



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 работа)

На тему: «Анализ климатических характеристик зимнего сезона на
западе европейской территории России и части Белоруссии»

Исполнитель Стальманский Владислав Олегович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)
Ефимова Юлия Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И. о. заведующего кафедрой 
(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«30» 05 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Введение.....	4
1. КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПУНКТОВ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	6
1.1 Климатические характеристики городов западной части европейской территории России	6
1.1.1 Климатическая характеристика города Выборг	6
1.1.2 Климатическая характеристика города Санкт-Петербург	7
1.1.3 Климатическая характеристика города Тихвин.....	9
1.1.4. Климатическая характеристика пункта Старая Русса.....	10
1.1.5 Климатическая характеристика города Псков	10
1.1.6 Климатическая характеристика города Смоленск.....	10
1.3.7 Климатическая характеристика города Великие Луки	11
1.3.8 Климатическая характеристика города Брянск	12
1.2 Климатическая характеристика исследуемых пунктов Беларуси.....	14
1.2.1 Климатическая характеристика города Минск.....	14
1.2.2 Климатическая характеристика пункта Василевичи.....	14
1.2.3 Климатическая характеристика города Брест	15
2. ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА. 17	
2.1 Общая циркуляция атмосферы	17
2.2 Центры действия атмосферы	19
3. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦ ЗИМНЕГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СЕЗОНА НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	22
3.1 Определение цели и задач магистерской диссертации	22
3.2 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона на северо-западной части ЕТР	24
3.2.1 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Смоленск	24
3.2.2 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Тихвин	28
3.2.3 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Старая Русса	32

3.2.4 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Санкт-Петербург	36
3.2.5 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Выборг	43
3.2.6 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Псков	48
3.2.7 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Великие Луки.....	52
3.2.8 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Брянск	56
3.2.9 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Василевичи.....	59
3.2.10 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Брест	68
3.2.11 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Минск	73
3.3 Сравнительный анализ границ зимнего климатического сезона на выбранной территории исследования	76
Заключение	90
Список используемой литературы	92

Введение

Отмечается, что глобальное потепление оказывает существенное влияние на изменение климата планеты. Переход температуры воздуха через нулевой предел, как на понижение, так и на повышение является климатическими характеристиками зимнего климатического сезона.

В последние годы особенно заметны сдвиги границ зимнего климатического сезона. Такие изменения чаще наблюдаются в северо-западном регионе европейской территории России [11]. Вследствие этого, анализ продолжительности границ и средней температуры воздуха зимнего климатического сезона за длительный период лет, включающий последние годы, является задачей, несомненно, актуальной.

Изменение количества дней зимы на более позднее ее начало или более раннее ее окончание и термический режим самого периода влияет на функционирование городских отраслей хозяйства, на развитие сельскохозяйственных структур и для долгосрочного планирования отопительного сезона, что определяет практическую значимость работы.

Целью данной магистерской диссертации является анализ особенностей зимнего климатического сезона на западной части европейской территории Российской Федерации (выбрали российский сектор Балтийского региона) и Республики Беларусь.

Особенностью работы является то, что в ней изучается не календарные зимы, а климатические границы, определяемые датой устойчивого перехода температуры воздуха через 0 градусов. То есть, мы изучаем непосредственно климатические зимы.

Структура данной магистерской диссертации состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературных источников, а также включает в себя 63 рисунка и 36 таблиц.

Первая глава магистерской диссертации посвящена климатическому и географическому описанию выбранных городов для исследования изменения границ зимнего климатического сезона.

Вторая глава включает в себя описание циркуляционных процессов, протекающих в атмосфере. Также в данной главе приведены и рассмотрены центры действия атмосферы, как основные факторы, оказывающие влияние на изменение климата планеты.

В третьей главе получены данные среднесуточных значений температуры воздуха за период с 1961 по 2020 года по выбранным 11 пунктам, находящимся на северо-западной части ЕТР. Проанализированы изменения за два рассматриваемых тридцатилетия, а именно с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг. Дополнительно приведены и проанализированы синоптические ситуации, оказывающие воздействие на формирование погоды и климата региона.

Обработка полученных данных по температуре воздуха проводилась согласно методу Хаустова.

Данные по среднесуточным температурам воздуха за исследуемый период с 1961 по 2020 гг. для городов выбранной территории были получены из архива ВНИИГМИ-МЦД [12].

1. КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПУНКТОВ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Климатические характеристики городов западной части европейской территории России

1.1.1 Климатическая характеристика города Выборг

Город Выборг находится у берегов Финского залива, а именно на северо-западной территории Карельского перешейка. Сам город удален от Санкт-Петербурга на 130 километров, что делает его не столь отдаленным пунктом от Северной Столицы. Если говорить о географическом положении выбранного города, то стоит отметить, что оно весьма выгодное. Во-первых, город очень близко расположен к водным артериям и путям внутри Российской Федерации, что определенно дает лучшую перспективу торговли, транспортировки грузов, продовольствий и так далее [1].

Город имеет собственную гавань, которая позволяет ему держать связь с внешним миром не только сухопутно, но и водным путем в том числе. Во-вторых, следует сделать акцент, что город находится в богатой зоне лесных и природных ресурсов. Это делает его максимально защищенным и достаточно привлекательным для туристов. Такие выгодные территории способствуют благополучному экономическому развитию. Помимо всего вышеперечисленного также нельзя не упомянуть про транспортную инфраструктуру. Выборг является ключевым железнодорожным узлом, располагающимся на северо-западной части европейской территории Российской Федерации.

Интересно, что значительная часть территорий города Выборг разбросана по небольшим островкам, связанных между собой. Эти острова с северо-востока омывают воды Защитной бухты, а вот уже с обратной стороны, а именно с юго-западной стороны города, острова омывают воды Выборгского залива. Острова, на которых расположился наш город Выборг, разделяются небольшими проливами. Вообще, стоит сказать, что данный населенный пункт имеет

необычный вид рельефа – пересеченный. Самая высокая точка города находится на Батарейной горе, где высота достигает 33 метров над уровнем моря [1].

Если углубляться в климатическую характеристику данного города, то стоит отметить, что Выборг имеет следующие климатические черты: слегка прохладный летний сезон, но и также весьма несуровый зимний сезон. Среднегодовая температура воздуха едва достигает значения к 4°C . Среди всех месяцев году выделяется февраль, поскольку он является наименее холодным из всех 12 месяцев. Среднемесячная температура воздуха в феврале отмечается, как -8°C . Если говорить о более теплых, жарких и приятных месяцах, то следует выделить июль, в качестве самого горячего месяца в году. Его среднемесячная температура воздуха достигает отметки в 17°C [1].

1.1.2 Климатическая характеристика города Санкт-Петербург

В простирающихся по России умеренных климатических широт расположился великий город Санкт-Петербург. Его основные климатические характеристики можно назвать умеренными, однако, они больше являются переходной частью, а именно от океанического типа к континентальному. В этом прекрасном городе на Неве отмечается весьма мягкий зимний климатический сезон и вполне теплое летнее полугодие [2].

Яркой особенностью и столь значимой климатической характеристикой города на Неве отмечается переменчивость погодных условий, обуславливающих, в свою очередь, достаточно частой переменой воздуха. Стоит сказать, что воздух в этом городе разделяется, в первую очередь, на континентальный, затем на арктический и только потом на морской. Такая классификация в основном зависит от участка образования воздушных масс [2].

Все дело в том, что приходящий с моря воздух, перемещающийся с северо-запада, запада или даже юго-запада, имеет траекторию прохождения через территорию северо-западной области европейской части России аналогично циклонам, приходящих с Атлантики. Такие барические образования зачастую несут пасмурные и достаточно ветреные погодные условия,

сопровождающиеся осадками. Зимой циклоны первостепенно являются основной причиной резких изменений, а именно повышений, температуры воздуха. Если говорить о летнем полугодии, то следует сказать, что в теплое время года такие барические образования являются первопричиной прохладных погодных условий [2].

Приход сухих континентальных воздушных масс происходит с восточной, скорее даже с южной и юго-восточной сторон. В центре действия атмосферы в данном рассматриваемом случае, в антициклоне, формируется незначительная облачность, а также сухие погодные условия. В летний период антициклон характерен установившейся жаркой погодой, а вот в зимний климатический сезон антициклон формирует холодные, местами даже морозные погодные условия [2].

Наблюдается, что со стороны Карского моря, а именно с его северной и северо-восточной стороны, вглубь континента поступают сухие и зачастую холодные воздушные массы, приходящие со стороны Арктики, которые, в свою очередь, безусловно, формируются надо льдом. Прохождение таких арктических воздушных масс в центр континента сопровождается приходом достаточно ясных погодных условий, с параллельным резким изменением температуры воздуха, а именно ее понижением [2].

В летний период, образовавшиеся в этом воздухе, зоны повышенного давления, имеют заморозки. Напротив, как в зимний сезон, наблюдаются значительные понижения температуры воздуха [2].

Данные резкие изменения температуры воздуха происходят за счет перемещений воздушных масс, поскольку они могут значительно превышать амплитуду своих изменений на наблюдаемые сутки на целых $\pm 20^{\circ}\text{C}$ и больше. По причине такой достаточно резкой и значительной переменчивости погодных условий, территория, располагающаяся на северо-западе Российской Федерации, трудна для построения прогнозов. Она считается одной из самой сложных для прогнозирования дальнейших погодных условий [2].

Ярчайшей особенностью Санкт-Петербурга можно назвать именно неравномерность распределения климатических характеристик по всей области, обуславливающейся значительной своей протяженностью территории, а именно с запада на восток. Плюсом ко всему сюда также относятся различные вариации ландшафта, близкое соседство с Финским заливом, а также с наличием таких водных гигантов, как Ладожское и Онежское озера [2].

1.1.3 Климатическая характеристика города Тихвин

Небольшой город Тихвин располагается неподалеку от Санкт-Петербурга, в 250 километрах в северо-восточном направлении от Северной столицы [1].

Для данного района характерны весьма мягкие зимы со среднемесячной температурами воздуха в пределах от -7°C до -11°C . Также наблюдаются и нередкие оттепели. Если говорить о летнем климатическом периоде, то стоит сказать, что лето в Тихвине умеренно теплое, то есть температура воздуха здесь достигает отметок в 15°C и может варьироваться до 22°C по среднемесячным показателям [1].

Климат местности, где располагается город Тихвин, отмечается, как умеренно-континентальный, с более-менее мягкой зимой и умеренно-теплым летом [1].

Если же говорить об относительной влажности воздуха и осадках, что нужно внести ясность и сказать о том, что в среднем показатель количества осадков за год достигает отметки в 750 миллиметров. В целом, погодные условия в Тихвине толком не отличаются со средних относительно целых районов. Все же нужно акцентировать внимание на том, что в Тихвинском районе имеет значительный вес в изменении погодных характеристик воздух, приходящий с запада, а именно с Атлантики. Поступающий воздух формирует определенные погодные условия [1].

1.1.4. Климатическая характеристика пункта Старая Русса

Исследуемый пункт Старая Русса имеет весьма удачное положение, если мы рассматриваем данный город с точки зрения климата. Их всей Новгородской области именно Старая Русса находится в выигрышной стороне. Это объясняется тем, что в этой области раньше заканчивается зимний климатический период, оперативно наступает теплая погода, как следствие, наблюдается быстрое начало весеннего климатического сезона [3].

Стоит сказать, что в Старую Руссу позднее всех приходит зима, сопровождающаяся сильным морозом и обильным снегопадом. В такой области фиксируется достаточно раннее наступление весны, чем в том же известном всем Великом Новгороде. Причем, надо подчеркнуть, что разница в датах начала весны между двумя вышеупомянутыми городами разнится в две недели [3].

1.1.5 Климатическая характеристика города Псков

Характеристики умеренного и умеренно-континентального типов климата относятся к городу Псков. Вообще, климат старинно города Псков, уникален.

Среднегодовая температура воздуха в области Пскова изменяется в пределах от $4,3^{\circ}\text{C}$ до $4,8^{\circ}\text{C}$. Среднеянварские значения температуры воздуха имеют предел от -7°C до -10°C , однако она может опускаться и до -30°C , в редких случаях до -40°C . Говоря о среднемесячной летней температуре воздуха, то она, как правило, варьируется от $+16^{\circ}\text{C}$ до $+18^{\circ}\text{C}$, при этом максимально может подниматься до значения в 32°C – применительно к июлю месяцу [4].

Осадки в этом городе и области распределяются неравномерно. Выпавшие осадки можно охарактеризовать среднегодовым значением в 600 мм, в то время как, на некоторых возвышенных частях региона это количество увеличивается до отметки в 855 мм в год [4].

1.1.6 Климатическая характеристика города Смоленск

Как было сказано ранее, большая часть исследуемых пунктов относится к умеренно-континентальному климату, Смоленск также не стал исключением из правила. Здесь в летний период устанавливается теплые и влажные погодные

условия. Среднемесячная температура воздуха в самый жаркий месяц достигает 17°C , говоря про июль. В зимний период над Смоленском устанавливается весьма умеренная, но холодная погода, сопровождающаяся стабильным образованием снежного покрова. Средняя температура воздуха в январе составляет -9°C [5].

Смоленск можно отнести к областям с достаточно избыточным увлажнением. В данном регионе годовое значение количества выпавших осадков варьируется от 615 до 721 мм. При этом, стоит сказать, что минимальное количество осадком приходится на конец зимнего периода и даже начала весеннего климатического сезона. Именно тогда количество осадков достигает предела от 33 до 43 мм в год. Самое избыточное увлажнение приходится на начало летнего сезона, а если выразаться более точнее, то этот момент выпадает на июнь. Именно в июне в Смоленске фиксируется максимальное значение выпавших осадков, оно достигает 83 мм и, более того, стоит сказать, что доходит оно до 101 мм в год [5].

Касаемо оценки количества выпавших осадков в зимний климатический период, стоит прокомментировать, что значение относительной влажности достигает максимума, а именно предела от 75 до 90%. Весной данный показатель снижается и уже варьируется от отметки в 65 до 70% [5].

1.1.7 Климатическая характеристика города Великие Луки

В целом, в большинстве исследуемых городов отмечается умеренно-континентальный климат. Великие Луки не стали исключением. Этот город благополучно относится к данному типу климата, где наблюдается весьма длительный зимний климатический период, сопровождающийся обильными снегопадами, а также оттепелями. На летний сезон приходится умеренно-теплая погода, зачастую сопровождающаяся выпадением обильных осадков в виде дождя [4].

Если говорить о температурных рекордах, то в зимний период в городе Великие Луки она опускается до значения в -31°C , в то время как,

среднесуточная температурная амплитуда воздуха одного из самых прохладных месяцев в календарном году составляет примерно 7 °С. Если же говорить о более благоприятном и теплом времени года – о лете, то стоит сказать, что среднемесячная температура воздуха одного из самых теплых месяцев составляет 25°С, в то время как, среднесуточная температурная амплитуда воздуха этого же самого теплого месяца равняется 12°С [4].

Вообще, город Великие Луки относится к зоне с весьма повышенной влажностью воздуха. Если брать календарный год, то необходимо выделить, что значительные изменения, значительные повешения данного метеопараметра отмечаются в осенний и зимний периоды. Связано это с тем, что именно в эти сезоны влажность воздуха достигает отметки в 80-88%, где делает эти климатические периоды самыми влажными относительно года. Особый спад, особое понижение отмечается весной и летом, когда такое метеорологическое понятие, как относительная влажность воздуха, снижается до отметки в 70-75% относительно года [4].

1.1.8 Климатическая характеристика города Брянск

По классификации город Брянск относится к типу умеренно-континентального климата. Такой климат, в основном, характеризуется довольно нестабильными зимами и весьма теплым и достаточно влажным летом. [6].

Если говорить о начале холодного климатического периода, то стоит сделать акцент на том, что холодное время года в Брянске имеет точку своего отсчета с середины осени, вероятно, можно сказать, что с конца ноября. Именно в это время среднесуточная температура воздуха опускается ниже 0°С, что уже характерно для зимнего периода, поскольку фиксируется переход температуры воздуха через нулевой предел. Из самых холодных месяцев в году стоит выделить январь, несомненно, потому что в этом месяце температура воздуха варьируется в пределах от -7°С до -9°С. Нельзя не упомянуть про случающиеся оттепели и внезапные арктические вторжения, приходящие с севера,

впоследствии влекущие за собой резкие изменения значений температуры воздуха. Благодаря такой погодной ситуации, температура воздуха стремительно снижается до -20°C и даже ниже [6].

Говоря о более благоприятном времени года, а именно о весеннем сезоне, стоит подчеркнуть, что весна в городе Брянск наступает непосредственно с установлением солнечной погоды. Обычно это происходит в апреле, когда температура воздуха поднимается выше 5°C . Но стоит выделить, что весенний период крайне неустойчив по причине проникновения и прохождения различных воздушных масс. Что касается мая, то в этом месяце такие синоптические движения особенно заметны, потому что на территории области могут происходить довольно поздние заморозки, когда температура воздуха в дневное время суток равняется 15°C , а осадки, в свою очередь, практически не выпадают [6].

Однако, в конце мая, примерно в третьей его декаде, фиксируется наступление лета. В это время среднемесячная температура воздуха уже достигает отметок в $16-18^{\circ}\text{C}$. В мае над Брянском господствует дождливая и довольно-таки пасмурная погода. Количество выпавших осадков в летний период изменяется значительно от 220 мм до 600 мм в год [8].

Говоря о похолодании, осень в Брянске начинается уже с сентября, когда термометр фиксирует понижения. В этом месяце максимальными значениями температуры воздуха могут быть отметки в 12°C . В октябре температура воздуха стремительно падает и уже едва достигает 5°C . Также в этот период в Брянске могут наблюдаться заморозки, причем в ночное время суток. Для осеннего периода характерны затяжные дожди, на которые приходится около 120 мм осадков в год от общего их числа [6].

1.2 Климатическая характеристика исследуемых пунктов Беларуси

1.2.1 Климатическая характеристика города Минск

На Минск оказывают влияние приходящие с Атлантики морские воздушные массы, которые оказывают значительное влияние на климатические условия данного города. Сам климат идентифицируется, как континентальный. [7].

Для зимнего климатического сезона в данном городе характерны неустойчивые погодные, а также и облачные условия, влекущие за собой такие явления, как частые оттепели и положительные слабые осадки. Нельзя сказать однозначно, поскольку наблюдаются и довольно прохладные периоды в году, в целом, это время начало января и месяц февраль. Лето отмечается, как период, в основном, умеренно теплый, однако с частыми, но непродолжительными атмосферными осадками и, что самое интересное, грозами [7].

Случающиеся заморозки в весенний сезон имеют продолжительный характер. Такое метеорологическое явление обычно длится до середины весны, если выразиться более точно, то это окончание таких заморозков приходится на вторую-третью декаду апреля, что, в принципе, можно назвать серединой весеннего сезона. Температура воздуха, в среднем, составляет 5,4°C. Как правило, самым холодным месяцем, по умолчанию, считается январь. Однако уже в конце данного месяца можно наблюдать повышение температуры, обычно оно происходит ближе к концу января, то есть, если сказать точнее, то это третья декада месяца. Температура постепенно стремится вверх. После, уже в середине весеннего сезона, то есть в апреле, среднемесячная температура воздуха уже достигает значения около 5°C, если рассматривать дневное время [7].

1.2.2 Климатическая характеристика пункта Василевичи

Исследуемый пункт Василевичи административно относится к Гомельской области республики Беларусь. Город имеет характеристики умеренно-континентального климата. Особое влияние на погодные условия в Василевичи оказывают, приходящие с Атлантики, умеренные морские

воздушные массы. С приходом такого воздуха приходит и неустойчивые погодные условия, сопровождающиеся выпадением атмосферных осадков [8].

Если взять среднегодовое значение температуры воздуха по Гомельской области, то нужно выделить, что оно равняется отметке в $6,3^{\circ}\text{C}$. Однако, самое любопытное и закономерное, что эта температура воздуха имеет свойство меняться, а именно снижаться, при перемещении с юго-запада области к более северным ее частям, если выражаться более точно, к северо-восточным границам данного округа. Согласно многолетним измерениям температуры воздуха, в январе ее среднее значение приравнивается к отметке в $-6,6^{\circ}\text{C}$. Отмечается также рекорд самой минимальной температуры воздуха, достигшей отметки в -38°C по термометру [8].

Летом среднемесячная температура воздуха имеет тенденцию на увеличение при движении с северо-запада области в юго-восточные границы Гомельской области, она увеличивается от 18°C до $19,7^{\circ}\text{C}$, если мы говорим про июль, как самый жаркий месяц в году. Нельзя не сказать о положительном температурном рекорде, который достигает значения 38°C [8].

1.2.3 Климатическая характеристика города Брест

Наряду с вышеупомянутыми городами, располагающимися в Беларуси, особенно выделяется Брест. Поскольку этот город находится в юго-западной части страны, он имеет уникальную климатическую характеристику. Климат Бреста идентифицируется, как переходящий от морского типа к континентальному. В принципе, его можно классифицировать, как умеренно-континентальный [9].

Возможные неустойчивые погодные условия образуются по причине смены воздуха разного происхождения и движения [9].

Говоря о температурном режиме, стоит отметить, что средняя по году температура воздуха достигает отметки в $7,4^{\circ}\text{C}$. Однако, зима здесь отмечается, как суровая, поскольку в некоторые дни температурный минимум опускается до значения в -36°C по термометру. Если говорить об обратном, уже о

температурном максимуме, то он фиксируется в июле, либо в августе, когда температура воздуха может повышаться до значения в 37°C [9].

Возвращаясь, к преимущественно господствующим в данной области влажным воздушным массам, приходящих с атлантического океана, надо сказать, что именно они формируют соответствующие погодные условия, при которых в городе Брест заметно возрастает содержание воды в воздухе. Проще говоря, такие воздушные массы сказываются на повышении влажности воздуха, в дальнейшем на образовании облачности, способствующей выпадению значительного количества атмосферных осадков [9].

Среднее значение относительной влажности воздуха по году равняется 78%. Если разделить на теплое и холодные полугодия, то необходимо описать, что зимой данный показатель влажности достигает 90%, напротив, как летом снижается до 60% [9].

Говоря о выпадении осадков, следует заключить, что среднее по году составляет 548 мм. Однако, в теплое полугодие, а если быть точным, то это время с апреля по октябрь, значение количества выпавших осадков достигает 71% от всего количества за год [9].

2. ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

2.1 Общая циркуляция атмосферы

В толковании термина общей циркуляции атмосферы принято считать совокупность воздушных течений, преобладающих в тропосфере, стратосфере, а также в нижней мезосфере. Если говорить о самых верхних слоях атмосферы, таких, как термосфера и экзосфера, то следует отметить, что эти слои разреженные. Они все же отличаются от нижних слоёв по своим физическим и химическим процессам, причем следует подчеркнуть, что это различие существенное. Если же говорить о нижних слоях атмосферы, то нужно сказать, что результате общей циркуляции в трех нижних слоях осуществляется обмен большими массами воздуха в горизонтальном и вертикальном направлениях [10].

Такие атмосферные движения в роде струйных течений, циркуляции воздуха в общей системе циклонов и антициклонов, а также пассаты и муссоны, относятся к основным крупномасштабным движениям. Вышеперечисленные воздушные течения оказывают довольно сильно влияние на формирование погодных условий, а также характера климата Земли. Если конкретизировать и углубляться в данный вопрос, то нужно заметить, что существуют более мелкие движения атмосферы и носят они, в основном, местный характер. Такие движения принято относить шквалы, смерчи, а также бризы. Однако, нужно сказать, что такие мелкомасштабные движения, как правило, не способны оказывать должного существенного влияния на общую циркуляцию атмосферы.

Принято полагать, что циркуляция атмосферы обуславливается многочисленными факторами, одних из которых играют важнейшую роль. К таким факторам относят вращение Земли вокруг своей оси, лучистую энергию Солнца, неоднородность поверхности земли, а также включают трение [10].

Наиболее значительное влияние на атмосферные движения в высоких, а также в умеренных широтах оказывает вращение Земли. При перемещении к экватору эта величина уменьшается, стремится к нулю и должного влияния на

атмосферные процессы не оказывает. При более детальном и точном изучении характеристик крупномасштабных движений, как правило, учитывают изменение влияния вращения Земли с широтой, то бишь меридионально, вдоль меридианов.

Если говорить о влиянии лучистой энергии Солнца, то следует сказать, что она, по сути, является основным источником атмосферной циркуляции. Более того, неравномерное распределение лучистой энергии Солнца по земному шару считается первопричиной глобальной циркуляции атмосферы [10].

Подстилающая поверхность, в свою очередь, также оказывает воздействие на изменение температуры воздуха, а, соответственно, на общую циркуляцию атмосферы тоже. Причем стоит сделать акцент на том, что такое воздействие не ограничивается приземным слоем, оно проникает и действует на всю часть тропосферы, благодаря турбулентному перемешиванию.

Нельзя не упомянуть про еще одну характеристику, влияющую на атмосферную циркуляцию Земли – это трение воздуха о земную поверхность. Трение замедляет скорость прохождения воздушных течений, а также влияет на изменение направления таких течений. В основном, это наблюдается в пограничном слое атмосферы, изменяющимся в пределах от километра до полутора километров. Вертикальные движения воздуха способны изменять температуру воздуха, в связи с чем выделяется тепло конденсации водяного пара, которое, в совокупности с этими происходящими процессами, оказывает воздействие на атмосферную циркуляцию [10].

Как причина изменчивости поля атмосферного давления и циркуляции, включающее в себя преобразования, образующиеся при развитии циклонов и антициклонов, считается нестационарность движений. То есть, на формирование общей циркуляции атмосферы, как ни странно, оказывают значительное воздействие ее же размеры. Если разграничивать атмосферу по объемности, то можно отметить верхнюю границу, простирающуюся на высоте около 2000 км, а вот, если рассматривать более нижние слои атмосферы, то в тропосфере и стратосфере собрана основная масса.

Выделяя главные закономерности общей циркуляции атмосферы, стоит сказать, что к ним относятся: превышение скоростей горизонтальных движений над вертикальными движениями в крупномасштабных процессах; преобладание зональных воздушных течений над меридиональными; преимущественно вихревой характер атмосферных движений; нестационарность атмосферных движений, их постоянная изменчивость и вызванные нестационарностью непрерывные изменения атмосферной циркуляции и ее структурных элементов; изменения направления и скорости воздушных течений при переходе от слоя к слою и неравномерное распределение кинетической энергии как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Однако, не стоит забывать, что все имеет свойство изменяться. В данном случае, атмосферная циркуляция имеет некоторые изменения, происходящие сезонно. Это обуславливается различным количеством прихода солнечной радиации. Более четко выраженные изменения наблюдаются в Северном полушарии, поскольку материковая часть поверхности занимает большую территории полушария. Особенно можно выделить охлаждение материков в период зимы и их прогрев в летний климатический сезон. Данное изменение приводит смене знака контрастов температур относительно материка и океана. Такие изменения имеют свойство происходить в других регионах. Там они проявляются с достаточно разной интенсивностью, а также с различной повторяемостью циклонов и антициклонов. Это объясняется смещением траекторий центров действия атмосферы, а также учитывается географическое положение [10].

2.2 Центры действия атмосферы

Циркуляция атмосферы существует за счет неоднородности в распределении атмосферного давления. Как было сказано ранее, одной из важнейших характеристик, влияющих на циркуляцию атмосферы, является разный приток солнечной радиации. Он возникает из-за наличия достаточно разных физических свойств постилающей поверхности земли, а именно суша,

лед или море. Нельзя не сказать про отклонение вращения Земли, влияющее, в свою очередь, на воздушные потоки.

Как следствие, центры действия атмосферы имеют свойство перемещаться, даже если они постоянны или сезонны, каждый из них находится в движении.

Если говорить про распределение центров действия атмосферы, то они рассредоточены по всему земному шару. Каждый из них оказывает значительное воздействие на циркуляцию не только атмосферы, но и гидросферы в том числе. Выделяют постоянные центры действия атмосферы, которые проявляются в течении всего календарного года. Как правило, к таким ЦДА относят: Азорский антициклон, Северо-Тихоокеанский / Гавайский, Южно-Атлантический, Южно-Индийский и Южно-Тихоокеанский максимумы; также к этому числу относят экваториальную депрессию; депрессии субполярных широт, а именно Исландская депрессия, Алеутский минимум и Субантарктический минимум; полярные области высокого атмосферного давления (Арктический антициклон, Антарктический максимум) и сезонные центры действия атмосферы [10].

Они образуются, в основном, за счет интенсивности прогрева, а также охлаждения внутренних районов материков в различные сезоны года, будь то лето или зима. Если же говорить про сезонные центры действия атмосферы, то стоит сказать, что к ним, прежде всего, относят: Сахаро-Аравийский минимум, Канадский антициклон, Южно-Азиатский минимум, Азиатский антициклон.

Интересен тот факт, что атмосферное давление, как таковое, значительное влияние на климат Земли не оказывает, но оно имеет косвенный характер своего воздействия и, поэтому данный показатель, данную характеристику, не стоит недооценивать. По причине довольно неравномерного распределения атмосферного давления происходит движение воздуха относительно постилающей поверхности. Зачастую оно носит горизонтальный характер и имеет направление от области более высокого атмосферного давления в сторону области давления с более низкими значениями. Такое движение идентифицируется как ветер [10].

Перемещение барических образований с локаций их постоянных центров непосредственно обеспечивает другим различным территориям характерные изменения погоды, причем стоит отметить, что иногда это может иметь довольно значительный временной период. У земной поверхности барические образования имеют тенденцию перемещения в соответствии с устойчивым потоком воздуха, находящимся на уровне 4-6 км, являющимся ведущим потоком. Однако, барические образования при своем перемещении могут отклоняться от ведущего потока. Антициклонические и циклонические образования в некоторых районах становятся весьма малоподвижными. Таким образом, установившись над регионом, они обеспечивают преобладание поля высокого или низкого давления.

Центры действия атмосферы формируются по причине влияния условий циркуляции. При этом, стоит полагать, что они также испытывают термическое воздействие из-за особенностей подстилающей поверхности земли, которое, в свою очередь, дополняется разнообразными орографическими характеристиками материков. Эти факты напрямую сказываются на распределении атмосферного давления при отображении на климатических картах [10].

3. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦ ЗИМНЕГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СЕЗОНА НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

3.1 Определение цели и задач магистерской диссертации

Целью данной магистерской диссертации является анализ особенностей зимнего климатического сезона на западной части европейской территории Российской Федерации (выбрали российский сектор Балтийского региона) и Республики Беларусь.

В течение последних десятилетий отмечаются фиксируются значительные изменения, как в наступлении, так и в окончании зимнего периода.

Для достижения поставленной цели и выполнения задач магистерской диссертации предполагается детально проанализировать каждый из определенных для исследования пункт. Подробная карта представлена на рисунке 3.1.

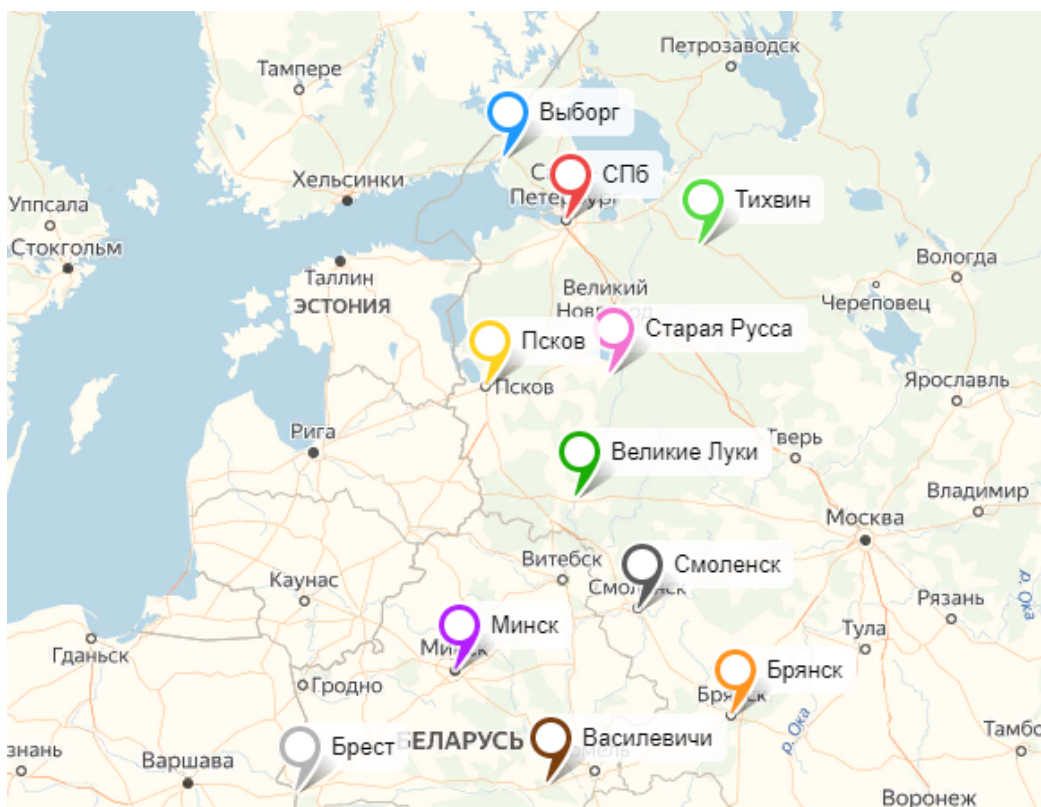


Рисунок 3.1 – Регион исследования

В ходе выполнения магистерской диссертации был определен регион исследования, состоящих из 11 метеорологических постов. В основном, поле исследования распространяется на западную часть европейской территории России. В состав вошли 8 городов: Тихвин, Смоленск, Санкт-Петербург, Великие Луки, Брянск, Псков, Выборг, Старая Русса. Помимо этого, для расширения зоны исследования, было определено несколько метеопостов в Беларуси, а именно были выбраны для анализа такие города, как Минск, Василевичи и Брест.

Для проведения расчетов и получения результатов по датам наступления и окончания зимнего климатического сезона, априори использовался метод Хаустова В.А. Данные по среднесуточным температурам воздуха за исследуемый период с 1961 по 2020 гг. для городов выбранной территории изымались из архива ВНИИГМИ-МЦД. Концепция программы Хаустова основана на том, что она выделяет границы начала и окончания зимнего климатического сезона, то есть определяет даты перехода температуры воздуха через нуль на понижение. Как правило, цифрой «1» система обозначает конец зимнего климатического сезона, а цифрой «0» шифрует ее начало.

По итогу, установленные системой даты начала и окончания зимнего климатического сезона принимаются за ее границы. Также в работу вшита синоптика, а именно описание и анализ синоптических процессов, характерных изменению зимних климатических границ. Для преодоления данного шага в магистерской диссертации планируется установить, определить, проанализировать смещение границ зимнего периода во всех исследуемых городах. Данная работа проводится за период с 1961 по 2020 гг.

Для решения данной задачи необходимо сопоставить рассчитанные даты начала весны с архивом приземных и высотных барических, которые позаимствованы из архивных данных реанализа модели GFS (Archiv der NOAA-CR20 und NCEP Reanalysis) за период с 1960 года по 2019.

3.2 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона на северо-западной части ЕТР

3.2.1 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Смоленск

Для более детального описания изменения климатических характеристик зимнего сезона обратимся к полученным результатам, а именно к графику, изображенному на рисунке 3.2.1.1, по городу Смоленск.

В данном случае рассмотрим и проанализируем изменение зимних климатических границ в исследуемом пункте за период с 1961 по 2020 гг.

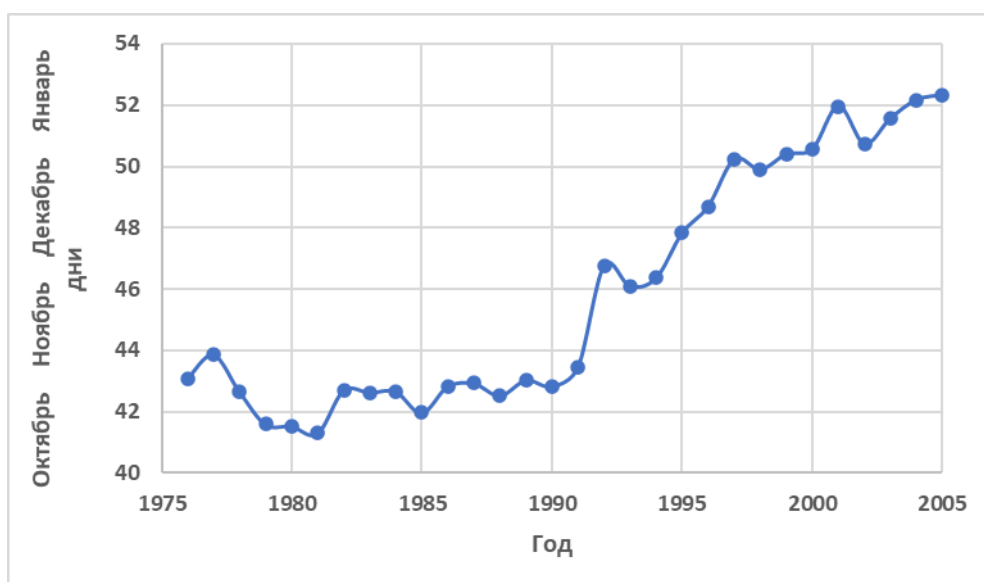


Рисунок 3.2.1.1 – Дата начала зимы в г. Смоленск
(скользящее среднее за 30 лет)

Из полученных данных графика можно зафиксировать, что на протяжении всего исследуемого временного периода имеет место быть тенденция начала зимнего климатического сезона в сторону более холодного полугодия. Это показано в таблице 3.2.1.1.

По данным таблицы можно сделать вывод, что в первом тридцатилетии дата начала зимнего климатического сезона приходится на 12 ноября, в следующем тридцатилетии она смещена – и уже приходится на 21 ноября.

По графику, представленному на рисунке 3.2.1.4, можно отметить, что окончание зимы отмечается раньше.

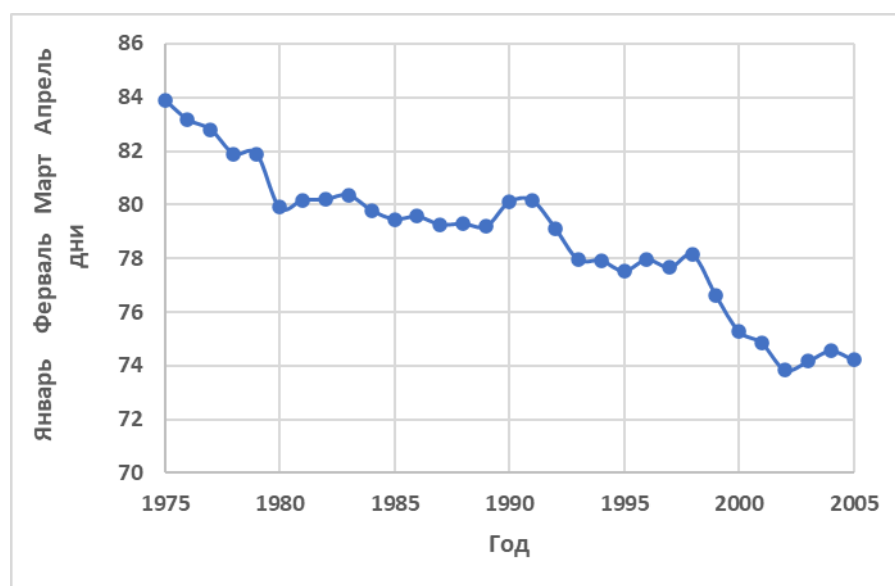


Рисунок 3.2.1.2 - Дата окончания зимы в г. Смоленск
(скользящее среднее за 30 лет)

С начала периода дата перехода через 0°C также подвергается изменению, то есть тенденция окончания зимнего климатического сезона смещается в сторону более холодного полугодия. Дата окончания зимнего климатического сезона в первом тридцатилетии приходится на 23 марта, а во втором тридцатилетии уже на 15 марта. Отмечается, что граница начала зимы за 60 лет переместилась на 12 дней вперед, а граница окончания на 7 дней назад.

Таблица 3.2.1.1 – Дата начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Смоленск

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	12 ноября	23 марта
1991-2020	21 ноября	15 марта

Подводя промежуточный итог, можно сказать, что за последние 60 лет границы зимнего климатического сезона весьма изменили свое положение, как

минимум стоит сказать о том, что дата начала смещается в сторону более позднего наступления зимнего климатического сезона, а дата окончания, наоборот, в сторону более раннего окончания зимнего климатического сезона.

Для анализа продолжительности зимы обратимся к таблице 3.2.1.2.

Таблица 3.2.1.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Смоленск

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	132
1991-2020	115

Если говорить об изменении продолжительности зимнего климатического сезона, то стоит сказать, что за последние шестьдесят лет она сократилась. В первое тридцатилетие продолжительность составила 132 дня, напротив, как во вторые тридцать лет уже 115. Из этого следует сделать вывод о том, что продолжительность зимы сокращается.

Обращаясь к графику, изображенному на рисунке 3.2.1.3, можно подтвердить вышесказанное заключение. Действительно, дата начала зимнего климатического сезона имеет тенденцию смещения в сторону более холодных месяцев, точно также, как и окончание зимы.

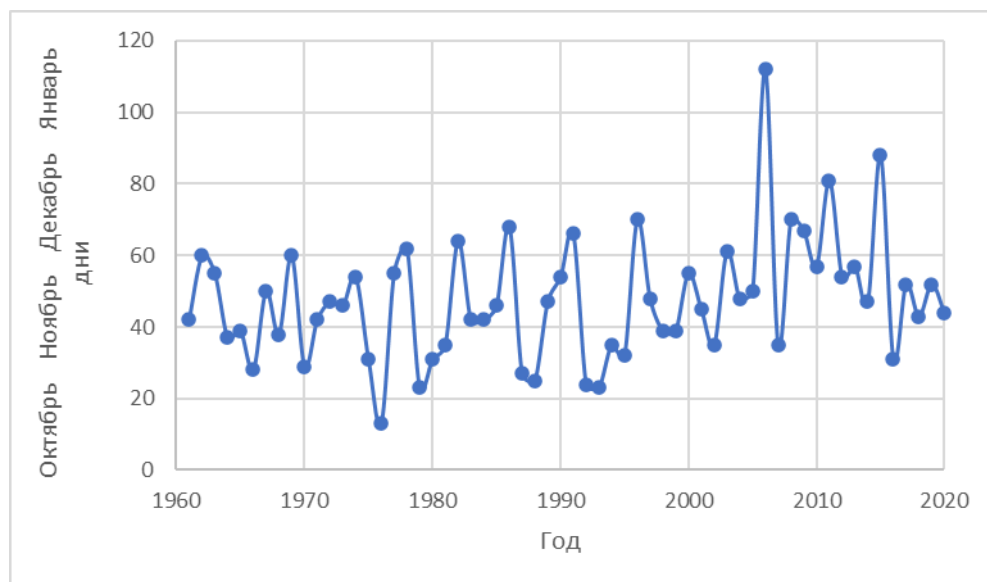


Рисунок 3.2.1.3 – Даты наступления зимы в г. Смоленск за 60 лет

По графику, представленному на рисунке 3.2.1.4, можно отметить, что окончание зимы отмечается раньше.

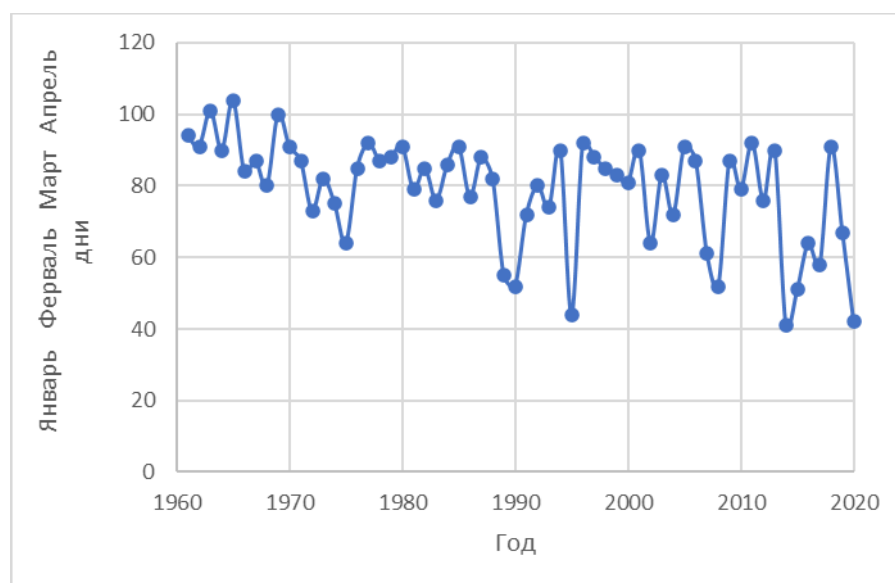


Рисунок 3.2.1.4 – Даты окончания зимы в г. Смоленск за 60 лет

Граница окончания имеет тенденцию смещения назад, что также сказывается на сокращении продолжительности зимы.

Проанализировав полученные результаты, можно заключить, что зимний климатический сезон в Смоленске сокращается.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.1.3.

Таблица 3.2.1.3 – Изменение средней температуры воздуха в зимний климатический период и ее статистическая значимость

Ряд	Среднее	СКОО	ДисперсияО2
1960-1989	-6.2	2.1	4.6
1990-2020	-5.1	1.7	3.0
1960-2020	-5.7	2.0	4.1

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 1,1°C. Такое изменение между исследуемыми двумя тридцатилетиями можно отнести к значимым.

3.2.2 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Тихвин

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в Тихвине за период с 1960 по 2020 гг.

На рисунке 3.2.2.1 показано изменение скользящего среднего по изменению устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0°C в г. Тихвин.

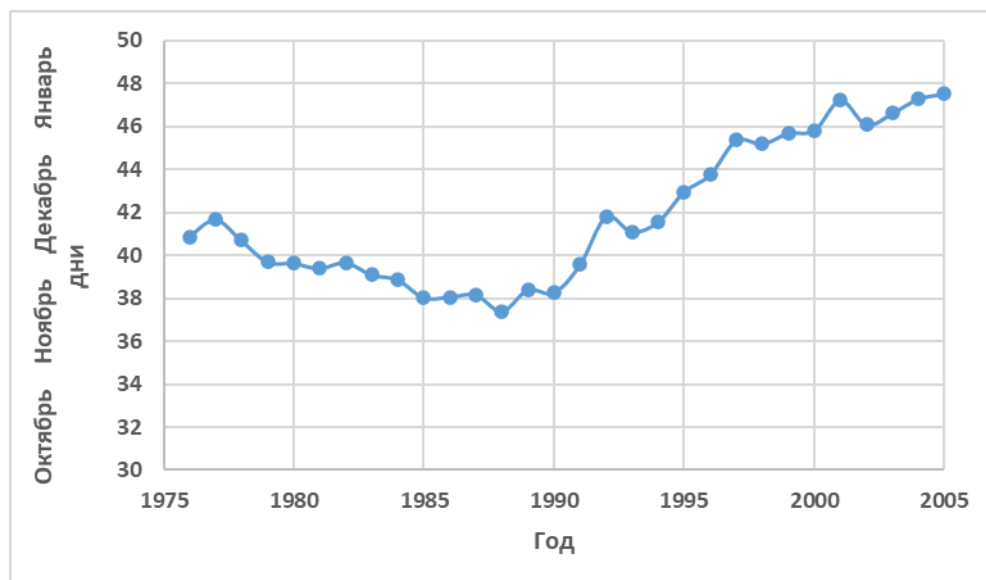


Рисунок 3.2.2.1 - Дата начала зимы в г. Тихвин
(скользящее среднее за 30 лет)

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что отмечается незначительное изменение в первой половине исследуемого периода, но во второй половине наблюдается довольно быстрый прирост. Это является следствием того, что зимний климатический сезон в г. Тихвин начинается позже.

Рассмотрим также и окончание зимнего периода в г. Тихвин в графике, представленном на рисунке 3.2.2.2.

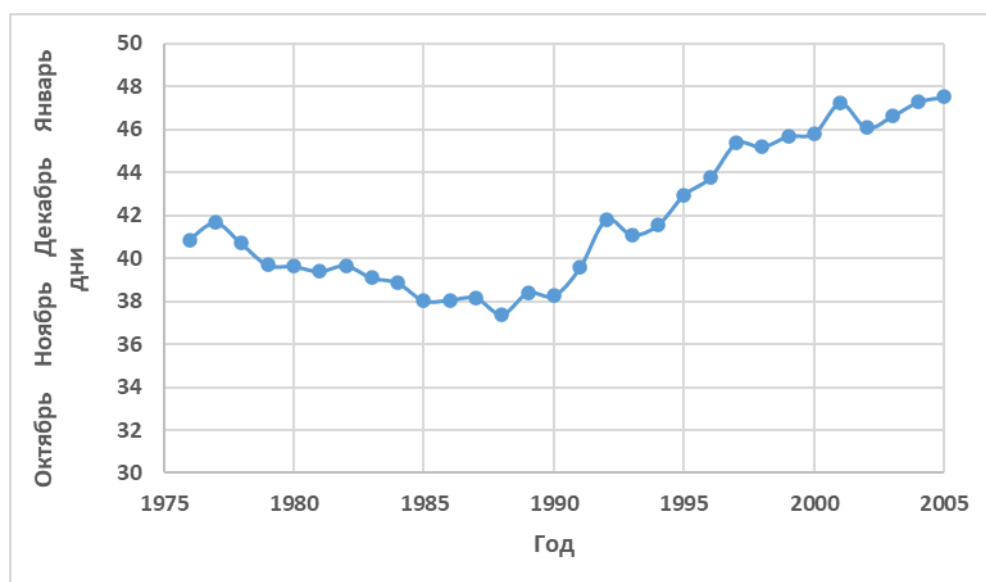


Рисунок 3.2.2.2 - Дата окончания зимы в г. Тихвин
(скользящее среднее за 30 лет)

Исходя из полученных данных графика, можно сделать вывод о том, что на протяжении всего временного периода дата перехода через 0°C постепенно сдвигается на более поздние сроки. Также это отражено в таблице 3.2.2.1.

Таблица 3.2.2.1 – Дата начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Тихвин

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	9 ноября	4 апреля
1991-2020	17 ноября	21 марта

Как итог, изменение границ зимы наблюдается смещением в сторону более холодных месяцев зимнего сезона.

Можно заметить достаточно существенное изменение продолжительности зимы за исследуемый период. Зимний сезон сократился на 22 дня. Это говорит нам о том, что за последнее тридцатилетие в датах начала и окончания зимнего периода, а также в его продолжительности, сильные климатические изменения были отмечены.

Таблица 3.2.2.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Тихвин

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	147
1991-2020	125

Подтверждением вывода о том, что зимний климатический сезон имеет тренд на сокращение продолжительности является график на рисунке 3.2.2.3.

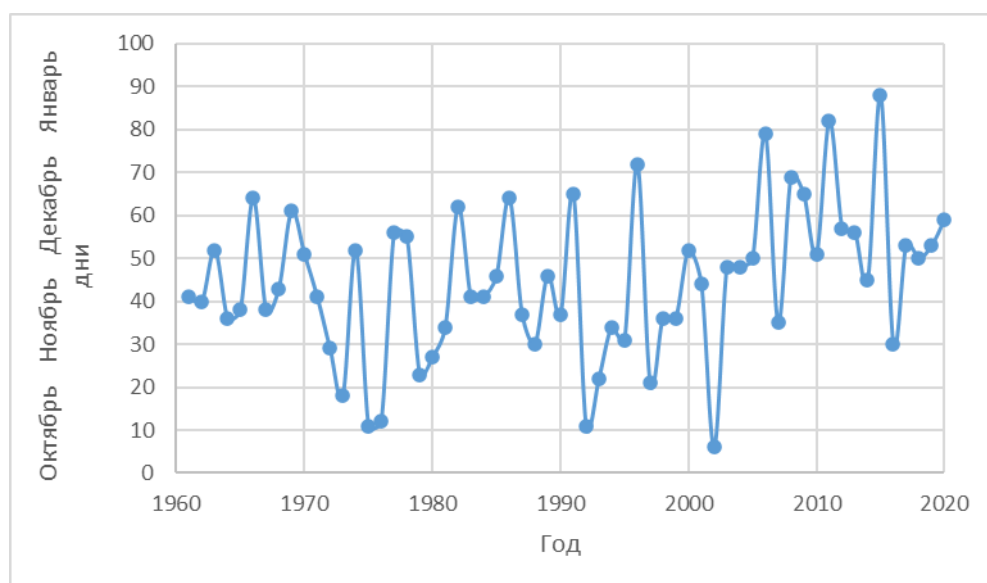


Рисунок 3.2.2.3 – Даты наступления зимы в г. Тихвин за 60 лет

Действительно, дата начала зимы смещается в сторону более холодного полугодия. В первом тридцатилетии она приходится на 9 ноября, то во втором тридцатилетии она приходится уже на 17 ноября. Изменение на 8 дней.

С датами окончания зимы в г. Тихвин ситуация такая же. На рисунке 3.2.2.4 видно, что кривая изменяется быстро.

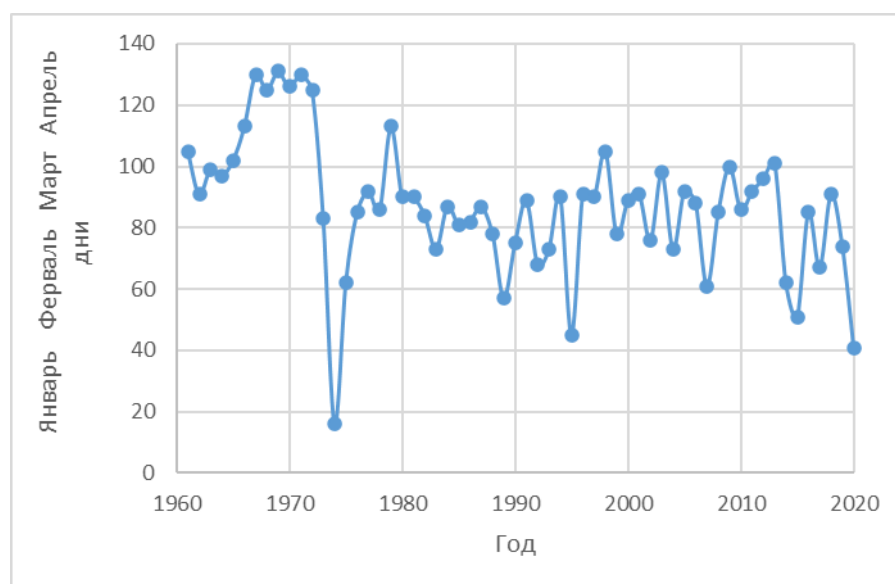


Рисунок 3.2.2.4 – Даты окончания зимы в г. Тихвин за 60 лет

В первом исследуемом тридцатилетии дата окончания зимы приходится на 4 апреля, но во втором тридцатилетии уже приходится на 21 марта.

В целом, стоит сказать, что зимний климатический сезон сокращается в г. Тихвин достаточно быстро.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.2.3.

Таблица 3.2.2.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	Дисперсия σ^2
1960-1989	-7.4	2.3	5.2
1990-2020	-5.9	2.1	4.4
1960-2020	-6.6	2.3	5.3

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на $1,5^{\circ}\text{C}$. Такое изменение можно отнести к значимым.

3.2.3 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Старая Русса

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в г. Старая Русса за период с 1960 по 2020 гг.

Проанализируем полученные результаты на графике, изображенном на рисунке 3.2.3.1.

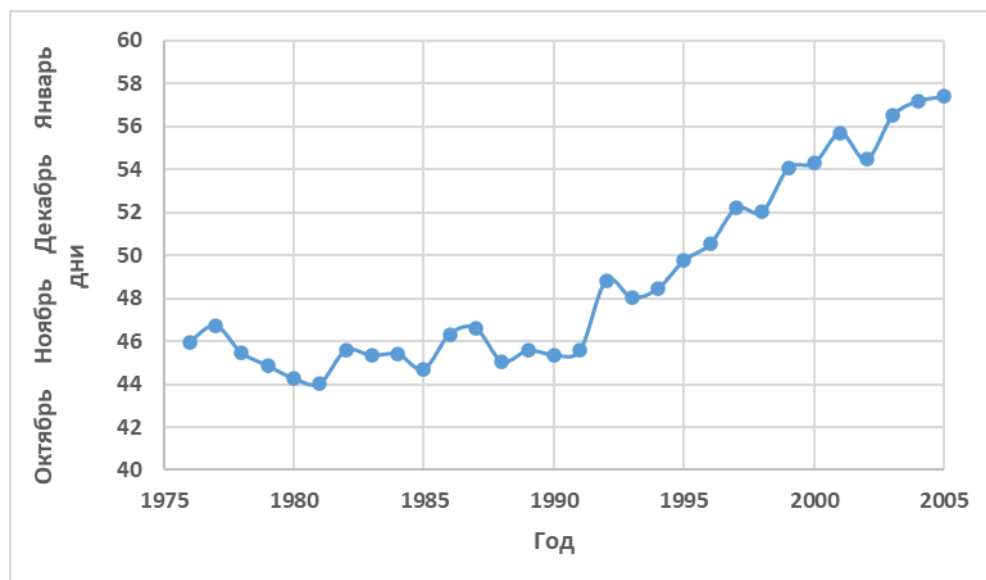


Рисунок 3.2.3.1 - Дата начала зимы в г. Старая Русса
(скользящее среднее за 30 лет)

Кривая изменения дат начала зимнего климатического сезона имеет тенденцию на смещение в сторону более холодных месяцев. Как следствие, зима начинается позднее. Если в первом тридцатилетии дата начала зимы датируется 19 ноября, то во втором промежутке шестидесяти лет эта дата смещена в сторону зимних месяцев и приходится на 27 ноября. Это также отражено в таблице 3.2.3.1.

На рисунке 3.2.3.2 показано изменение дат окончания зимнего климатического сезона в г. Старая Русса.

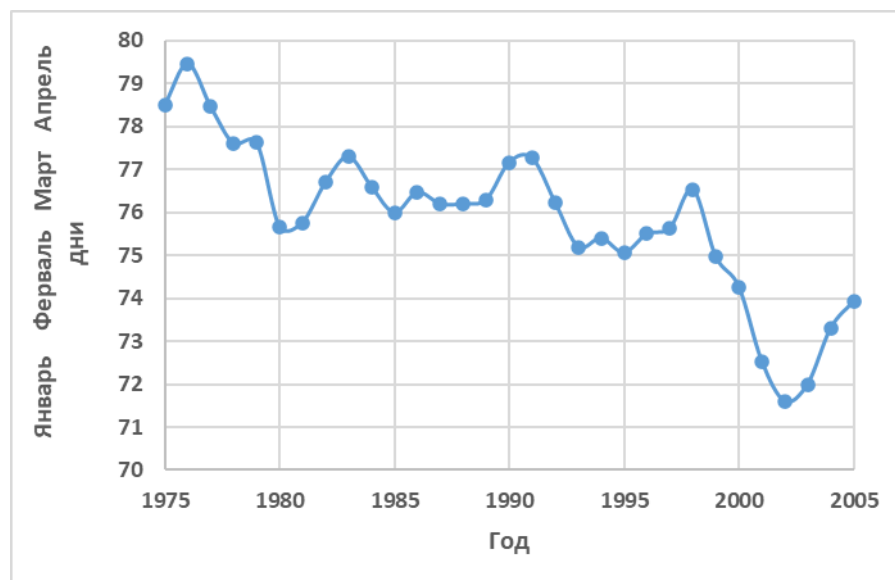


Рисунок 3.2.3.2 – Дата окончания в г. Старая Русса
(скользящее среднее за 30 лет)

Кривая изменяется достаточно резко, особенно это отмечается во втором промежутке исследуемого периода. Окончание зимы стремительно смещается в сторону более холодного времени года, тем самым сокращая продолжительность зимнего периода, что подтверждают данные из таблицы 3.2.3.2.

Таблица 3.2.3.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Старая Русса

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	19 ноября	20 марта
1991-2020	27 ноября	15 марта

Стоит отметить, что дата перехода через 0°C претерпевает значительные изменения. Наступление зимы происходит на 8 дней раньше, что показывает график на рисунке 3.2.3.3.

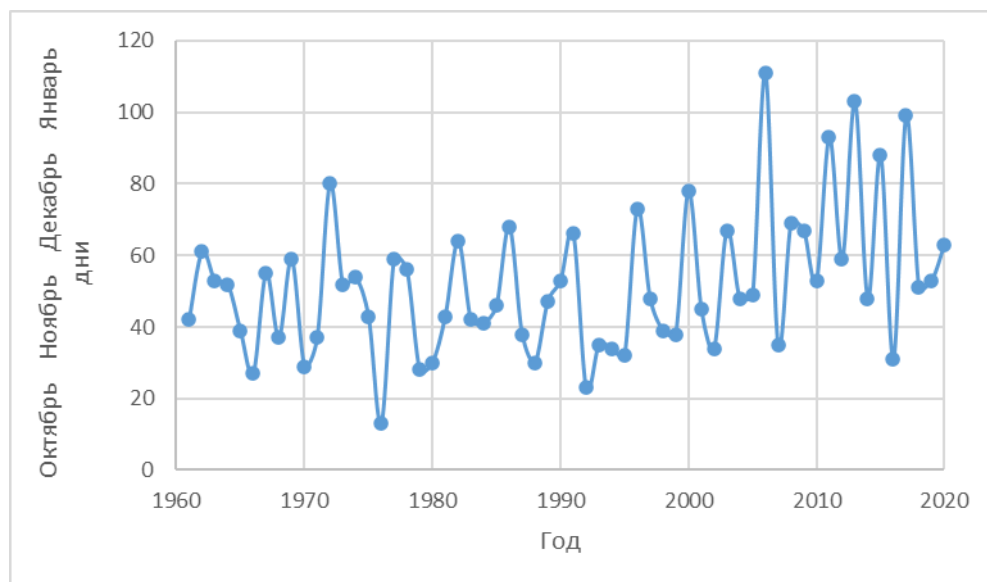


Рисунок 3.2.3.3 – Даты наступления зимы в г. Старая Русса за 60 лет

Дата окончания зимнего климатического сезона в первом тридцатилетии приходится на 20 марта, а во втором тридцатилетии уже на 15 марта. Данные рисунка 3.2.3.4 наглядно показывают это изменение.

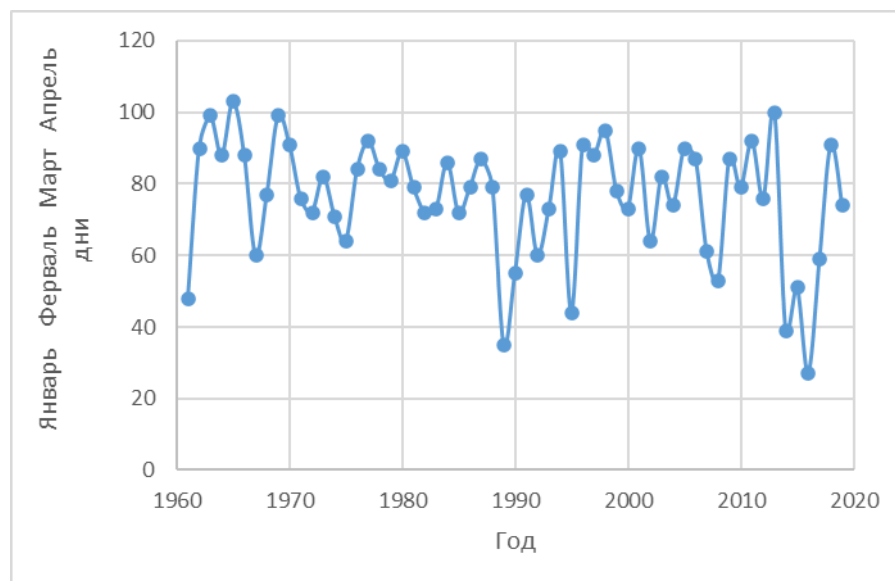


Рисунок 3.2.3.4 – Даты окончания зимы в г. Старая Русса за 60 лет

Стоит отметить, что граница с начала зимы за шестьдесят лет переместилась на 8 дней, а граница окончания на 5 дней в сторону более холодных месяцев года.

На фоне таких значительных изменений нельзя не сказать о сокращении продолжительности зимнего климатического сезона. За исследуемый период она сократилась с 122 дней до 109 дней, по итогу сократившись на 13 дней.

Таблица 3.2.3.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Старая Русса

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	122
1991-2020	109

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.3.3.

Таблица 3.2.3.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	ДисперсияO2
1960-1989	-6.4	2.3	5.4
1990-2020	-5.6	2.8	7.8
1960-2020	-6.0	2.6	6.7

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 0,8°C. Такое изменение считается незначимым.

3.2.4 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Санкт-Петербург

Для более детального описания изменения климатических характеристик зимнего сезона обратимся к полученным результатам, а именно к графику, изображенному на рисунке 3.2.4.1, по городу Санкт-Петербург.

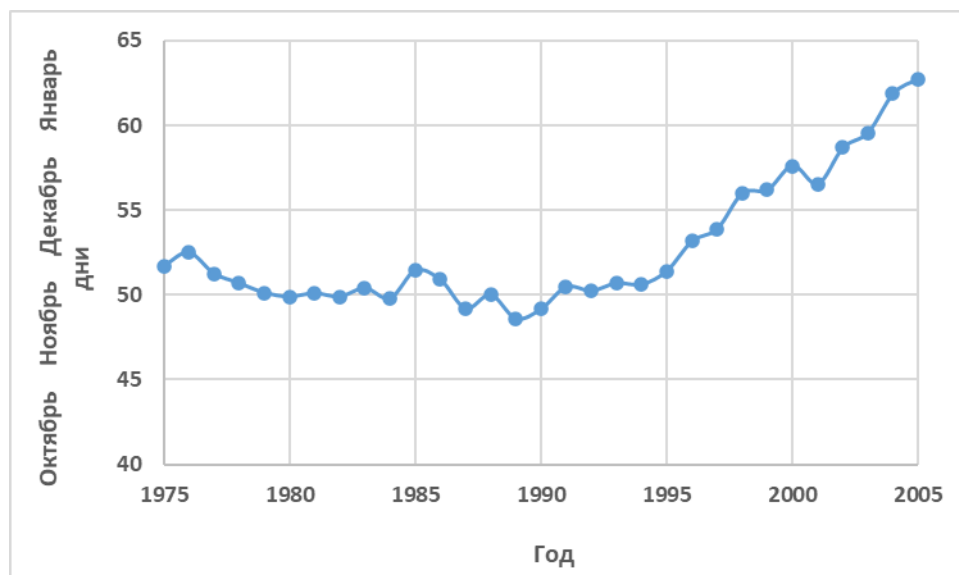


Рисунок 3.2.4.1 - Дата начала зимы в г. Санкт-Петербург
(скользящее среднее за 30 лет)

В данном случае проанализировано изменение зимних климатических границ в исследуемом пункте за период с 1960 по 2020 гг. На протяжении всего исследуемого временного периода имеет место быть тенденция начала зимнего климатического сезона со смещением в сторону более холодного полугодия.

Ход кривой дат окончания зимнего климатического сезона представлен на рисунке 3.2.4.2.

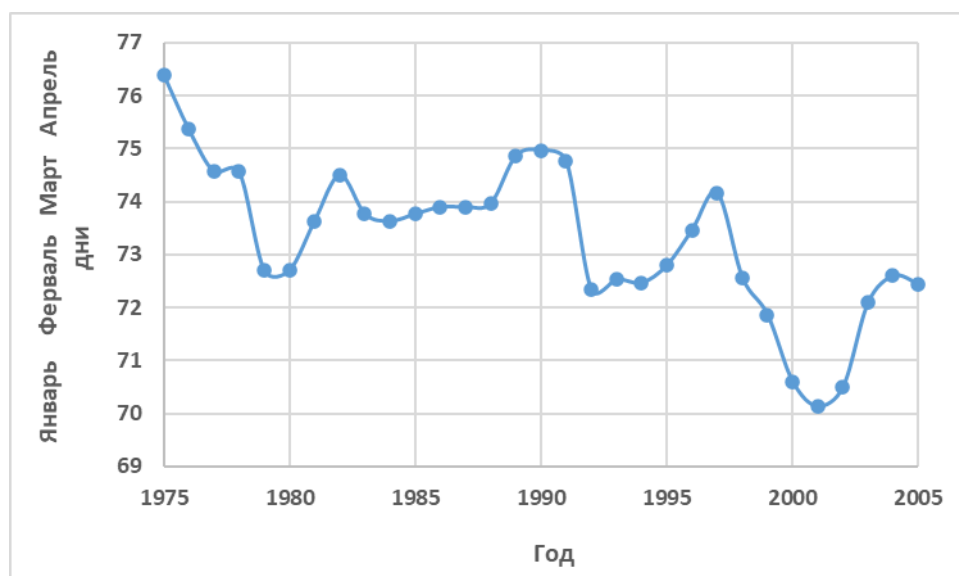


Рисунок 3.2.4.2 - Дата окончания зимы в г. Санкт-Петербург
(скользящее среднее за 30 лет)

Кривая изменчивости дат окончания зимнего климатического сезона по городу Санкт-Петербург имеет достаточно резкий ход. За 60 лет наблюдений дата окончания зимы сместилась в сторону более холодных зимних месяцев, также это отражено в таблице 3.2.4.1.

Таблица 3.2.4.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Санкт-Петербург

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	21 ноября	18 марта
1991-2020	2 декабря	13 марта

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что продолжительность зимы сокращается. Поскольку, в первом тридцатилетии дата начала зимнего климатического сезона приходится на 21 ноября, в следующем тридцатилетии она смещена – и уже приходится на 2 декабря.

На рисунке 3.2.4.3 представлен ход кривой дат начала зимнего климатического сезона в городе Санкт-Петербург.

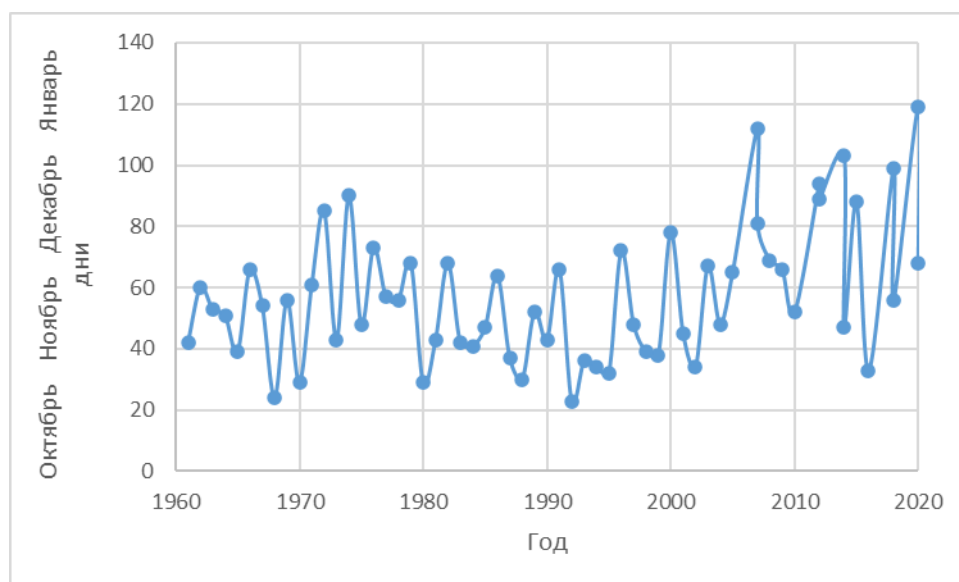


Рисунок 3.2.4.3 - Дата начала зимы в г. Санкт-Петербург за 60 лет

Проанализировав данные графика, можно заключить, что значительное смещение даты наступления зимы отмечается после 1990 года. Во втором тридцатилетии исследуемого периода отмечается, что зима наступает позднее, то есть фиксируется смещение начало зимнего климатического сезона в сторону более холодных месяцев.

На рисунке 3.2.4.4 представлен ход кривой дат окончания зимнего климатического сезона в городе Санкт-Петербург.

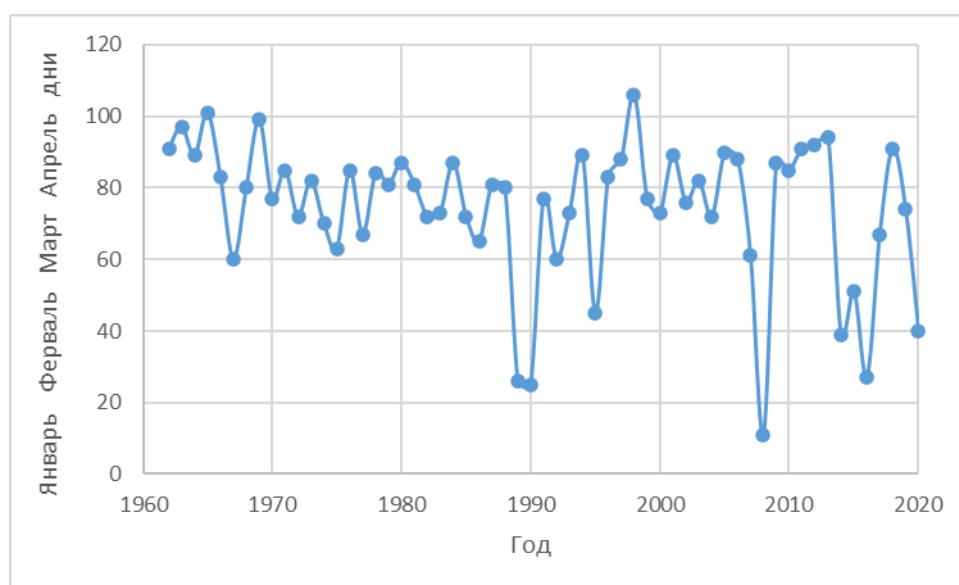


Рисунок 3.2.4.4 - Дата окончания зимы в г. Санкт-Петербург за 60 лет

С начала периода дата перехода через 0°C подвергается изменению, то есть тенденция окончания зимнего климатического сезона смещается в сторону более холодного полугодия. Дата окончания зимнего климатического сезона в первом тридцатилетии приходится на 18 марта, а во втором тридцатилетии уже на 13 марта.

Таким образом, граница начала зимы за 60 лет сдвинулась на 12 дней, а граница окончания на 7 дней. Продолжительность сезона также изменилась. По данным таблицы 3.2.4.2 известно, что продолжительность зимнего климатического сезона сократилась значительно, а именно на 16 дней.

Таблица 3.2.4.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Санкт-Петербург

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	118
1991-2020	102

Рассмотрим интересный случай зимы 2019-20 гг. в городе Санкт-Петербург.

Впервые за весь ряд метеорологического наблюдения зимы климатической в Санкт-Петербурге в этот период не наблюдалось. Среднесуточная температура воздуха устойчиво не переходила через нулевой предел на понижение.

На рисунке 3.2.4.5 изображен график среднесуточных температур воздуха с 1 ноября 2019 года по 31 марта 2020 года.

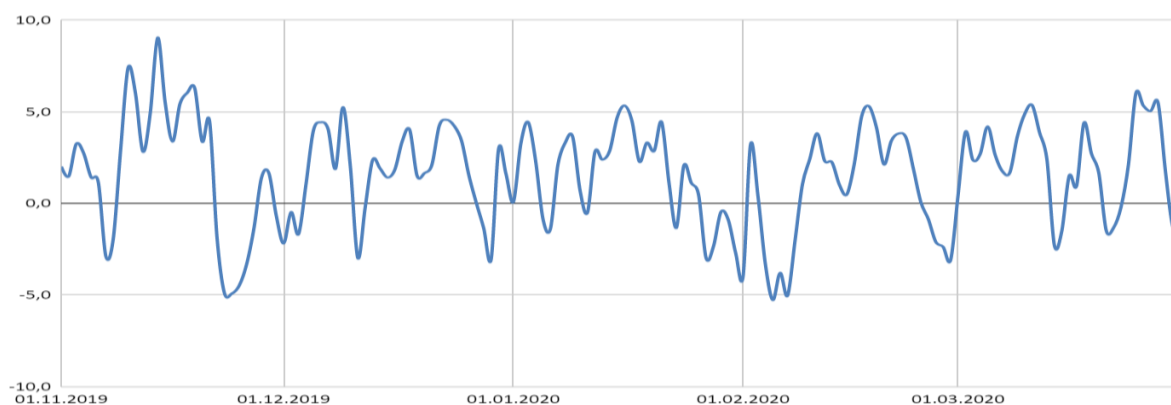


Рисунок 3.2.4.5 – График среднесуточный температур воздуха

В результате анализа хода среднесуточных температур воздуха в городе Санкт-Петербург за период зимы 2019-20 гг. можно сделать вывод о том, что в данном пункте наблюдалось несколько незначительных эпизодов понижения температуры воздуха ниже нуля. Среднесуточная температура воздуха не

опускалась ниже -5°C в течении всех зимы, и если среднесуточные температуры воздуха достигали данного значения, то незначительное время.

Наблюдался общий положительный фон температуры воздуха и при анализе ряда суточных температур воздуха при помощи метода Хаустова, а также визуальным методом при сравнении предыдущих и последующих значений температуры воздуха, можно уверенно утверждать о том, что дата устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел, на понижение, не наблюдалось.

Для сравнения рассмотрим нормы для каждого месяца календарной зимы и сравним их со среднемесячными значениями зимы 2019-20 гг. Для более детального анализа дополнительно добавим современные данные последней зимы 2024-25 гг., в которой также были зафиксированы рекордные значения положительных температур воздуха. Однако, в зимний климатический период 2024/25 гг. дата устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел была.

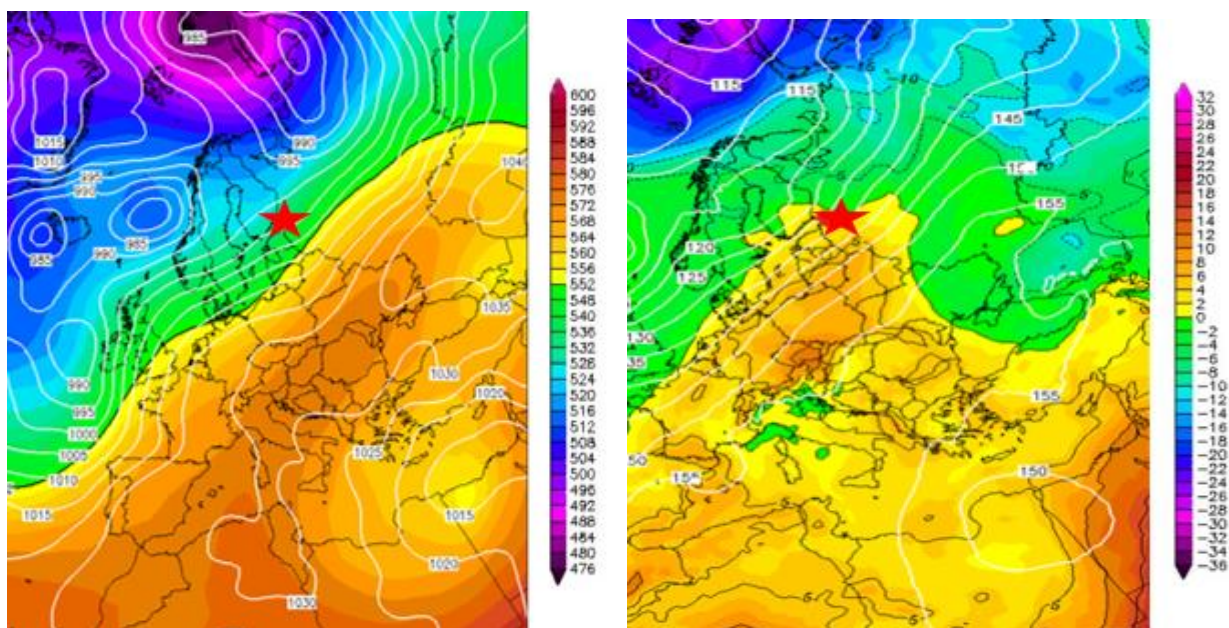
Таблица 3.2.4.3 - Сравнительный анализ среднемесячных значений температуры воздуха в Санкт-Петербурге зимой 2019/20 г., 2024/25 г. со значениями норм

Сезон/месяц	Декабрь	Январь	Февраль
Зима 2019-20	1,7	1,5	0,6
Зима 2024/25	-0,7	-0,6	-3,8
Норма	-4,6	-7,8	-6,9

Зимний климатический сезон 2019-20 гг. в городе Санкт-Петербург, не наблюдался. Если выразиться правильнее, то его нельзя отнести, как к таковому климатическому, поскольку не было зафиксировано устойчивого перехода

температуры воздуха через нулевой предел, в сторону понижения. Зима 2019-20 гг. попросту отсутствовала.

В течение зимы сезона 2019/2020 гг. положительные температуры воздуха определялись южной частью обширной многоцентровой депрессии, которая располагалась над полярным регионом. Большая часть зимнего периода обуславливалась расположением над Санкт-Петербургом южной части этого барического образования. Характерные для этого периода синоптические ситуации показаны на синоптических картах, изображенных на рисунке 3.2.4.6.



а) АТ-500. 16 января 2020 г.

б) АТ850+приземная. 16 января 2020 г.

Рисунок 3.2.4.6 - Характерная синоптическая ситуация для тёплых периодов зимой 2019/2020 гг.

Вызванные потепления, способствовавшие значительному повышению температуры воздуха, обусловлены высоким положением планетарной фронтальной зоны (ПФЗ). Стоит уточнить, что в момент потепления высотная фронтальная зона находилась над Санкт-Петербургом, то есть значительно севернее ее нормального положения, так как обычно она находится над Черным морем.

Проанализировав полученные результаты, можно заключить, что зимой 2019-20 гг. Санкт-Петербург оказался в южной зоне обширной многоцентровой

депрессии, оказывающей прямое воздействие на формирование погодных условий в пункте исследования. Аномальные изменения температуры воздуха, а именно повышение этих значений, сопровождались прохождением планетарно-высотной фронтальной зоны.

Установившиеся в городе Санкт-Петербург аномальные значения температуры воздуха являлись первопричиной отсутствия климатической зимы. Необходимо подчеркнуть, что зона распространения ПВФЗ было и севернее, оно также было отмечено в районе Белого моря. Из этого следует сделать вывод о том, что над Северо-западной частью Российской Федерации в средней тропосфере циркулировала тропическая воздушная масса.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.4.4.

Таблица 3.2.4.4 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	Дисперсия σ^2
1960-1989	-6.0	2.2	4.8
1990-2020	-4.8	2.5	6.3
1960-2020	-5.4	2.4	5.8

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 1,2°C. Такое изменение можно отнести к значимым.

3.2.5 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Выборг

Рассмотрим изменение границ зимнего климатического сезона в городе Выборг за период с 1960 по 2020 гг. Для более подробного анализа обратимся к графику, представленному на рисунке 3.2.5.1.

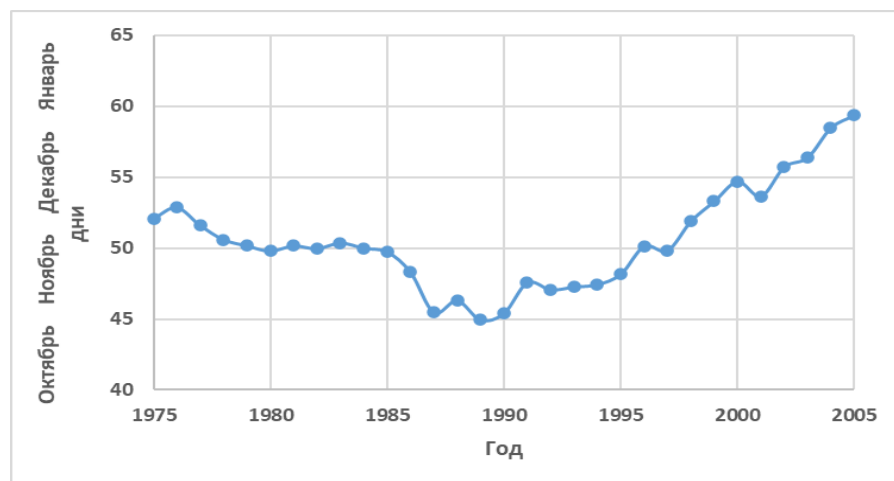


Рисунок 3.2.5.1 - Дата начала зимы в г. Выборг
(скользящее среднее за 30 лет)

Данное осреднение было произведено при помощи использования функции скользящего среднего за 30 лет. Анализируя график, можно отметить, что граница наступления зимы сместилась на 7 дней, что также подтверждается полученными данными, представленными в таблице 3.2.5.1.

Рассмотрим график изменения дат окончания зимнего климатического сезона в городе Выборг, представленном на рисунке 3.2.5.2.

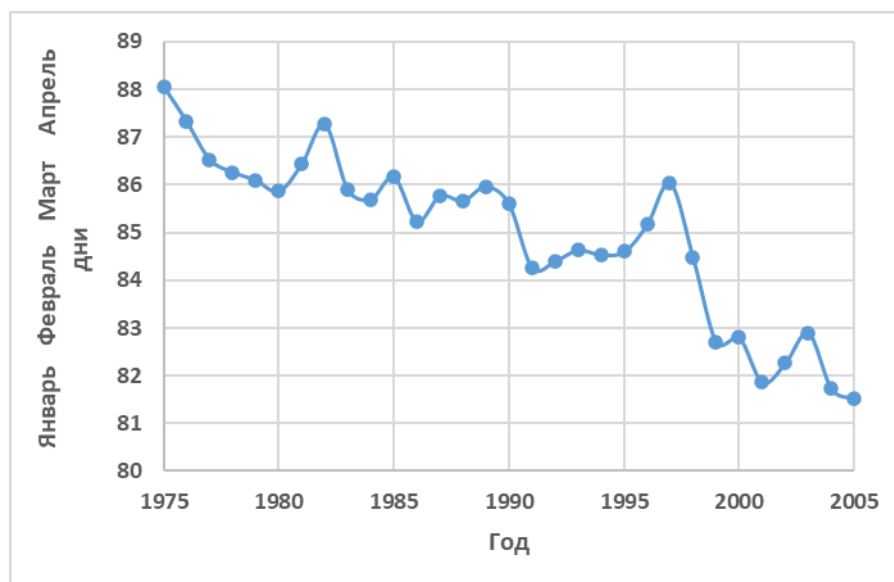


Рисунок 3.2.5.2 - Дата окончания зимы в г. Выборг
(скользящее среднее за 30 лет)

На данном рисунке можно заметить, что дата окончания зимы смещается на 8 дней в сторону более холодного времени года. В периоде за 1960-1990 гг. дата окончания приходится на 30 марта, а в периоде с 1991-2020 гг. она уже приходится на 22 марта, что также отражено в таблице 3.2.5.1

Таблица 3.2.5.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Выборг

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	21 ноября	30 марта
1991-2020	28 ноября	22 марта

Из полученных результатов следует сделать вывод о том, что в городе Выборг за 60 лет граница окончания сместилась на 8 дней, что также говорит нам о сокращении самого зимнего климатического сезона.

Продолжительность зимнего климатического сезона также сокращается. Согласно полученным данным, представленным в таблице 3.2.5.2, продолжительность зимы сократилась на 15 дней. При этом стоит отметить, что даты устойчивого перехода через 0°C сместились значительно.

На графике, изображённом на рисунке 3.2.5.3, показан ход дат начала зимнего климатического сезона в городе Выборг за период с 1961 по 2020 гг.

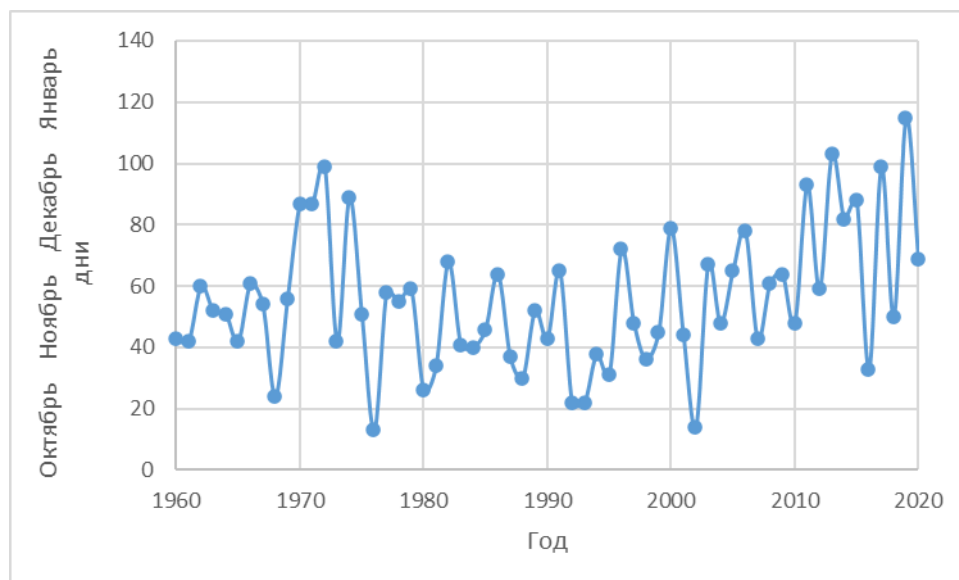


Рисунок 3.2.5.3 - Дата начала зимы в г. Выборг за 60 лет

По данным рисунка 3.2.5.3 можно сделать вывод о том, что наступление зимы стало отмечаться позднее, если в первом тридцатилетии это было 21 ноября, то во втором уже на 28 ноября.

На рисунке 3.2.5.4 показан ход кривой дат окончания зимнего климатического сезона в городе Выборг.

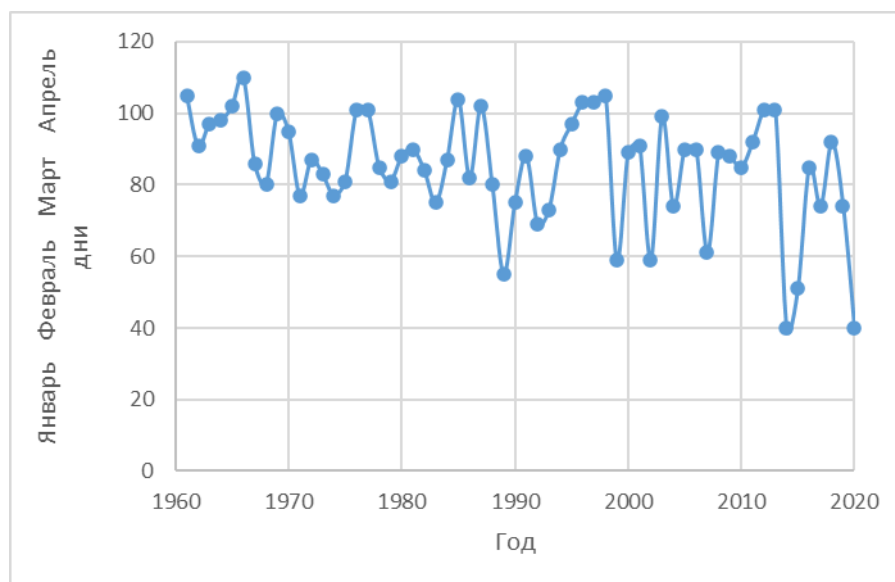


Рисунок 3.2.5.4 - Дата окончания зимы в г. Выборг за 60 лет

Проанализировав данные графика, можно заключить, что граница окончания зимнего климатического сезона в городе Выборг за 60 лет смесилась значительно. Отмечается более раннее наступление весеннего сезона.

Для более детального анализа изменения продолжительности зимнего климатического сезона, стоит обратиться к таблице 3.2.5.2

Таблица 3.2.5.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Выборг

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	130
1991-2020	115

Из полученных результатов, стоит сделать вывод о том, что в городе Выборг фиксируется достаточно существенное изменение продолжительности зимы за период с 1961 по 2020 гг. Зимний сезон сократился на 15 дней.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.5.4.

Таблица 3.2.5.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Средне е	СКО О	Дисперсия О2
1960-1989	-6.4	2.1	4.4
1990-2020	-5.3	2.1	4.5
1960-2020	-5.8	2.2	4.7

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 1,1°C. Такое изменение можно отнести к значимым.

3.2.6 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Псков

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в городе Псков за период с 1960 по 2020 гг.

По данным наблюдений в г. Псков построен график скользящего среднего изменения устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0°C (рисунок 3.2.6.1).

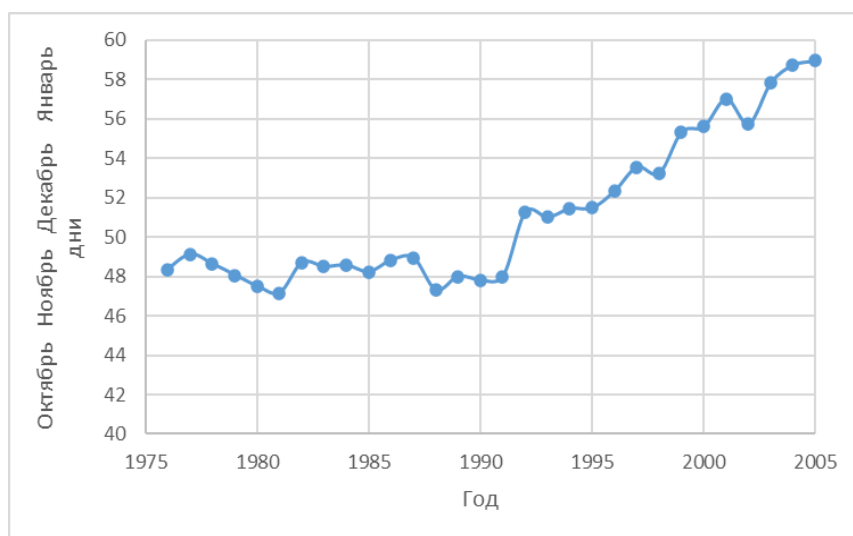


Рисунок 3.2.6.1 - Дата начала зимы в г. Псков
(скользящее среднее за 30 лет)

Проанализировав график, можно сделать вывод о том, что дата наступления зимнего климатического сезона за исследуемые шестьдесят лет смещена значительно. Если в первом тридцатилетии она приходится на 17 ноября, то во вторые тридцать лет дата наступления зимы датируется 30 ноября. Таким образом, сместившись практически на половину месяца.

Аналогично по данным наблюдений г. Псков построен график скользящего среднего изменения устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0°C (рисунок 3.2.6.2).

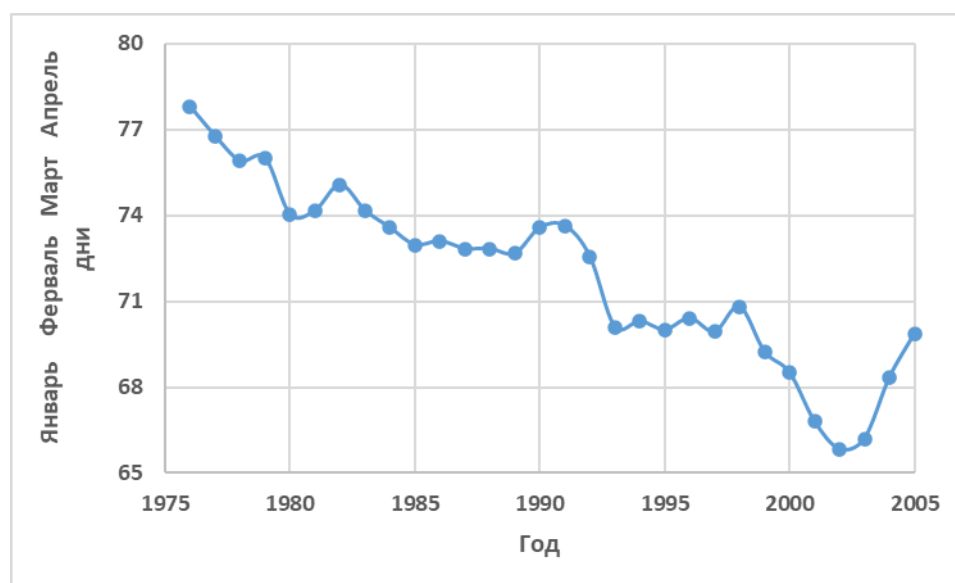


Рисунок 3.2.6.2 - Дата окончания зимы в г. Псков
(скользящее среднее за 30 лет)

В данном случае стоит отметить, что на протяжении всех анализируемых лет наблюдается тенденция к смещению даты окончания зимы на более ранний срок.

В таблице 3.2.6.1. представлены даты начала и окончания зимнего периода в г. Псков за весь шестидесятилетний период исследования.

Таблица 3.2.6.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Псков

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	17 ноября	18 марта
1991-2020	30 ноября	11 марта

Таким образом, дата начала зимнего сезона сместилась на тринадцать дней, а дата окончания на семь дней в сторону более холодных месяцев года.

Для анализа продолжительности зимы в городе Псков также построен график начала зимнего сезона за шестьдесят лет (рисунок 3.2.6.3).

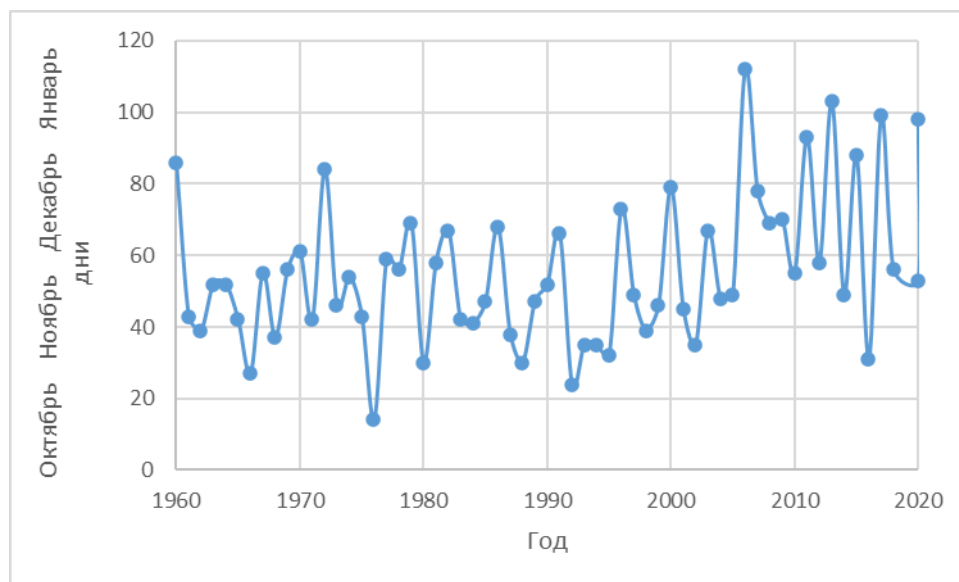


Рисунок 3.2.6.3 - Дата начала зимы в г. Псков за 60 лет

Для полноценного анализа продолжительности зимы в городе Псков также построен график окончания зимнего сезона за исследуемый период (рисунок 3.2.6.4).

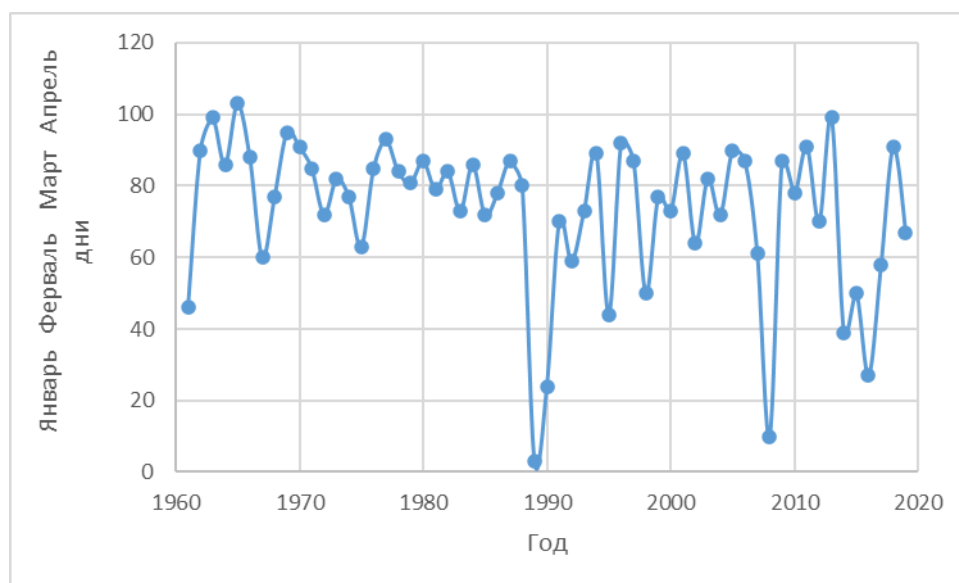


Рисунок 3.2.6.4 - Дата окончания зимы в г. Псков за 60 лет

По данным графиков, изображенных на рисунках 3.2.6.3 и 3.2.6.4, можно заключить, что начало зимы, как и ее окончание, имеет тенденцию на уменьшение, что также сказывается на продолжительности зимнего сезона. Если

в период с 1960 по 1990 гг. зима в среднем длится 122 дня, то в период с 1991 по 2020 гг. зима длится уже 102 дня.

Исходя из данных таблицы 3.2.6.2, можно сделать вывод о том, что продолжительность зимы за весь исследуемый период сократилась на 20 дней.

Таблица 3.2.6.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Псков

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	122
1991-2020	102

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статистические характеристики, приведенные в таблице 3.2.6.3.

Таблица 3.2.6.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	Дисперсия σ^2
1960-1989	-5.9	2.1	4.6
1990-2020	-5.0	2.7	7.5
1960-2020	-5.5	2.5	6.2

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 0,9°C. Такое изменение можно отнести к незначимым.

3.2.7 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Великие Луки

Для более детального описания изменения климатических характеристик зимнего сезона обратимся к полученным результатам, а именно к графику на рисунке 3.2.7.1, по пункту Великие Луки.

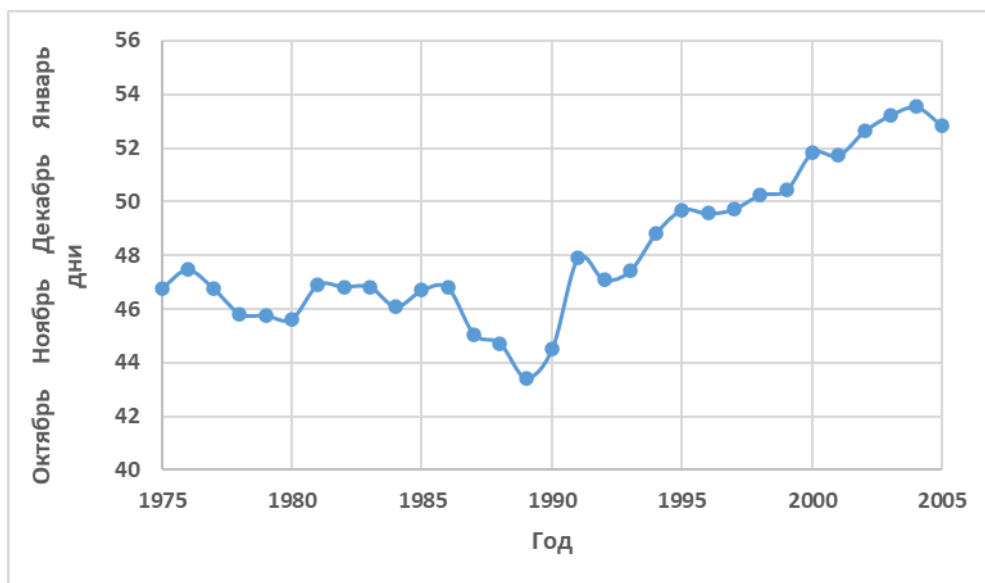


Рисунок 3.2.7.1 - Дата начала зимы в г. Великие Луки

(скользящее среднее за 30 лет)

На протяжении всего периода эти даты постепенно смещаются на более поздние сроки. Следует отметить, что в первом тридцатилетии дата наступления зимы меняется незначительно, в среднем она составляла 16 ноября, однако во втором тридцатилетии она составила уже 22 ноября, согласно данным из таблицы 3.2.7.1.

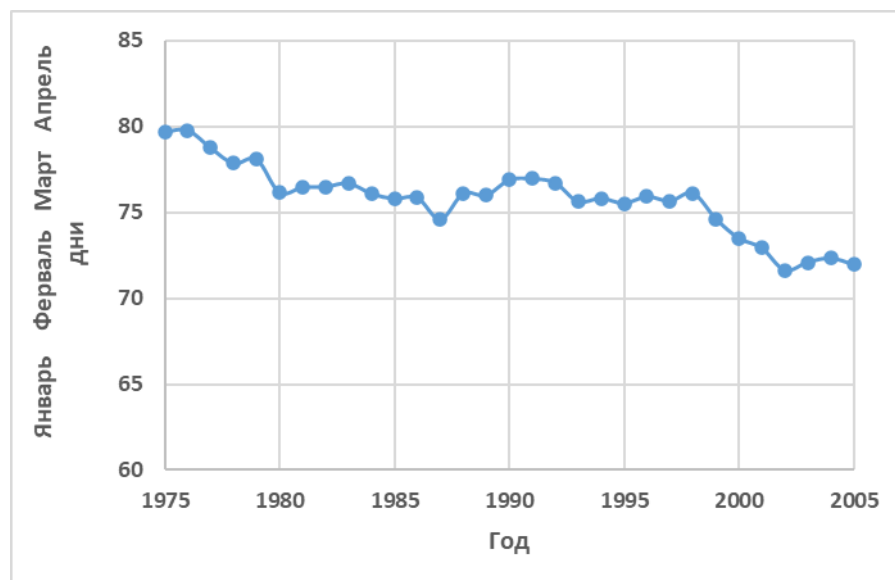


Рисунок 3.2.7.2 - Дата окончания зимы в г. Великие Луки
(скользящее среднее за 30 лет)

Дата окончания зимнего сезона также претерпевает изменения и смещается в сторону более холодных месяцев года. Граница окончания зимы в первые тридцать лет исследуемого периода датируются 21 марта, во вторые тридцать лет приходится на 13 марта, сократив тем самым продолжительность зимнего сезона (таблица 3.2.7.2).

Таблица 3.2.7.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Великие Луки

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	16 ноября	21 марта
1991-2020	22 ноября	13 марта

Даты устойчивого перехода через 0°C имеют тенденцию на перемещение к более холодным месяцам (рисунок 3.2.7.3).

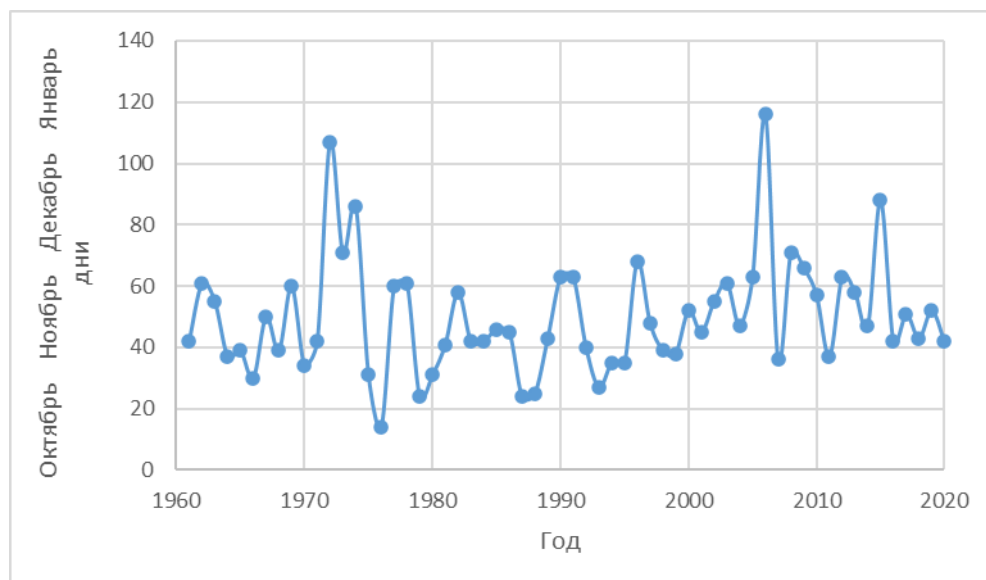


Рисунок 3.2.7.3 - Дата начала зимы в г. Великие Луки за 60 лет

За шестьдесят лет смещение начала зимнего климатического сезона происходило плавно. Однако, по итогу, изменение показало себя не столь значительно. С 16 ноября граница сместилась на 22 ноября.

Даты устойчивого перехода через 0°C имеют тенденцию на перемещение к более холодным месяцам (рисунок 3.2.7.4).

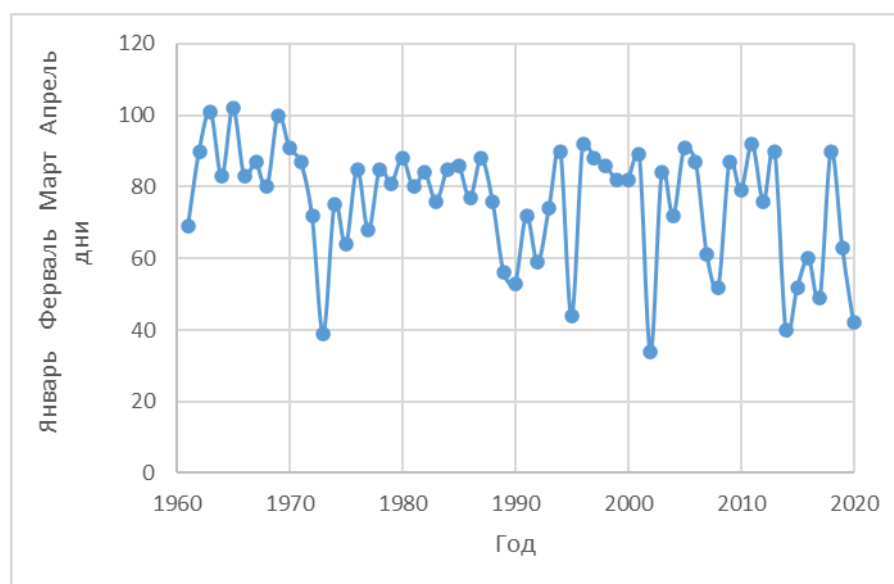


Рисунок 3.2.7.4 - Дата окончания зимы в г. Великие Луки за 60 лет

Граница окончания зимы в городе Великие Луки за исследуемый период изменилась значительно. Если рассматривать период с 1960 по 1990 гг., то в этом

промежутке окончание зимы в среднем приходится на 21 марта. Если рассматривать второй промежуток, а именно годы с 1991 по 2020 гг., то здесь можно отметить, что дата окончания зимы уже приходится на 13 марта.

Такое изменение границ зимнего климатического сезона прямо сказывается на изменении его продолжительности (таблица 3.2.7.2).

Таблица 3.2.7.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Великие Луки

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	126
1991-2020	112

Подводя итог, следует отметить, что смещение границ зимнего сезона является следствием изменения ее продолжительности. В данном случае зима сократилась на 14 дней.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.7.3.

Таблица 3.2.7.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	ДисперсияО2
1960-1989	-6.0	2.4	5.8
1990-2020	-4.6	2.2	4.9
1960-2020	-5.3	2.4	5.7

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 1,4°C. Такое изменение можно отнести к значимым.

3.2.8 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Брянск

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в Архангельске за период с 1960 по 2020 гг.

На рисунке 3.2.8.1 показано изменение скользящего среднего по датам устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0°C на понижение в г. Брянск.

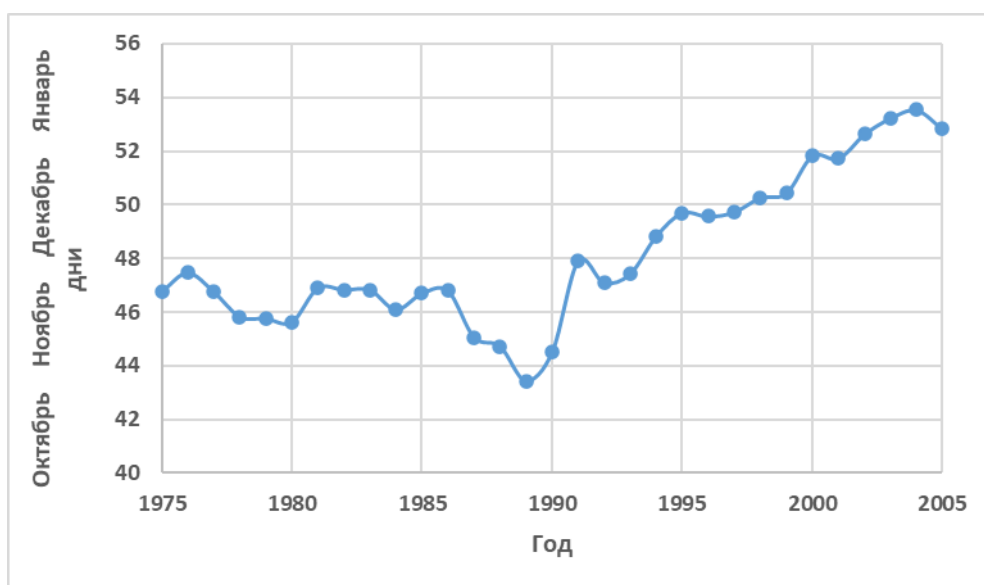


Рисунок 3.2.8.1 - Дата начала зимы в г. Брянск
(скользящее среднее за 30 лет)

По графику видно, что ход кривой изменчивости дат наступления зимы претерпевает незначительные изменения в первой половине исследуемого периода, а именно в годы с 1960 по 1990. Однако, во второй половине, с 1991 по 2020 годы, наблюдается весьма стремительный ход кривой.

Такое изменение говорит о том, что дата наступления зимы смещается в сторону более холодного полугодия. Действительно, в первом тридцатилетии начало зимы приходится на 16 ноября, когда во втором тридцатилетии оно смещено на 22 ноября (таблица 3.2.8.1). Разница отмечается в 6 дней.

Рассмотрим также и окончание зимнего периода в г. Брянск, показанное на рисунке 3.2.8.2.

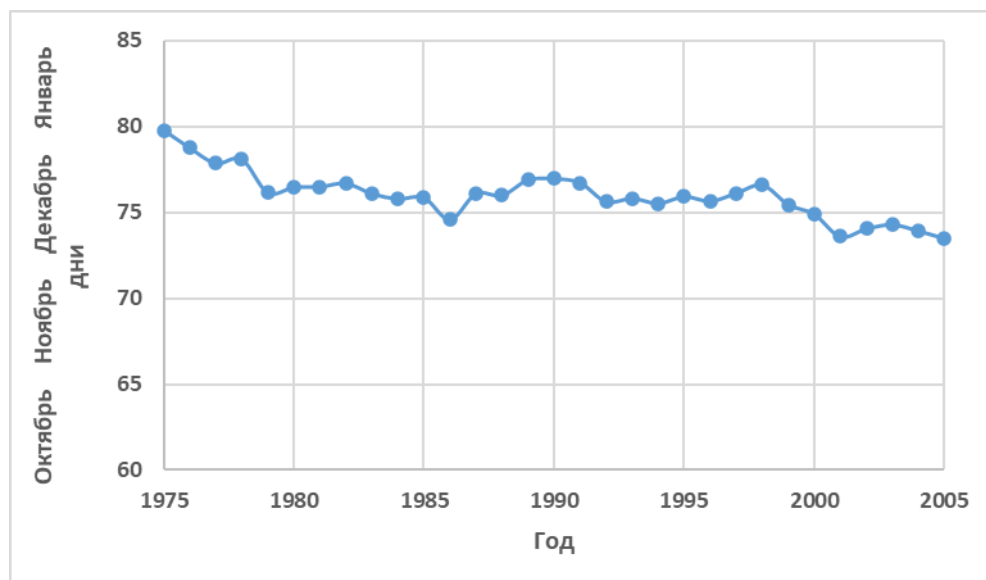


Рисунок 3.2.8.2 - Дата окончания зимы в г. Брянск
(скользящее среднее за 30 лет)

На основе полученных данных, можно заключить, что на протяжении всего исследуемого периода дата перехода постепенно сдвигалась на более ранние сроки. Вначале она датировалась 21 марта, в среднем, а к концу стала 15 марта. Изменения составили 6 дней, аналогично, как и в ситуации с наступлением зимы.

Переход через 0°C постепенно сдвигается ближе к зимним месяцам (таблица 3.2.8.1), что свидетельствует об изменении наступления и окончания климатической зимы в данном регионе.

Таблица 3.2.8.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Брянск

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	16 ноября	21 марта
1991-2020	22 ноября	15 марта

Также следует отметить, что изменение зимних климатических границ напрямую сказывается на продолжительности данного сезона.

В графике, представленном на рисунке 3.2.8.3, показано изменение границ начала зимы за весь исследуемый период.

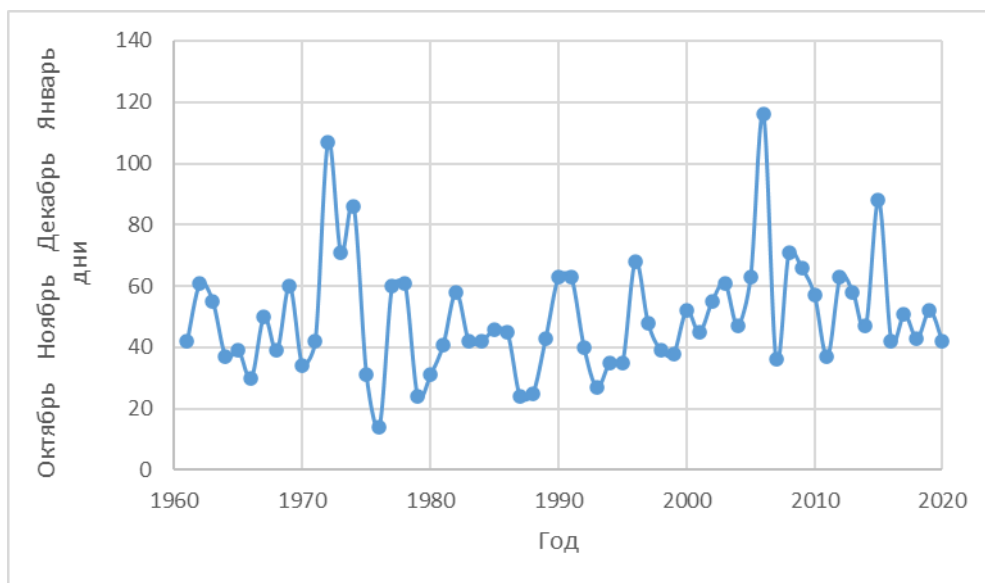


Рисунок 3.2.8.3 - Дата начала зимы в г. Брянск за 60 лет

На основании полученных данных следует отметить смещение границ в сторону более холодного полугодия.

Рассмотрим график изменения смещения границы окончания зимнего периода, представленном на рисунке 3.2.8.4.

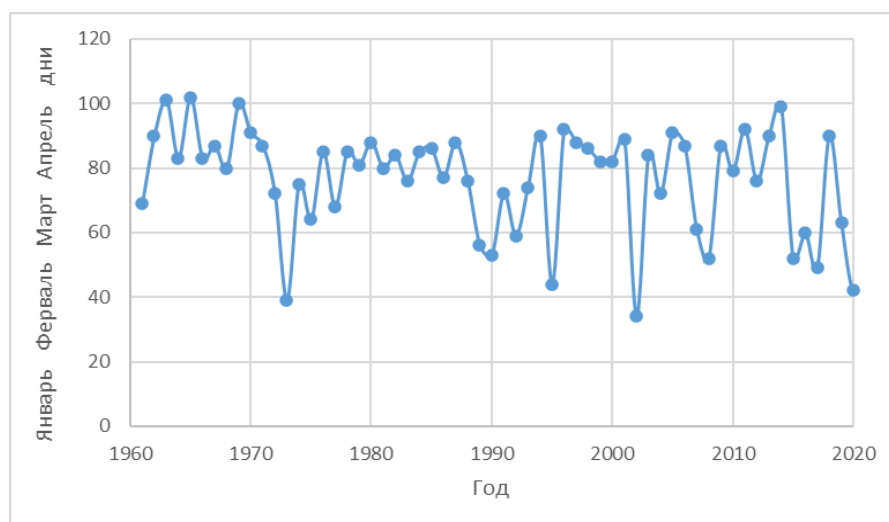


Рисунок 3.2.8.4 - Дата окончания зимы в г. Брянск за 60 лет

В следствии этого также изменяется продолжительность зимнего климатического периода. В данном случае, она уменьшается, как показано в таблице 3.2.8.2.

Таблица 3.2.8.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Брянск

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	126
1991-2020	114

Из-за смещения границы окончания зима, продолжительность с первого тридцатилетия на второе изменилась с 126 дней, до 114 дней.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.8.3.

Таблица 3.2.8.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	ДисперсияО2
1960-1989	-6.5	2.5	6.1
1990-2020	-5.1	1.6	2.7
1960-2020	-5.8	2.2	4.8

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 1,4°C. Такое изменение можно отнести к значимым.

3.2.9 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Василевичи

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в исследуемом пункте Василевичи за период с 1960 по 2020 гг.

Для начала проанализируем начало зимы, обратившись к данным графике, продемонстрированном на рисунке 3.2.9.1.

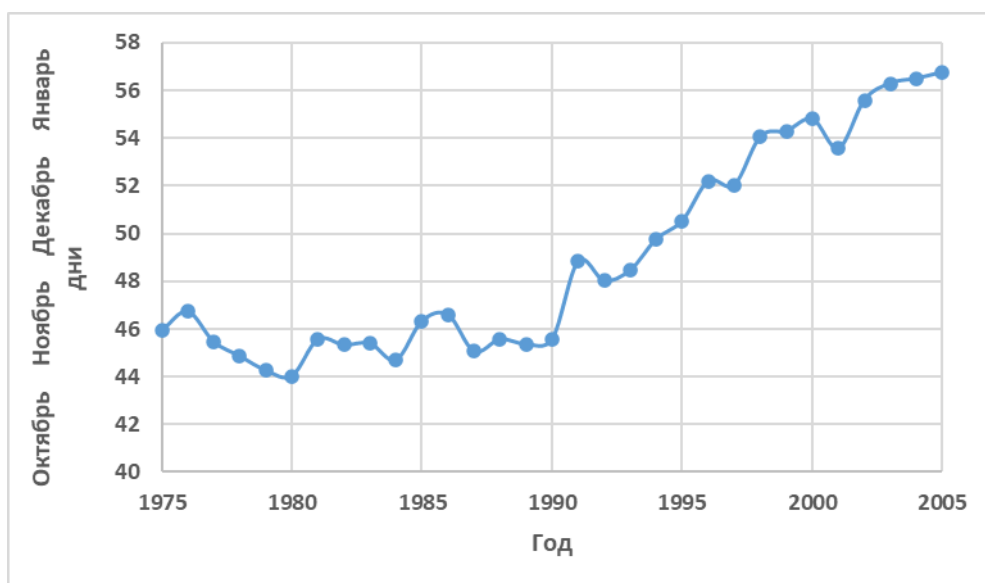


Рисунок 3.2.9.1 - Дата начала зимы в г. Василевичи
(скользящее среднее за 30 лет)

Как можно заметить, смещение границы начала зимнего климатического сезона значительно, 1990 года зима сместилась на 11 дней. В среднем, в первом временном периоде дата начала зимы приходится на 19 ноября, а во втором датируется уже 26 ноября.

Для более подробного анализа смещения границы окончания зимы обратимся к графику, показанному на рисунке 3.2.9.2.

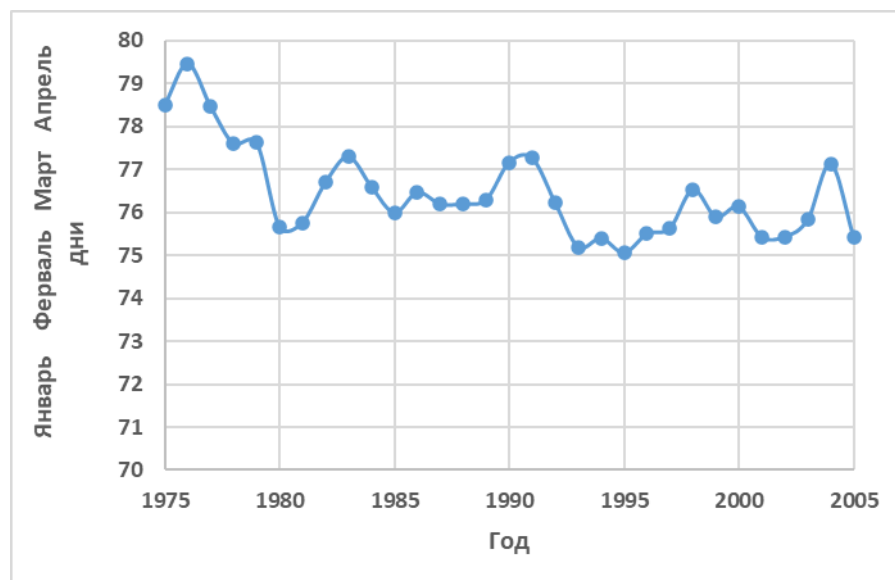


Рисунок 3.2.9.2 - Дата окончания зимы в г. Василевичи
(скользящее среднее за 30 лет)

Дата окончания зимнего периода имеет плавное изменение, незначительно смещаясь в исследуемом периоде. Однако, в конце рассматриваемого периода скользящее среднее все же уменьшается в численном значении, т.е. дата перехода через 0°C смещается с 21 марта на 17 марта (таблица 3.2.9.1).

Таблица 3.2.9.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Василевичи

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	19 ноября	21 марта
1991-2020	26 ноября	17 марта

На графике, представленном на рисунке 3.2.9.3, показан ход кривой дат наступления зимнего климатического сезона в пункте Василевичи.

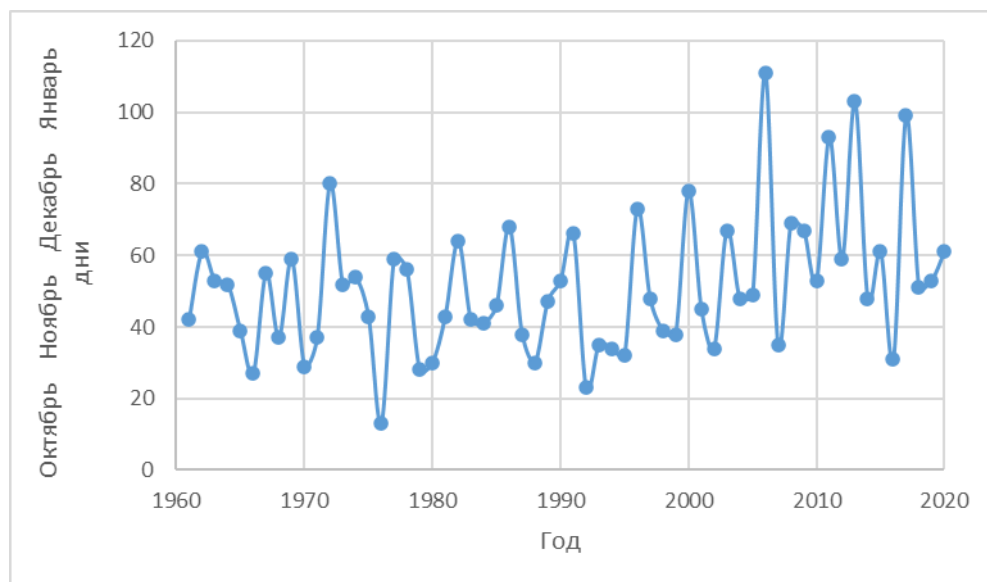


Рисунок 3.2.9.3 - Дата начала зимы в г. Василевичи за 60 лет

На графике, представленном на рисунке 3.2.9.4, показан ход кривой дат окончания зимнего климатического сезона в пункте Василевичи.

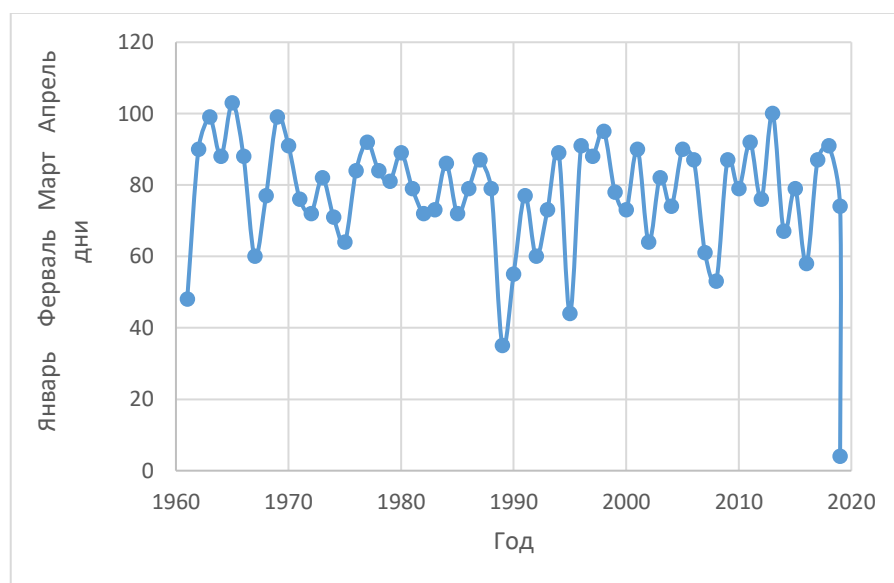


Рисунок 3.2.9.4 - Дата окончания зимы в г. Василевичи за 60 лет

На данном графике вызывает особое внимание вызывает значение даты перехода через 0°C на повышение в 2019 году (рисунок 3.2.9.4) в не осредненном ряду. Поскольку ряд вызвал некоторые подозрения, то данный переход был проверен на основе ряда среднесуточных значений температуры воздуха за зиму

2019 года, а также с точки зрения синоптической ситуации, сопутствующей такому раннему окончанию зимнего климатического сезона.

На графике рисунка 3.2.9.5 представлен ход кривой среднесуточных температур воздуха зимнего климатического сезона 2019-2020 года.

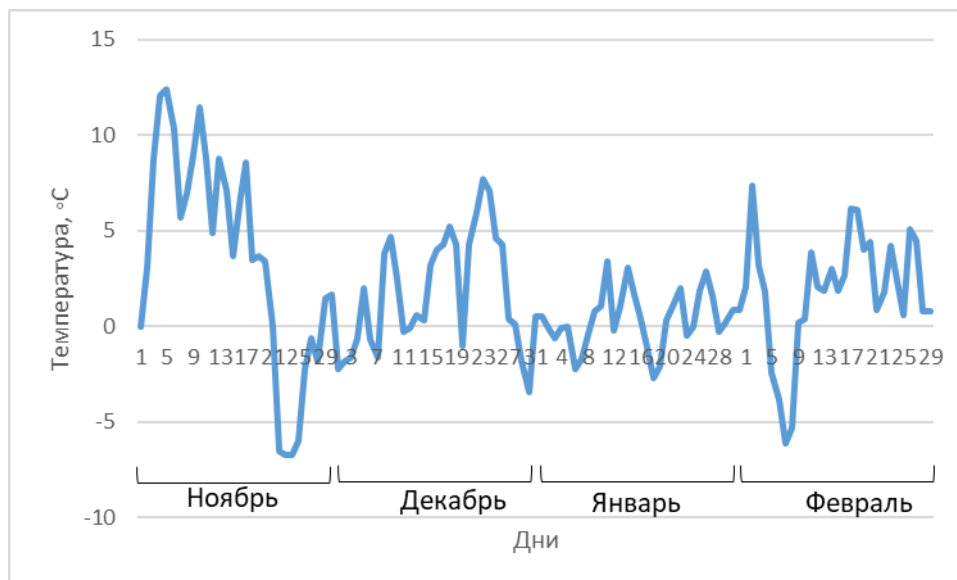


Рисунок 3.2.9.5 – Ход среднесуточных температур в зимний период

В результате анализа графика, изображенного на рисунке 3.2.9.5, можно сделать вывод о том, что зимой 2019-2020 годов не наблюдалось длительного устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел. Переход на понижение отмечается 22 ноября 2019 года, а переход через 0 на повышение датируется 4 декабря 2019 года. Продолжительность составила всего 13 дней. Если анализировать по среднему значению, то, действительно, этот переход показывает, что за этот период наблюдались слабо отрицательные температуры воздуха.

Также зафиксированы дополнительные два момента, 25 ноября и 7 февраля, когда температура воздуха опускалась ниже -5 градусов. Длительный последующий положительный период нивелировал эти понижения температуры воздуха, поэтому эти понижения в ноябре и в феврале не оказали существенного влияния на общий положительный фон температуры воздуха.

Для более детального анализа влияния синоптической ситуации на погодное состояние выбранного региона обратимся к рисунку 3.2.9.6.

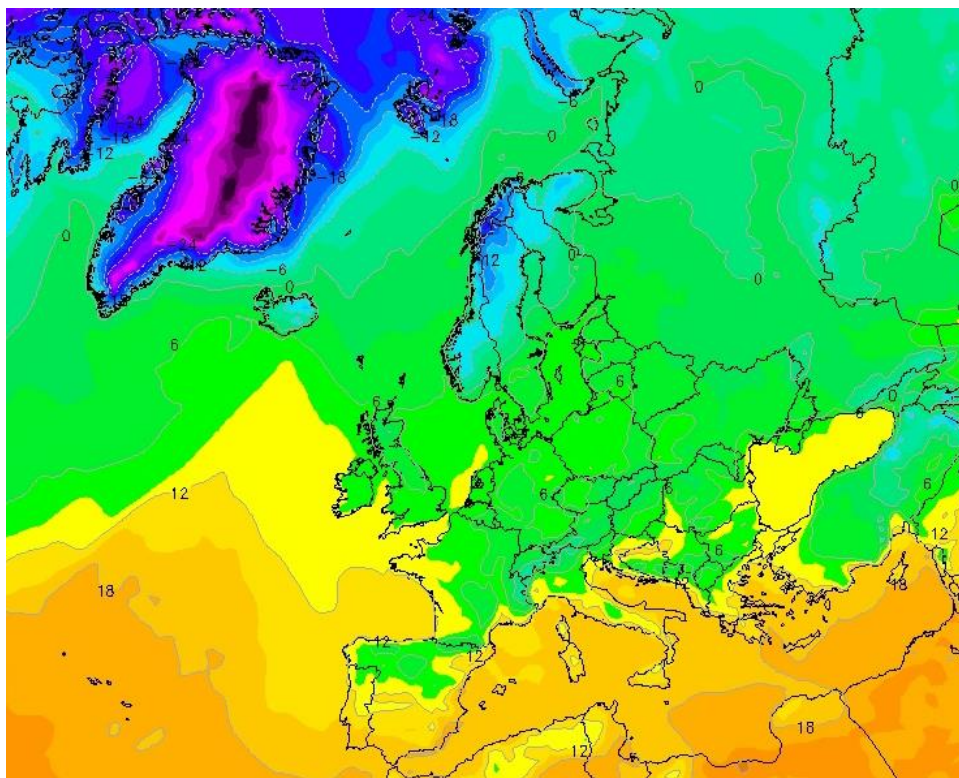


Рисунок 3.2.9.6 – Поле температуры на высоте 2м от 9 декабря 12ч UTC

Регион исследования, а именно республика Беларусь, в том числе и пункт исследования Василевичи, располагаются в южной зоне циклона (рисунок 3.2.9.7) в высоко градиентном поле давления. В поле температуры в южной зоне циклона наблюдаются очаги тепла, которые попадают на южную часть территории республики Беларусь. На карте распределения поля температуры на высоте двух метров мы наблюдаем, что над республикой Беларусь господствует очаг тепла с температурой воздуха выше 6 градусов. Данная синоптическая ситуация продолжается длительное время, однако она не является оттепелью. За весь период понижение температуры воздуха не превышают их повышение.

Для более подробного и детального изучения влияния данной синоптической ситуации, оказывающей воздействие на повышение температуры воздуха, обратимся к совмещённой карте погоды, продемонстрированной на рисунке 3.2.9.7.

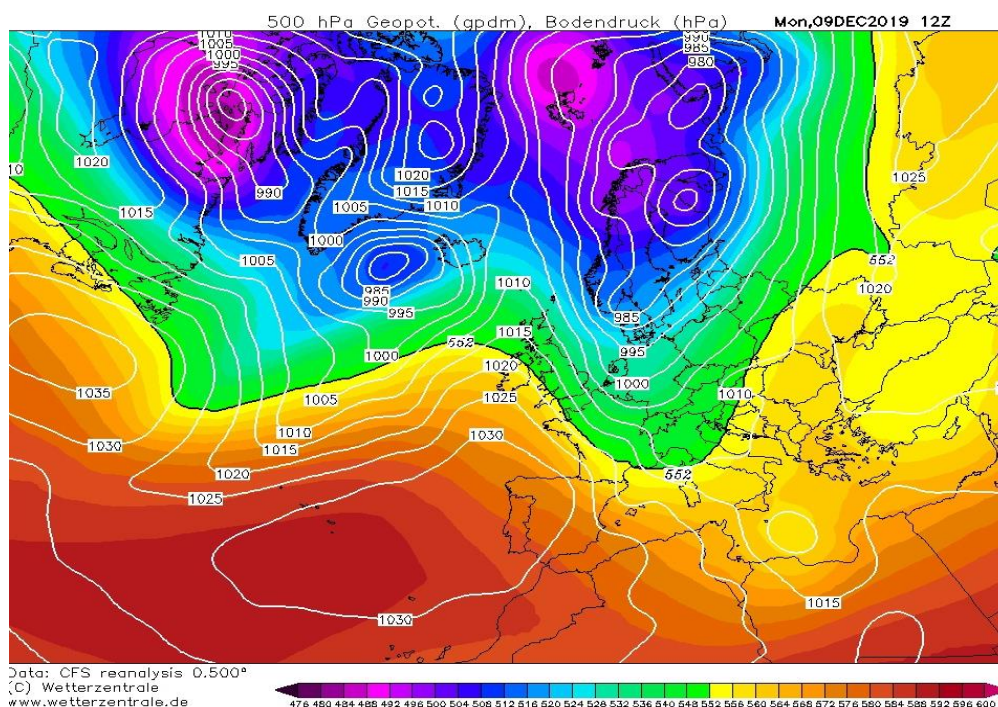


Рисунок 3.2.9.7 – Совмещенная карта погоды (приземная+АТ500)
от 9 декабря 12ч UTC

Согласно анализу синоптической ситуации от 9 декабря 2019 года можно сделать вывод о том, что над территорией Арктики, Скандинавии, южной части Европы и юга России располагается двухцентровая депрессия: с одним центром, располагающимся над островным архипелагом Новой Землей, другим центром, господствующим над Белым морем.

Докажем длительность данной ситуации, основываясь на синоптических процессах.

На совмещенной карте погоды АТ500+приземная, изображенной на рисунке 3.2.9.8, можно отметить, что 12 декабря территория республики Беларусь все также располагается в благоприятном для формирования тепла поле, в зоне взаимодействия между циклоническим образованием над Атлантикой и антициклоническим образование с центром над Уралом.

Как раз в районе города Санкт-Петербурга и Прибалтики проходит высокоградиентное поле давления. Изобары имеют меридиональную ориентацию, теплые воздушные массы поступают с юга России, что дает почву для формирования положительных температур воздуха.

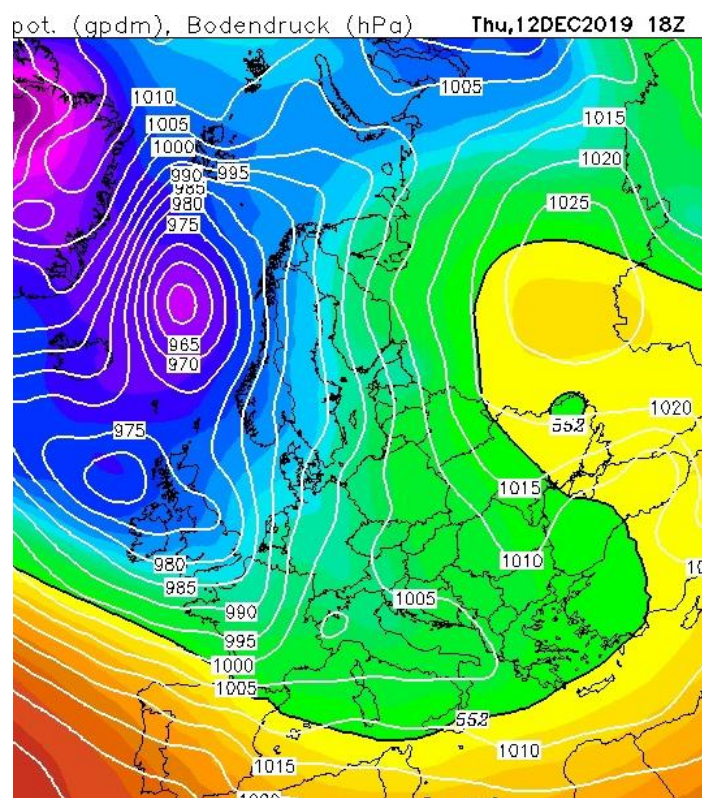


Рисунок 3.2.9.8 – Совмещенная карта АТ500+приземная от 12 декабря
18ч UTC

Рассмотрим синоптические процессы, влияющие на повышение температуры воздуха в значительной части региона исследования.

Анализируя сложившуюся синоптическую ситуацию на карте погоды, изображённой на рисунке 3.2.9.9, можно сказать, что по-прежнему отмечается достаточно длительное влияние теплых воздушных масс, что непосредственно сказывается на длительном сохранении положительных температур воздуха в исследуемом регионе.

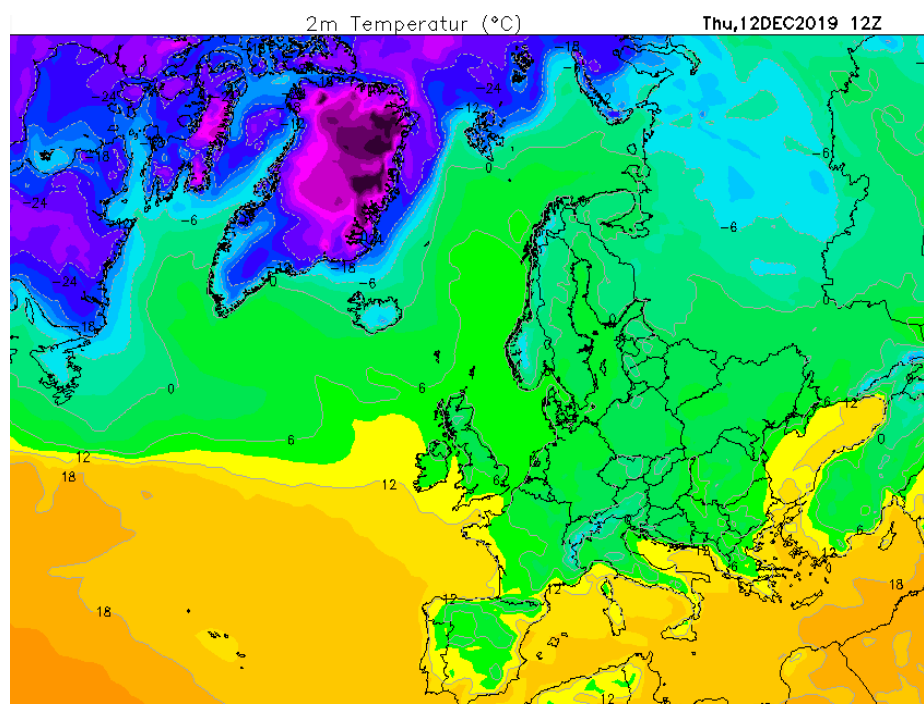


Рисунок 3.2.9.9 – Поле температуры на высоте 2м
от 12 декабря 12ч по UTC

При анализе карты распределения поля температуры воздуха на высоте двух метров от земли было установлено, что очаг тепла не только располагался над южной и юго-западной частью Беларуси, но и выходил на границы данного государства, проникая севернее, затрагивая Санкт-Петербурге, в том числе. В результате подобной синоптической ситуации в этом году зимний сезон был коротким и в других пунктах, но в среднем составлял 40 дней, тогда как в Василевичах – 13 дней.

Значительное смещение дат перехода температуры воздуха через 0°C на повышение и на понижение напрямую сказывается на изменении продолжительности зимнего климатического периода (таблица 3.2.9.2).

Таблица 3.2.9.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона
в г. Василевичи

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	123
1991-2020	112

Традиционно, первое тридцатилетие исследуемого периода отмечается более высокой продолжительностью зимнего сезона, однако второе сокращается. В случае с городом Василевичи, сокращение продолжительности зимы составило 11 дней.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статистические характеристики, приведенные в таблице 3.2.9.3.

Таблица 3.2.9.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	ДисперсияО2
1960-1989	-4.3	2.2	4.8
1990-2020	-3.6	2.1	4.3
1960-2020	-4.0	2.1	4.6

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 0,7°C. Такое изменение можно отнести к незначимым.

3.2.10 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Брест

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в городе Брест за период с 1960 по 2020 гг.

На графике, представленном на рисунке 3.2.10.1, изображен ход кривой скользящего среднего за 30 лет для дат перехода через 0 °C на понижение.

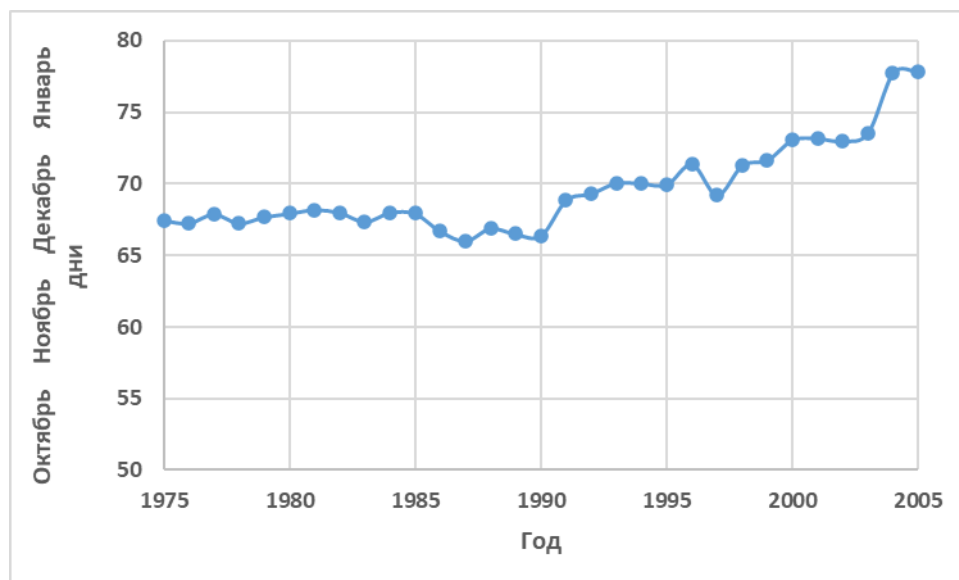


Рисунок 3.2.10.1 - Дата начала зимы в г. Брест
(скользящее среднее за 30 лет)

По графику рисунка 3.2.10.1 можно сделать вывод о том, что тенденция сдвига границы начала зимы на более поздние сроки имеет право на свое существование. Отмечается, что наступление зимы в первом тридцатилетии приходится на первую половину декабря, в отличие от полученных результатов по второму тридцатилетию. Начало зимы в период с 1991 по 2020 гг. приходится, в среднем, на 17 декабря (таблица 3.2.10.1).

Для более детального анализа изменения границы окончания зимнего климатического сезона, обратимся к графику, представленному на рисунке 3.2.10.2.

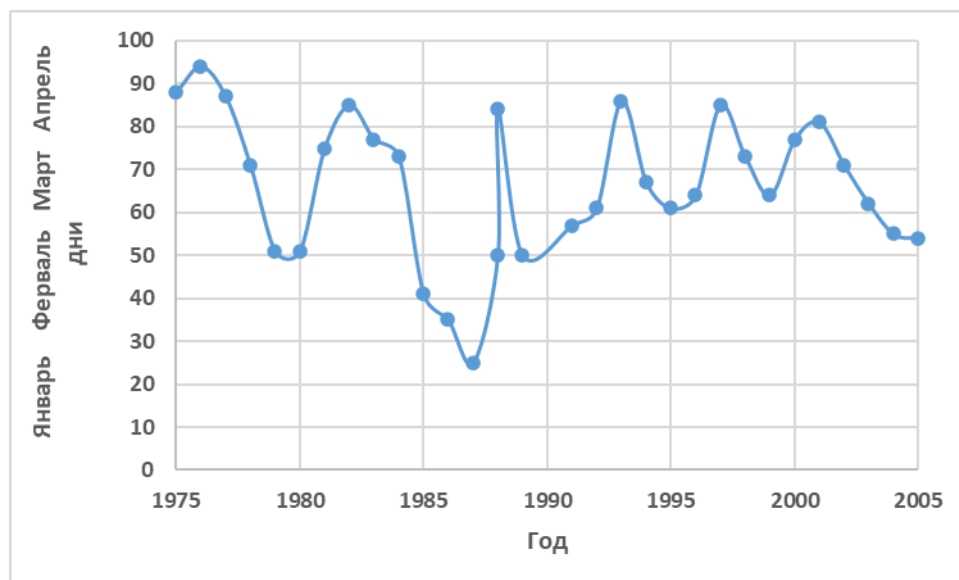


Рисунок 3.2.10.2 - Дата окончания зимы в г. Брест
(скользящее среднее за 30 лет)

Окончание зимнего периода также отмечается смещением в сторону более поздних сроков.

В таблице 3.2.10.1 можно увидеть, что дата перехода через 0°C во втором тридцатилетии сместилась значительно – на 15 дней.

Таблица 3.2.10.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Брест

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	6 декабря	8 марта
1991-2020	17 декабря	21 февраля

На рисунке 3.2.10.3 представлен ход кривой не осреднённых значений дат начала зимнего климатического сезона за период с 1961 по 2020 гг.

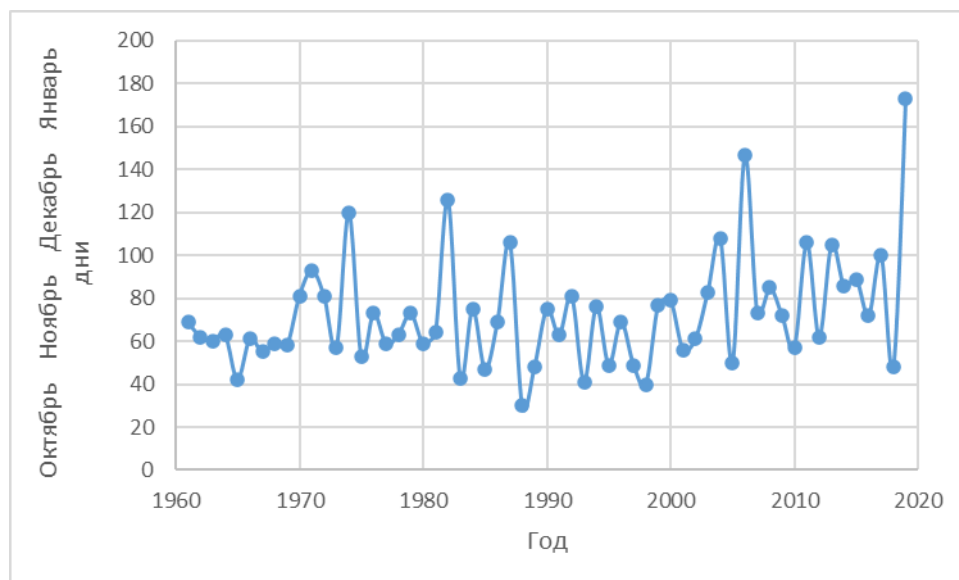


Рисунок 3.2.10.3 - Дата начала зимы в г. Брест за 60 лет

Исходя из полученных результатов, следует сделать вывод о том, что граница наступления зимы в городе Брест имеет значительное изменение, то есть смещается в сторону более холодных месяцев.

На рисунке 3.2.10.4 представлен ход кривой не осреднённых значений дат окончания зимнего климатического сезона за период с 1961 по 2020 гг.

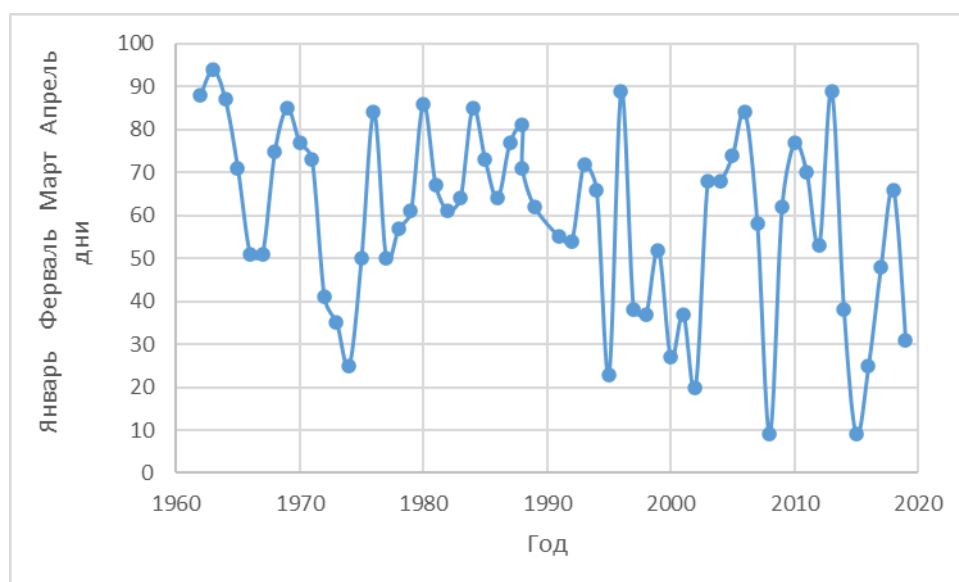


Рисунок 3.2.10.4 - Дата окончания зимы в г. Брест за 60 лет

По данным графика отмечается, что граница окончания зимнего климатического сезона смещается на более ранние сроки.

Смещение границ зимнего климатического сезона влечет за собой изменение продолжительности этого сезона. В исследуемом временном периоде с 1960 по 2020 гг. отчетливо заметно сокращение зимы (таблица 3.2.10.2).

Таблица 3.2.10.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Брест

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	93
1991-2020	67

Если сравнить два тридцатилетия, то можно сказать, что зимний период сократился весьма значительно, с 93 дней до 67 дней. В общей сложности зима сократилась на 26 дней.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.10.3.

Таблица 3.2.10.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Средне е	СКОО	ДисперсияО2
1960-1989	-4.1	2.0	3.8
1990-2020	-3.5	2.0	4.1
1960-2020	-3.8	2.0	4.0

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 0,6°C. Такое изменение можно отнести к незначимым.

3.2.11 Анализ смещения границ зимнего климатического сезона в городе Минск

Рассмотрим изменение зимних климатических границ в городе Минск за период с 1960 по 2020 гг.

Для более детального описания дат начала зимы обратимся к графику, изображенном на рисунке 3.2.11.1.

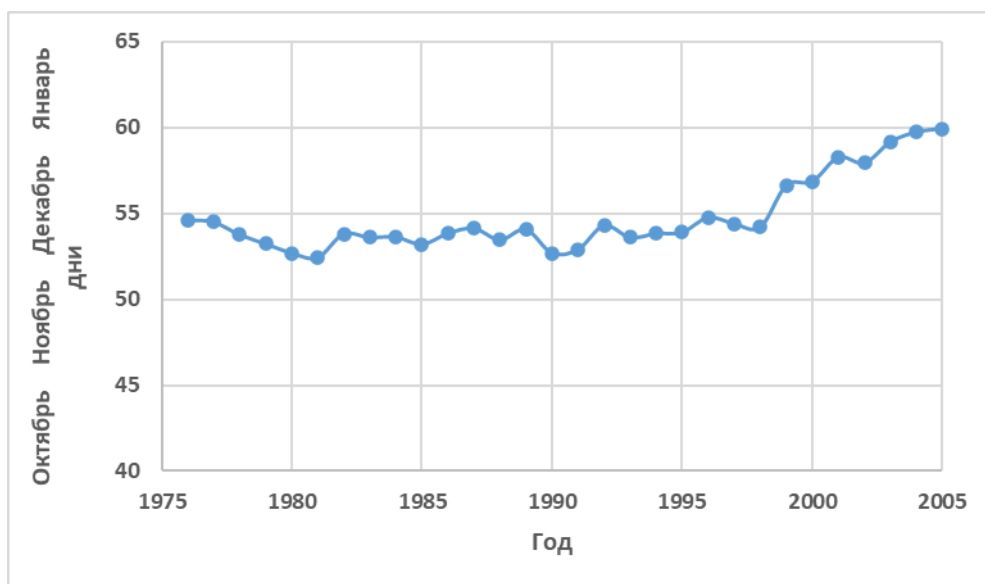


Рисунок 3.2.11.1 - Дата начала зимы в г. Минск
(скользящее среднее за 30 лет)

На протяжении всего исследуемого временного периода кривая хода изменения границы наступления зимы имеет тренд на повышение. Это говорит нам о том, тенденция начала зимнего климатического сезона имеет смещение в сторону более холодного полугодия. Это показано в таблице 3.2.11.1.

В первом исследуемом тридцатилетии дата начала зимнего климатического сезона приходится на вторую половину ноября, а именно на 24 число. В следующем же тридцатилетии дата смещается – и уже наступление зимы приходится на 29 ноября.

По графику, представленному на рисунке 3.2.11.2, можно отметить, что окончание зимы отмечается раньше.

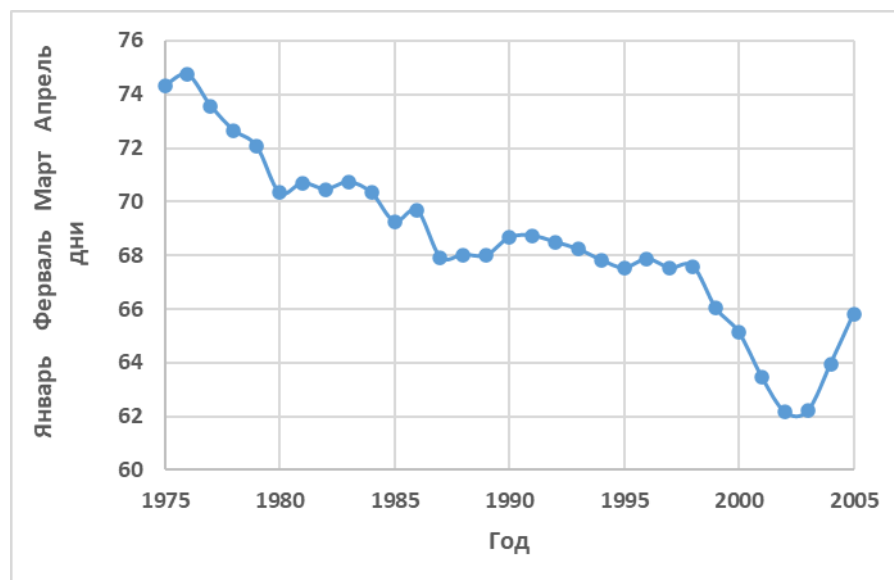


Рисунок 3.2.11.2 - Дата окончания зимы в г. Минск
(скользящее среднее за 30 лет)

С начала исследуемого периода дата перехода через 0°C на понижение также подвергается изменению, то есть тенденция окончания зимнего климатического сезона в сторону более зимних месяцев. Дата окончания зимнего климатического сезона в первом тридцатилетии приходится на 15 марта, а во втором тридцатилетии уже на 7 марта. По итогу, граница начала зимы за 60 лет переместилась на 5 дней, а граница окончания на 8 дней назад.

Таблица 3.2.11.1 – Даты начала и окончания зимнего климатического сезона в г. Минск

Период зимы	Начало зимы	Окончание зимы
1961-1990	24 ноября	15 марта
1991-2020	29 ноября	7 марта

Обращаясь к графику, изображенному на рисунке 3.2.11.3, можно подтвердить вышесказанное заключение.

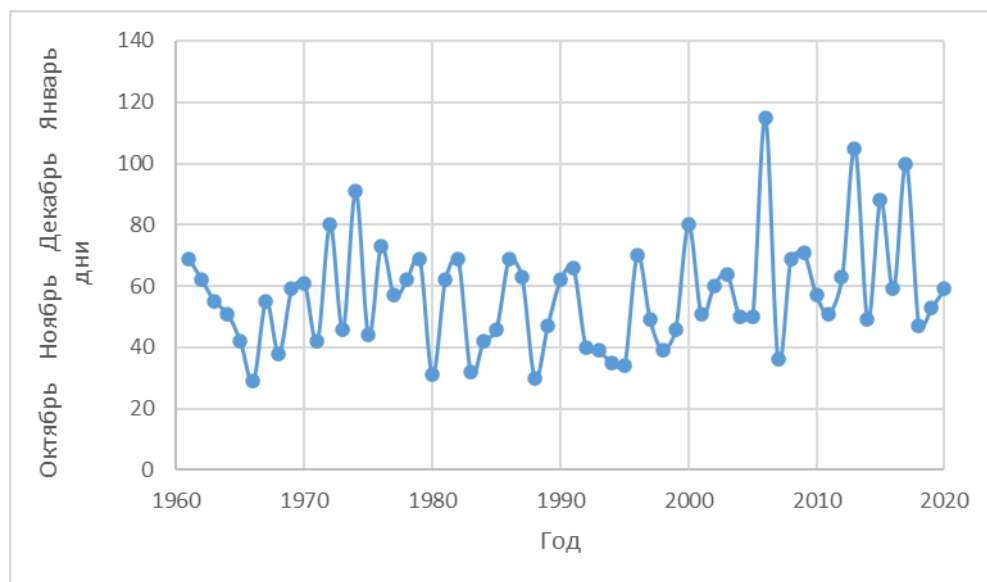


Рисунок 3.2.11.3 - Дата начала зимы в г. Минск за 60 лет

Действительно, дата начала зимнего климатического сезона имеет тенденцию смещения в сторону более холодных месяцев, ровно, как и дата окончания зимы (рисунок 3.2.11.4).

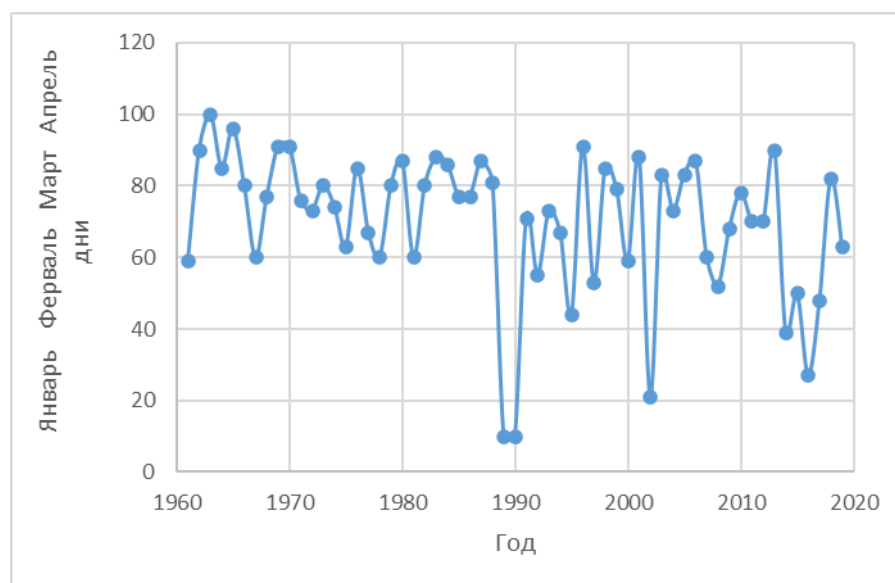


Рисунок 3.2.11.4 - Дата окончания зимы в г. Минск за 60 лет

Если говорить об изменении продолжительности зимнего климатического сезона, то стоит отметить, что за последние шестьдесят лет она значительно сократилась (таблица 3.2.11.2).

Таблица 3.2.11.2 – Продолжительность зимнего климатического сезона в г. Минск

Период зимы	Продолжительность, дни
1961-1990	112
1991-2020	99

В первое тридцатилетие продолжительность составила 112 дня, напротив, как во вторые тридцать лет уже 99. Разница составляет 13 дней. Из этого следует сделать вывод о том, что продолжительность зимы сокращается.

В ходе выполнения работы по построению графиков и проведению общего анализа полученных результатов, также были выявлены статические характеристики, приведенные в таблице 3.2.11.3.

Таблица 3.2.11.3 – Статистическая значимость изменений средней температуры зимнего периода

Ряд	Среднее	СКОО	ДисперсияО2
1960-1989	-5.6	1.9	3.7
1990-2020	-4.0	3.7	4.8
1960-2020	-4.8	3.0	4.3

Согласно произведённому расчету характеристик статистики, температура воздуха изменилась на 1,4°C. Такое изменение можно отнести к значимым.

3.3 Сравнительный анализ границ зимнего климатического сезона на выбранной территории исследования

В процессе выполнения магистерской диссертации, в результате сравнительного анализа графиков хода начала и окончания зимнего климатического сезона во всех рассмотренных пунктах было отмечено, что начало зимы в последние годы в некоторых городах имеют похожих ход.

Начиная с 1990 года, зимний сезон, а именно дата устойчивого перехода температуры через 0°C , на понижение, начинает активно смещаться на более поздние сроки.

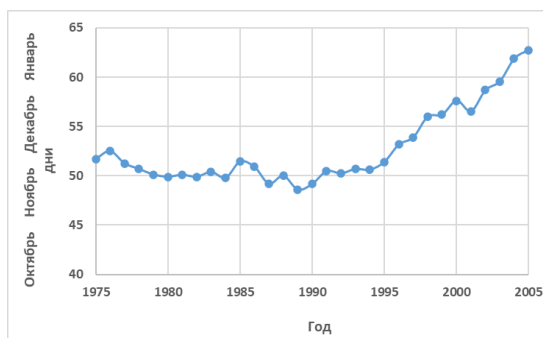
Стоит отметить, что в не осреднённом виде колебания достаточно значительны, то есть зима в некоторых исследуемых пунктах может начинаться в конце октября и, в то же время, в начале января.

Однако, если брать осредненные значения, то стоит сказать, что, в общем, зима начинает наступать позднее.

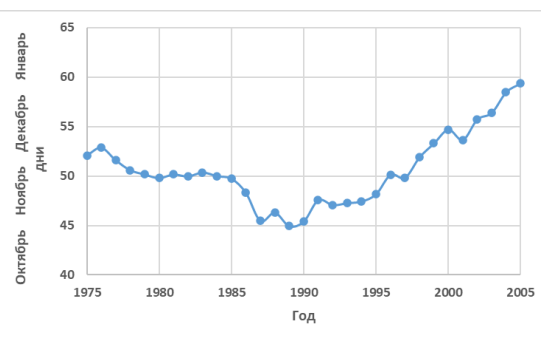
В ходе выполнения работы магистерской диссертацией были проанализированы даты начала зимнего климатического сезона во всех исследуемых городах. Необходимо отметить, что удалось выявить города с схожим ходом кривой дат наступления зимнего периода, эти города представлены на рисунке 3.3.1.1.

Из всех 11 исследуемых пунктов можно выделить Санкт-Петербург, Выборг, Псков, Брянск, Старую Руссу и Смоленск, как города с схожим изменением кривой дат наступления зимы.

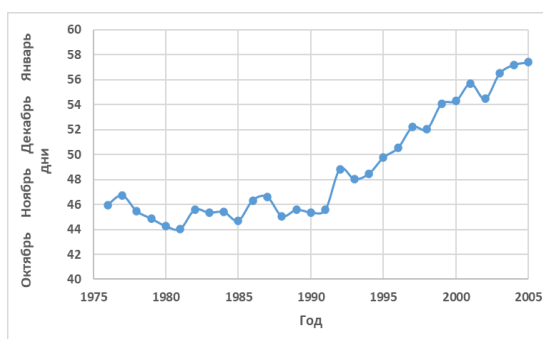
Считается, что глобальное потепление началось с 80-х годов прошлого столетия, но в этих городах изменение дат наступления зимнего климатического сезона приходится на начало 90-х годов. Следует отметить, что после 90-х годов даты устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел, на понижение, уверенно сдвигаются на более поздние сроки, в сторону более холодных месяцев.



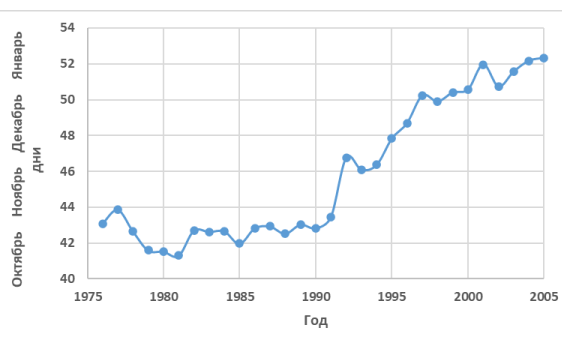
а) Дата начала зимы в г. Санкт-Петербург (скользящее среднее за 30 лет)



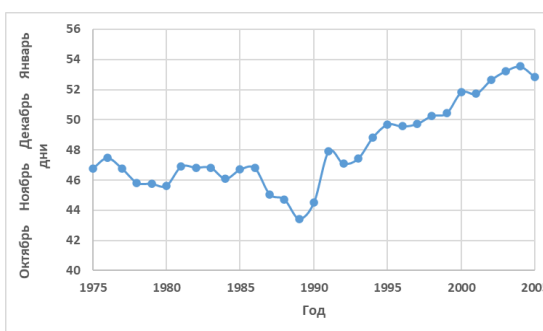
б) Дата начала зимы в г. Выборг (скользящее среднее за 30 лет)



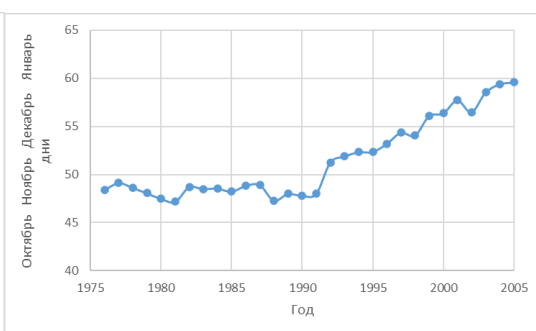
в) Дата начала зимы в г. Старая Русса (скользящее среднее за 30 лет)



г) Дата начала зимы в г. Смоленск (скользящее среднее за 30 лет)



д) Дата начала зимы в г. Брянск (скользящее среднее за 30 лет)



е) Дата начала зимы в г. Псков (скользящее среднее за 30 лет)

Рисунок 3.3.1.1 – Графики дат начала зимы со схожим ходом за период с 1990 по 2020 гг.

В результате анализа графиков, изображенных на рисунке 3.3.1, можно сделать вывод о том, что в первом тридцатилетии ход кривой осредненных дат наступления зимы менялся незначительно. Более заметные смещения в дате начала зимнего климатического сезона отмечаются с 1990 года и наблюдаются до конца периода исследования. В установленный временной период наблюдается смещение на более поздние сроки, то есть в сторону более холодных месяцев. В ходе анализа было обнаружено, что ход кривых некоторых выбранных метеостанций, действительно, схож. На имеющемся основании стоит заключить, что границы зимнего климатического сезона были сдвинуты синхронно на каждой из станций.

Наглядное изменение и смещение дат наступления и окончания зимнего климатического сезона всех городов исследуемой территории представлено в сводных таблицах 3.3.1 и 3.3.2.

Таблица 3.3.1.1 – Смещение дат начала зимнего климатического сезона в исследуемых пунктах

Город	Дата начала зимы		Смещение
	с 1960 по 1990	с 1991 по 2020	
Санкт-Петербург	21 ноября	2 декабря	12 дней
Псков	17 ноября	30 ноября	13 дней
Выборг	21 ноября	28 ноября	7 дней
Старая Русса	19 ноября	27 ноября	8 дней
Тихвин	9 ноября	17 ноября	8 дней
Василевичи	19 ноября	26 ноября	7 дней
Брянск	16 ноября	22 ноября	6 дней
Минск	24 ноября	29 ноября	5 дней
Брест	6 декабря	17 декабря	11 дней
Смоленск	12 ноября	21 ноября	9 дней
Великие Луки	16 ноября	22 ноября	6 дней

Таблица 3.3.1.2 – Смещение дат окончания зимнего климатического сезона в исследуемых пунктах

Город	Дата окончания зимы		Смещение
	с 1960 по 1990	с 1991 по 2020	
Санкт-Петербург	18 марта	13 марта	5 дней
Псков	18 марта	11 марта	6 дней
Выборг	30 марта	22 марта	8 дней
Старая Русса	20 марта	15 марта	5 дней
Тихвин	4 апреля	21 марта	13 дней
Василевичи	21 марта	17 марта	4 дня
Брянск	21 марта	15 марта	6 дней
Минск	15 марта	7 марта	8 дней
Брест	8 марта	21 февраля	15 дней
Смоленск	23 марта	15 марта	8 дней
Великие Луки	21 марта	13 марта	8 дней

По данным исследований за 20 век [11], по Санкт-Петербургу и другим городам отмечается, что наиболее значимые изменения приходились на даты окончания зимы, нежели чем на даты наступления зимнего климатического сезона. Но после 2000 года отмечается, что наступление осеннего климатического сезона так же изменило свой характер. В том же Санкт-Петербурге фиксируется, что осенняя граница смещается в сторону более поздних сроков на 12 дней, а весенняя граница смещается в сторону более ранних сроков, но уже на 5 дней. Также стоит отметить, что в некоторых городах зимние климатические границы изменились значительно. Например, в Смоленске дата наступления зимы сместилась на 9 дней, в Бресте на 11 дней, а в Пскове на рекордные 13 дней.

Как было сказано выше, особенно значимые изменения в смещении зимних климатических границ приходится на даты окончания зимнего климатического сезона. Анализируя полученные результаты, данное заключение

подтверждается, потому что наибольшее смещение даты окончания зимы наблюдается в городе Брест, оно составляет 15 дней. В Тихвине смещение границы окончания зимнего климатического сезона в сторону более холодных месяцев составило 13 дней, а в Выборге смещение окончания зимы на более ранние сроки составило 8 дней.

В дополнении к полученным результатам также был проведен детальный анализ карт пространственного распределения средних температур воздуха по исследуемому региону. Построение карт проводилось в программе MapInfo.

На карте, изображенной на рисунке 3.3.1.2, представлено пространственное распределение изменения значений средней температуры воздуха в зимний климатический период за первое исследуемое тридцатилетие, а именно за период с 1961 по 1990 гг.

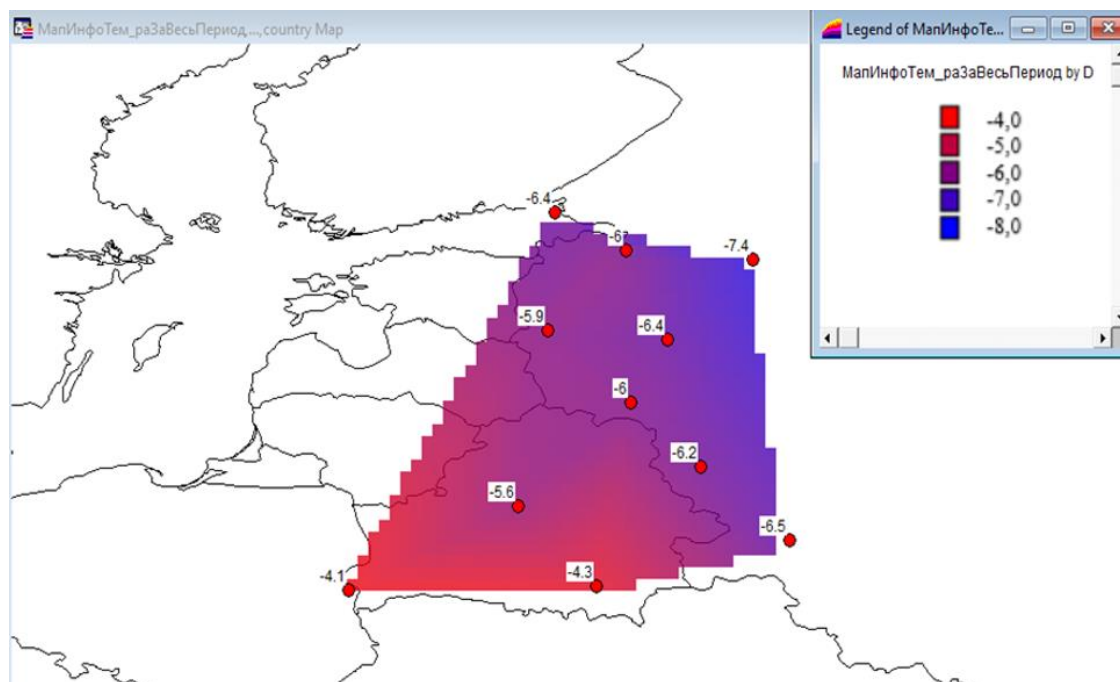


Рисунок 3.3.1.2 – Пространственное распределение значений зимней средней температуры воздуха за период исследования с 1961 по 1990 гг.

В ходе проведения более детального анализа полученных результатов, было определено, что юго-запад исследуемой территории показывает самые высокие температуры воздуха зимнего сезона. Брест и Василевичи имеют

самые высокие значения. Самая холодная часть территории на северо-востоке, в городе Тихвин.

Помимо этого, рассмотрим то же поле температуры, построенное при помощи программы Surfer, продемонстрированное на рисунке 3.3.1.3. Распределение более высоких средних значений температуры воздуха зимнего периода с 1961 по 1991 гг. отмечается на южной и центральной частях республики Беларусь. Распределение самых минимальных значений зафиксировано на северо-востоке исследуемой территории.

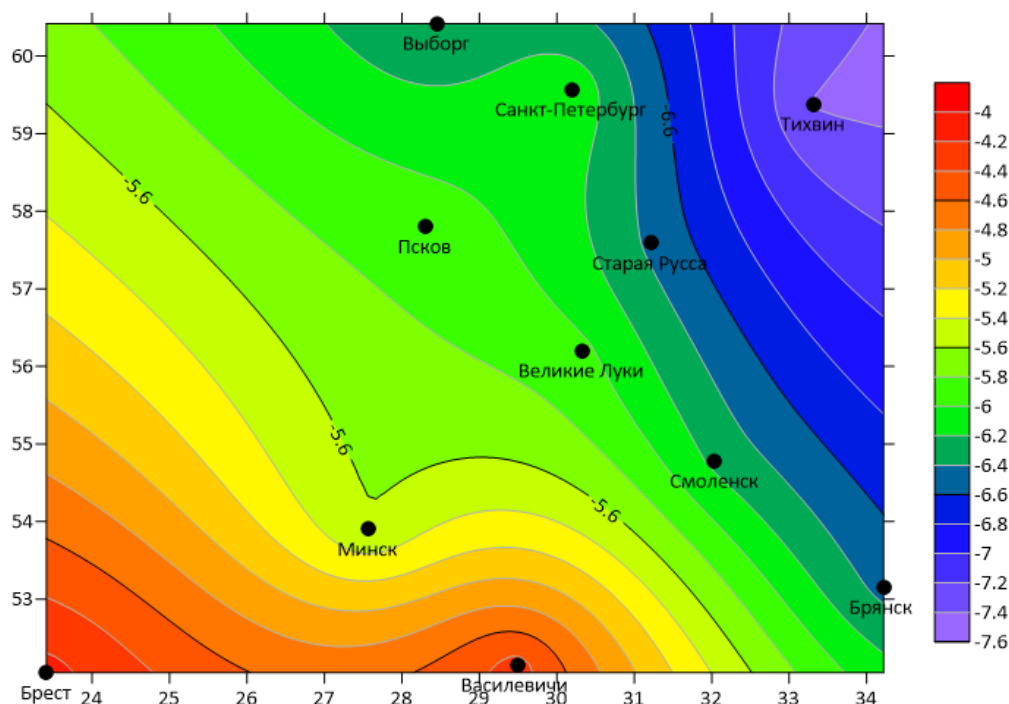


Рисунок 3.3.1.3 – Пространственное распределение значений зимней средней температуры воздуха за период исследования с 1961 по 1990 гг.

На карте, представленной на рисунке 3.3.1.4, изображено пространственное распределение изменения значений средней температуры воздуха в зимний климатический сезон за второе исследуемое тридцатилетие, а именно за период с 1991 по 2020 гг.

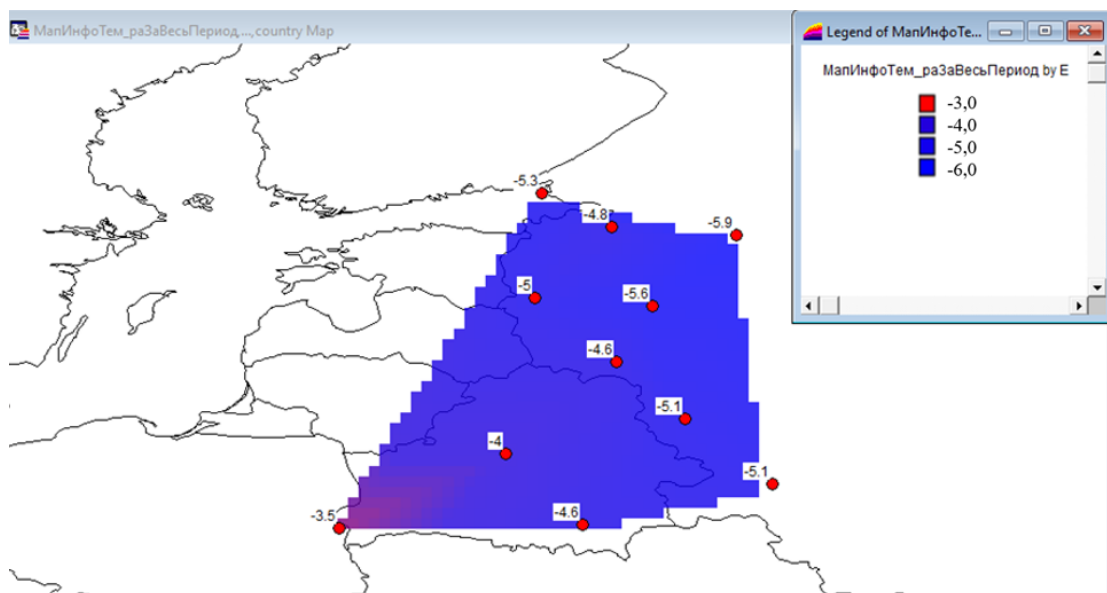


Рисунок 3.3.1.4 - Пространственное распределение значений средней температуры воздуха в зимний климатический сезон за период исследования с 1991 по 2020 гг.

При проведении более подробного анализа полученных результатов, отображённых на рисунке 3.3.1.4, можно сказать, что среднее температурное распределение по всей территории исследования изменилось за последние тридцать лет. Отчетливо видно, на всей территории исследования среднезимние температуры воздуха повышаются, но в отличие от первого тридцатилетия очаг тепла располагается только в юго-западной части, что подтверждает распределение температуры воздуха на территории исследования, построенное с помощью программы Surfer (рисунок 3.3.1.5.).

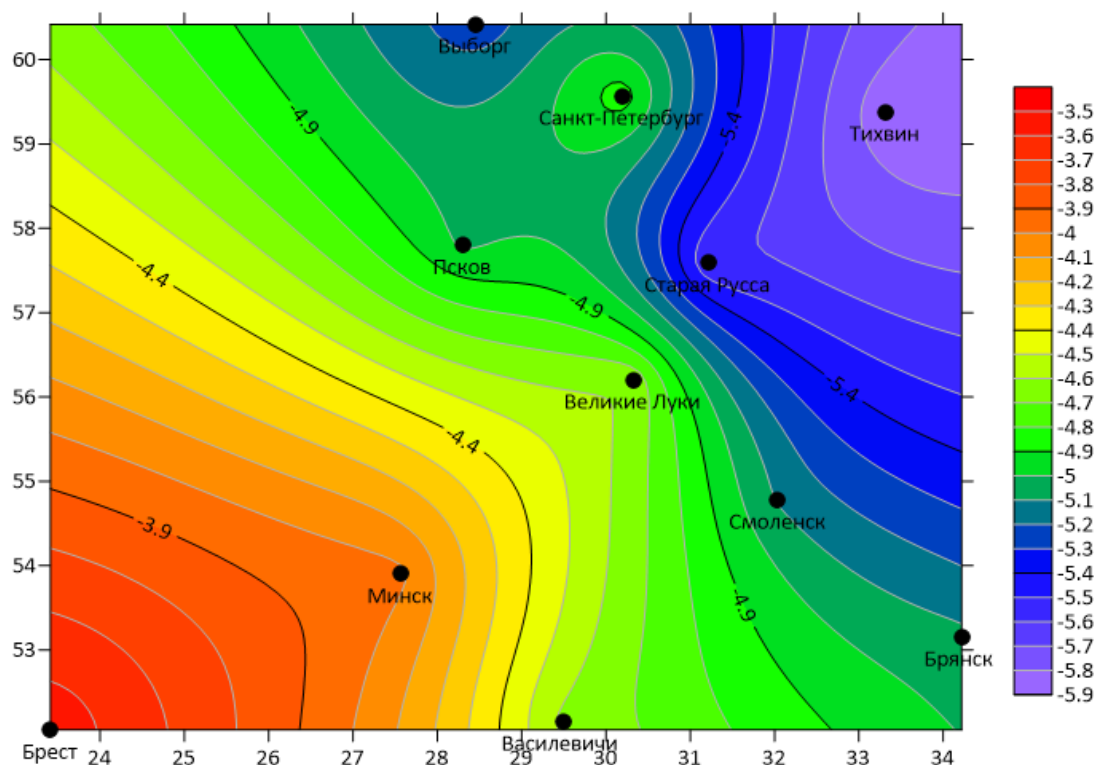


Рисунок 3.3.1.5 - Пространственное распределение значений средней температуры воздуха в зимний климатический сезон за период исследования с 1991 по 2020 гг.

В итоге рассмотрим изменение температуры воздуха зимы в каждом пункте на весь период исследования. На карте, изображенной на рисунке 3.3.1.6, представлено пространственное изменение значений средней температуры зимнего климатического периода второго тридцатилетия, по сравнению с первым.

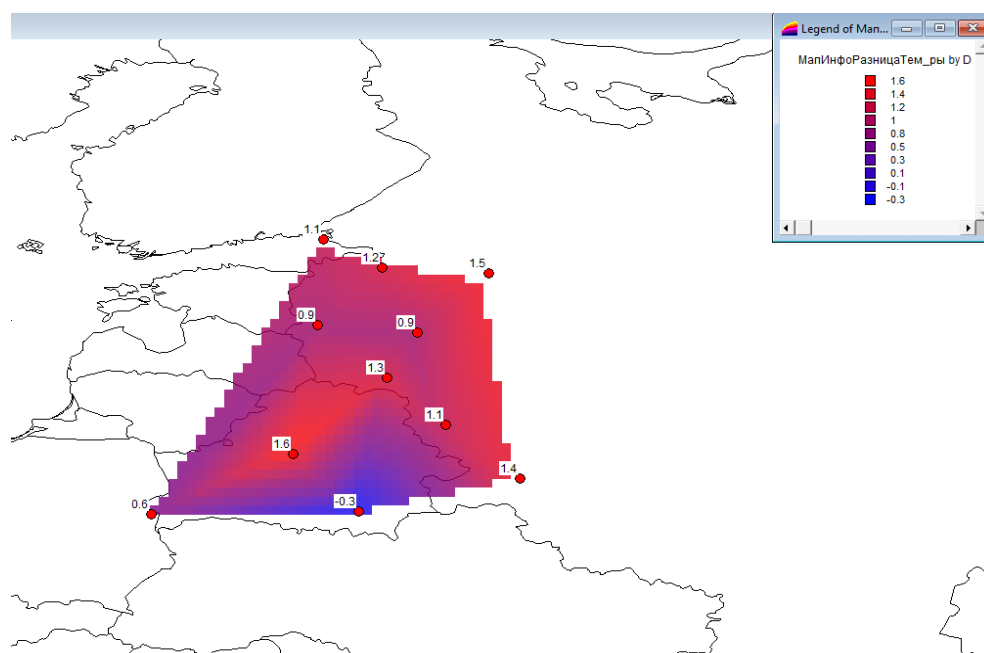


Рисунок 3.3.1.6 - Пространственное распределение значений средней температуры воздуха в зимний период (разница тридцатилетий) за период исследования с 1961 по 2020 гг.

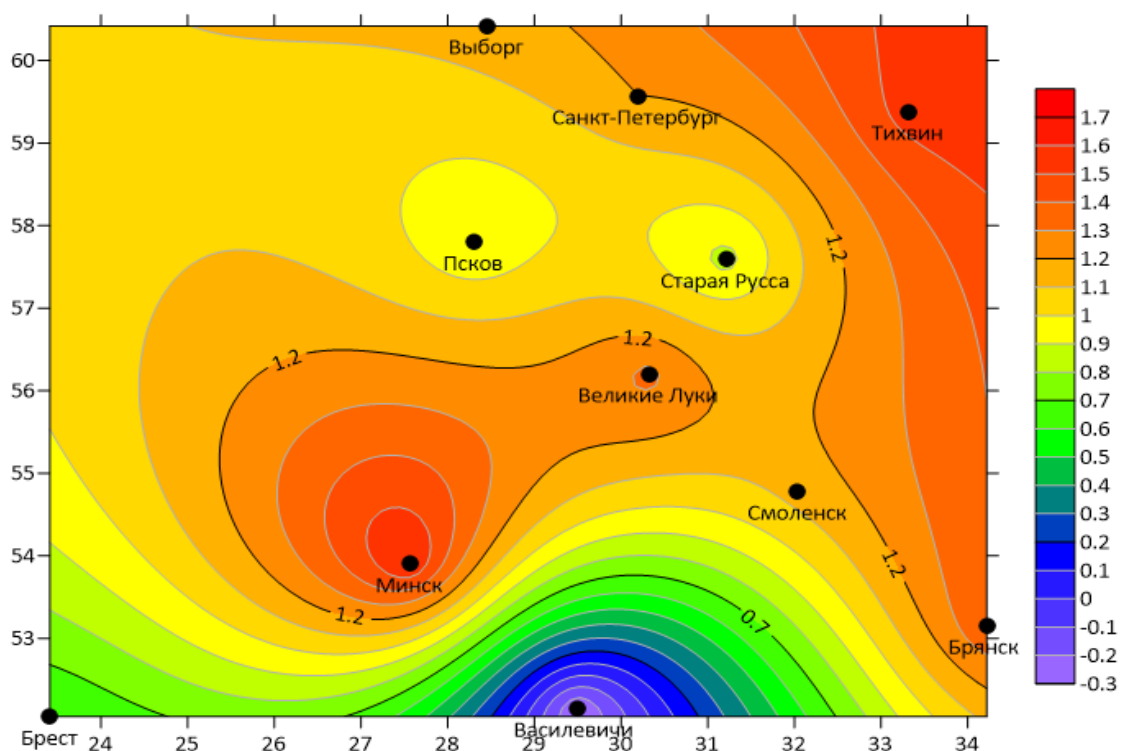


Рисунок 3.3.1.7 - Пространственное распределение значений средней температуры воздуха в зимний период (разница тридцатилетий) за период исследования с 1961 по 2020 гг.

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что максимальные изменения значений температуры воздуха в зимний климатический период происходили в центральной части исследуемой территории (очаг определяется между Минском и Великими Луками). Помимо этого, также можно отметить второй регион с значительными изменениями значений температуры воздуха – это северо-восток территории в районе города Тихвин, там зафиксированы самые значительные изменения температуры воздуха (+1,5 °C.).

Рассмотрим смещение границ зимнего климатического сезона.

На карте, представленной на рисунке 3.3.1.8, проиллюстрировано пространственное распределение смещения дат устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел на понижение.

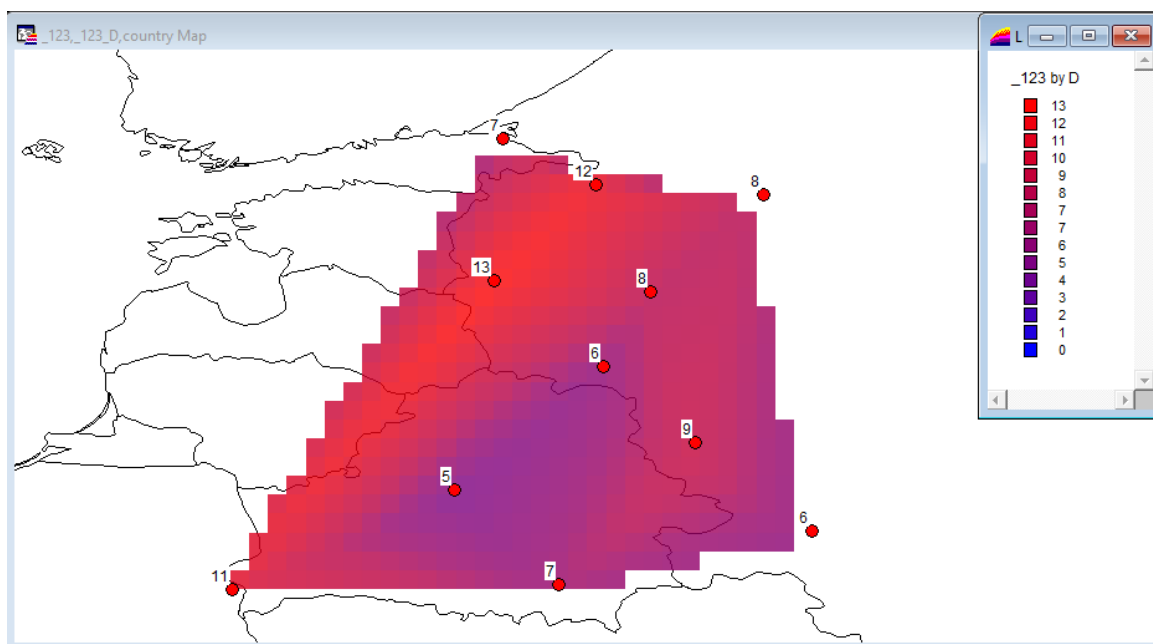


Рисунок 3.3.1.8 – Пространственное распределение изменения даты начала зимнего климатического сезона с 1961 по 2020 гг.

В результате анализа изменения даты начала зимы за период с 1961 по 2020 гг., можно заключить, что значительные изменения происходят уже не только на юго-западе исследуемой территории, как это было с температурой воздуха, а над всей западной части исследуемого региона и также стоит отметить, что самые

значительные изменения проходят на севере. Зона, где изменения не так значительны, находится в центральной части и на юге исследуемой территории.

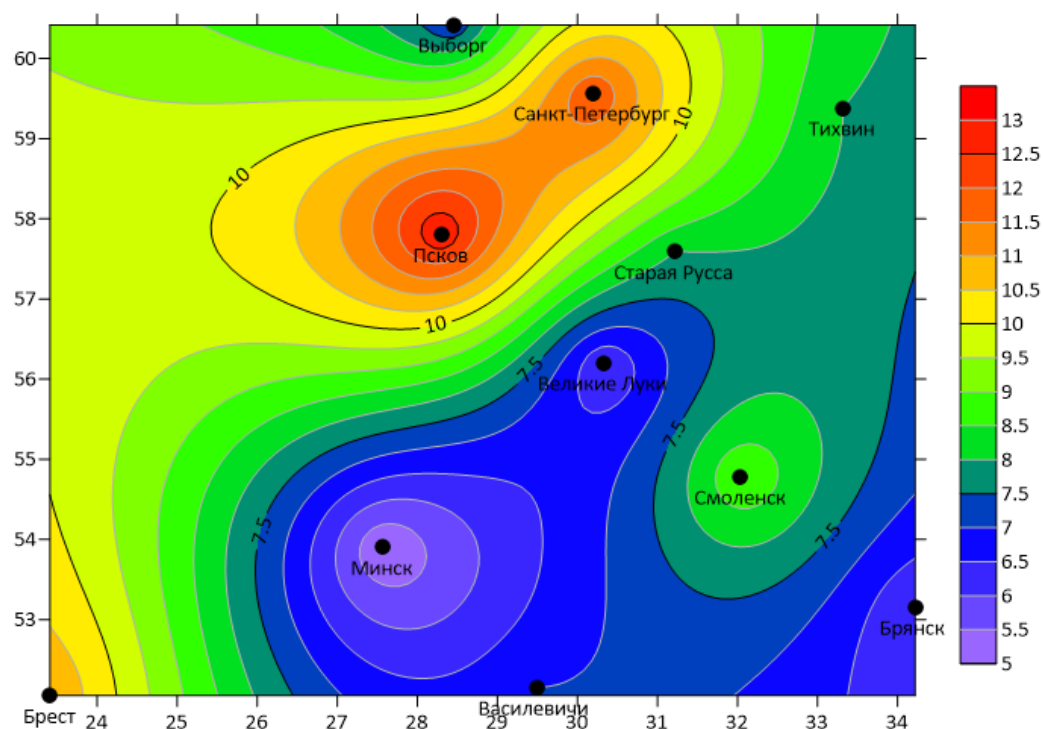


Рисунок 3.3.1.9 – Пространственное распределение изменения даты начала зимнего климатического сезона с 1961 по 2020 гг.

Необходимо отметить два очага малых изменений с минимальными изменениями в городе Минске. Максимальные изменения наблюдаются в Пскове и в Санкт-Петербурге.

При анализе рассмотрено изменение в датах наступления зимнего климатического периода на исследуемой территории. Исходя из полученных результатов, можно сказать, что максимальное изменение произошло на западной части ЕТР. Смещение границы начала зимнего климатического сезона относительно первого тридцатилетия составило 13 дней. Также можно выделить район, где были зафиксированы минимальные изменения в дате начала зимнего сезона. Центральная часть Беларуси с городом Минск является областью с минимальным изменением. Смещение начальной зимней границы составило всего 5 дней относительно первого исследуемого тридцатилетия. В целом,

можно сказать, что смещение зимней климатической границы значительно всего выражено в таких городах, как Санкт-Петербург, Псков и Смоленск.

На карте, изображённой рисунке 3.3.1.10, продемонстрировано пространственное распределение смещения дат устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел на повышение.

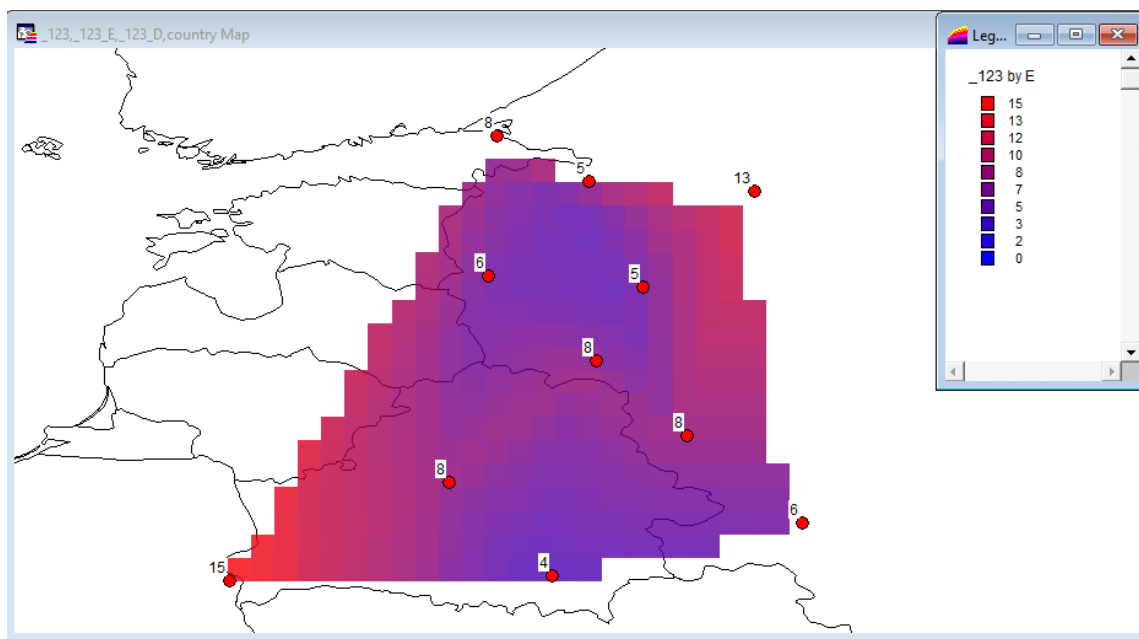


Рисунок 3.3.1.10 – Пространственное распределение изменения даты окончания зимнего климатического сезона с 1961 по 2020 гг.

Даты окончания зимнего климатического периода распределяются достаточно интересно, максимальные изменения, максимальные сдвиги наблюдаются на северо-востоке исследуемой территории, в районе города Тихвин, а также на юго-западе территории, в районе города Брест. Центральная часть показывает, в общем, сопоставимы друг с другом изменения.

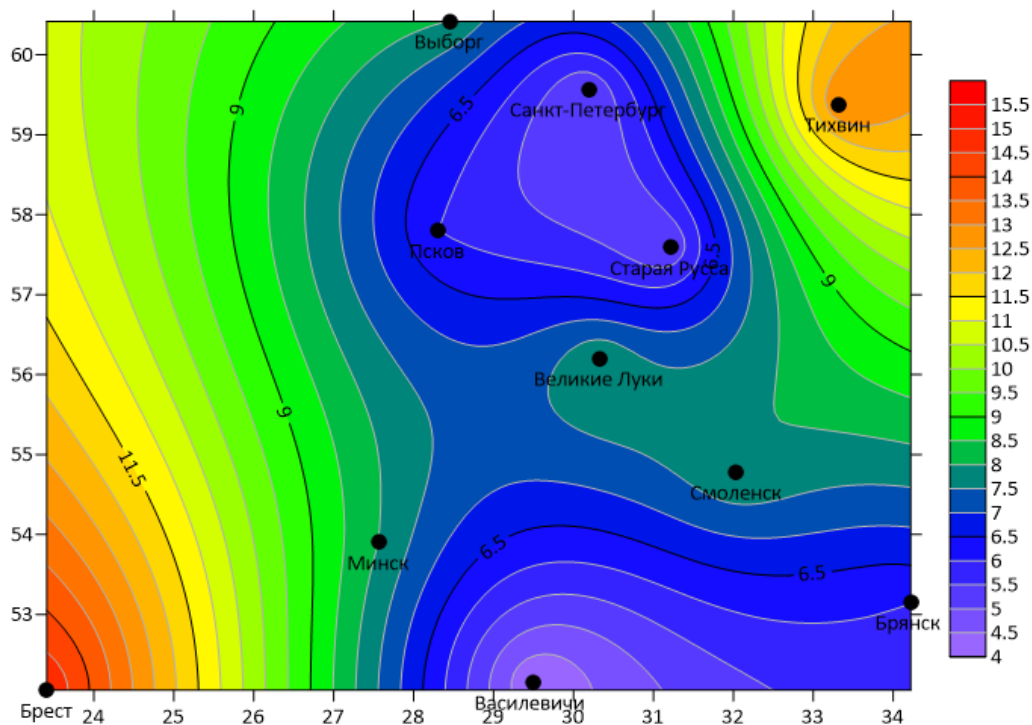


Рисунок 3.3.1.11 – Пространственное распределение изменения даты окончания зимнего климатического сезона с 1961 по 2020 гг.

В ходе анализа смещения дат окончания зимнего климатического сезона на исследуемой территории при сравнении двух тридцатилетий, отмечается, что самые значительные изменения были зафиксированы на юго-западе Беларуси. Смещение в дате окончания зимы составило 15 дней. Также можно выделить область, где были слабо выражены изменения в датах окончания зимнего климатического сезона. Выделяя конкретно, можно обособить город Санкт-Петербург, как пункт, где смещение границы окончания зимы составило всего 5 дней. Однако, это не основание, чтобы полагать, что в приближенных городах к Санкт-Петербургу наблюдается такая же ситуация. В Тихвине смещение составило 13 дней.

Заключение

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

В результате выполнения магистерской диссертации можно сделать следующие выводы. На всей территории Балтийского региона и части Белоруссии наблюдается сокращение зимнего климатического сезона. Происходит изменение продолжительности за счет изменения и весенней и осенней границы.

Начиная с 2000-х годов наблюдается тенденция к более позднему началу зимы. Необходимо отметить, что на западе территории исследования наблюдается увеличение количества неустойчивых календарных зим с многочисленными оттепелями.

С точки зрения климатических границ в ряде лет фиксируются короткие зимние периоды, незначительно превышающие 10 дней.

Определены границы и продолжительность зимнего климатического сезона в городах: Брест, Василевичи, Брянск, Старая Русса, Великие Луки, Выборг, Минск, Псков, Санкт-Петербург, Смоленск и Тихвин за период с 1961 по 2020 гг.

Наибольшая продолжительность зимнего климатического сезона наблюдается в городе Тихвин – 147 дней. Самая короткая зима – 67 дней в городе Брест. За весь период наблюдения самые значительные изменения в продолжительности зимнего климатического сезона были зафиксированы в городе Брест, где продолжительность зимы сократилась на 26 дней.

Наименьшие изменения продолжительности зимы наблюдались в Брянске, где зима сократилась всего 12 дней. На большей части исследуемой территории наблюдается смещение обеих границ: начала зимнего сезона на более поздние сроки, окончание зимы – на более ранние сроки.

В ходе исследования было определено, что во всех городах исследуемого региона наблюдается повышение средней температуры воздуха зимнего сезона в течение всего рассматриваемого периода. Самые максимальные изменения среднезимней температуры воздуха были зафиксированы в городе Минск, Тихвин и Санкт-Петербург.

В результате анализа пространственного распределения рассчитанных климатических характеристик на территории исследования можно заключить, что самое значительное изменение продолжительности зимнего климатического сезона фиксируется на южной части исследуемого региона.

Аномальная зима 2019/2020 гг. была обусловлена южной частью обширной многоцентровой депрессии. Аномальные изменения температуры воздуха, а именно повышение этих значений сопровождалось прохождением высотной планетарной фронтальной зоны. Стоит уточнить, что в момент потепления высотная фронтальная зона находилась над Санкт-Петербургом, то есть значительно севернее ее нормального положения, так как обычно она находится над Черным морем.

Список используемой литературы

1. Агроклиматические ресурсы Ленинградской области [Текст]: [справочник] / [подгот. Г. И. Бугинова, Р. М. Корнатов, А. Д. Ложкомоева и др.]. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. - 119 с.
2. Климат Санкт-Петербурга и его изменения: [монография] / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гос. учреждение "Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова"; под ред. В. П. Мелешко, А. В. Мещерской, Е. И. Хлебниковой. - Санкт-Петербург: Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, 2010. - 254, [1] с
3. В.Н. Серова, А.А. Барышева, В.С. Жекулин. География Новгородской области. - Л. Лениздат 1988 г.
4. А.И. Слинчак, А.В. Исаченков, И.С. Кулаков, А.Г. Манаков, Л.Я. Костючук, З.В. Жуковская, Т.И. Немцева, С.С. Людовиченко, Н.К. Вецель. География Псковской области / под ред. А.Г.Манакова. – Псков: ПОИПКРО, 2000
5. Климат Смоленской области / ред. Т.Г. Недошивина. - [Москва]: Гос. науч.-техн. гидрометеорол. изд-во, 1963.
6. Ахромеев Л.М., Демихов В.Т., Чучин Д.И. Динамика климатических условий в г.Брянске с 1947 по 2011 годы// Материалы международной научной конференции (г. Воронеж 26-27 июня 2012 г.). Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2012. С. 114-117.
7. Витченко А.Н.,Телеш И.А. Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси // Вестник БГУ. 2011. Сер.2. № 2. С. 73-78.
8. Логинов В.Ф. Климат Беларуси. - Мн.: Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. - 230 с.
9. Швер Ц.А., Савиковский И.А. (ред.). Климат Бреста. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 159 с.

10. Дашко Н. А. Курс лекций по синоптической метеорологии, Владивосток: ДВГУ, 2005 – 147с.
11. Карлин, Л. Н. Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления / Л. Н. Карлин, Ю. В. Ефимова, А. В. Никифоров // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2005. – № 1. – С. 22-29. – EDN NDSFPP.
12. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) URL: <http://meteo.ru/>