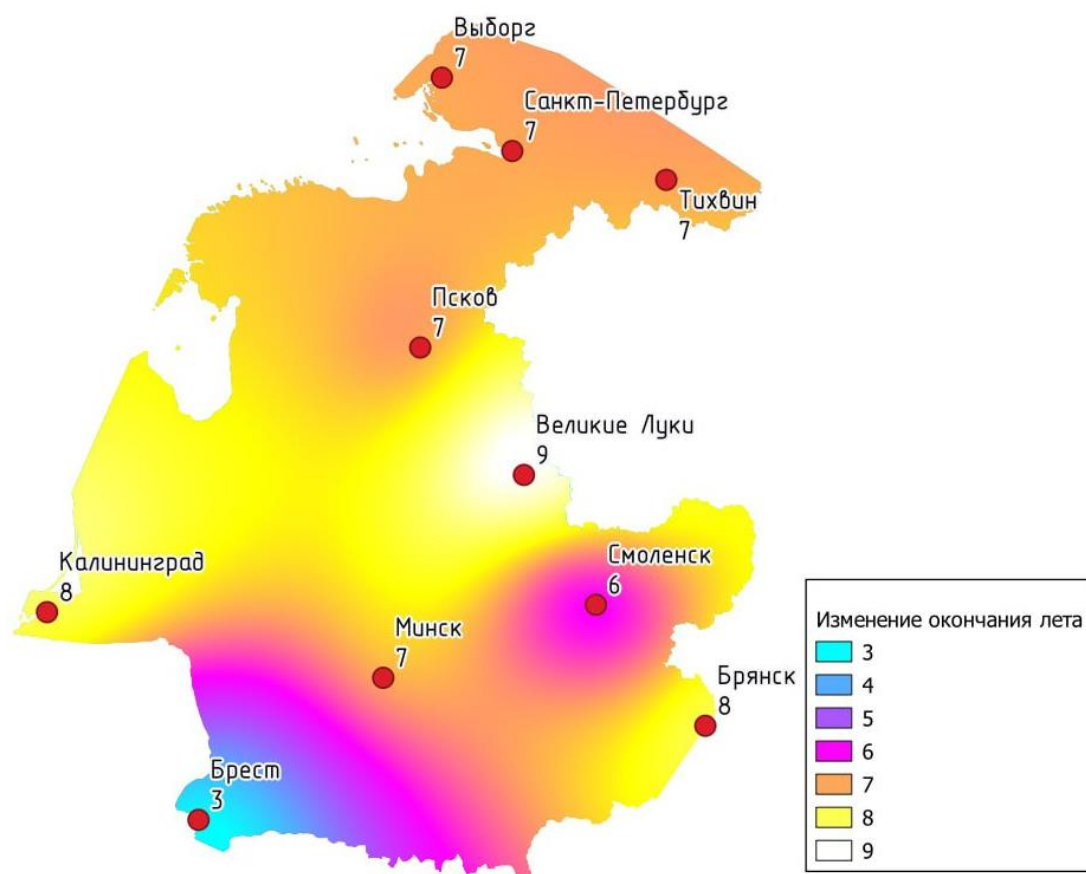


Рисунок 3.32 – Пространственное изменение даты окончания лета на западной части ЕТР и Беларуси

На данном рисунке 3.32 видно, что минимальное изменение наблюдалось на юге исследуемой территории и составляет только 3 дня, то есть границы окончания лета смещались на 3 дня позже во втором тридцатилетии, по сравнению с первым. В остальных городах изменения были в пределах 5-8 дней. А самое максимальное изменение наблюдалось на востоке и составляет 9 дней. Сравнительный анализ данных на предшествующих двух изображениях показывает изменение продолжительности лета, что иллюстрирует рисунок 3.33.

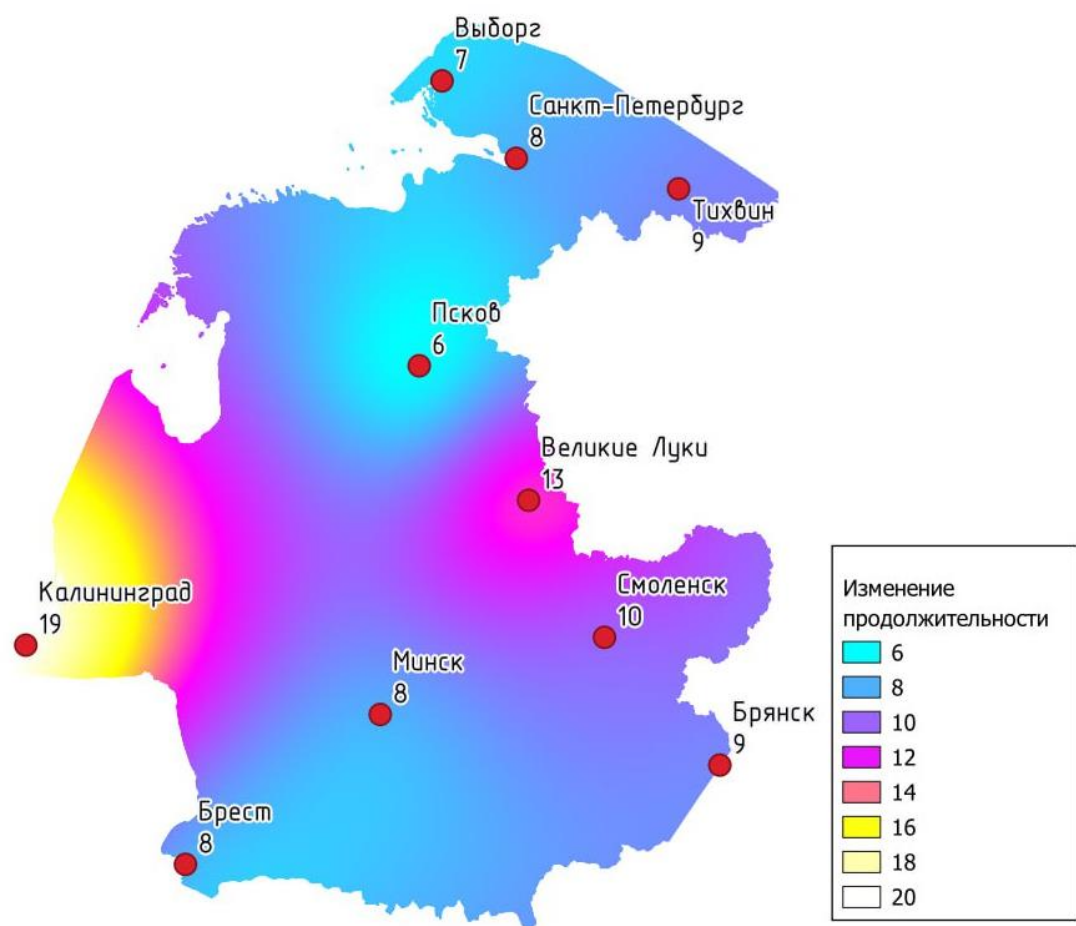


Рисунок 3.33 – Пространственное изменение продолжительности лета на западной части ЕТР и Беларуси

Таким образом, анализ позволяет утверждать, что на западе наблюдался выраженный максимум – продолжительность лета увеличилась на 19 дней за последнее тридцатилетие. Самый минимум наблюдался в центре – продолжительность лета увеличилась только на 6 дней. На юге, востоке и севере изменение продолжительности варьируется от 7 до 13 дней.

Так же в работе были произведены расчеты значения среднелетней температуры на всех станциях за первый и второй период, результаты которого представлены в таблице 3.42

Таблица 3.42 – Средняя температура летнего сезона на всех станциях для первого и второго периода.

Город	Средняя температура	
	1961-1990	1991-2020
Брест	17.5	18.8
Брянск	17.5	18.6
Великие Луки	17	17.8
Выборг	17.3	18
Калининград	17.1	17.7
Минск	17	18.3
Псков	17.1	17.8
Санкт-Петербург	17.3	18.1
Смоленск	17	17.7
Тихвин	17.1	17.7

Далее было построено пространственное распределение среднелетней температуры западной части ЕТР и Беларуси.

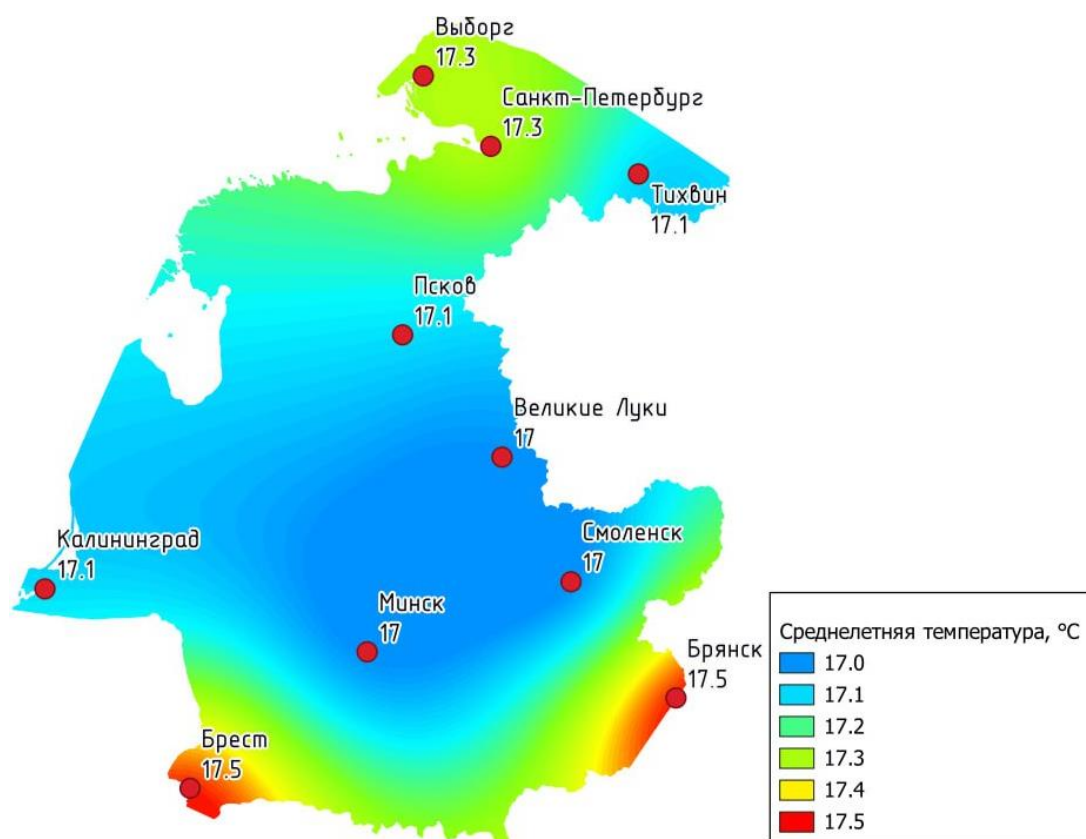


Рисунок 3.34 – Пространственное распределение среднелетней температуры с 1961 – 1990 гг.

Исходя из представленных данных на рисунке 3.34, можно сказать, что в период с 1961 – 1990 гг. самая максимальная среднелетняя температура зафиксирована на юге и севере данной территории – 17.5 °С. В центральной части – наблюдались минимальные значения среднелетней температуры – 17 градусов по Цельсию.

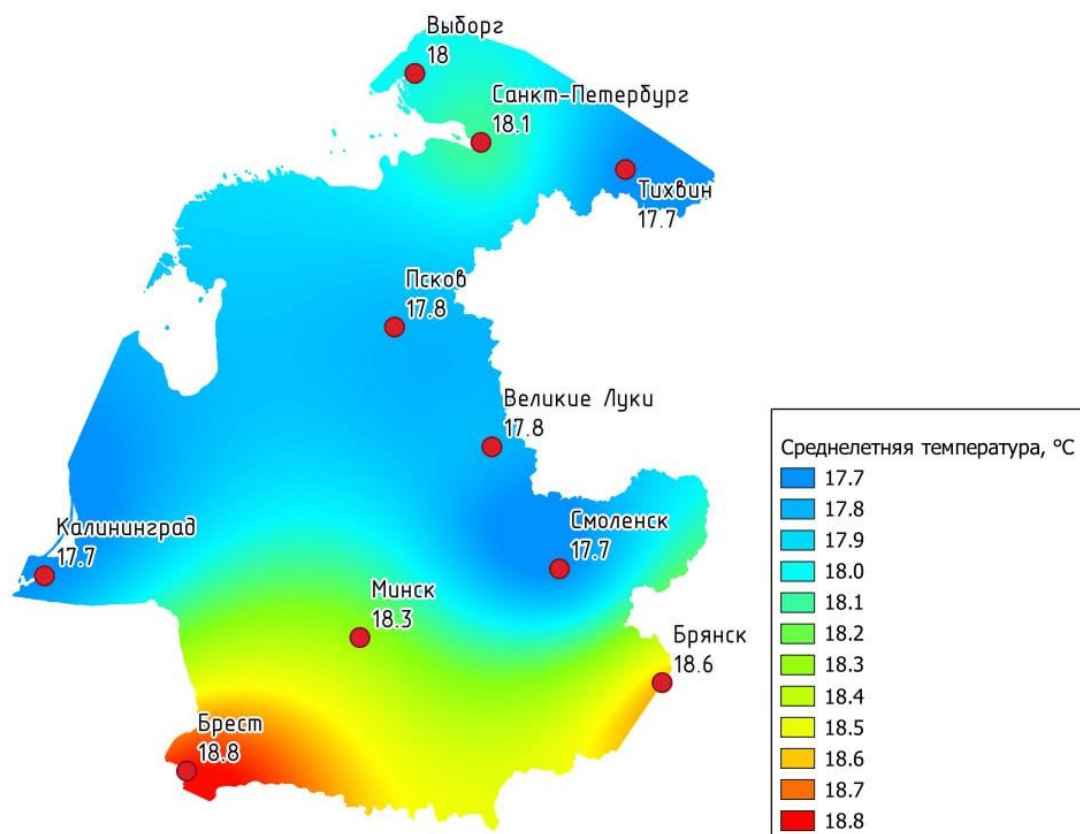


Рисунок 3.35 – Пространственное распределение среднелетней температуры с 1991 – 2020 гг.

Из данных на рисунке 3.35 следует, что в период с 1991 – 2020 гг. наиболее высокий средний показатель летних температур зарегистрирован на юге – 18.8 °С, а самый низкий на западе, северо-востоке и в центральной части. Сопоставление данных на предшествующих двух иллюстрациях дает возможность оценить, насколько изменились средние летние температуры второго тридцатилетия по сравнению с первым, что отражено на рисунке 3.36.

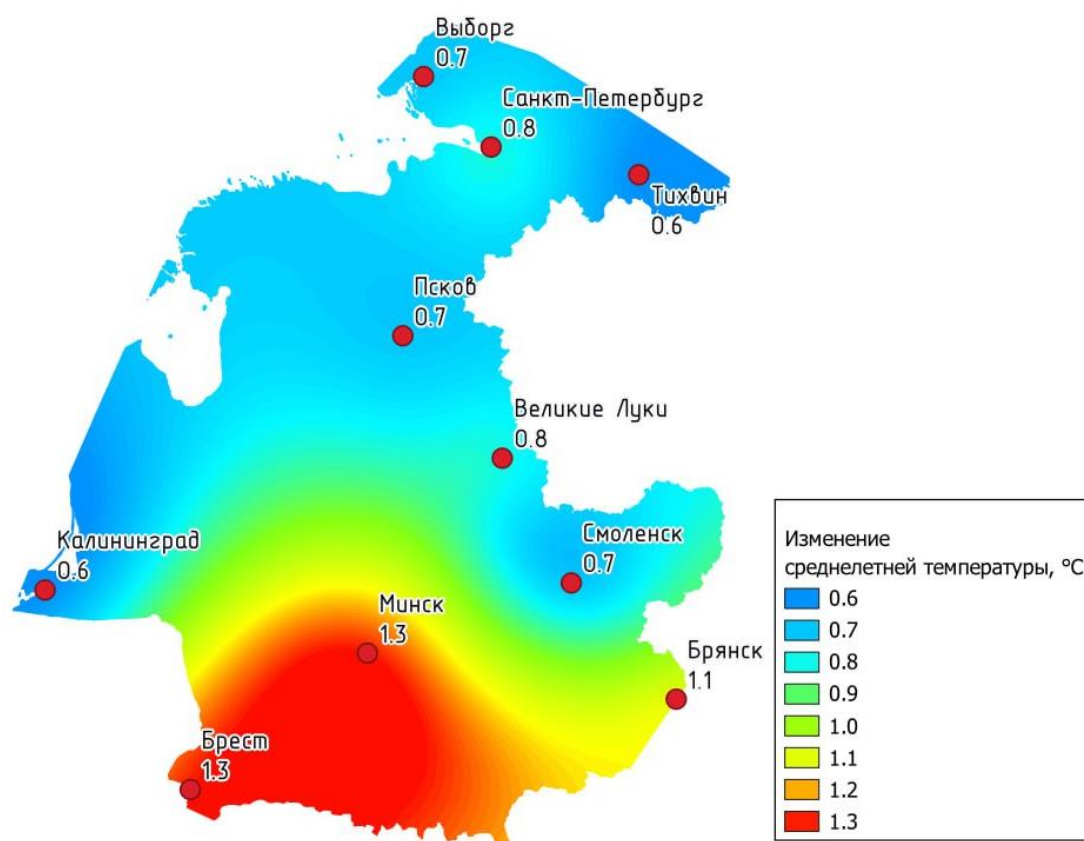


Рисунок 3.36 – Пространственное распределение разности среднелетних температур между 2-ым и 1-ым периодами

Таким образом, анализ позволяет утверждать, что среднелетняя температура воздуха максимально увеличилась на юге исследуемой территории на 1.3 °C. Остальные изменения среднелетней температуры воздуха варьировались от 0.6 – 1.1 °C.

3.3 Анализ условий формирования сдвига летней границы в Калининграде на более ранний срок.

В результате анализа границ и продолжительности летнего сезона было выявлено, что заметнее всего изменяется лето в г. Калининград. Как было указано в пункте 3.1.5 максимальное смещение в г. Калининград отмечается для начальных границ в сторону холодного полугодия. В процессе работы над магистерской диссертацией были проанализированы синоптические условия, сопутствующие началу летнего сезона в г. Калининград. Необходимо отметить, что если сравнивать границы начала лета первого базового периода

и второго, то в первом периоде на среднее значение влияли 4 даты устойчивого перехода через 15 °С на повышение, которые приходились на 1 и 2 декаду июля: 18 июля 1962, 13 июля 1965, 3 июля 1982, 8 июля 1984 года. Именно эти даты влияли на позднее наступление лета в первом периоде. Во втором базовом периоде таких случаев не наблюдается.

На рисунке 3.37 представлен ход среднесуточных температур воздуха за период с 15 мая по 31 июля 1962 года. В этом году устойчивый переход температуры воздуха через 15 °С приходился на 18 июля.

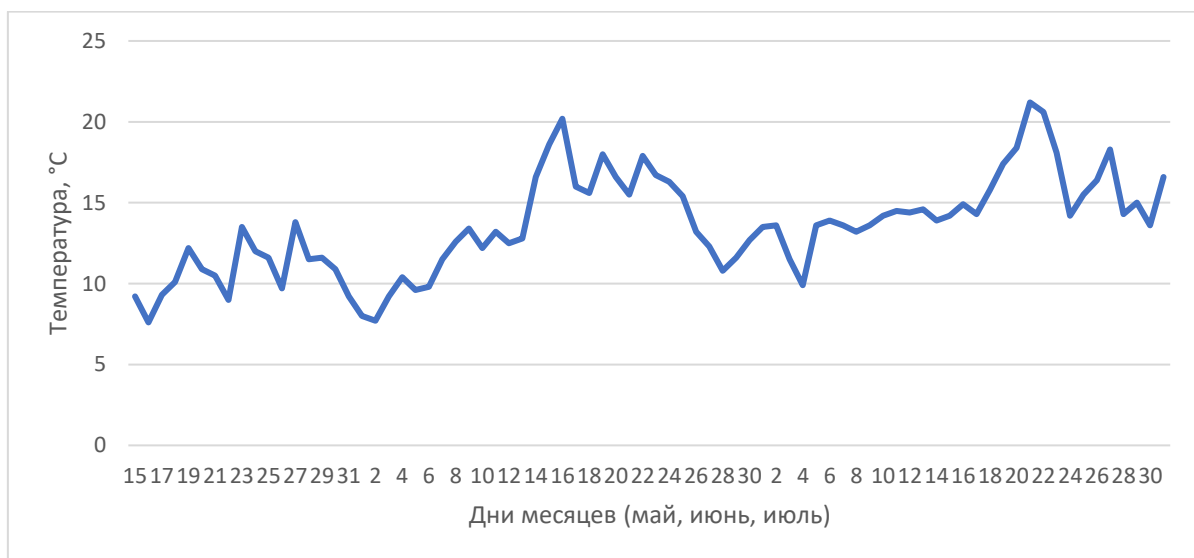


Рисунок 3.37 – Среднесуточная температура воздуха 1962 года в г. Калининград

В результате анализа рисунка 3.37, можно сделать вывод о том, что календарное лето 1962 года являлось неустойчивым, впервые среднесуточная температура воздуха поднялась выше 15 °С 14 июня. Затем мы наблюдаем период не климатического лета, то есть теплый период с 14 по 25 июня, соответственно он продолжался 11 дней. В этот период не произошло устойчивого перехода температуры воздуха через 15 °С, так как после 25 июня наблюдался длительный возврат холода: температура в течении более чем трёх недель (22 дня) оставалась ниже 15 °С. Рассмотрим синоптические процессы летом 1962 года, когда летний климатический сезон начался 18 июля.

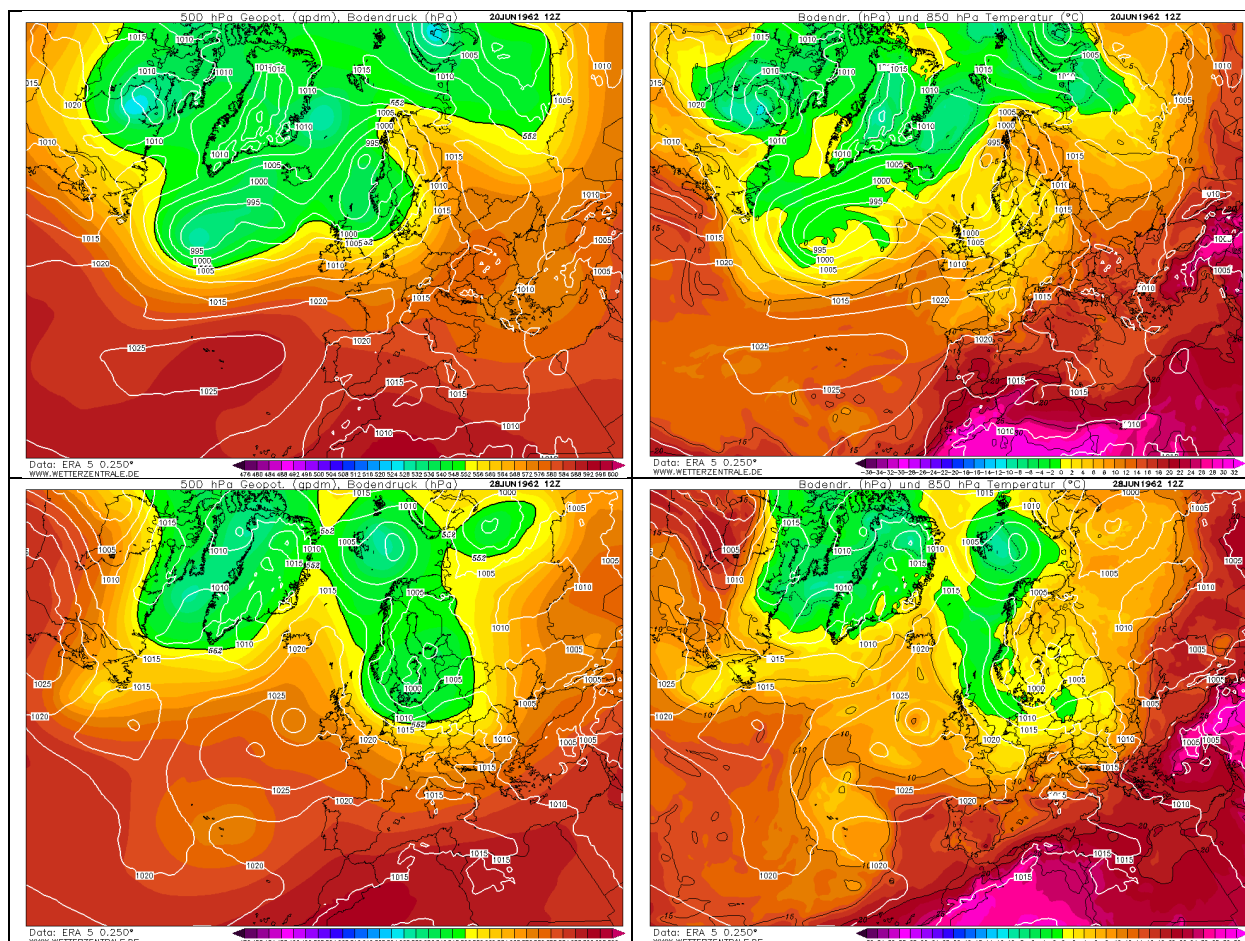


Рисунок 3.38 – Синоптические ситуации. а) 20 июня 1962 года 12 ВСВ, АТ500 и приземная карта б) 20 июня 1962 года 12 ВСВ, АТ850 и приземная карта в) 28 июня 1962 года 12 ВСВ, АТ500 и приземная карта г) 28 июня 1962 года 12 ВСВ, АТ850 и приземная карта

Рассмотрим синоптическую ситуацию первого летнего эпизода, который не являлся устойчивым. Повышение температуры воздуха выше 15 °С было связано с распространением на территорию исследования азорского антициклона. Можно наблюдать барический гребень (рис. 3.38 а), который распространяется на весь Балтийский регион и часть северо-запада России. Калининград находится в юго-западной части антициклона, что способствует развитию высоких летних температур в районе 20 °С. При анализе поля температуры (рис. 3.38 б), необходимо отметить, что тепло распространяется к Балтийскому региону, но основной гребень тепла находится восточнее юга Балтики, но тем не менее Калининград так же попадает в достаточно высокие

температуры. Этот период не являлся климатическим летом, так как после 20 июня и до 17 июля наблюдался период похолодания со среднесуточными температурами ниже 15 °С. Начало длительного периода холода летом 1962 года было вызвано полярным вторжением (рис 3.38 в). Мы наблюдаем барическую ложбину, которая распространяется на весь Балтийский регион. В приземном поле ложбине соответствует циклоническая область (рис.3.38 г). По тылу, особенно, в район запада Скандинавии распространяется холодный воздух и в районе Калининграда наблюдается отдельный замкнутый очаг холода, который и привел к началу такой ситуации.

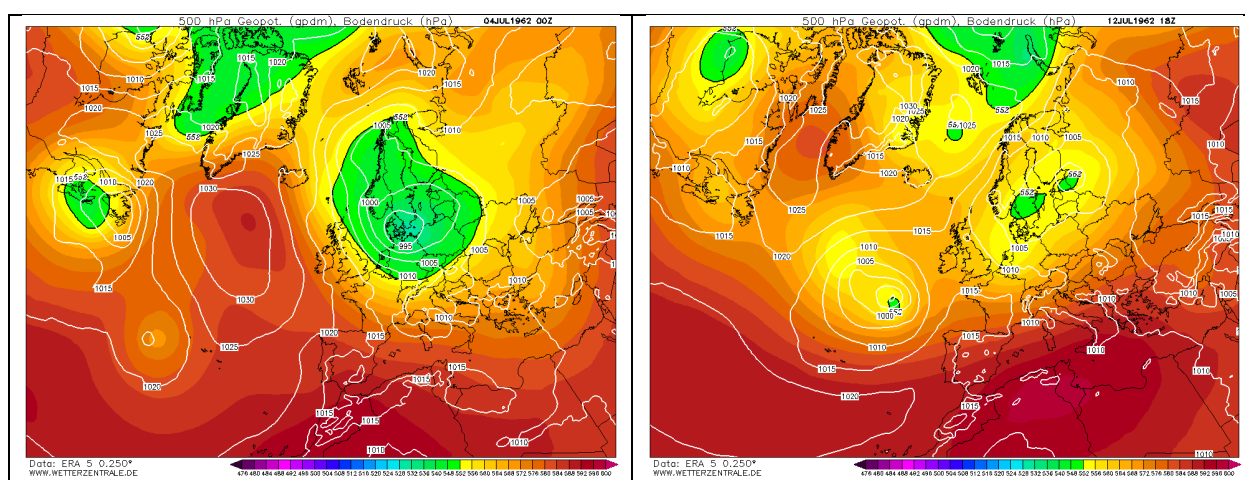


Рисунок 3.39 – Синоптическая ситуация длительного похолодания. а) АТ500 и приземная карта за 4 июля 1962 года 12 ВСВ, б) АТ500 и приземная карта за 12 июля 1962 года 12 ВСВ

Как можно заметить из рис. 3.39, над территорией исследования наблюдался высотный циклон. В дальнейшем в течении практически трех недель ситуация сопровождалась активным циклогенезом в этом районе. Над территорией исследования наблюдались барические ложбины, что мешало азовскому антициклону вторгнуться на континент в район Балтики, вторжение происходило южнее.

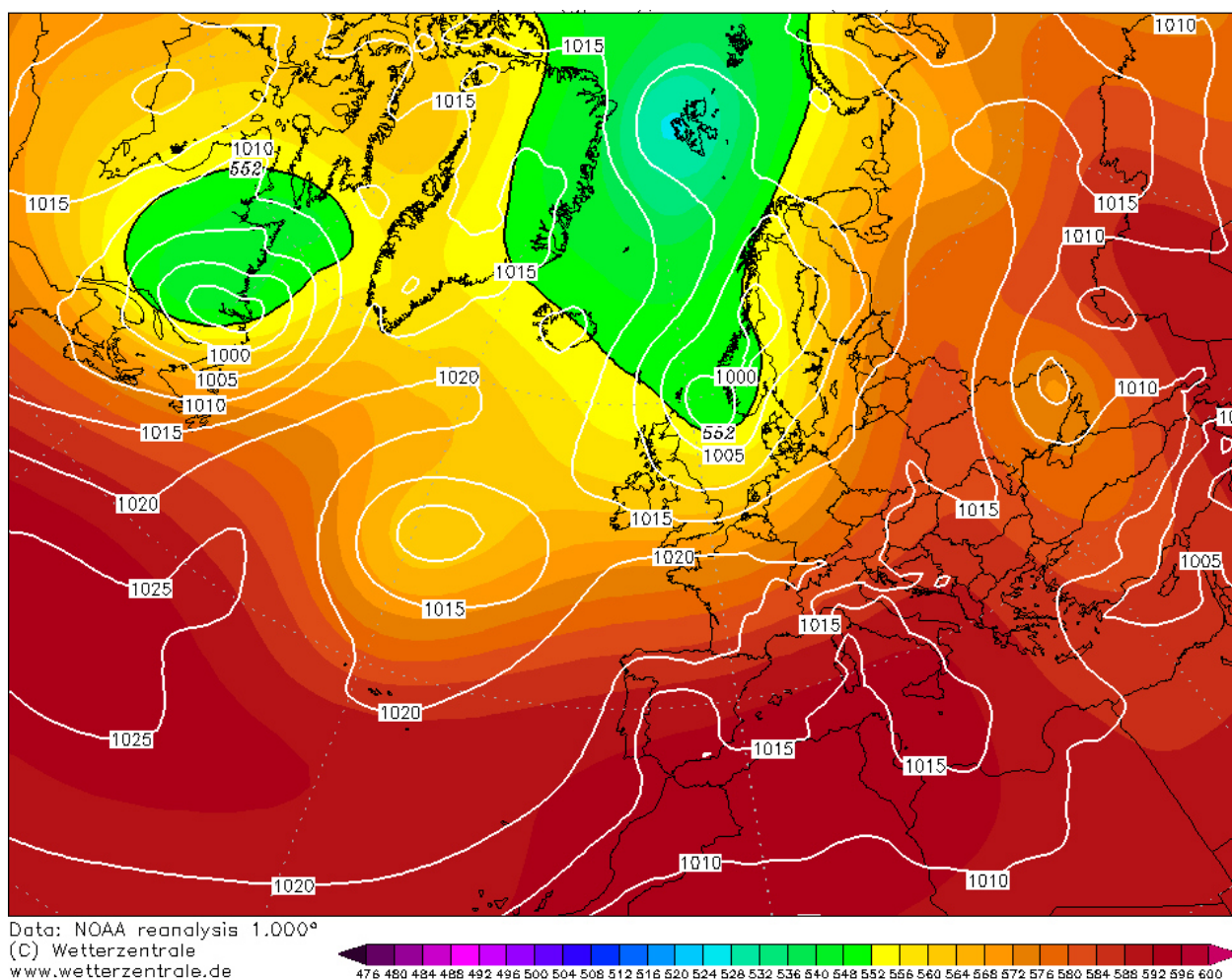


Рисунок 3.40 – Синоптическая ситуация начала лета 18 июля 1962 г, АТ500 и
приземная карта

Окончание холодного периода знаменовалось распространением барического гребня на высоте АТ500 на территорию центра России, Калининград находился на западной периферии данного гребня. У земли с юго-запада началось распространение азорского антициклона, и вся территория континента оказалась в зоне высоких положительных температур. Полярное вторжение наблюдалось до Великобритании только над Атлантикой.

Подобная ситуация наблюдалась и в другие годы с июльским началом летнего климатического сезона. Такая ситуация произошла в 1965 году, когда устойчивый летний период начался 13 июля. В результате анализа среднесуточных температур воздуха с мая по июль можно сделать вывод о том, что в мае температуры были значительно ниже 15 °С. В конце 1 декады июня произошла первая попытка наступления климатического лета, но

мощное арктическое вторжение, которое началось в начале июля в течении двух недель держало среднесуточные температуры ниже 15 °С. В течении этого периода наблюдалась на высоте 5,5 км барическая ложбина, охватывающая весь Балтийский регион. Барический гребень наблюдался восточнее белого моря и захватывал Новую Землю. У земли в зоне барической ложбины происходил циклогенез, территория исследования часто находилась в тыловых частях приземных циклонов, северная часть которых располагалась над арктическим побережьем и Баренцевым или Карским морем.

1982 и 1984 года были схожи по синоптическим причинам периода значительного холода в июне. Над западной Европой Скандинавии над атлантическим побережьем формировалась барическая ложбина (на АТ500). В течении длительного периода, в 1984 году практически в течении месяца, барическая ложбина располагалась над этой территорией и смещалась в восточном направлении. Арктические вторжения, связанные с ней в основном, охватывали Скандинавию и часть Балтики, включая Калининград. Остальные пункты часто находились в передней части циклонов, поэтому аномально позднее лето фиксировалось только в Калининграде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации поставленная цель была достигнута и задачи решены.

Определены границы и продолжительность летнего сезона в г. Брест, Брянск, Великие Луки, Выборг, Калининград, Минск, Псков, Санкт-Петербург, Смоленск и Тихвин за период с 1961 по 2020 гг.

Наибольшая продолжительность летнего климатического сезона наблюдается в г. Бресте - 112 дня. Самое короткое лето - в г. Тихвин, 70 дней. За весь период наблюдения самые значительные изменения в продолжительности летнего сезона были зафиксированы в Калининграде, лето увеличилось на 19 дней. Самые значительные изменения в Калининграде происходили с началом летнего сезона. Причина значительного сдвига начальной границы лета в Калининграде связано с годами в первом тридцатилетии, в которых в течении июня наблюдались длительные арктические вторжения на Балтийский регион, Калининград в этих случаях оказывался на границе холода в тыловых частях циклонов. Наименьшие изменения продолжительности наблюдались в Пскове, лето увеличилось только на 6 дней. На большей части территории (80%) наблюдается сдвиг обеих границ: начала лета на более ранние сроки, окончание - на более поздние сроки. В Выборге начало летнего сезона не меняется.

Для всех городов происходит повышение средней температуры воздуха лета в течение всего рассматриваемого периода. Максимальная среднелетняя температура воздуха среди других городов отмечается в Бресте, 18.8 °С. В остальных городах среднелетняя температура была в диапазоне 17.0 – 18.6 °С. В течение всего периода наблюдений средняя температура воздуха летнего климатического сезона в Беларуси повысилась на 1,3 0°С – это является максимальным значением. Минимальные значения установлены в городах Калининград и Тихвин, средняя температура воздуха увеличилась на 0.6°С.

В результате анализа пространственного распределения рассчитанных климатических характеристик на территории исследования можно заключить, что самое значительное изменение продолжительности летнего сезона фиксируется на западе. Температура воздуха существенно повышается в южной части исследуемой территории. Изменения температуры воздуха летнего сезона для всех городов являются значимыми.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брилевский М. Н. Физическая география Беларуси : пособие / Минск : БГУ, 2022. – 119 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология.-Л.:Гидрометеиздат, 1994.- 716 с.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН Физика атмосферы и океана. 2003. – Т. 39. N 2. – с. 166-187.
4. Исаченко А. Г. Введение в экологическую географию: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2003. - 192 с.
5. Каропа Г. Н. Физическая география Беларуси: курс лекций для студентов вузов специальности «География» / Мин-во образ. РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2008. – 141 с.
6. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология: Книга 1.: учебник. – СПб, РГГМУ, 2019. – 378 с.
7. Переведенцев Ю.П. Теория климата: учебное пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.
8. Под ред. Н. В. Кобышевой Климат России. - СПб. : Гидрометеиздат, 2001. - 654с
9. Раковская Э.М., Давыдова М.И. Физическая география России. Часть 1. Общий обзор. Европейская часть и островная Арктика. –М.: Владос, 2001. – 288 с.
10. Спиридонов А. И. Геоморфология европейской части СССР. Учеб, пособие для студентов-географов университетов. - М., Высш. школа, 1978. - 335 с., ил. Библиограф: 331—332 с.