



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему: «Анализ условий формирования термического режима зимних сезонов  
в Санкт-Петербурге за период с 1992 по 2021 гг.»

Исполнитель Тюканова Надежда Сергеевна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Ефимова Юлия Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«30» мая 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение .....	4
1 ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ И ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ НА НЕЕ ВЛИЯНИЕ .....	6
1.1. Циклоны и антициклоны .....	10
2 КЛИМАТ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА.....	15
2.1. Особенности атмосферной циркуляции Республики Карелии и Мурманской области.....	16
2.2. Особенности атмосферной циркуляции Республики Коми и Архангельской области.....	17
2.3. Особенности атмосферной циркуляции Вологодской и Новгородской областей.....	21
2.4. Особенности атмосферной циркуляции Псковской и Калининградской областей.....	23
2.5. Особенности атмосферной циркуляции Ленинградской области и г. Санкт-Петербург.....	25
3 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗИМНЕГО СЕЗОНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ .....	29
3.1 Постановка цели и задач научно-исследовательской работы. ....	29
3.2. Объект и методы исследования .....	30
3.3. Анализ наступления начала зимы в Санкт-Петербурге. ....	31
3.4 Анализ различных типов начала зимнего климатического сезона .....	33
3.4.1. Уверенный переход среднесуточной температуры воздуха через 0°С. ....	34
3.4.2. Возвраты тепла после даты устойчивого перехода .....	43

3.4.3. Температура воздуха около 0°С после даты перехода .....	55
3.5 Особенности термического режима зимних сезонов 2019/2020 гг. и 2020/2021 гг.....	64
Заключение.....	71
Список литературы.....	74

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается увеличение количества зим с неустойчивым термическим режимом и, на этом фоне, регистрируется повышение среднемесячной температуры воздуха и уменьшение значительно холодных дней за зимние периоды [1]. Изменчивость термического режима зимнего сезона может быть значимым показателем изменения климата.

В данной работе предполагается рассчитать и проанализировать даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения в Санкт-Петербурге, выявить возможные изменения в термическом режиме и определить фоновые синоптические ситуации и их возможные изменения за период с 1961 года по 2020 год.

Анализ циркуляционных процессов предшествующих началу зимнего сезона за длительный период является задачей, несомненно, актуальной и практически значимой.

В ходе научно-исследовательской работы предполагается провести анализ условий формирования термического режима зимнего сезона в Санкт-Петербурге. Основная цель состоит в том, чтобы проанализировать современные изменения в динамике начала зимнего климатического сезона на исследуемой территории.

Зима 2019/2020 гг. в г. Санкт-Петербург впервые за более чем 100 лет инструментальных наблюдений не являлась климатической: не наблюдалось перехода температуры воздуха через нулевой предел в сторону понижения. Данную аномалию имеет интерес рассмотреть с синоптической точки зрения: что способствовало и что обуславливало такой термический режим.

В первой главе исследуется общая циркуляция атмосферы и факторы, оказывающие на нее влияние. Также в данной главе рассмотрены циркуляционные процессы, характерные умеренным широтам. Подробно

были рассмотрены такие барические образования, как циклон и антициклон, и их погодные условия в разные сезоны года.

Во второй главе рассматривается общая циркуляция атмосферы северо-западного региона России, особенности атмосферной циркуляции каждого региона северо-запада России и отдельно рассмотрена циркуляция атмосферы над территорией г. Санкт-Петербург в разные сезоны года.

В третьей главе приводится анализ термического режима и выявление типовых ситуаций наступления зимнего сезона в Санкт-Петербурге. Основное внимание в работе уделяется анализу синоптических условий, которые формируют различный ход температуры воздуха после даты устойчивого перехода температуры воздуха ниже нуля в сторону понижения, выявляя типовые ситуации наступления зимы.

## 1 ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ И ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ НА НЕЕ ВЛИЯНИЕ

Атмосфера – воздушная оболочка Земли. Циркуляция атмосферы – важнейший фактор формирования климата. Общей циркуляцией атмосферы называют замкнутые течения воздушных масс в масштабах полушария или всего Земного шара, приводящие к широтному и меридиональному переносу энергии в атмосфере [2].

На циркуляцию атмосферы в той или иной степени оказывают влияние многие факторы. Наиболее важными являются: лучистая энергия Солнца, неоднородность подстилающей поверхности, вращение Земли вокруг своей оси и трение воздуха.

Неравномерное распределение лучистой энергии Солнца является главной причиной планетарной циркуляции. Отрицательный радиационный баланс в высоких широтах и положительный в низких широтах определяет также положительную разность температур между экватором и полюсами на любом уровне тропосферы; это в свою очередь порождает градиент давления, направленный от тропиков к полюсам.

Земная неоднородная подстилающая поверхность также оказывает влияние на глобальную атмосферную циркуляцию. Суша и океан оказывают влияние на температуру воздуха не только в приземном слое, но и во всей толще тропосферы. Это влияние оказывается путем турбулентного перемешивания.

Вращение Земли оказывает огромное влияние на движение в атмосфере. Влияние вращения Земли на атмосферную циркуляцию изменяется с широтой. Оно значительно в высоких широтах и приближается к нулю на экваторе [3].

В нижнем слое атмосферы, высотой 1-1,5 км, трение воздуха о подстилающую поверхность всегда меняет направление и уменьшает скорость воздушных потоков.

Общая циркуляция атмосферы возникает под действием нескольких факторов:

- 1) Неравномерное распределение солнечной радиации по широте
- 2) Распределение океанов и континентов
- 3) Сила Кориолиса
- 4) Особенности поглощения солнечной радиации атмосферой и поверхностью земли
- 5) Напряжения трения на границе подстилающая поверхность – атмосфера

Неоднородность нагревания земной поверхности и атмосферы является главным фактором, приводящим к возникновению атмосферных движений.

Механизмы, формирующие общую циркуляцию атмосферы:

- 1) Лучистый теплообмен
- 2) Макротурбулентный обмен (циклоны, антициклоны)
- 3) Вертикальный турбулентный и конвективный обмен
- 4) Влагообмен (процессы конденсации и испарения)

Основным видом циркуляции воздуха является зональный перенос. Он обусловлен разностью температур между высокими и низкими широтами. В нижней стратосфере и тропосфере преобладает западная циркуляция, так как температура воздуха и атмосферное давление на высотах выше в экваториальной зоне и тропиках, ниже - в полярных областях.

Особенностью тропосферной циркуляции является наличие крупномасштабных волн давления и температуры, которые вызывают появление меридиональных составляющих движения воздушных масс. Перемещение или стационарирование этих волн в пространстве являются одной из главных причин формирования крупных аномалий погоды. Длина

крупномасштабных волн достигает тысячи километров и характеризуется волновым числом, укладываемых вдоль круга широты на пространстве полушария.

Ситуации блокирования западно-восточного переноса часто приводят к формированию наиболее длительных и крупных аномалий погоды: сильных заморозков зимой и засух летом. Блокирование западно-восточного переноса происходит за счет ультрадлинных волн, которые испытывают обратное движение, то есть с востока на запад.

Все вышеописанное касается циркуляции воздуха в свободной атмосфере, где отсутствует сила трения, то есть ветер геострофический. У поверхности земли в связи с наличием этой силы, а также значительным влиянием на термику и циркуляцию атмосферы подстилающей поверхности, распределения материков и океанов появляются два важных объекта общей циркуляции, которые в свободной атмосфере отсутствуют [4]. Первый – планетарный пояс субтропических антициклонов, второй – полярный антициклон. Западно-восточный перенос у поверхности земли в северном полушарии ограничен с юга субтропическими антициклонами, восточной и северо-восточной циркуляцией воздушных масс в арктическом антициклоне с севера.

Интенсивность приземных антициклонов зависит от сезона года: полярный антициклон наиболее развит зимой, субтропический антициклон – летом.

Волны Россби и связанные с ними постоянно образующиеся циклоны и антициклоны в свободной атмосфере создают условия для формирования меридионального переноса воздушных масс. Южная составляющая западно-восточного переноса, северная составляющая пассатов, арктические вторжения образуются благодаря подчинению меридиональных потоков у земли распределению давления – от высокого к низкому.



Восходящие движения воздуха возникают в областях конвергенции, нисходящие - в областях дивергенции. Таким образом, в тропосфере формируют три кольца меридиональной циркуляции воздуха:

1) Ячейка Гадлея (тропическое кольцо)

Включает в себя область нисходящих движений в центрах субтропических антициклонов, пассаты в нижней тропосфере, антипассаты в верхней атмосфере, внутритропическую зону конвергенции (ВЗК) с кучево-дождевой облачностью и мощными восходящими движениями на экваторе.

2) Ячейка Ферреля

Включает в себя сильные восходящие движения в центрах циклонов умеренных широт, южную составляющую западно-восточного переноса, нисходящие движения в субтропических антициклонах

3) Арктическое кольцо

С данной ячейкой связаны вторжения в умеренные широты экстремально холодного воздуха.

Первые два кольца меридиональной циркуляции достаточно устойчивы по времени и обнаруживаются практически по ежедневным данным [4].

Отклонения объектов общей циркуляции атмосферы от среднеклиматического режима циркуляции чаще всего являются причиной длительных аномалий погоды. Такие объекты испытывают значительные межгодовые изменения в своем положении или интенсивности.

Объектами с сильной межгодовой изменчивостью в тропосфере являются:

- внутритропическая зона конвергенции (интенсивность, положение)
- высотные фронтальные зоны (контрасты метеорологических величин, положение на широте, степень меридиональности)
- центры действия атмосферы (положение и интенсивность)
- волны Россби (скорость смещение, длина, фаза по долготе)

Функцией колебаний общей циркуляции атмосферы являются все аномалии погоды на Земле, в том числе и длительные, и непродолжительные.

Сезонные изменения циркуляции атмосферы связаны с изменением количества солнечной радиации. Они проявляются в различной повторяемости и интенсивности циклонов и антициклонов, изменении и смещении их траектории, географического расположения и интенсивности ВФЗ.

Общая циркуляция атмосферы включает в себя ряд крупномасштабных движений: западный перенос масс воздуха, охватывающий тропосферу и стратосферу, пассаты, струйные течения, муссоны, циркуляция воздуха в системе циклонов и антициклонов.

### 1.1. Циклоны и антициклоны

Циклоны и антициклоны представляют собой трехмерные атмосферные вихри синоптического масштаба. Они имеют особые, только им присущие, структуры метеорологических полей, сочетание которых формирует погодные условия в различных частях этих атмосферных вихрей [5].

Циклон – восходящий атмосферный вихрь с пониженным давлением в центре и системой ветров от периферии к центру, направленных против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой в южном полушарии. Точка с наиболее низким давлением называется центром циклона [5].

Циклоны разделяются на тропические циклоны и циклоны умеренных широт.

Антициклон – нисходящий атмосферный вихрь с повышенным давлением в центре с системой ветров от центра к периферии, направленных по часовой стрелке в северном полушарии и против часовой стрелки в южном полушарии. Точка с наиболее высоким давлением называется центром антициклона [5].

Выделяют субтропические антициклоны и антициклоны умеренных широт.

Рассматривая жизнь данных атмосферных вихрей можно отметить следующие стадии развития:

- 1) Стадия возникновения циклона/антициклон
- 2) Стадия молодого циклона/антициклона (циклон углубляется, антициклон усиливается)
- 3) Стадия максимального развития циклона/антициклона (давление в центре барического образования несущественно меняется)
- 4) Стадия заполнения циклона или разрушение антициклона
- 5) Циклон или антициклон не обязательно проходит все стадии. Часто фронтальные волны не получают дальнейшего развития. Даже молодой циклон может начать заполняться, а молодой антициклон – разрушаться, не получая максимального развития [5].

От условий возникновения циклоны и антициклоны делятся на фронтальные и внутримассовые. К внутримассовым относятся субтропические антициклоны и тропические циклоны, равно как и антициклоны внетропических широт и внутримассовые термические циклоны.

В умеренных широтах наибольший вклад в формирование и изменение погодных условий оказывают фронтальные циклоны и антициклоны. Их возникновение и жизненный цикл связан с высотными фронтальными зонами, энергетические запасы которых при определенных условиях расходуются на создание синоптических объектов, имеющих вихревую структуру – фронтальных циклонов и антициклонов.

Первая стадия образования циклона начинается с появления волны на фронте и продолжается до появления первой замкнутой изобары, кратной 5 гПа у поверхности земли.

В правой (передней) части циклона начинается движение стационарного фронта в сторону холодного воздуха. В левой (тыловой) части

наоборот – в сторону теплого воздуха. Соответственно, в данной стадии развития циклона появляются холодный и теплый фронты, и формируется теплый сектор, заключенный между ними. Стадия волны весьма скоротечна и продолжается обычно около полусуток [5].

В дальнейшем происходит интенсивное углубление циклона, начинается стадия молодого циклона. На приземной карте активно увеличивается количество замкнутых изобар и увеличивается скорость ветра. К образованию облачности приводят упорядоченные восходящие движения, которые возникают за счет сходимости воздушных потоков. Особенно мощная облачность образуется на атмосферных фронтах.

В молодом циклоне есть три зоны с различными погодными условиями. В холодном воздухе перед теплым фронтом в передней части циклона облачная погода. Из слоисто-дождевых и высокослоистых облаков выпадают обложные осадки, чаще длительные. Интенсивность осадков возрастает по мере приближения к фронту. За холодным фронтом, в тыловой части циклона, погода определяется типом этого фронта. Если это холодный фронт, который медленно смещается, его облачная система состоит из слоисто-дождевой и высокослоистой облачности. За этим фронтом будут идти обложные осадки, ослабевающие по мере удаления от фронта. Если фронт смещается быстро, то при неустойчивой стратификации и высокой влажности в холодном воздухе выпадают ливневые осадки. Если холодный воздух сухой и в нем развиты нисходящие движения, то чаще всего погода будет малооблачная. Между теплым и холодным фронтами, в теплом секторе циклона, погода будет типичной для влажной, теплой воздушной массы. Зимой, из-за охлаждения воздушной массы от подстилающей поверхности, как правило будет наблюдаться слоистая и слоисто-кучевая облачность, адвективные туманы, морось. Летом чаще всего малооблачно, но при высокой влажности может развиваться кучевая и мощно-кучевая облачность.

Время стадии молодого циклона обычно не превышает 1,5-2 суток [5].

Третья стадия развития фронтального циклона, стадия окклюдирования циклона, начинается с процесса смыкания фронтов (теплого и холодного) и заканчивается его исчезновением, то есть заполнением. Несмотря на начавшееся и продолжающееся окклюдирование, циклон еще некоторое время будет углубляться при благоприятных условиях. Если условия неблагоприятные, циклон начинает заполняться с момента начала окклюдирования.

В окклюдирующем циклоне можно выделить несколько областей с различными условиями погоды. Первые две области разделяются фронтом окклюзии. В частях этих областей, прилегающих к фронту, погода определяется фронтом окклюзии (по типу теплого или по типу холодного), степенью окклюдирования и характеристиками теплого воздуха, который находится выше земной поверхности. Характер погоды на некотором удалении от фронта будет соответствовать типам холодных воздушных масс, разделяемых фронтом окклюзии. На периферии окклюдирующегося циклона сохраняются погодные условия, которые характерны молодому циклону.

В одном и том же месте и на одном и том же фронте могут возникать несколько циклонов. Эти циклоны образуют циклонические серии, смещаясь в направлении преобладающих воздушных течений. Окклюдированный циклон в этой серии обычно является первым возникшим, последующие циклоны находятся на более ранних стадиях развития.

У земной поверхности возникают не только области падения давления, но и области роста. Они связаны с существованием и высотных фронтальных зон. В пределах падения давления возникают циклонические вихри, в пределах роста давления - антициклоны и барические гребни. Существует два вида фронтальных антициклонов:

- 1) Промежуточные антициклоны.

Формируются в холодном воздухе и располагаются между двумя циклонами, заключенными в серию, и перемещаются вместе с ними.

## 2) Заключительные антициклоны.

Они заключают циклонические серии [5]. Данные антициклоны быстро перемещаются с северной меридиональной составляющей и сформированы в холодном воздухе. Они приносят значительные похолодания. Проникая на юг, они сливаются с субтропическими антициклонами, чем поддерживают их существование.

## 2 КЛИМАТ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

В состав Северо-Западного региона входят Ленинградская, Новгородская, Архангельская, Вологодская, Калининградская, Мурманская, Псковская области и республика Карелия и республика Коми. В свою очередь, Архангельская область включает в себя Ненецкий автономный округ. Также в состав Северо-Западного округа входит город федерального значения – Санкт-Петербург. Исследуемый регион представлен на карте рисунка 2.1.



Рисунок 2.1 – Карта исследуемой территории (северо-запад ЕТР)

Округ располагается в двух климатических зонах – в умеренном и субарктическом. На климат региона сильное влияние оказывает его география: его омывают моря Атлантического и Северного Ледовитого

океанов, поэтому на северо-западе лето холоднее, чем обычно в этих широтах, а зима теплее.

В холодный, зимний период в области арктического фронта наблюдается большая активность деятельность циклонов. С ветрами южного и юго-западного направления приходят относительно теплые воздушные массы.

Север Европейской части России также находится под влиянием тёплых воздушных масс, поступающих с Атлантического океана, и холодных, вторгающимся с Арктического бассейна. Тропические воздушные массы со Средиземного моря очень редко проникают в этот район. Циркуляционные условия формирования климата данного района вызывают частую смену воздушных масс, связанную с происхождением барических образований (циклонов и антициклонов), в любые сезоны года. Атмосферная циркуляция над севером Европейской части России имеет ярко выраженный сезонный характер [6].

Циклоны, преобладающие в основном зимой, перемещаются с запада и северо-запада из районов Атлантического океана. Они перемещаются вдоль побережья Баренцева моря и сопровождаются выносом влажного и теплого воздуха. Такие ситуации сопутствуют сильным ветрам, снегопадам и метелям. В январе иногда, в таких случаях, может наблюдаться оттепель, гололед и морось.

## 2.1. Особенности атмосферной циркуляции Республики Карелии и Мурманской области

Циркуляционные условия формирования климата Республики Карелия довольно сложны.

Данный регион относится к атлантико-арктической зоне умеренного пояса. Для него характерно преобладание атлантических и арктических



воздушных масс, которые поступают в Петрозаводск из мест формирования благодаря циклоническим процессам. В Карелии интенсивная циклоническая деятельность преобладает во все времена года. Число активных циклонов ежемесячно может достигать 20 как зимой, так и летом.

Циклоны приходят преимущественно с запада, юго-запада и северо-запада [7].

Движение антициклонов более разнообразно [7]. Осенью, весной и летом наиболее часто наблюдаются антициклоны, приходящие с запада. В осенне-зимний период увеличивается число антициклонов, приходящих с северо-запада, причем северо-западные антициклоны явно преобладают в зимний период.

Мурманская область находится в атлантико-арктической зоне умеренного пояса. В данной зоне преобладают воздушные массы атлантического и арктического происхождения. Также характерно усиление циклонической деятельности в холодное полугодие и ослабевание в теплое. Неустойчивости погоды способствует циклонические процессы над Баренцевым и Норвежским морями [8]. Антициклоны, движущиеся с Баренцева моря не вызывают устойчивое похолодание в Мурманске. Наиболее низкие температуры воздуха в Мурманске наблюдаются при вторжении антициклонов с Карского моря. В теплое полугодие ослабевание циклоническая деятельность над Баренцевым морем и увеличиваются антициклонические процессы.

## 2.2. Особенности атмосферной циркуляции Республики Коми и Архангельской области

Архангельская область и Республика Коми отличаются от вышеописанных регионов большей континентальностью климата. Зимой это проявляется в более низких температурах воздуха. Зима в данных регионах

самая холодная в Европейской части России. Средняя температура в январе от  $-10^{\circ}\text{C}$  на западе и до  $-20^{\circ}\text{C}$  на востоке. Переход среднесуточной температуры воздуха ниже нуля происходит почти на месяц раньше, чем на Кольском полуострове.

Переход среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям начинается в третьей декаде мая. Летом континентальность климата проявляется в быстром повышении температуры воздуха с севера и юг. За счет арктического вторжения, наблюдаемого с районов Карского моря, которое в июне покрыто льдами, в начале лета нередко наблюдаются заморозки. Среднемесячная температура воздуха в июле  $+13^{\circ}\text{C}$ , в южных районах Республики Коми до  $+17^{\circ}\text{C}$ . При вторжении теплого континентального воздуха максимальная температура воздуха может достигать  $30-35^{\circ}\text{C}$ .

Климат Сыктывкара обусловлен характерной для него частотой сменой воздушных масс во все сезоны года. Воздушные массы перемещаются со стороны Полярного бассейна и Атлантического океана. Воздушные массы с юга, к примеру с районов Черного или Средиземного моря поступают крайне редко. В районе Сыктывкара большую часть года преобладает циклоническая циркуляция, которая обуславливается западными, южными, стационарными и северо-западными циклонами. Область высокого давления в основном формируют стационарные и сибирские антициклоны.

Зимой наблюдается повышенная циклоническая деятельность [9]. Низкое атмосферное давление вызывается в основном западными циклонами, которые перемещаются с Атлантического океана через Баренцево море и Скандинавию, проходят севернее Сыктывкара и приносят теплые воздушные массы.

Северо-западные и южные циклоны обуславливают резкую смену погоды. При их подходе к городу начинаются метели, снегопады, происходит повышение температуры воздуха, которые затем сменяется сильным

похолоданием. Наиболее сильные похолодания наблюдаются при вторжениях карских и сибирских антициклонов. Длительные периоды сильных морозов бывают при частых затоках арктического воздуха или при повышенной повторяемости сибирского антициклона.

Весной преобладает антициклоническая циркуляция. Начинает увеличиваться влияние азорских, скандинавских и стационарных антициклонов, влияние сибирского антициклона значительно уменьшается, что связано с интенсивным разрушением его западной части. При выходе южных циклонов с районов Черного и Средиземного морей проникает теплая воздушная масса, в которой температура воздуха даже в апреле может повышаться до +22°С.

Летом в Сыктывкаре происходит ослабление интенсивности общей циркуляции атмосферы, уменьшение скорости перемещения барических образований и увеличение вероятности малоподвижных циклонов и антициклонов. Западные циклоны с Атлантического океана проходят через Скандинавию и Балтийское море. Они приносят влажный и прохладный воздух с продолжительными дождями. С малоподвижными глубокими циклонами связана продолжительная ненастная погода.

Осенью возрастает скорость перемещения барических образований и усиливается атмосферная циркуляция. В этот сезон года отмечается наибольшая в году повторяемость циклонов. Чаще всего наблюдаются циклоны с запада и северо-запада, которые приносят влажный атлантический воздух. Поле высокого давления обуславливается влиянием стационарных, сибирских и скандинавских антициклонов.

Территория Архангельской области и НАО (Ненецкий автономный округ) находится в зоне активной циклонической деятельности. Основной причиной нарушения широтной зональности в климатических поясах является циркуляция. Также циркуляция является основной причиной неперIODичности изменений в ходе метеорологических параметров.

Циклоническая деятельность в данном регионе особенно интенсивна осенью и зимой. Зимой приход теплого и влажного воздуха сопровождаются снегопадами, потеплениями, при оттепелях иногда и дождем. Летом данные циклоны приносят влажный и прохладный воздух, который вызывает увеличение облачности, понижение температуры воздуха и выпадение ливневых дождей. Влажный атлантический воздух, перемещаясь вглубь на восток, преобразуется в континентальный. Летом такой воздух прогревается, зимой – охлаждается.

На территорию Архангельской области арктический воздух поступает с районов Карского моря. «Карский» арктический воздух значительно холоднее и суше [10]. Летом вторжение арктического воздуха вызывает заморозки, зимой – резкое понижение температуры воздуха и сильнейшее похолодание. Продвигаясь над сушей к югу, арктический воздух прогревается и преобразуется в континентальный.

Циклоны, поступающие с районов Черного и Средиземного морей, способствуют повышению температуры воздуха в любой сезон года. Весной при данной барической ситуации вскрываются реки, осенью же наблюдается явление, называемое «бабьим летом», которое характеризуется сухой солнечной теплой погодой.

Летом с юго-востока, а зимой с востока на территорию Архангельской области и НАО поступает сухой континентальный воздух умеренных широт. Зимой он очень холодный, а летом теплый.

Типичную неустойчивую погоду в рассматриваемом регионе обуславливают усиленная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс.

### 2.3. Особенности атмосферной циркуляции Вологодской и Новгородской областей.

Характерной особенностью климата Вологды является частая смена воздушных масс, связанная с прохождением барических образований (циклонов и антициклонов), отмечающихся во все сезоны года [11]. Повторяемость различных барических объектов по сезонам года не одинакова.

Зимой наибольшую повторяемость имеют области низкого давления. Западные и северо-западные циклоны перемещаются с районов Атлантического моря и приносят теплый и влажный воздух. При прохождении данных циклонов севернее Вологды наблюдается теплая погода с метелями и снегопадами. Частое смещение атлантических циклонов создает фон теплой температуры воздуха зимой. Если эти циклоны перемещаются южнее Вологды, то наступает длительное похолодание [11]. К резкому повышению температуры воздуха могут привести выходы южных циклонов с районов Черного и Средиземного морей.

В области повышенного давления рассматриваемый район находится реже, эта область создается антициклонами, зарождающимися над севером Европейской территории России, Скандинавией и Сибирью. Вторжение холодных антициклонов возможно во все зимние месяцы [11]. Поступающие воздушные массы с Карского моря и районов Сибири приносят наиболее сильные морозы.

Как и зимой, весной над севером Европейской территории России преобладает область низкого давления. В это же время происходит увеличение повторяемости области высокого давления. Влияние сибирских антициклонов уменьшается, при этом начинает увеличиваться влияние азорских и скандинавских антициклонов. На погоду в Вологодской области весной чаще всего оказывают влияние северо-западные и западные циклоны,

обуславливающие умеренно теплую погоду с осадками. Теплая погода наступает весной при выходе южных циклонов, которые приносят теплую воздушную массу с Черного и Средиземного морей. Похолодания весной обычно бывают при вторжении антициклонов с Арктического бассейна.

Летом происходит ослабление интенсивности общей циркуляции атмосферы. Западные циклоны, смещающиеся с Атлантического моря через Прибалтику на север Европейской территории России, имеют меньшую скорость перемещения, чем зимой. Данные циклоны приносят в Вологодскую область влажный и прохладный воздух. Летом возрастает вероятность стационарных циклонов, которые вызывают в рассматриваемом регионе облачную погоду. При выходе южных циклонов, которые проходят западнее Вологодской области и приносят тропический воздух со Средиземного моря, наступает достаточно жаркая погода. Сухая, жаркая погода в районе Вологодской области устанавливается при влиянии стационарных, азорских, скандинавских и сибирских антициклонов.

Резкое понижение температуры воздуха, иногда и заморозки, наблюдается с вторжением холодных карских антициклонов.

Осенью активизируется атмосферная циркуляция, скорости перемещения циклонов возрастают. При перемещении данных циклонов вблизи Вологодской области наблюдается Дождливая, пасмурная и прохладная погода. Южные циклоны осенью приносят теплые воздушные массы, температура воздуха повышается, но часто наблюдаются осадки. Теплая, солнечная погода в первой половине осени связана с сибирскими и азорскими антициклонами. Резкое понижение и переход температуры воздуха к отрицательным значениям происходят при вторжении карских антициклонов.

В северо-западном районе Европейской части России расположен город Великий Новгород. Основной чертой циркуляции является циклоническая деятельность, то есть возникновение, перемещение и

эволюция крупномасштабных атмосферных вихрей – циклонов и антициклонов [12]. Над районом Великого Новгорода перемещаются воздушные массы, сформировавшиеся над разными регионами, поэтому они имеют разнообразные метеорологические характеристики.

Антициклоны весной в районе Великого Новгорода перемещаются с запада и юго-запада, летом с севера и запада. Осенью наблюдается большая повторяемость западных и северо-западных траекторий, зимой наблюдаются вторжения восточных и северо-восточных антициклонов, которые приносят холодную сухую погоду.

Для района Великого Новгорода характерна большая повторяемость воздушных масс, приходящих с Атлантики, что определяет черты морского климата: сравнительно мягкую зиму и прохладное лето. В течение года происходит смена воздушных масс морского, арктического и континентального происхождения, что приводит к резким изменениям погодных условий.

Летом воздушные массы, поступающие с юго-востока из Поволжья и Средней Азии, могут вызывать сухую, жаркую погоду.

Наиболее низкие температуры воздуха зимой могут наблюдаться при вторжении с севера-востока, с района Карского моря арктической воздушной массы.

#### 2.4. Особенности атмосферной циркуляции Псковской и Калининградской областей.

Для района Псковской области характерна достаточно большая повторяемость воздушных масс с Атлантического океана, что оказывает воздействие на формирование его климата. В теплое полугодие циклонические процессы несколько ослабевают, а в холодное полугодие – усиливаются. Активная циклоническая деятельность и частая смена

воздушных масс различного происхождения определяют неустойчивый режим погоды во все сезоны [13].

Циклонические процессы преобладают большую часть года, так как Псков расположен вблизи «дорог циклонов». На Псковскую область циклоны перемещаются во все сезоны года с запада, летом наблюдается большая повторяемость юго-западных циклонов, зимой - северо-западных циклонов. Циклоническая деятельность осенью и зимой усиливается.

Антициклоны перемещаются в район Псковской области чаще всего с запада, летом увеличивается вклад вторжений антициклонов с севера. Также в рассматриваемый регион нередко поступают воздушные массы других направлений.

Зимой чаще всего наблюдается теплая влажная погода, но при арктических вторжениях она сменяется очень холодной сухой погодой.

Летом преобладают воздушные массы, приходящие с запада, температура воздуха и влажность которых близки к средним многолетним значениям. Достаточно жаркая погода связана с приходом прогретых воздушных масс с континента, движущихся с юго-востока. Похолодания летом связаны с вторжением воздушных масс арктического происхождения с севера-запада. Псков оказывается в тыловой части приходящих циклонов.

Калининградская область является самым западным регионом России. Она расположена недалеко от восточного берега Балтийского моря. Первостепенное влияние на климат данного региона оказывает теплое течение Гольфстрим, которое зарождается на территории Карибского бассейна. Благодаря Гольфстриму в Калининграде теплые зимы.

Климат Калининградской области является переходным от морского к умеренному. В западной части области доминирует климат морской. Для него характерны относительно теплая зима и более прохладное лето. В восточной части области климат умеренно-континентальный. Ему присуще более прохладная зима и более теплое лето по сравнению с побережьем.



Наиболее часто наблюдается ветер западных направлений, который приносит влажные воздушные массы атлантического происхождения. Летом данные воздушные массы более прохладные, зимой более теплые, чем континентальный воздух.

В зимние сезоны на востоке от Калининградской области располагаются области повышенного давления, в то время как в районе Исландии развивается циклоническая деятельность [14]. Активность атмосферной циркуляции увеличивается с октября по февраль. Происходит вынос влажных и относительно теплый воздушных масс с Атлантического океана в системе циклонов, которые перемещаются с запада и северо-запада. Континентальные воздушные массы умеренных широт участвуют в формировании погоды в Калининградской области при распространении Азиатского антициклона. В таком случае наблюдается сухая погода с сильными похолоданиями. Активность циркуляции уменьшается в теплую часть года. Над Евразией формируется обширная область низкого давления, ослабевают деятельность Исландского циклона и усиливается Азорский антициклон. Чаще наблюдаются вторжения южных и юго-западных циклонов. Вынос морского воздуха, который в это время года является холодным, приносит прохладную ненастную погоду с порывистыми ветрами, ливневыми дождями и грозами.

## 2.5. Особенности атмосферной циркуляции Ленинградской области и г. Санкт-Петербург.

Ленинградская область расположена на северо-западе Европейской территории России. Омывается Финским заливом Балтийского моря, Онежским и Ладожским озерами. Климат рассматриваемой территории формируется под влиянием Балтийского моря и Атлантического океана и является переходным от морского к континентальному.

В осенне-зимнее время наблюдается повышенная циклоническая деятельность. Она вызывает преобладание западных и юго-западных ветров, приносящих зимой тепло и осадки.

Главной отличительной чертой климата Санкт-Петербурга является частая смена трёх воздушных масс – континентальной, морской и арктической. С запада, юго-запада и северо-запада приходят морские воздушные массы вместе с атлантическими циклонами. Благодаря им зима относительно теплая, а лето прохладное.

Сухой континентальный воздух поступает с юга, востока и юго-востока. Такая воздушная масса приносит жаркую погоду летом, а зимой сильное похолодание. Летом при сухой континентальной воздушной массе температура воздуха может достигать +30°C.

Самые сильные похолодания наблюдаются при вторжении арктической воздушной массы. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, летом могут наблюдаться заморозки, зимой – наиболее низкие температуры воздуха.

В Санкт-Петербурге в течение всего года преобладает циклоническая циркуляция. Лишь в мае и июле малоградиентные поля имеют повторяемость, превышающую 50%. Можно отметить, в Москве в течение всего года, в основном, преобладает антициклоническая циркуляция, характерная для континентального климата.

Антициклоны в большинстве случаев в рассматриваемый район приходят с запада и северо-запада, однако возможны вхождения других направлений.

В район Санкт-Петербург во все сезоны года циклоны перемещаются с запада, осенью и зимой велика повторяемость перемещения с северо-запада, весной и летом могут наблюдаться выходы юго-западных циклонов.

Циклонические процессы зимой усиливаются и увеличивается повторяемость прохождения атмосферных фронтов через Санкт-Петербург.

Летом количество фронтов уменьшается, но в тыловой части фронтов отмечается большое количество вторичных холодных фронтов.

Зимой при преобладании западных и южных потоков наибольшую повторяемость имеет теплая влажная погода с температурами воздуха от 0 до  $-7^{\circ}\text{C}$ .

Арктические вторжения приносят очень холодную и сухую погоду. Температура воздуха может опускаться до  $-25^{\circ}\text{C}$ . В теплых секторах средиземноморских и атлантических циклонов в Санкт-Петербург приходит очень теплый и влажный воздух. С ними и связаны интенсивные осадки.

В районе Санкт-Петербурга во все сезоны года могут наблюдаться большие отклонения температуры воздуха от среднегодовых значений (норм). Это связано с частотой смены воздушных масс различного происхождения. Периоды с такими отклонениями могут длиться по несколько дней, а иногда и недель, получили название волн тепла и холода [15].

Как правило, зимние волны тепла определяются западным переносом атлантического воздуха. Волны тепла в январе определяются небольшой продолжительностью и наблюдаются, в основном, в начале и в конце месяца. В январе волны холода могут наблюдаться в течение всего месяца, но особенно часто их можно наблюдать в первой половине месяца.

В летних сезонах, в частности в июле, большую повторяемость имеют волны холода, нежели волны тепла. При температуре воздуха, близкой к норме, наблюдается чередование волн холода и волн тепла. Они имеют продолжительность порядка двух-трех дней. Волны тепла наблюдаются в случаях, когда в район Санкт-Петербурга поступают теплые воздушные массы с Поволжья и Средней Азии.

Таким образом, определяющими факторами в формировании климата в Санкт-Петербурге являются циркуляционные процессы. Западный перенос воздушных масс, преобладающий в течение всего года и циклоническая

деятельность являются основной причиной формирования в Санкт-Петербурге климата с хорошо выраженными морскими чертами: прохладным летом, мягкой зимой и достаточно частым выпадением осадков.

### 3 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗИМНЕГО СЕЗОНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

#### 3.1 Постановка цели и задач научно-исследовательской работы.

В последние десятилетия наблюдается увеличение количества зим с неустойчивым термическим режимом и, на этом фоне, регистрируется повышение среднемесячной температуры воздуха и уменьшение значительно холодных дней за зимние периоды [1]. В последнее время наблюдается глобальное изменение климата. После 2000 года появляются годы с аномально высокими температурами воздуха летом и с поздним началом зимы. В 2019 году зимы, с точки зрения климатической, не наблюдалось. Зимний сезон является индикатором глобального потепления и задачей данной работы заключалась в рассмотрении не окончания, а начала зимнего сезона, которое в последние годы стало реагировать на изменение климата. Актуальной задачей научно-исследовательской работы является анализ синоптических условий формирования зимних сезонов в Санкт-Петербурге и их сравнительная характеристика.

Целью научно-исследовательской является анализ динамики термического режима и его синоптических условий, формирующих начало зимнего сезона.

Для решения данной цели нужно решить следующие задачи:

1. Сформировать архив данных по среднесуточной температуре воздуха в г. Санкт-Петербург в период с 1961 по 2020 гг.
2. Рассчитать даты начала зимнего сезона, как даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на понижение методом Хаустова.

3. Проанализировать даты начала зимы за весь период исследования, чтобы выявить возможные изменения. Особое внимание уделить анализу начала зимы за последние 30 лет.
4. За период с 1991 по 2020 гг. проанализировать изменение среднесуточной температуры воздуха до и после даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  и выявить типовые ситуации начала зимнего сезона
5. Для каждого выявленного типа проанализировать синоптические ситуации, формирующие не только температурные режим в день перехода, но и в последующий 10-дневный период
6. Вследствие того, что в 2019 году впервые за весь ряд наблюдений в Санкт-Петербурге не наблюдалась климатическая зима, провести сравнительную оценку зимних периодов 2019-2020 гг. и 2020-2021 гг..

### 3.2. Объект и методы исследования

В ходе научно-исследовательской работы предполагается рассчитать даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения значений при помощи метода Хаустова В.А.. Данный метод активно используется в гидрологии, благодаря чему выявляют границы зимнего сезона при расчете значений снегозапаса. Суть метода заключается в программе, которая отмечает дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на понижение цифрой 0, а дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на повышение цифрой 1.

Полученные даты принимаются за климатическое начало зимнего сезона. Район исследования представлен на рисунке 3.1.

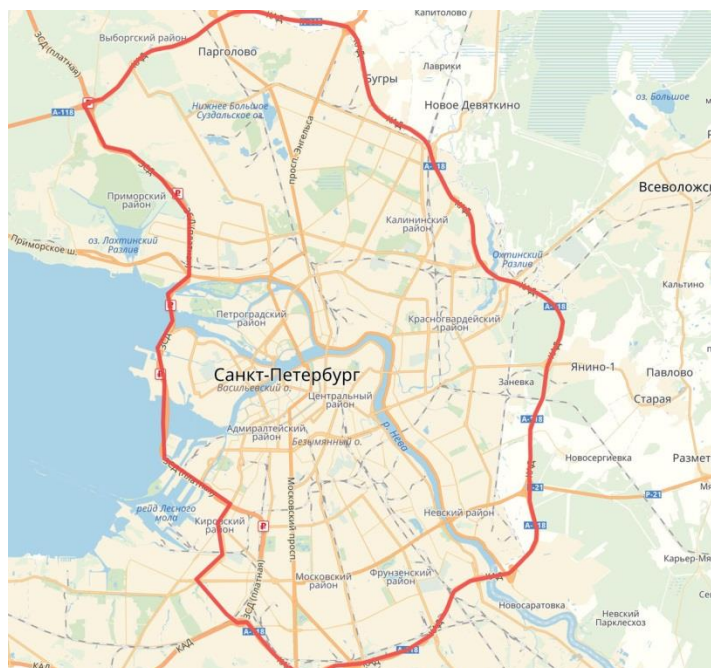


Рисунок 3.1 – Карта исследуемой территории (г. Санкт-Петербург)

С целью расчёта были использованы данные по среднесуточным температурам воздуха из базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) в период с 1960 по 2020 годы на метеорологической станции г. Санкт-Петербург.

### 3.3. Анализ наступления начала зимы в Санкт-Петербурге.

На первом этапе работы были рассчитаны даты начала холодного полугодия в период с 1961 года по 2020 год. Далее, все полученные значения были осреднены и сопоставлены, чтобы выявить возможные изменения. Полученный результат представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Сравнительная таблица осредненный дат начала климатической зимы

Город	Даты начала зимнего сезона	
	С 1961 г. по 1990 г.	С 1991 г. по 2020 г.
Санкт-Петербург	19 ноября	30 ноября

Можно отметить, что за последние 30 лет дата наступления климатической зимы сместилась на 12 дней. Данная закономерность прослеживается и на графике рисунка 3.2.

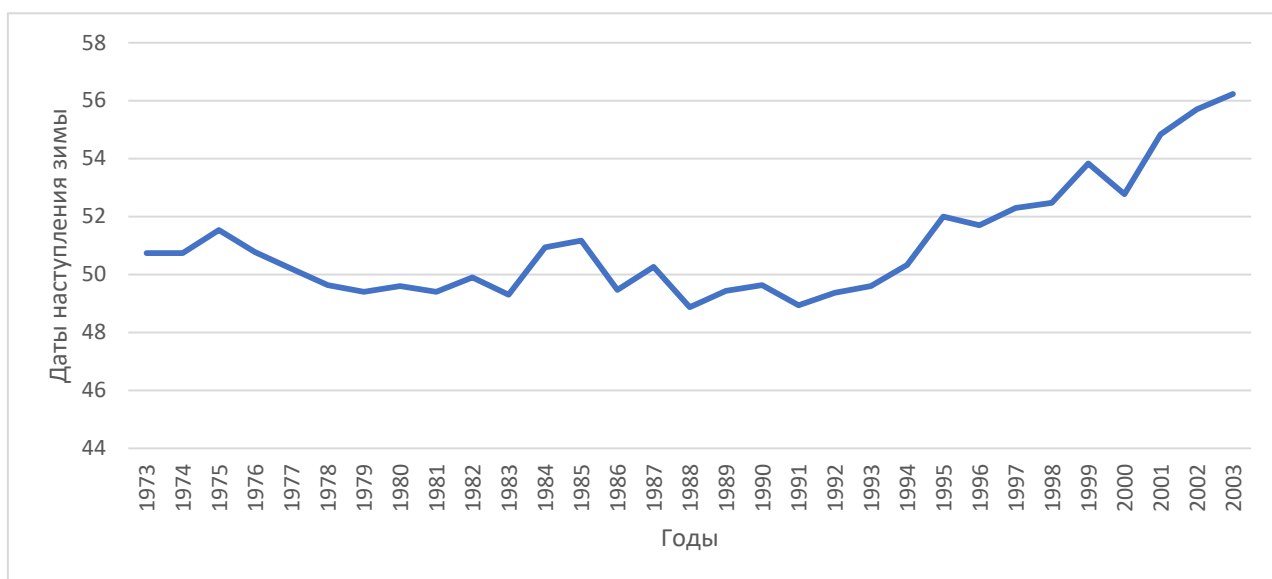


Рисунок 3.2 - Даты наступления зимы в Санкт-Петербурге за период с 1960 г. по 2020 г.

Скользящее среднее. Окно осреднения 30 лет.

При проведении анализа полученных не осредненных данных, можно сделать вывод, что самое раннее наступление зимнего сезона за выбранный период наблюдалось 24 октября 1968 года. Самое позднее наступление зимы отмечалось 7 января 2018 года (наступление зимы в 2017 году).



Такая достаточно значительная тенденция смещения даты начала зимы наблюдается в новом базовом периоде. По полученным данным можно заметить, что позднее наступление зимы в старом базовом периоде наблюдалось 6 раз (5 декабря 1966 года, 24 декабря 1972 года, 29 декабря 1974 года, 12 декабря 1976 года, 4 декабря 1986 года). Также можно отметить, что в данный период зимний сезон наступал в октябре (24 октября 1968 года, 29 октября 1970 года, 30 октября 1980 года, 30 октября 1988 года). В новом базовом периоде происходит достаточно сильное смещение даты наступления зимы. Необходимо отметить, количество дат, когда зимний сезон наступал в декабре, возросло в 2 раза. Наблюдались случаи, когда зима, с точки зрения климатической, наступала в январе.

Ввиду такой изменчивости, следующим шагом в данной научно-исследовательской работе был анализ изменчивости среднесуточной температуры воздуха до и после даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения значений, чтобы выявить типовые ситуации.

### 3.4 Анализ различных типов начала зимнего климатического сезона

Проанализировав составленный архив данных, были построены графики и были выявлены различные типы изменения температуры воздуха после даты начала зимы. В старом базовом периоде наблюдалось 2 типа начала зимы: уверенный переход среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  и возвраты тепла после перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ . Для уверенного перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  характерно достаточно уверенное понижение температуры воздуха в течение 10 дней после даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ . Температура воздуха опускается ниже  $-6^{\circ}\text{C}$  и в ближайшие дни не возвращается к  $0^{\circ}\text{C}$ . В некоторых случаях среднесуточная температура воздуха достигает  $-15^{\circ}\text{C}$ , в одном случае достигла  $-20^{\circ}\text{C}$  (зимний сезон 2015 года).

Противоположный случай – второй тип наступления зимы. Такому типу наступления зимы характерен устойчивый переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения значений, но в ближайшие 10 дней наблюдает повышение температуры воздуха до положительных значений. В отдельных случаях температура воздуха едва доходила до  $+5^{\circ}\text{C}$ . Однако такой возврат тепла не делает дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  неустойчивой, так как амплитуда положительных температур воздуха менее меньше, чем отрицательных.

В новом базовом период мы выявили еще один тип наступления зимнего сезона. Для такого типа характерно понижение температуры воздуха до  $-4^{\circ}\text{C}$  без последующего перехода температуры воздуха до положительных значений. Температура воздуха держится очень близко к  $0^{\circ}\text{C}$  в течение 10 дней. Такой тип перехода начал появляться только в последние годы.

Рассмотрим каждый тип отдельно.

3.4.1. Уверенный переход среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ .

Данный тип начала зимы сопровождается уверенным понижением температуры воздуха после даты перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  в течение 10 дней. Характерная ситуация наблюдается в 2010 и 2015 году. По графику рисунка 3.3 можно отметить, что температура воздуха в 2010 году понижается до  $-15^{\circ}\text{C}$ .

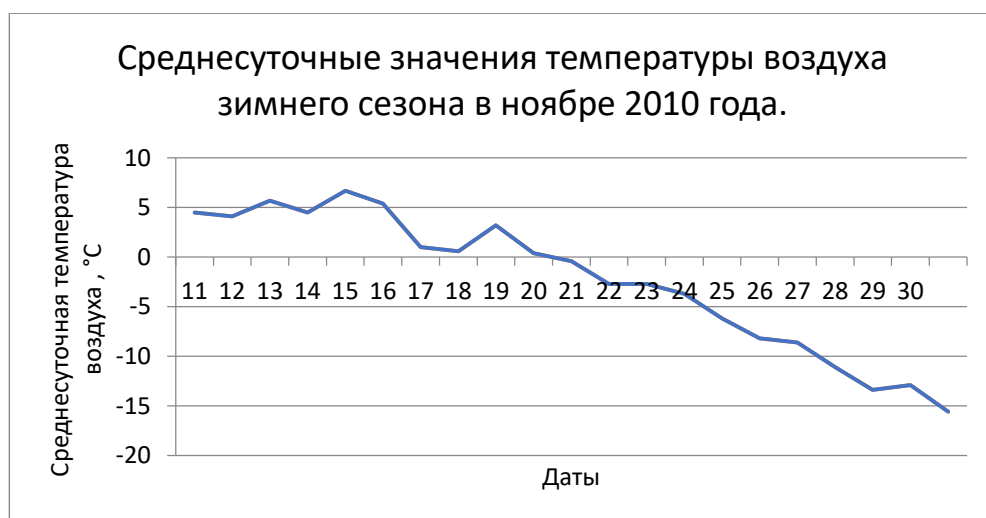
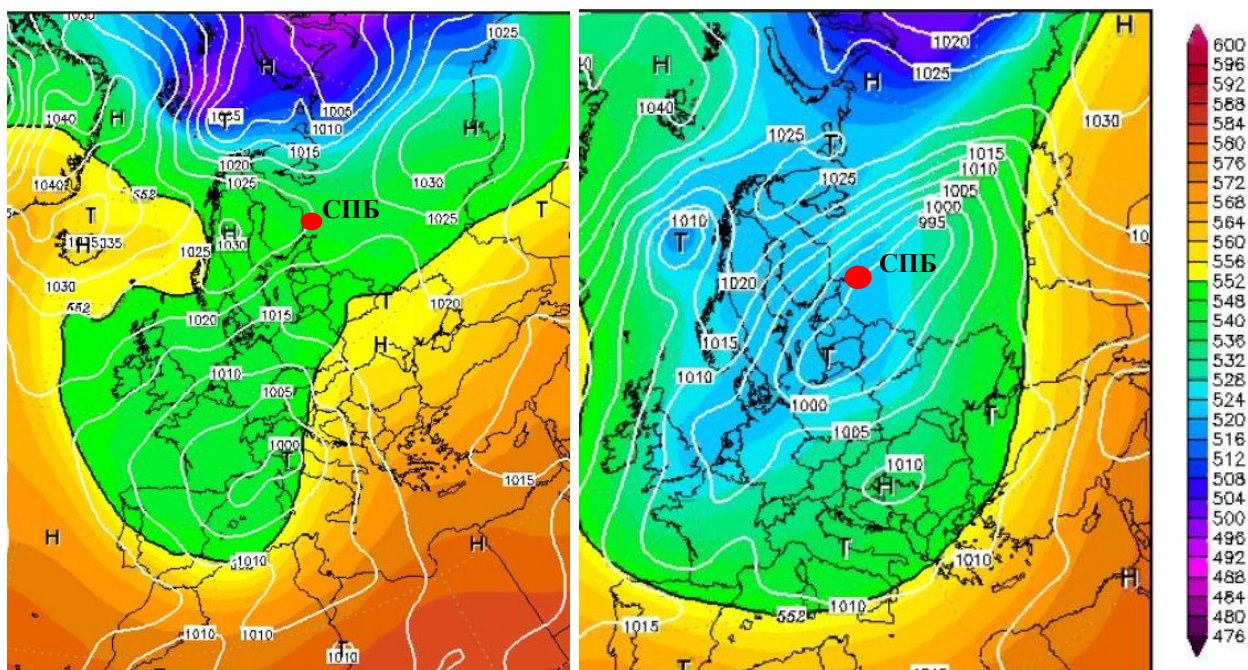


Рисунок 3.3 – Термический режим ноября 2010 года

Данная ситуация связана с тем, что в последние годы были зимы, когда преобладала меридиональная форма циркуляции (ей свойственны арктические вторжения и южные циклоны). На карте АТ-500, рисунка 3.4, представлена ситуация для уверенного перехода, когда переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  был вызван седловиной (рисунок а), а затем отрицательная температура воздуха удерживалась и понижалась северной частью южного циклона (рисунок 3.4, б).



а)

б)

Рисунок 3.4 – Синоптическая ситуация, характерная для первого типа наступления зимы. Зимний сезон в 2010 году. АТ-500. (а) седловина (21 ноября 2010 г.); (б) южный циклон (25 ноября 2010 г.)

Мы можем наблюдать, как южный циклон влияет на температуру воздуха в Санкт-Петербурге, то есть город оказывается в его северной части. Ситуация не стандартная, так как обычно южные циклоны приносят теплый и влажный воздух. В нашем случае циклон, по нашему мнению, мог регенерировать.

В случае зимы 2015 года среднесуточная температура воздуха опускалась до  $-20^{\circ}\text{C}$ , это можно наблюдать на графике рисунка 3.5.

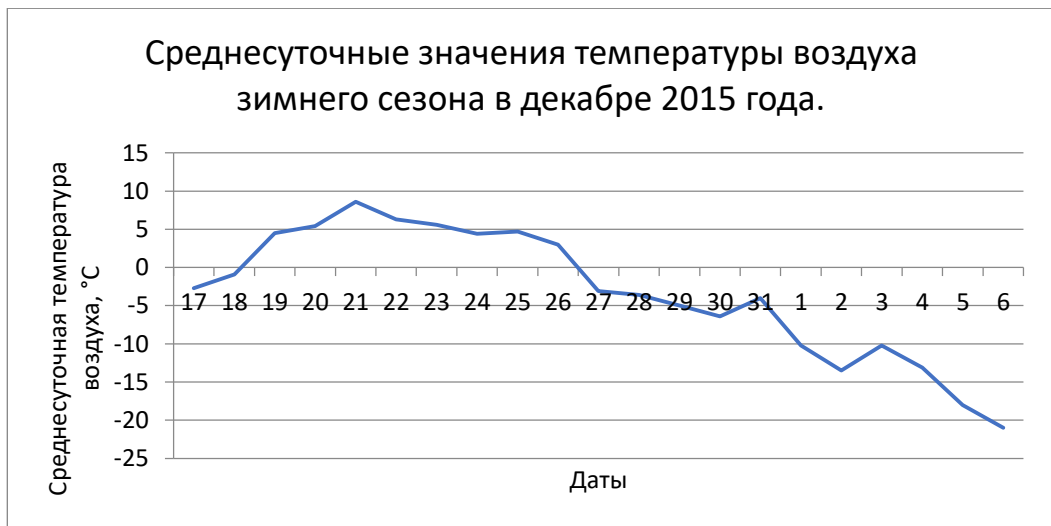


Рисунок 3.5 – Термический режим декабря 2015 года.

Рассмотрим синоптическую ситуацию начало теплого периода до устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ , которая представлена на рисунке 3.6, совмещенном приземной картой и картой АТ-500.

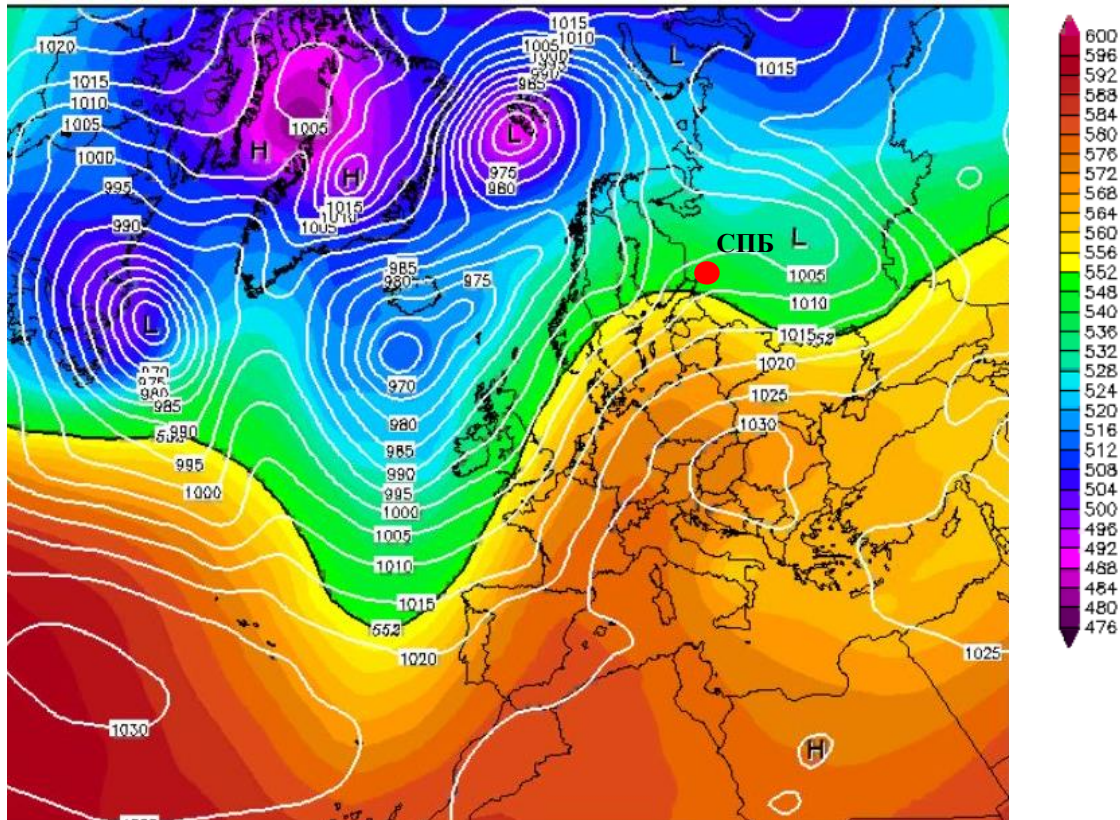


Рисунок 3.6 – Синоптическая ситуация теплого периода до устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на понижение в декабре 2015 г.



Начало теплого периода перед датой устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на понижение нужно описать следующей синоптической ситуацией. Над севером Атлантики наблюдается три глубоких циклона, объединенных общими изобарами: один циклон с центром над Лабрадорским морем с давлением в центре 960 гПа; второй циклон с центром южнее Исландии с давлением в центре 965 гПа; третий циклон с центром в районе Шпицбергена с давлением в центре 970 гПа. На юге Европы располагается обширный антициклон. Зона между трёхцентровой депрессией над севером Атлантикой и антициклоном имеет высокий градиент. Именно в передней части этой зоны находится Санкт-Петербург.

В дальнейшем наблюдается продвижение циклонической депрессии в восточном направлении, что представлено на карте АТ-500 рисунка 3.7.

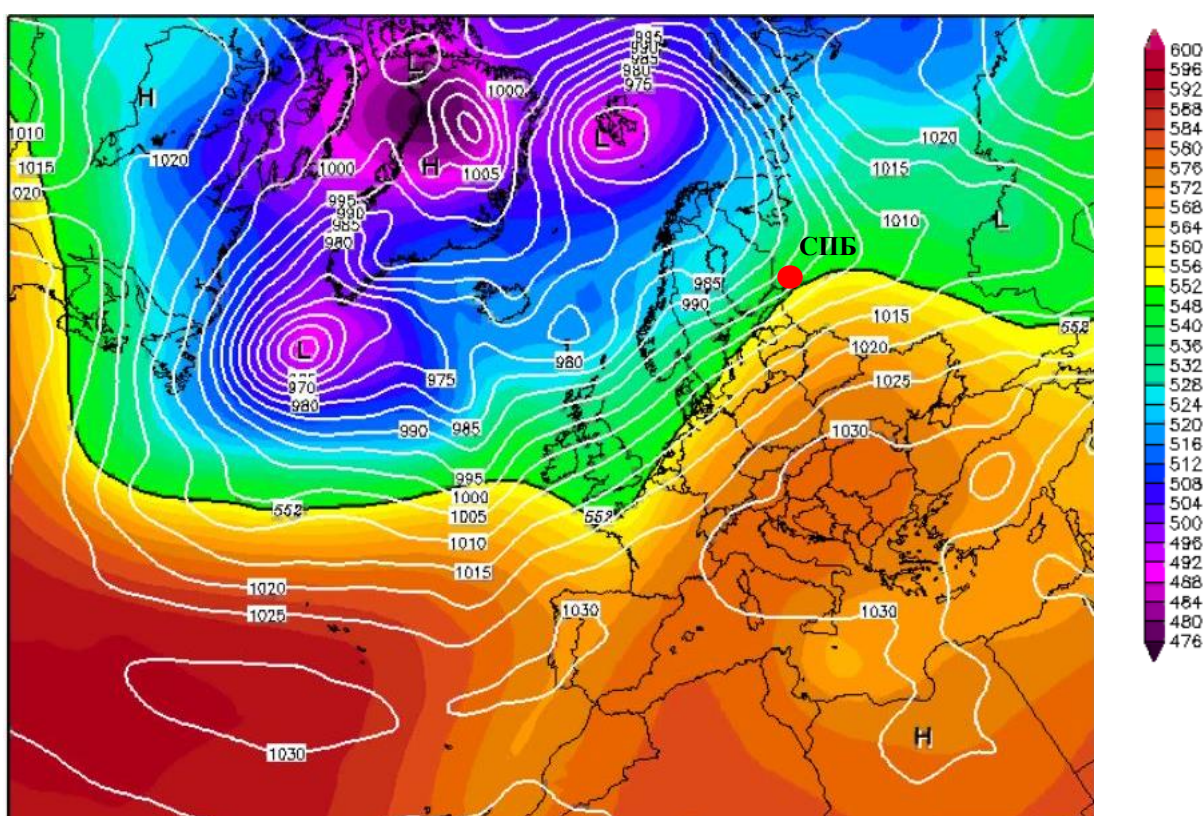


Рисунок 3.7 - Синопогическая ситуация теплого периода до устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на понижение в декабре 2015 г.

Высокоградиентное поле южной части этого большого барического образования с тремя центрами находится в районе южной Балтики, Великобритании, Санкт-Петербурга и в центральной части северной Атлантики. Ближайшие несколько дней погода в Санкт-Петербурге с высокими значениями среднесуточной температуры воздуха будет определяться южной частью вышеописанного барического образования.

Рассматривая карту АТ-500 на том же рисунке 3.7, можно сделать вывод о том, что высотная фронтальная зона на высоте 5 км располагается в районе Санкт-Петербурга, то есть относительно своего среднего положения она занимает аномально высокое положение. Соответственно, на высоте 5 км над Санкт-Петербургом также наблюдаются высокие значения температуры воздуха, связанные с тропической воздушной массой.

В дальнейшем над северной Атлантикой и Северным Ледовитым океаном наблюдался активный циклогенез, но Санкт-Петербург продолжал оставаться в южной части циклонической депрессии.

На рисунке 3.8 представлена синоптическая карта для последнего дня теплого периода, то есть перед началом зимнего сезона. Санкт-Петербург находится в южной части глубокого циклона, однако, данный циклон имеет меридионально вытянутую центральную часть. На высотной карте АТ-500 ведущий поток (ВФЗ) ориентирован широтным образом, то есть циклон над Санкт-Петербургом будет двигаться на восток.





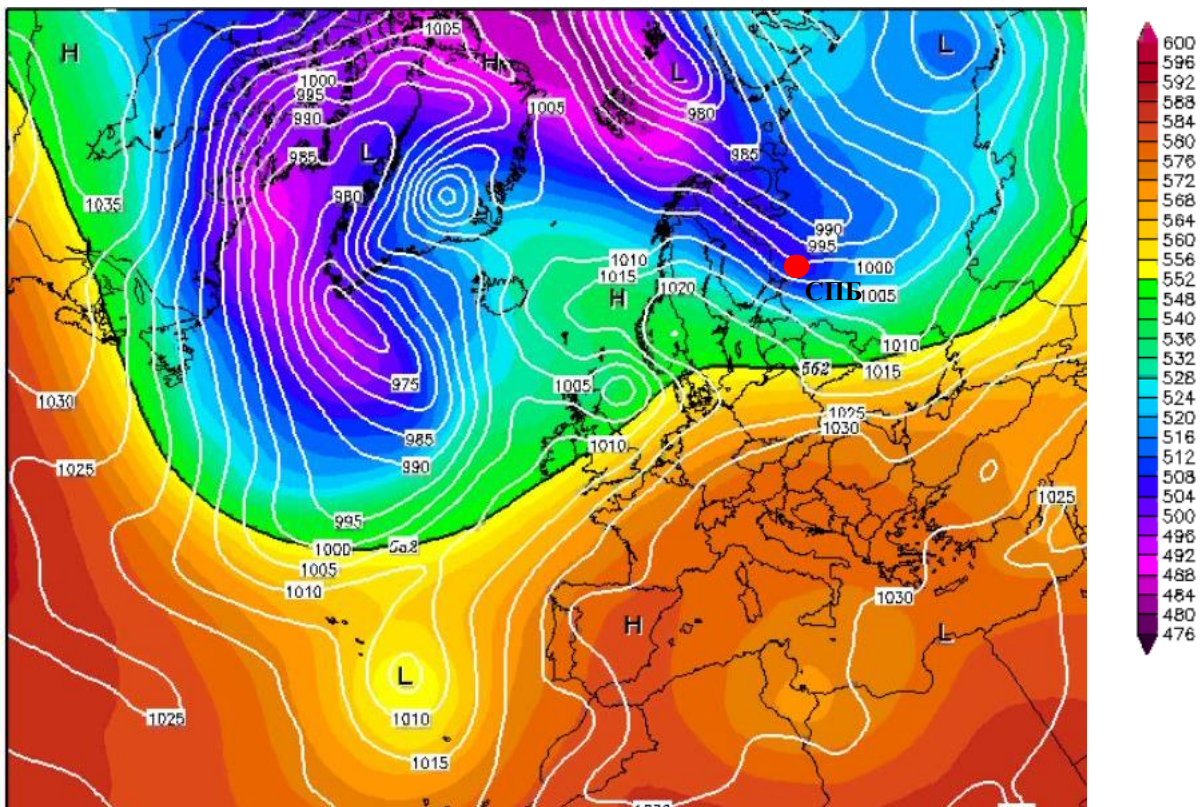
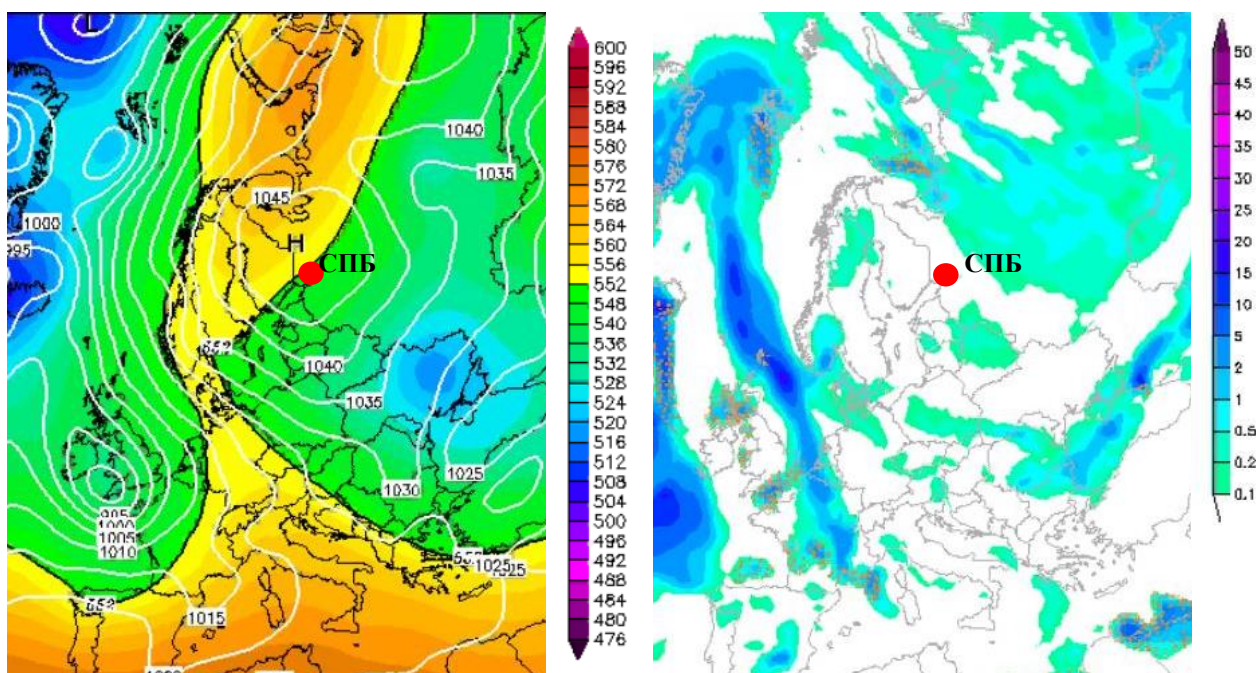


Рисунок 3.9 - Синоптическая ситуация, характерная понижению температуры воздуха ниже 0°C в декабре 2015 г.

После того, как циклон, тыловая часть которого спровоцировала понижение температуры воздуха ниже 0°C, заполнился восточнее Белого моря, над Санкт-Петербургом устанавливается антициклоническая погода. Санкт-Петербург находится в центральной части антициклона, с давлением в центре 1045 гПа. Центральная часть антициклона установилась над территорией всего Кольского полуострова до юга Балтики. Малоградиентное поле и отсутствие облачности способствует дальнейшему понижению температуры воздуха, что представлено на рисунке 3.10.



a)

б)

Рисунок 3.10 - Синоптическая ситуация, характерная дальнейшему понижению температуры воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , вызванное антициклоном в декабре 2015 г. (а) АТ-500; (б) карта распределения осадков

Антициклон медленно, со скоростью 32 км/ч, продвигается в восточном направлении в течение трех суток. Низкие температуры воздуха были связаны с длительной антициклонической деятельностью и малоградиентными полями температуры.

Санкт-Петербург в течение 7 суток находился под влиянием различных антициклонических барических образований. Самое длительное время Санкт-Петербург находился в их центральных частях.

Зимним сезоном 2019 года наблюдалась нестандартная синоптическая ситуация. После даты устойчивого перехода ниже нуля температура воздуха удерживалась и опускалась северной частью южного циклона. За весь рассмотренный период, то есть 60 лет, такая ситуация наблюдалась всегда 2 раза. В случае 2015 года, понижение температуры воздуха было вызвано тыловой частью циклона. В дальнейшем понижение происходило за счет

нахождения Санкт-Петербурга в центральной части антициклона. Такая ситуация встречается довольно часто.

### 3.4.2. Возвраты тепла после даты устойчивого перехода

Рассмотрим второй тип начала зимнего сезона в Санкт-Петербурге. Данный тип начала зимы определяется уверенным переходом среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  и последующим её увеличением до положительных значений в течение 10 дней после даты перехода. В таких случаях дату перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  нельзя назвать неустойчивой, так как положительные значения температуры воздуха по амплитуде менее меньше отрицательных. Характерные ситуации такого типа наблюдались в 1979 году и в 2003 году.

По графику рисунка 3.11 можно наблюдать ход температуры воздуха за 10 дней до даты устойчивого перехода, в дату перехода (28 ноября 1979 г.) и в последующие 10 дней после даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ .

Необходимо отметить, в день наступления зимы в 1979 году, 28 ноября, температура воздуха составляла  $0^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем, 1 декабря, она опускалась до  $-4,3^{\circ}\text{C}$  и буквально через день, 3 декабря, она повысилась до значения  $+3,5^{\circ}\text{C}$ .

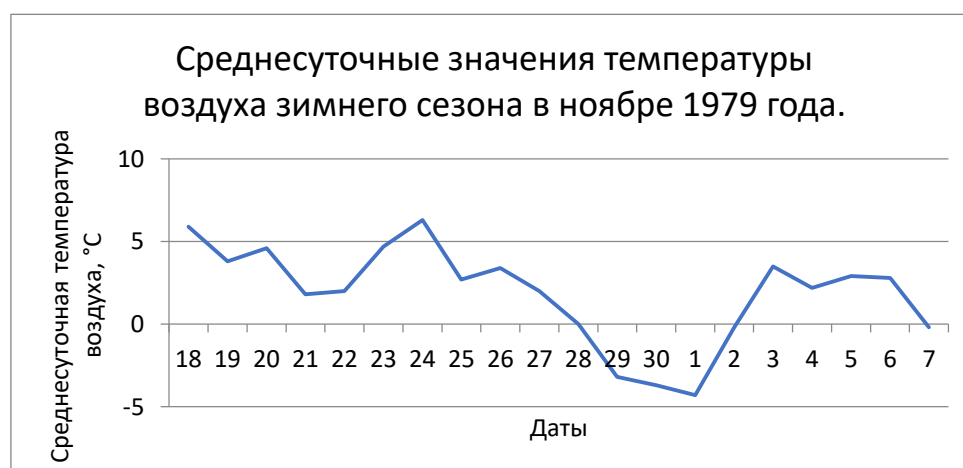


Рисунок 3.11 – Термический режим ноября 1979 года.

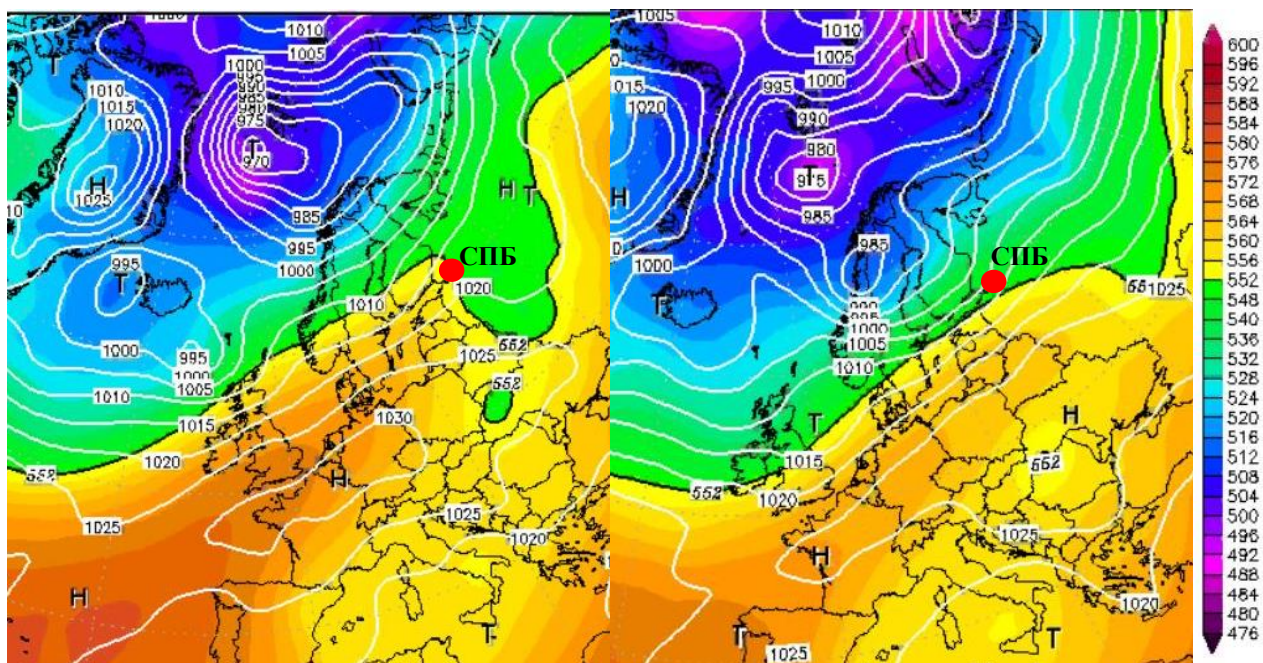
В ходе анализа термического режима до и после перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в 1979 году в Санкт-Петербурге были проанализированы синоптические карты с интервалом в 6 часов, чтобы оценить синоптическую ситуацию до начала зимы и ситуацию после.

Рассмотрим синоптическую ситуацию за 10 дней до перехода. Десятидневный период выбран в связи с тем, что это является естественным синоптическим периодом по Мультановскому.

Синоптическая ситуация в течение 10 дней до устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  была связана с прохождением серии циклонов. Санкт-Петербург наиболее часто оказывался в южной части циклонов, которые были сформированы в районе Исландии и Шпицбергена.

Например, 22 ноября 1979 года в Санкт-Петербурге наблюдались положительные температуры воздуха в связи с южной частью многоцентровой депрессии, с центрами в районе Шпицбергена и запада Исландии. На следующий день, 23 ноября 1979 года, наблюдалась аналогичная ситуация, что можно заметить на карте АТ-500 рисунка 3.12. Практически все дни до перехода Санкт-Петербург находился в южной части циклона, изменения температуры были связаны с изменением конфигурации изобар южного сектора циклона.





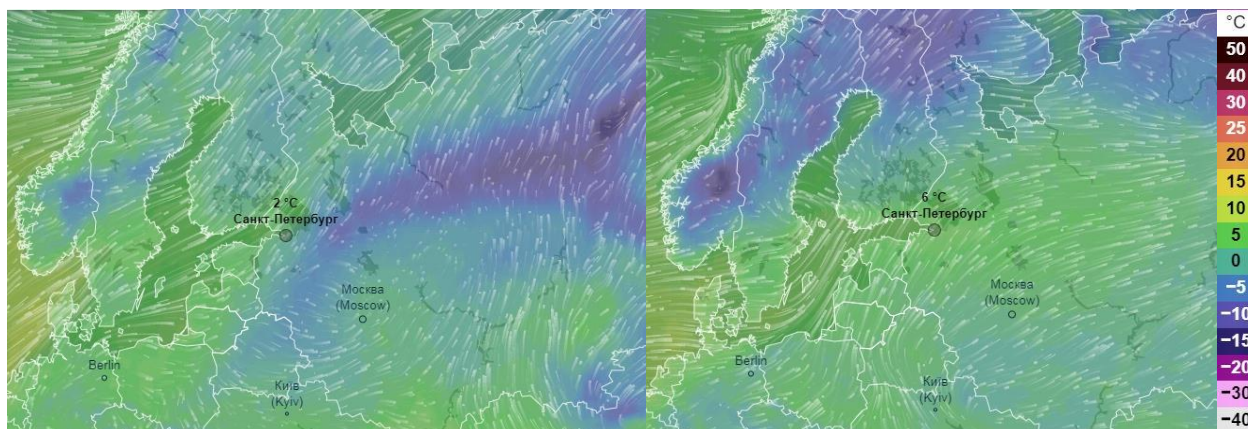
а)

б)

Рисунок 3.12 - Синоптическая ситуация, характерная теплому периоду до понижения температуры воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$  в ноябре 1979 г. (а) 22 ноября 1979 г.; (б) 23 ноября 1979 г.

Из всех дней до устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ , 24 ноября наблюдалась самая высокая температура воздуха за этот период -  $+6,3^{\circ}\text{C}$ .

Проанализировав карты воздушных потоков можно сделать вывод о том, что воздушные потоки 23 ноября двигались с Дании и юга Балтики. В день, когда наблюдалась наиболее высокая температура воздуха  $+6,3^{\circ}\text{C}$ , 24 ноября, потоки двигались с юго-запада Украины и Беларуси, что прослеживается на карте ветровых потоков рисунка 3.13.



а)

б)

Рисунок 3.13 – Визуализация ветровых потоков модели реанализа

Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, характерных для описания поля ветра в Санкт-Петербурге. (а) 23 ноября 1979 г.; (б) 24 ноября 1979 г.

Над Норвежским морем 26 ноября 1979 года начинается активный циклогенез. Образуется отдельный центр со значительными низкими значениями давления - 975 гПа. Циклон начинает двигаться не с запада на восток, а на юго-восток, за счёт этого Санкт-Петербург оказывается в его тыловой части. Движение этого циклона на юго-восток формирует резкое понижение температуры воздуха. Данный циклон занимает территорию от юга Балтики до Белого моря.

Циклон активно продвигается от места зарождения до Санкт-Петербурга до 27 ноября. В дальнейшем он начинает окклюдироваться, становится неподвижным и в этот момент Санкт-Петербург находится в его тыловой части. В процессе окклюдирования циклон регенирирует, возникает два центра: один в районе Санкт-Петербурге, второй над Архангельской областью. За счет того, что эти два центра имеют общие изобары, воздух в Санкт-Петербург поступает с Белого моря, что понижает температуру воздуха ниже нуля, что можно отметить на карте АТ-500 рисунка 3.14.

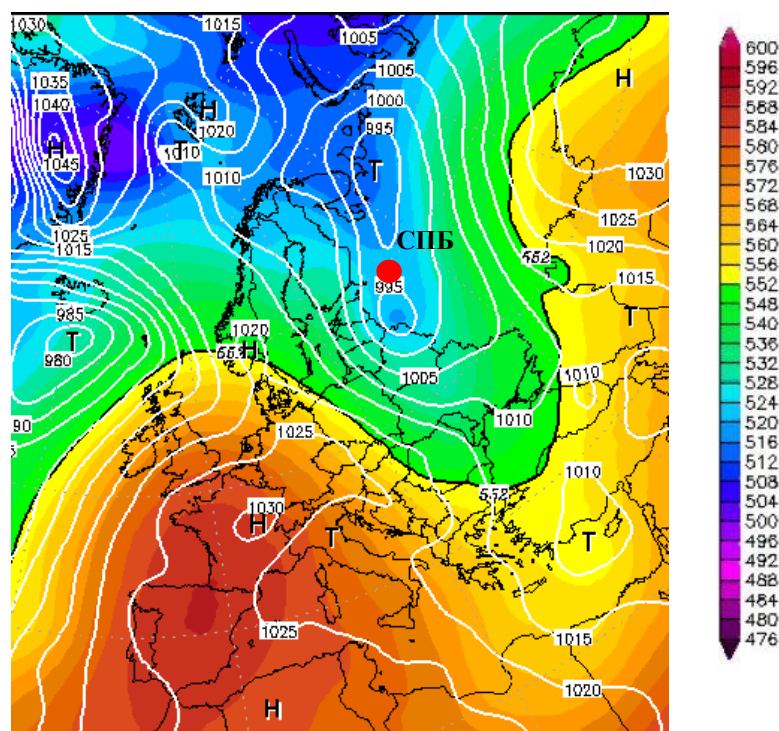


Рисунок 3.14 - Синоптическая ситуация, характерная понижению температуры воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , вызванным тыловой частью регенирующего циклона в ноябре 1979 г.

В дальнейшем, циклон окклюдируется и уже к вечеру 29 ноября Санкт-Петербург оказывается под действием поля высокого давления от антициклона над югом Европы, что прослеживается на рисунке 3.15

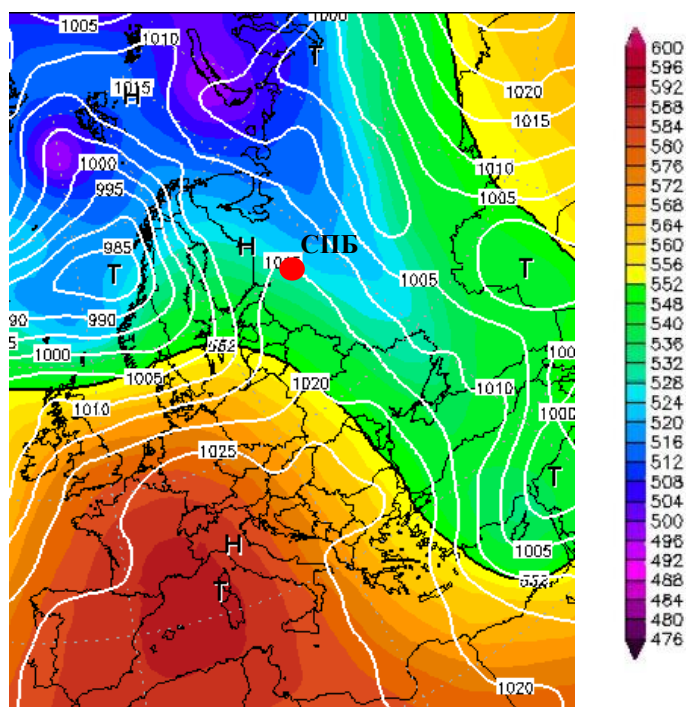


Рисунок 3.15 – Синоптическая ситуация, характерная понижению температуры воздуха после даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в ноябре 1979 г., вызванным гребнем антициклона.

После прохождения гребня антициклона, Санкт-Петербург вновь оказывается под действием атлантического циклона. Санкт-Петербург 30 ноября оказывается в подобной ситуации, в тыловой части этого циклона, что показано на карте АТ-500 рисунка 3.16. Данный циклон занимает территорию над средней полосой России.



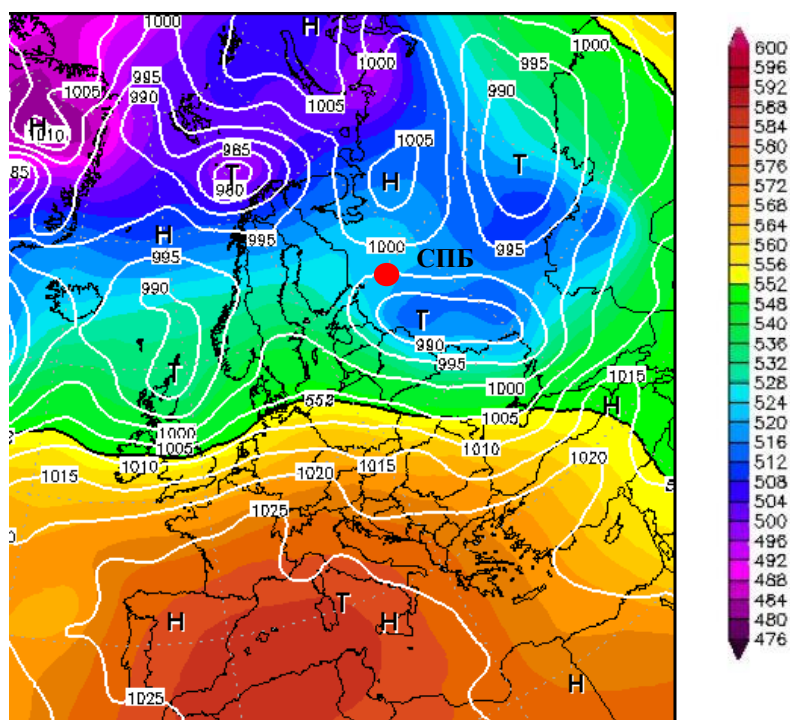


Рисунок 3.16 - Синоптическая ситуация, характерная дальнейшему понижению температуры воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , вызванным тыловой частью циклона в ноябре 1979 г.

В следующие сутки, 1 декабря, Санкт-Петербург находится в седловине, в малоградиентном поле, что сопутствует наиболее низким температурам после устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ . Данная синоптическая ситуация представлена на карте АТ-500, рисунка 3.17.

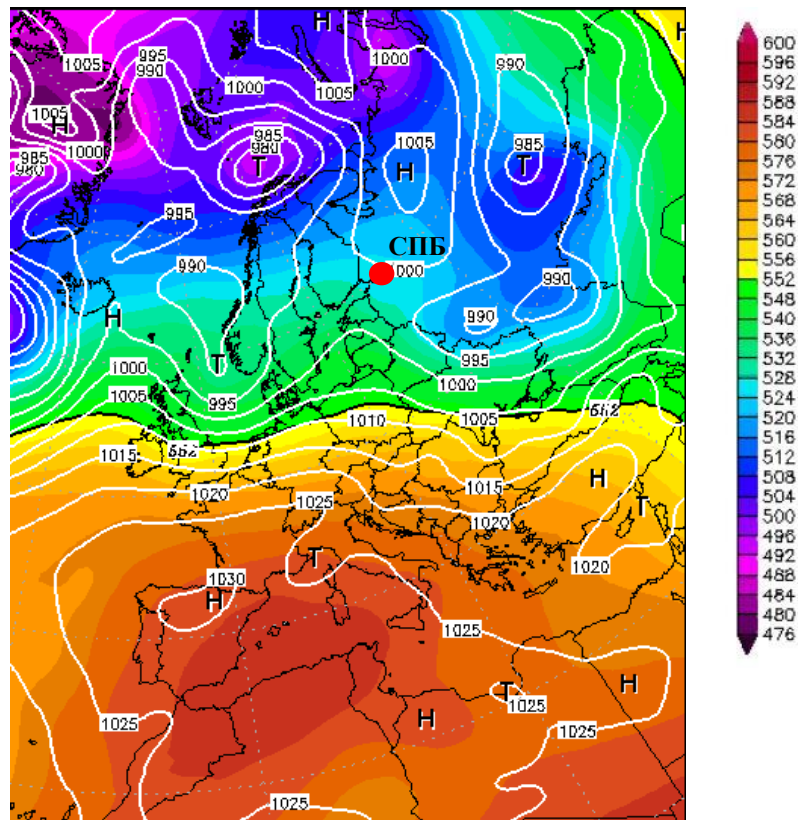


Рисунок 3.17 – Синоптическая ситуация, характерная наиболее низким температурам воздуха после перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в ноябре 1979 г., вызванным седловиной

Потепление с переходом, который не являлся устойчивым выше  $0^{\circ}\text{C}$  связано с передней частью обширной циклонической депрессии над Атлантическим океаном. В Санкт-Петербурге наблюдались ветра южных направлений. В последующие сутки Санкт-Петербург опять оказывает под действием южной части циклона, что формирует положительные температуры воздуха после перехода, что можно отметить, анализируя поле температуры на рисунке 3.18, однако они меньше по амплитуде, чем понижения, поэтому дата начала зимы в 1979 году является устойчивой.

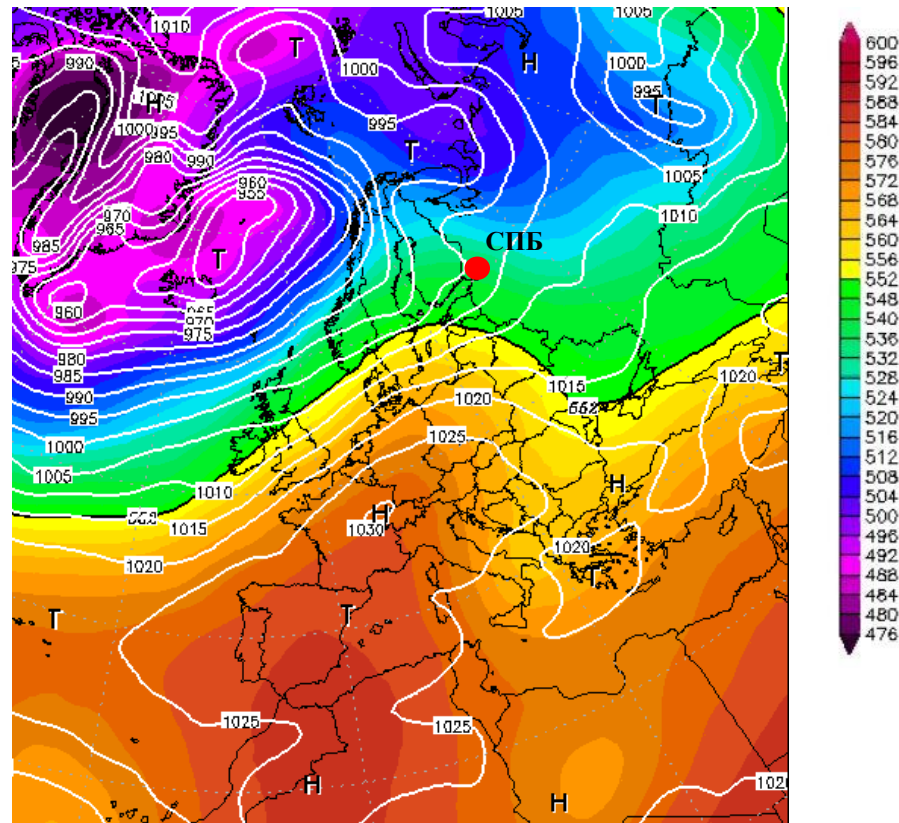


Рисунок 3.18 - Синоптическая ситуация, характерная повышению температуры воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$  в ноябре 1979 г., вызванное южной частью циклона

Рассмотрим синоптическую ситуацию, характерную для наступления зимнего сезона в 2003 году. Дата наступления климатической зимы в 2003 году - 6 декабря. По графику рисунка 3.19 можно заметить возвраты тепла в течение 10 дней после даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ .

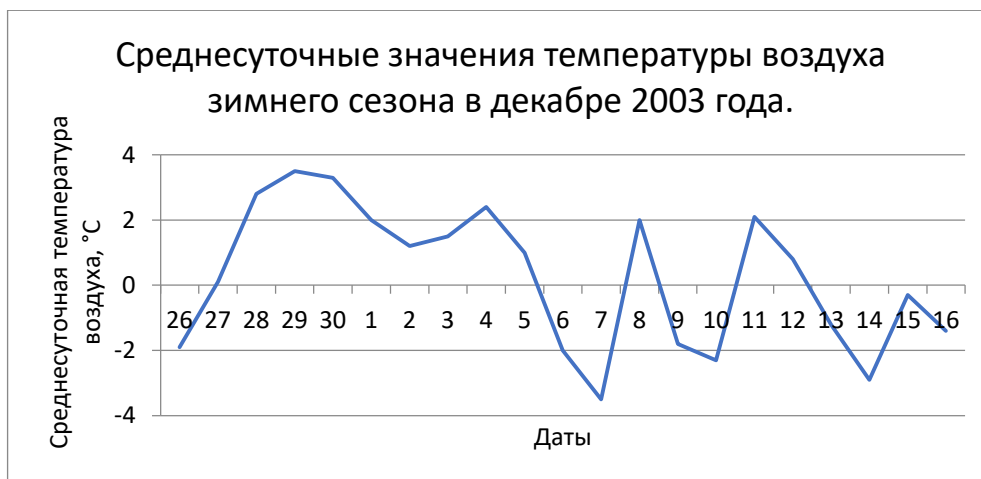
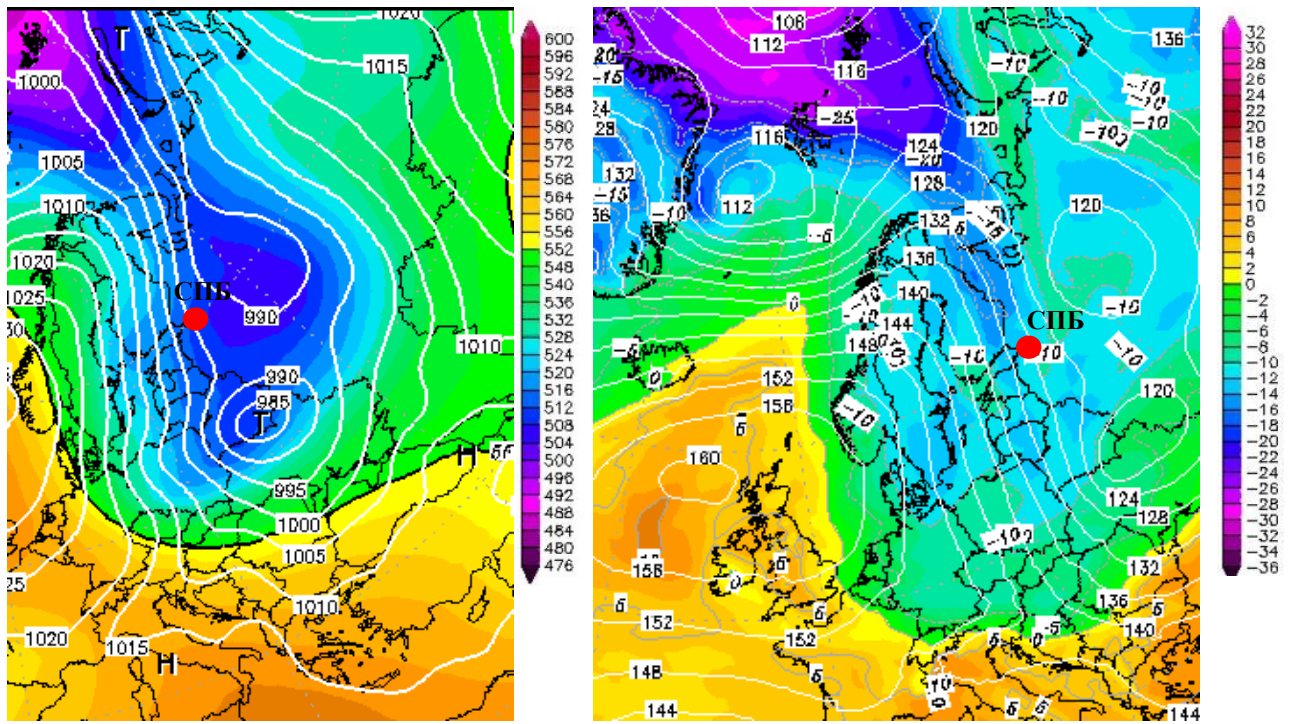


Рисунок 3.19 – Термический режим декабря 2003 года.

Устойчивый переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  связан с высокоградиентным полем в тыловой части меридионально вытянутого двухцентрового циклона. Это можно заметить на карте АТ-500 рисунка 3.20 (а). На карте АТ-850 того же рисунка 3.20 (б), показано поле температуры. Мы видим, что понижение температуры воздуха связано с движением воздушных масс со стороны Кольского полуострова и Белого моря.



а)

б)

Рисунок 3.20 – Синоптическая ситуация, характерная устойчивому переходу температуры воздуха через 0°C в декабре 2003 г. (а) АТ-500; (б) АТ-850

Необходимо обратить внимание на мощный теплый сектор, который связан с циклоном, находящимся в районе Шпицбергена. Именно с этим циклоном будет связан возврат тепла через один день после перехода. Воздушные массы будут поступать с районов Северного моря и Великобритании, в которых в настоящий момент будет находиться очаг тепла, то есть северо-западные потоки принесут положительные температуры воздуха, что прослеживается на карте АТ-850 рисунка 3.21

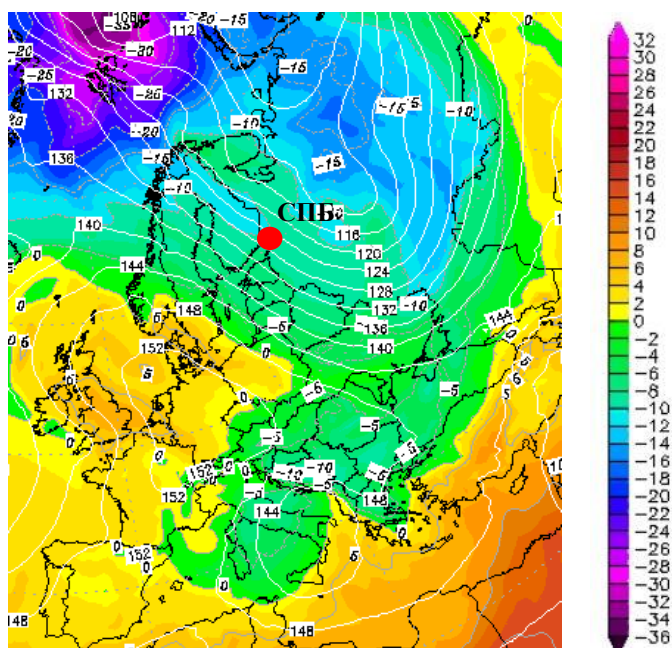


Рисунок 3.21 - Синоптическая ситуация, характерная повышению температуры воздуха до положительных значений после даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в декабре 2003 г.

Температура воздуха  $+2^{\circ}\text{C}$  в Санкт-Петербурге не сможет сделать дату начала зимы неустойчивой, потому что опускалась температура до  $-4^{\circ}\text{C}$ . Амплитуда положительных температур воздуха меньше, чем отрицательных. Такие ситуации, связанные с теплыми секторами циклонов, которые серией идут один за другим и сопутствуют второму типу начала зимы.

Рассматривая зиму 1979 года, теплый период до даты устойчивого перехода температуры воздуха ниже нуля был связан с южной частью циклона. Синоптические ситуации, связанные такими теплыми периодами встречаются и в вышеописанном типе наступления зимы 2003 г. и не является частным случаем. Устойчивый переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  и в случае 1979 г., и в случае 2003 г. был вызван тыловой частью меридионально вытянутого двухцентрового циклона. Данная ситуация также не является частным случаем и встречается достаточно часто.



### 3.4.3. Температура воздуха около 0°C после даты перехода

Данный тип наступления зимнего сезона начал появляться только в последние годы. Температура воздуха переходит через 0°C на понижение, нет возвратов тепла выше нуля, но температура воздуха держится очень близко к 0°C в течение 10 дней после даты устойчивого перехода.

Рассмотрим синоптическую ситуацию, обуславливающую такой тип начала зимы на примере 1992 года.

На графике рисунка 3.22 можно отметить 6 ноября как дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C на понижение значений.

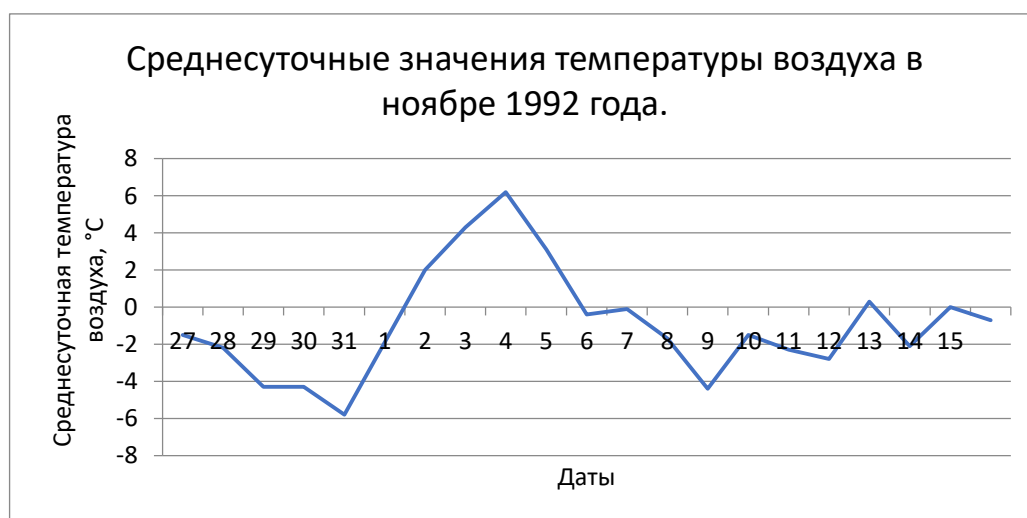


Рисунок 3.22 – Термический режим ноября 1992 г.

До устойчивого перехода наблюдались условия для возникновения ультраполярного вторжения, однако, над районом Санкт-Петербурга находилось малоградиентное поле тыловой части циклона. Вследствие того, что барическое поле циклона было малоградиентное, в Санкт-Петербурге наблюдались положительные температуры воздуха, но незначительные. В районе Санкт-Петербурга и восточнее Санкт-Петербурга наблюдался очаг тепла с положительными значениями температуры воздуха.

Над Кольским и Скандинавским полуостровом располагался гребень антициклона, с формирующимся в этом гребне ядром. Сам антициклон имеет центр с давлением 1030 гПа в районе Франции, что можно наблюдать на карте АТ-500 рисунка 3.23.

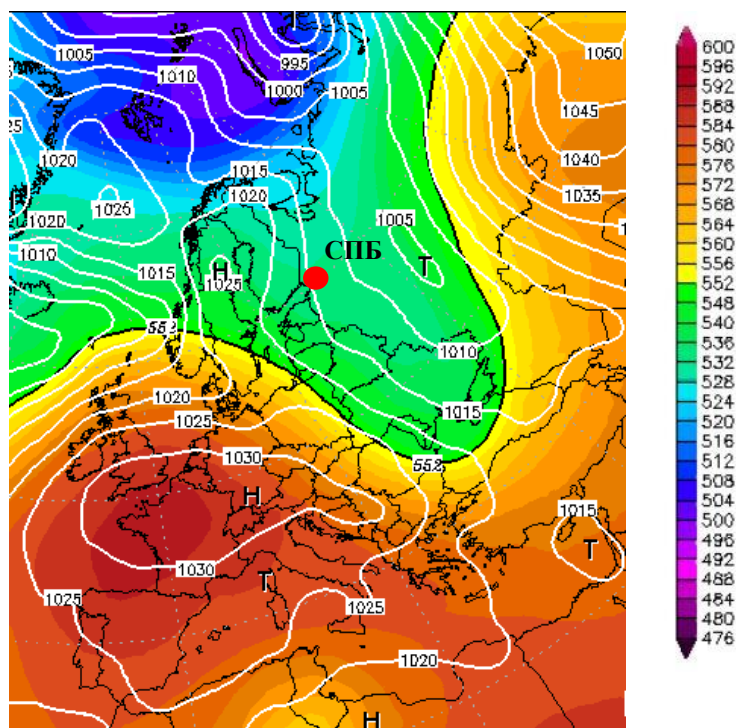


Рисунок 3.23 - Синоптическая ситуация, характерная положительным температурам воздуха до устойчивого перехода ниже нуля в ноябре 1992 г.

В дальнейшем, в момент устойчивого перехода температуры воздуха ниже нуля, увеличивались градиенты барического поля в связи с тем, что воздушные массы в гребень антициклона поступали с юга Европы, а в тыловую часть циклона с арктического побережья. Увеличивались контрасты температур воздуха – увеличивались градиенты барического поля. Соответственно, это создало условия для продвижения очага холода с Белого моря в тыл циклона и в переднюю часть гребня. Санкт-Петербург находился в юго-западной части данного очага холода и температура воздуха понизилась ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , что можно отметить на карте АТ-850 рисунка 3.24.



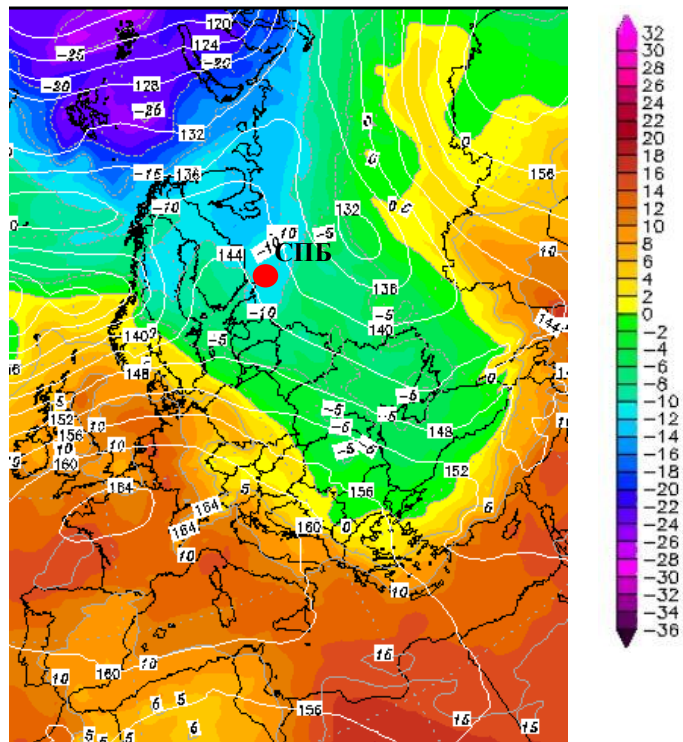
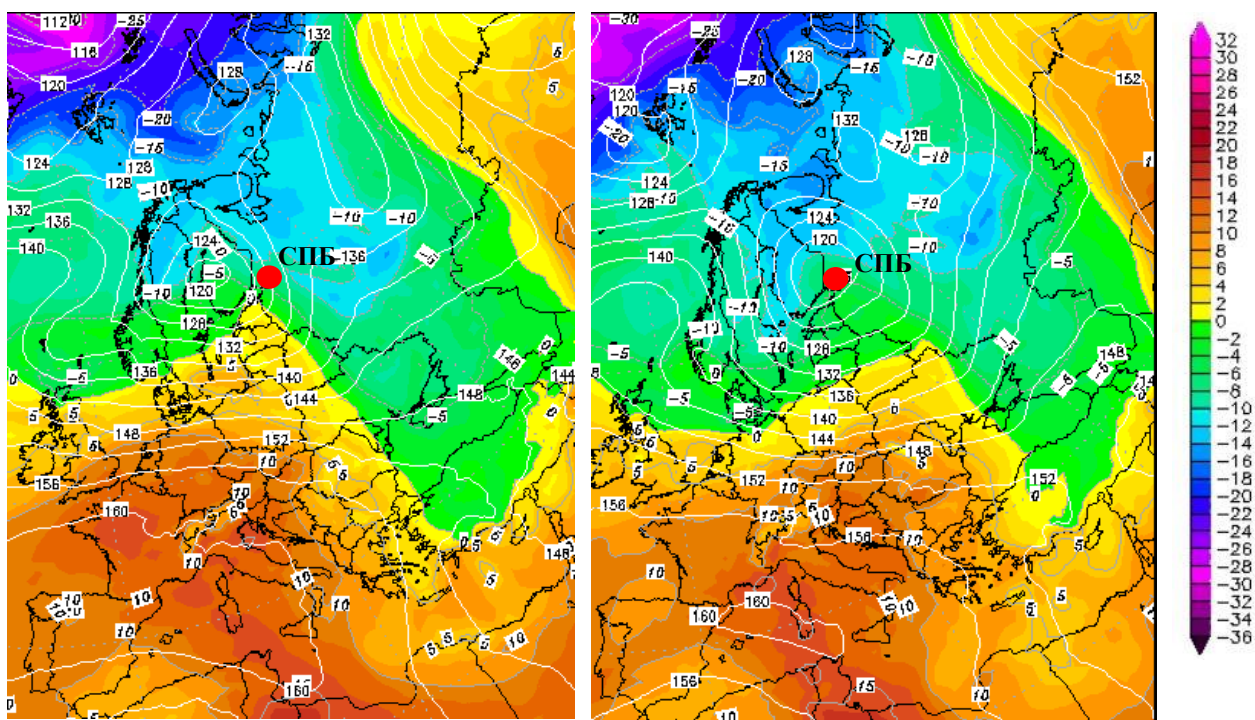


Рисунок 3.24 – Синоптическая ситуация, характерная понижению температуры воздуха ниже нуля в ноябре 1992 г.

В дальнейшем, положение температуры воздуха около  $0^{\circ}\text{C}$  было связано с тем, что Санкт-Петербург оказался в передней части циклона до теплового фронта. Однако траектория циклона проходила таким образом, что теплый сектор продвигался южнее Санкт-Петербурга, и Санкт-Петербург из передней части циклона (а) попал в центральную часть циклона (б), это наблюдается на карте АТ-850 рисунка 3.25. Значительного потепления, связанного с теплым сектором циклона, не произошло.



а)

б)

Рисунок 3.25 – Синоптическая ситуация, характерная положению температуры воздуха около  $0^{\circ}\text{C}$  после даты устойчивого перехода ниже нуля в ноябре 1992 г. (а) передняя часть циклона; (б) центральная часть циклона

Санкт-Петербург 9 ноября попадает в тыловую часть циклона, затем, ситуация повторяется, то есть над Европейской территорией России находится циклон, над центральной Балтикой наблюдается гребень антициклона с центром над Средиземным морем. Данную ситуацию можно отметить на карте АТ-850 рисунка 3.26. В этом случае температура воздуха самая низкая за все 10 дней после даты устойчивого перехода, однако, в связи конфигурацией изобар, воздух к Санкт-Петербургу поступает с центра Финляндии. Температура воздуха понижается незначительно, до  $-4,4^{\circ}\text{C}$ .

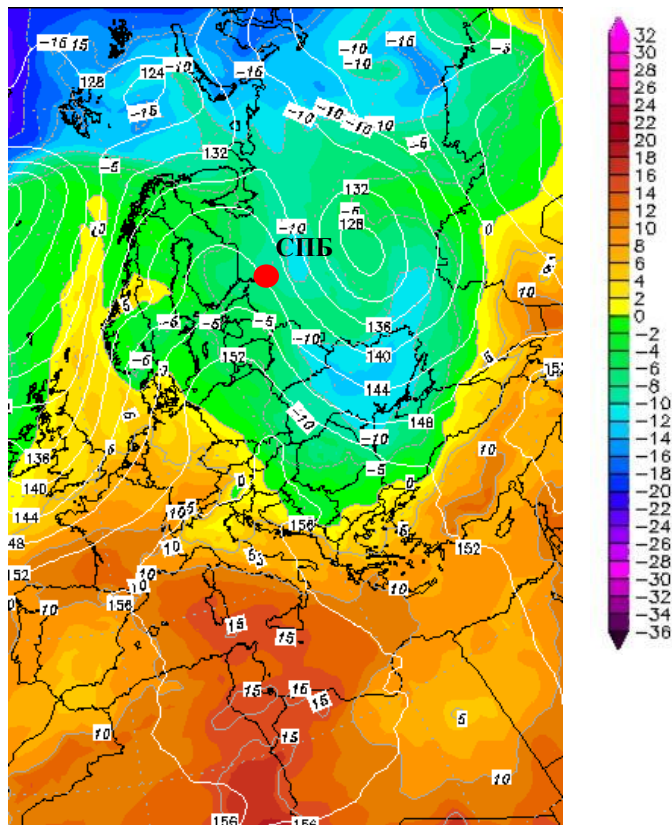


Рисунок 3.26 – Синоптическая ситуация, характерная наиболее низкой температуре воздуха после даты устойчивого перехода температуры ниже нуля в ноябре 1992 г.

В последующие дни периода температура воздуха опять приближается к нулю, так как Санкт-Петербург оказывается в тыловой части гребня с затоками воздуха с юга. В дальнейшем, Санкт-Петербург оказывается в передней части мощного циклона, сформировавшимся в районе Исландии. В данном случае не было резких изменений температур воздуха, то есть значительного понижения и значительного повышения выше нуля. Это было связано с тем, что центры барических образований и сами барические образования находились таким образом, что воздух в Санкт-Петербург поступал с районов либо Ботнического залива, либо с юга Прибалтики, но не южнее, в результате этого температура воздуха была близка к 0°C.

Рассмотрим третий тип наступления зимнего сезона на примере 2009 года. Температура воздуха в последующие дни после даты устойчивого

перехода держится около  $0^{\circ}\text{C}$ , такой ход можно наблюдать на графике рисунка 3.27.

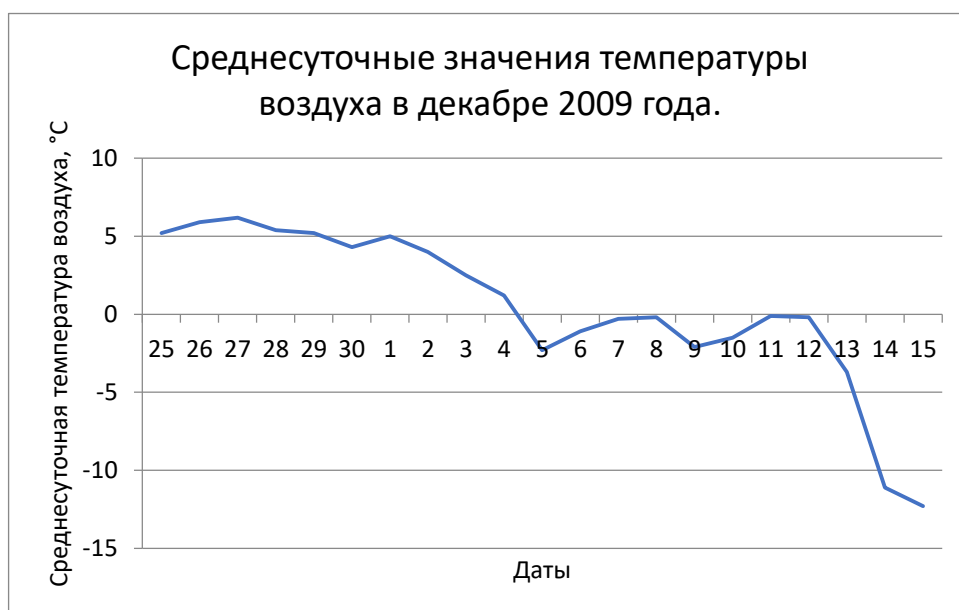
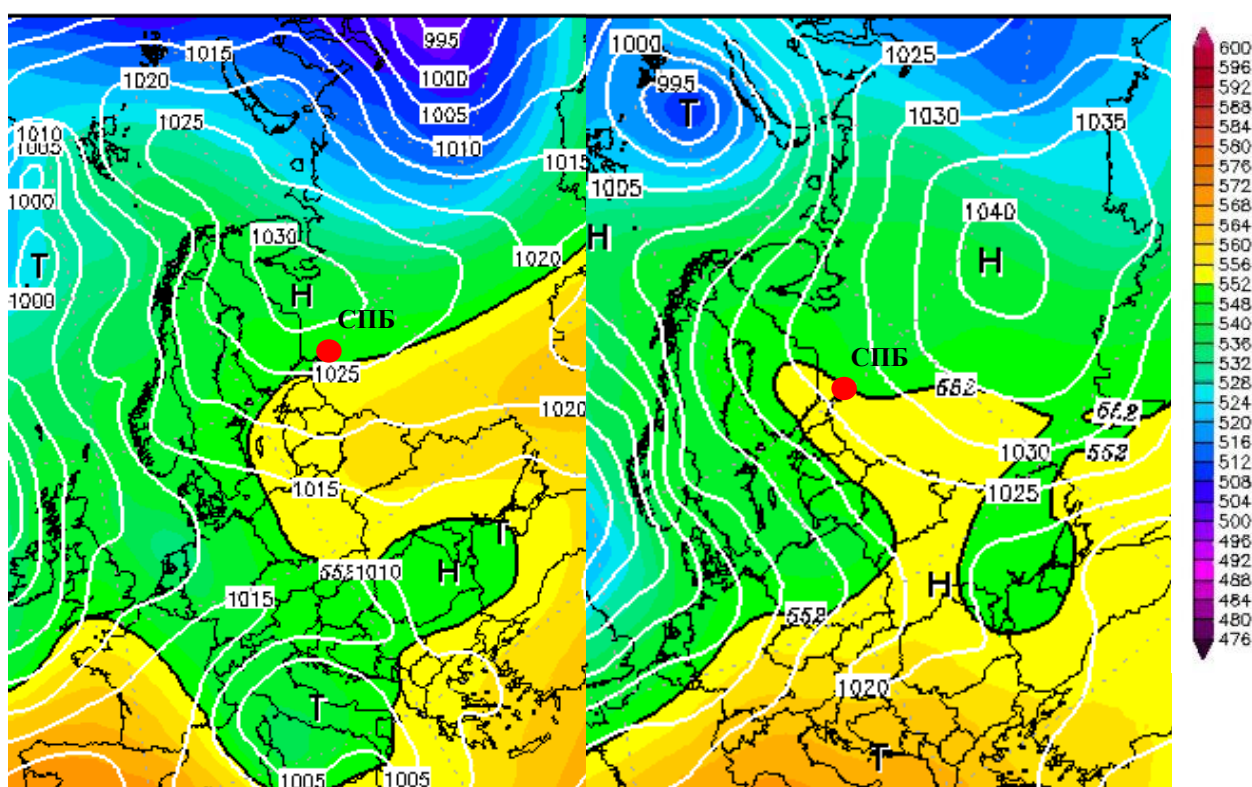


Рисунок 3.27 – Термический режим декабря 2009 г.

Синоптическая ситуация, характерная такому термическому режиму в 2009 г. связана с антициклонической деятельностью. На карте АТ-500 рисунка 3.28 (а) показано начало зимнего сезона. Температура воздуха в этот день понизилась до  $-2.3^{\circ}\text{C}$ . Санкт-Петербург находится в малоградиентном поле антициклона, на его южной периферии. В последующем, антициклон смещался в юго-восточном направлении и стационарировал над территорией Приволжья, что наблюдается на карте АТ-500 рисунка 3.28 (б).



а)

б)

Рисунок 3.28 – Синоптическая ситуация, характерная устойчивому переходу температуры воздуха ниже нуля в декабре 2009 г. (а) день устойчивого перехода; (б) 6 декабря

Слабо отрицательные температуры воздуха были связаны с тем, что в Санкт-Петербург поступали воздушные массы с южной и юго-западной периферии антициклона. Наблюдались юго-восточные ветра, очаг холода находился далеко над территорией Поволжья. В это время, во всей Прибалтике наблюдались положительные температуры воздуха. Соответственно, в течение 10 дней после наступления зимнего сезона воздушные массы двигались либо со стороны Киева, либо с юго-западной периферии антициклона, где наблюдались слабо отрицательные температуры.

На синоптической карте, совмещенной полем температуры воздуха на высоте 1,5 км (AT-850) и приземной картой, можно отметить, что в вышеописанном антициклоне, в его южной периферией наблюдаются более



высокие значения температуры воздуха, выше  $-10^{\circ}\text{C}$ . Санкт-Петербург находится близко к изотерме  $-6^{\circ}\text{C}$ . Если рассматривать данную карту в общем, то можно отметить, что южная часть стационарного антициклона находится в зоне более высоких температур, что прослеживается на рисунке 3.29.

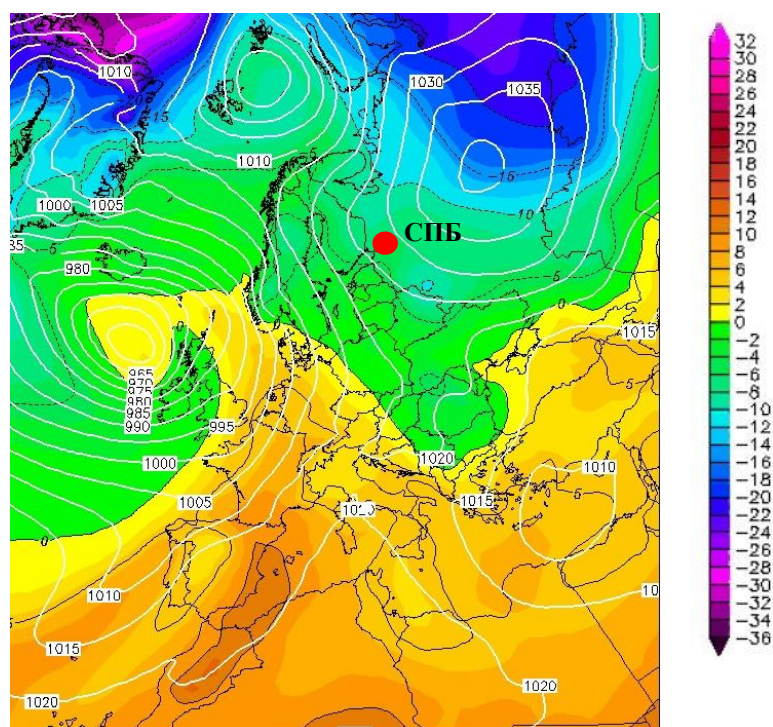


Рисунок 3.29 – Синоптическая ситуация, характерная стационарному антициклону и нахождению его южной части в зоне более высоких температур воздуха в декабре 2009 г.

В данном случае, в результате стационарирования антициклона, Санкт-Петербург длительное время находится в южной периферии антициклона и воздушные потоки наблюдаются со стороны центральной России. В районе Киева и юга Балтики у земли наблюдаются положительные температуры воздуха. Граница Беларуси является также границей положительных и отрицательных температур у земли и в Санкт-Петербург поступают слабо отрицательные температуры воздуха с района Москвы. Ветровые потоки,

поступающие в Санкт-Петербург можно наблюдать на карте поле ветра модели реанализа рисунка 3.30

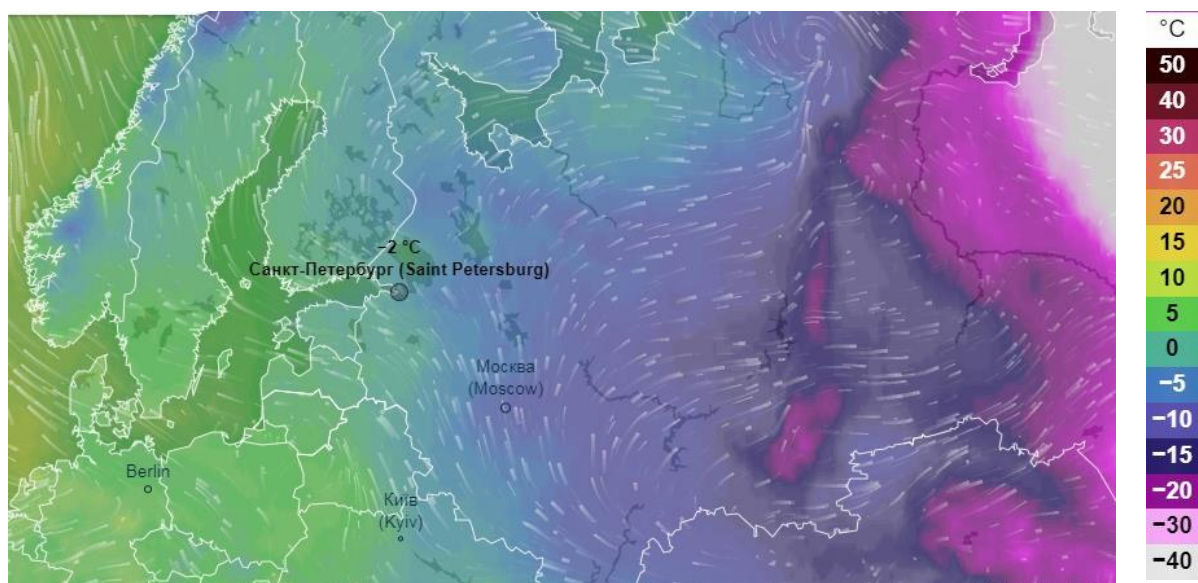


Рисунок 3.30 – Визуализация поля ветра модели реанализа, указывающее направление движение воздушных потоков в Санкт-Петербург с района Москвы в декабре 2009 г.

В течение всего периода антициклон разрушается, затем, 11 декабря, наблюдается вливание нового ядра в его малоградиентное поле с западной Европы, однако над арктическим побережьем в это же время формируется циклон. Затем, этот циклон распространяется над всем северо-западом России, Санкт-Петербург находится в его тыловой части, соответственно наблюдается резкое понижение температур воздуха на 7 день периода после термического фона слабо отрицательных температур. В дальнейшем, циклон быстро заполняется и в район Санкт-Петербурга приходит малоградиентное поле арктического гребня.

До момента перехода над Европейской территорией России и в районе Санкт-Петербурга проходили теплые сектора обширных циклонов и воздух продвигался с юга Европы. Отмечались значительно высокие температуры, температуры воздуха достигали  $6^{\circ}\text{C}$ . Данная ситуация

способствовала формированию теплой прогретой воздушной массы над этой территорией и при продвижении в зону исследования антициклонов Санкт-Петербург до 5 декабря находился в частях барических объектов с южными и юго-восточными направлениями ветра, соответственно воздушные массы продвигались с прогретых районов. Процесс, когда пришел и стационарировал антициклон связан с формированием в циклоне двух воздушных масс: на севере воздушная масса была связана с континентальным холодным воздухом, в южной части антициклона воздух поступал с очага тепла, сформированного в большой повторяемости теплых секторов циклонов. Так как антициклон не был малоградиентным полем, это не позволило сформироваться одной большой воздушной массе самостоятельно. Оставались контрасты: на юге теплый воздух поступал с очага тепла, с севера холодный континентальный воздух. Для того, что контрасты стерлись и ситуация изменилась, потребовалось меньше недели.

В 1992 году переход температуры воздуха ниже нуля был вызван тыловой частью арктического циклона. Как было сказано ранее, устойчивое понижение температуры воздуха ниже 0°C достаточно часто обусловлено данной синоптической ситуацией. В 2009 году понижение температуры воздуха ниже нуля было спровоцировано южной частью малоградиентного поля антициклона. Антициклон зимой приносит сильные морозы, но в случае 2009 года сильных морозов не наблюдалось, так как воздушные потоки приносили воздух с очага тепла.

### 3.5 Особенности термического режима зимних сезонов 2019/2020 гг. и 2020/2021 гг.

Зима 2019/2020 гг. в г. Санкт-Петербург впервые за более чем 100 лет инструментальных наблюдений не являлась климатической: не наблюдалось перехода температуры воздуха через нулевой предел в сторону понижения.



Следующая зима, 2020/2021 гг., оказалось первой за последние 20 лет, зимой близкой к норме для г. Санкт-Петербург, но с резкими амплитудами среднесуточной температуры воздуха внутри сезона: с понижениями до -24,1 °С и ростом до +4,5 °С. В таблице 3.2 представлены данные среднемесячных температур воздуха холодных полугодий 2019/2020 гг. и 2020/2021 гг. и среднемесячные нормы (старый базовый период с 1961 по 1990 гг.)

Таблица 3.2.

Среднемесячные температуры воздуха холодных полугодий и среднемесячные нормы

Среднемесячная температура T, °С	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
норма	5,1	-4,6	-7,8	-6,9	-2,2
зима 2019/2020 гг.	1,9	1,7	1,5	0,6	2,2
зима 2020/2021 гг.	3,9	-0,7	-4,6	-9,2	-0,8

В ноябре 2019 года среднемесячная температура воздуха была ниже нормы, однако, последующий период показывает значительные превышения показателей термического режима норм базового периода. В течение зимы 2019/2020 года минимальная температура воздуха не опускалась ниже – 8,6°С, это отмечается в таблице 3.3.

Таблица 3.3.

Ежемесячные минимальные, максимальные и среднемесячные температуры воздуха за зимний период 2019/2020 гг. и климатические нормы

	Декабрь	Январь	Февраль
Среднемесячная	1,7	1,5	0,6

температура воздуха, °С			
Норма, °С	-4,6	-7,8	-6,9
Минимальная температура воздуха, °С	-5,1 (11.12.2019 г.)	-5,7 (06.01.2020 г.)	-8,6 (05.02.2020 г.)
Максимальная температура воздуха, °С	6,8 (18.12.2019 г.)	8,0 (16.01.2020 г.)	7,1 (17.02.2020 г.)

Зима 2020/2021 гг. отличалась значительными контрастами температуры воздуха. В январе 2021 года средняя за месяц температура воздуха была близка к норме. В течение месяца наблюдались существенные межсуточные амплитуды изменения температуры воздуха. В данный период фиксировались значения максимальной температуры воздуха +4,5°С (25 января 2021 г.) , минимальной – 24,1°С (18 февраля 2021 г.). Данные амплитуды температур можно заметить в таблице 3.4.

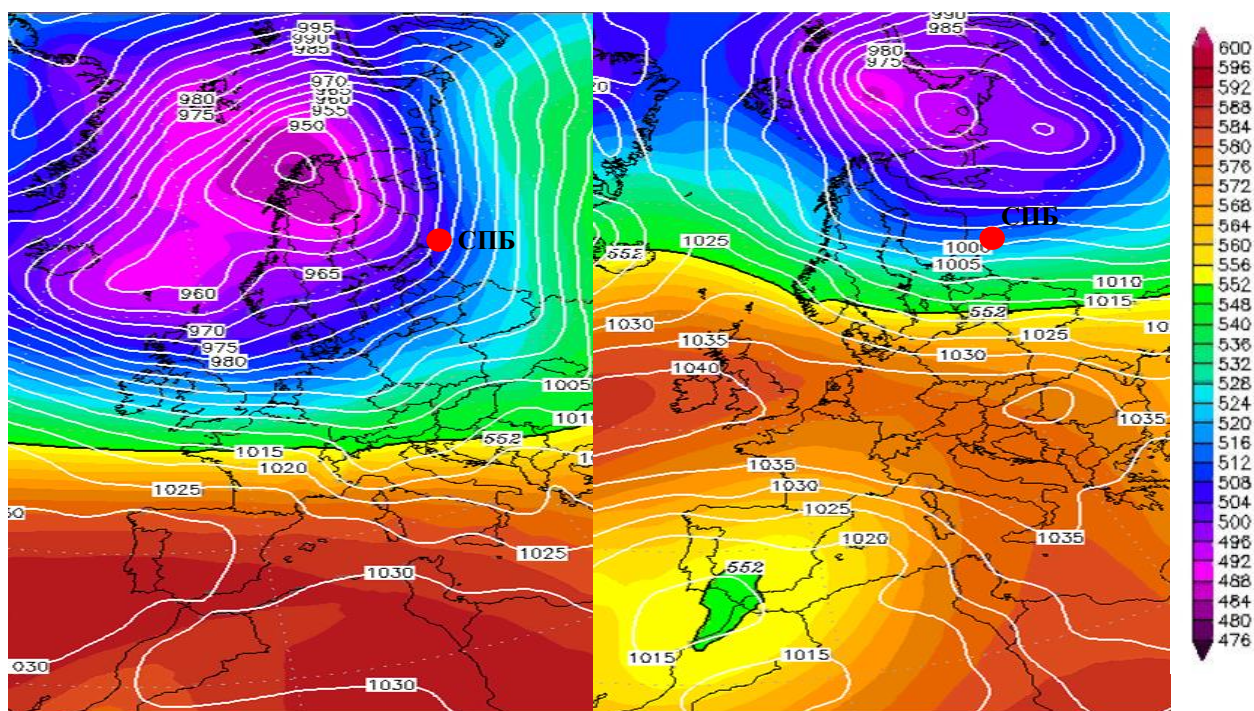
Таблица 3.4.

Ежемесячные минимальные, максимальные и среднемесячные температуры воздуха за зимний период 2020/2021 гг., а также климатические нормы

	Декабрь	Январь	Февраль
Среднемесячная температура воздуха, °С	0,7	-4,6	-9,2
Норма, °С	-4,6	-7,8	-6,9
Минимальная температура воздуха, °С	-6,7 (11.12.2020 г.)	-17,8 (16.01.2021 г.)	-24,1 (18.02.2021 г.)
Максимальная температура воздуха, °С	4,5 (20.12.2020 г.)	4,5 (25.01.2021 г.)	4,2 (26.02.2020 г.)

Такая значительная разница температурных режимов двух сезонов находит своё объяснение в виде преобладающей западной формы

циркуляции зимой 2019/2020 гг. и восточной формы зимой 2020/2021 гг.[1]. Рассмотрим низкие зимние температуры воздуха этих сезонов. В течение зимы сезона 2019/2020 гг. отрицательные температуры воздуха определялись тыловой частью меридионально вытянутых циклонов, часто с несколькими центрами. Над полярным регионом располагалась мощная многоцентровая депрессия, имеющая общие замкнутые изобары. Санкт-Петербург практически всю зиму 2019/2020 года располагался в южной части этого барического образования. Данные синоптические ситуации отмечены на картах АТ-500 рисунка 3.31. Сибирский сезонный антициклон был значительно ослаблен.



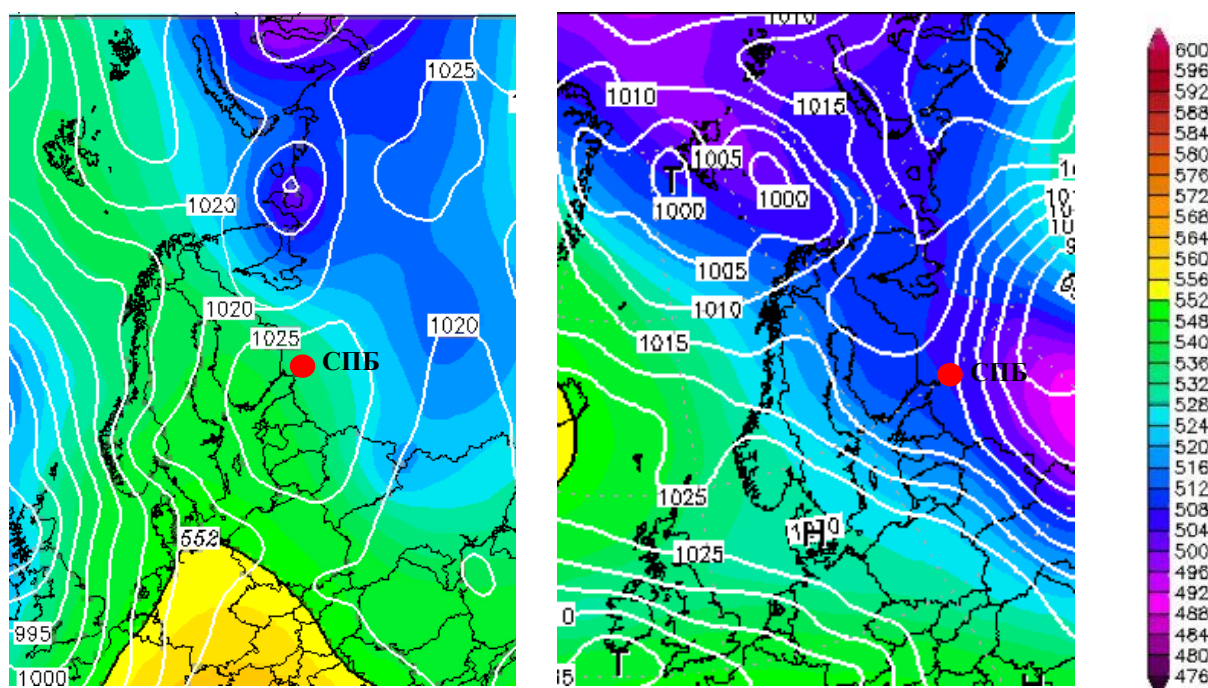
а)

б)

Рисунок 3.31 – Синоптические ситуации, характерные холодным сериям зимой 2019/2020 гг. (а) тыловая часть меридионально вытянутого циклона; западная циркуляция; (б) южная часть циклона; меридиональная циркуляция

Зимой же сезона 2020/2021 гг. образующим фактором для низких температур послужила восточная циркуляция, а точнее две её компоненты -

гребень “Сибирского” антициклона, распространявшийся на ЕТР со стороны Карского моря и Полярного Урала, и гребень Центрально-Азиатского ядра, с осью, направленной на ЕТР с юго-востока. Именно во время очередного вторжения гребня “Сибирского” антициклона в феврале 2021 года наблюдалась температура воздуха, значительно ниже среднеклиматической -  $-24,1^{\circ}\text{C}$ . Синоптическую ситуацию данного вторжения можно наблюдать на карте АТ-500 рисунка 3.32 (а). Впервые за последние десятилетия наблюдалось вторжение Сибирского антициклона, сравнимое с характерной синоптической ситуацией сильных морозов в Санкт-Петербурге в январе 1982 г., которую можно наблюдать на рисунке 3.32 (б).



а)

б)

Рисунок 3.32 – Синоптическая ситуация, характерная наиболее низким температурам воздуха, вызванным вторжением Сибирского антициклона. (а) февраль 2021 г.; (б) январь 1982 г.

Серии потепления, приносившие значительное повышение температуры атмосферного воздуха, после эпизодов сильного похолодания,

определялись достаточно высоким (относительно нормы) положением планетарной высотной фронтальной зоны (ВФЗ). В моменты потепления она находилась над Балтийским регионом, хотя нормальным для неё в это время года положением является область над Чёрным морем. [3].

Зимой 2019/2020 гг. большую часть зимнего календарного сезона над Санкт-Петербургом располагалась южная часть обширной многоцентровой депрессии. Аномально высокие температуры воздуха сопровождалось прохождением ПВФЗ выше средних климатических значений более чем на 1000 км. В некоторые дни ПВФЗ фиксировалась даже в районе Белого моря, соответственно над Северо-Западом России в средней тропосфере циркулировала тропическая воздушная масса. Данная ситуация наблюдалась 15 января 2020 г., отмеченная на карте АТ-850 рисунка 3.33

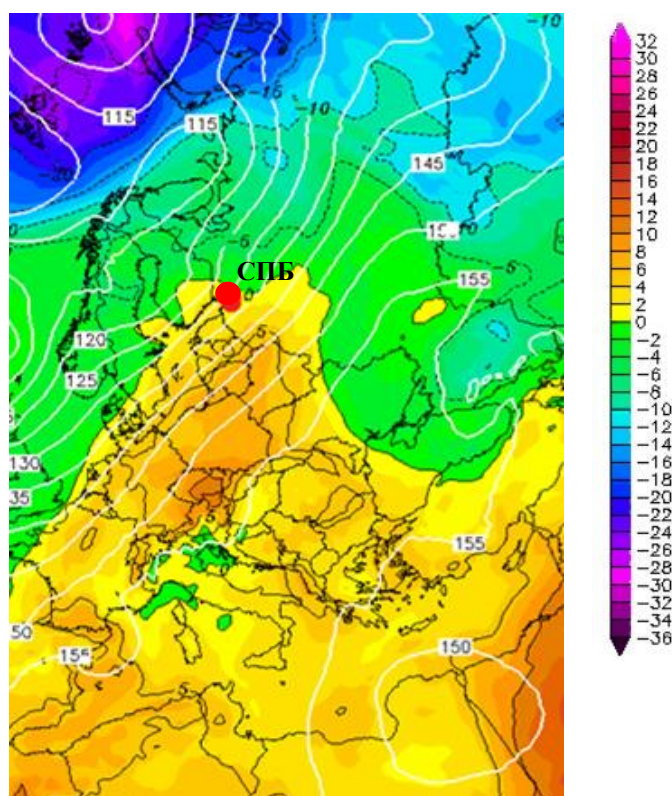
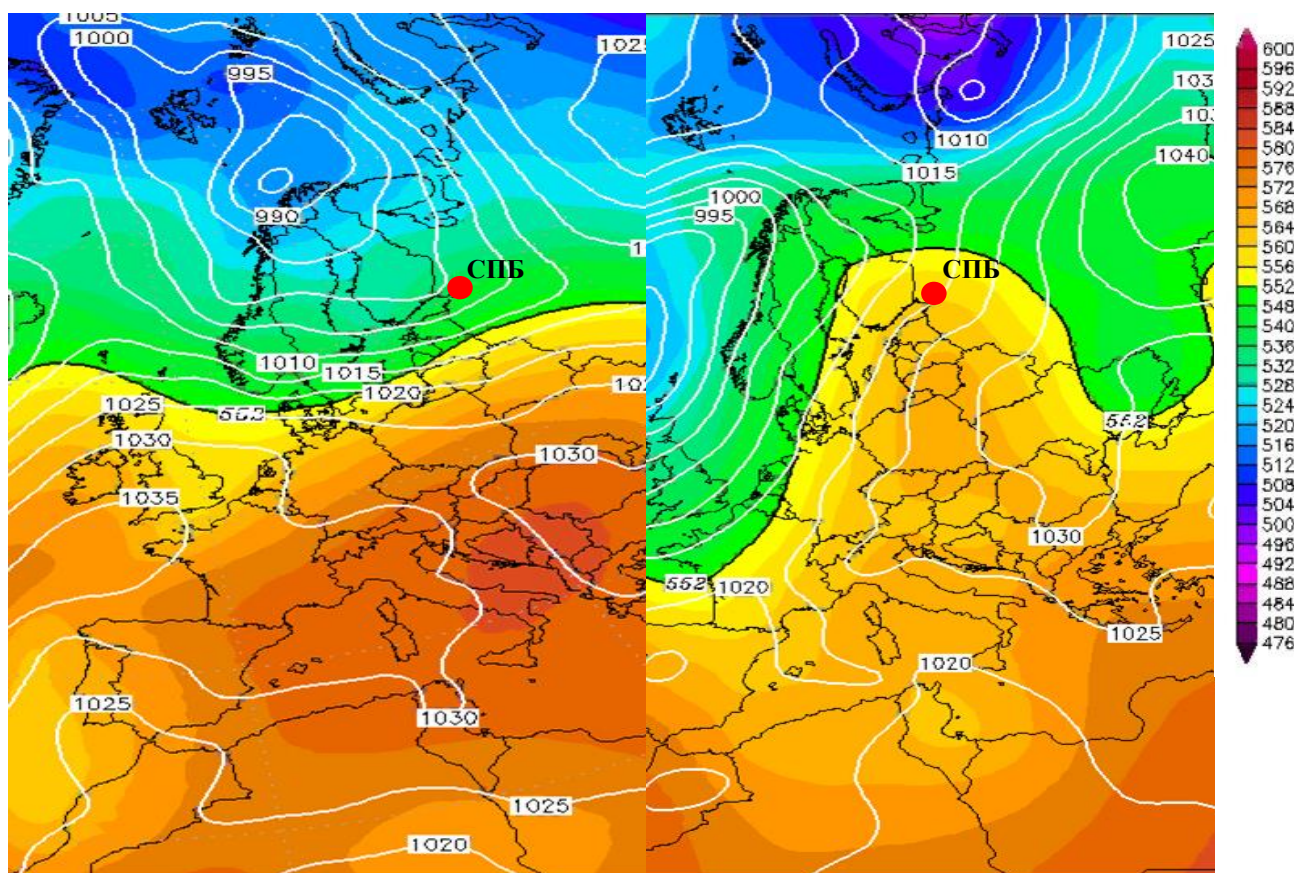


Рисунок 3.33 – Синоптическая ситуация, характерная аномальному положению ПВФЗ зимой 2019/2020 гг.



Теперь рассмотрим характерные синоптические ситуации для тёплых серий зимой 20/21 годов. Наиболее часто Санкт-Петербург оказывался либо в тёплых секторах циклонов, с центрами над арктическим побережьем, как показано на рисунке 3.34 (а) - в этом случае наблюдались потоки воздуха с юга Балтики, либо над Санкт-Петербургом наблюдалась западная периферия Азиатского антициклона, как можно наблюдать на рисунке 3.34 (б). В этом случае воздушные массы двигались со стороны восточной Европы.



а)

б)

Рисунок 3.34 - Синоптическая ситуация, характерная сериям потепления зимой 2020/2021 гг. (а) теплый сектор циклона; (б) западная периферия Азиатского антициклона

На зиму 2019/2020 гг. существенное влияние оказало аномально высокое положение ПВФЗ, незначительные эпизоды отрицательных температур были связаны с тыловой частью меридионально вытянутых

неглубоких циклонов. Зимой 2020/2021 гг. впервые за последние десятилетия наблюдалось вторжение гребней Сибирского и Центрально-Азиатского максимума. Также рассматриваемые сезоны не укладываются в понятие “нормальных”, с точки зрения климата зимы.

За весь исследуемый период (с 1960 г. по 2020 г.) впервые встречается ситуация, когда зима, с точки зрения климатической, не наблюдалась, то есть температура воздуха устойчиво не перешла ниже 0°C. Ранее наблюдались зимы с поздним наступлением, но именно ситуации с отсутствием климатической зимы не наблюдалось. Такая тенденция смещения, в частности отсутствию, зимних сезонов наблюдается в новом базовом периоде. Так как зима является индикатором глобального потепления, смещение и отсутствие зимы ярко указывает на данное явление.



## Заключение

В результате выполнения бакалаврского проекта поставленная цель была достигнута, а задачи решены.

Были получены и проанализированы даты начала зимы в Санкт-Петербурге за период 1961 г. по 2021 г. Можно сделать вывод о том, что за весь период исследования дата начала климатической зимы сместилась на 12 дней в сторону холодного полугодия.

Был проанализирован термический режим, относящийся к периоду 10 дней до и 10 дней после начала зимнего периода. В результате было выделено три типа начала зимнего сезона: первый тип - уверенный переход среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$ , второй тип - возвраты тепла после даты устойчивого перехода и третий тип - температура воздуха около  $0^{\circ}\text{C}$  после даты перехода.

При сравнении двух базовых периодов с 1961 г. по 1990 г. и с 1991 г. по 2021 г. можно сделать вывод о том, что повторяемость первого и второго типа наступления зимнего сезона меняется незначительно. В последние 30 лет появляется новый третий тип начала зимы: Температура воздуха около  $0^{\circ}\text{C}$  после даты перехода.

Для каждого типа были детально проанализированы синоптические условия его формирования за период с 1992 г. по 2021 г.

Значительное понижение температуры после даты устойчивого перехода в первом типе начала зимнего сезона связано с северной частью южного циклона и центральной частью антициклонов. За исследованные 60 лет, данный тип начала зимы имеет повторяемость 43%.

Возвраты тепла в десятидневный период после даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$  определяются

южной часть циклона и теплый сектором циклона. Такой тип начала зимнего сезона имеет повторяемость 45%.

Третий тип появился в последние десятилетия. За рассмотренные 30 лет, третий тип начала зимнего сезона имеет повторяемость 12%. Условия его формирования подробно описаны в работе.

Отдельно были проанализированы циркуляционные процессы зимы 2019 года, в котором не было даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха ниже 0°C. Характерная синоптическая ситуация данного зимнего сезона определяется южной частью мощной многоцентровой депрессии над полярным регионом и аномально высоким положением высотной фронтальной зоны.

## Список литературы

1. Кондратович К.В., Федосеева Н.В. Изменения режима увлаженности и температуры воздуха в районе Балтики. В книге: Акваторра. Сборник материалов конференции. - Санкт-Петербург, 2003. - С. 93-95.
2. Хайруллина Г.Р. Элементы общей циркуляции и распределение влагозапаса атмосферы Земли [текст] / под ред. Е.А. Лупян. – М.: ИКИ РАН, 2008. – 60 с.
3. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы / Х.П. Погосян - Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 394 с.;
4. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Учебное пособие. – СПб, изд. РГГМУ, 2006. – 84 с.
5. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 - 48 с.
6. Сорокина В. Н. Климатология. География климатов / В.Н. Сорокина — Географический факультет МГУ Москва, 2006. – С. 5-66
7. Климат Петрозаводска / [Подгот. Л. С. Раковой, Т. А. Пусан, Г. С. Беяниновой и др.]; Под ред. Ц. А. Швер. - Л. : Гидрометеиздат, 1982. - 212 с.
8. Яковлев Б.А. Климат Мурманска / Б.А. Яковлев – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 108 с.
9. Климат Сыктывкара / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды, Сев. террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды; [Подгот. З. М. Боровиковой и др.]; Под ред. Ц. А. Швер. - Л. : Гидрометеиздат, 1986. - 190 с.
10. Общая характеристика климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс] URL: <http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf> (дата обращения: 03.05.2022)

11. Климат Вологды / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии, Сев. террит. упр. по гидрометеорологии; [Подгот. В. М. Артемовой и др.]; Под ред. Ц. А. Швер, А. С. Егоровой. - Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 173 с.

12. Климат Новгорода / Сев.-Зап. террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды; [Выполн. В. Г. Бодриной и др.]; Под ред. Ц. А. Швер и др. - Л. : Гидрометеоиздат, 1985. - 168 с.

13. Климат Пскова / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды, Северо-западное террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды ; [подгот. Л. А. Малининой и др.] ; под ред. Ц. А. Швер, Л. С. Евтеевой. - Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. - 158 с.

14. Климат Калининграда / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды, Литовское респ. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды ; [К. А. Каушила, А. И. Буз, Г. Алосявичене и др.] ; под ред. К. А. Каушилы и Ц. А. Швер. - Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. - 143 с.

15. Климат Ленинграда / [Выполн. Е. В. Алтыкисом, И. М. Белявской, В. Г. Бодриной и др.]; Под ред. Ц. А. Швер и др. - Л. : Гидрометеоиздат, 1982. - 252 с.