



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 значительной межсуточной изменчивости
температуры воздуха в Москве»

Исполнитель Богатырев Константин Кириллович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(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)

« 27 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение	3
1. Циркуляция атмосферы	5
1.1 Циркуляционные факторы климата.....	5
1.2 Основные барические объекты	6
1.3 Погодные условия в циклонической циркуляции	12
1.4 Погодные условия в антициклонической циркуляции	14
2. Климатические особенности г. Москва.....	16
2.1 Географическое положение исследуемого региона	16
2.2 Климатическая характеристика исследуемого региона.....	17
3. Анализ условий формирования значительных межсуточных колебаний температуры воздуха в г. Москва	22
3.1 Постановка цели и задач	22
3.2. Анализ термического режима холодного и теплого полугодия в г. Москва.....	24
3.4 Синоптические условия формирования дней со значительной отрицательной межсуточной изменчивостью температуры воздуха холодного полугодия г. Москва	43
Заключение.....	55
Список используемой литературы.....	57

Введение

В современном мире мы всё чаще сталкиваемся с различными явлениями, которые увеличили или уменьшили свою повторяемость в условиях изменения климата.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ синоптических условий формирования значительных межсуточных колебаний температуры воздуха в теплый и холодный период с 1961 по 2020 год в г. Москва.

Тема работы актуальна, поскольку резкий перепад межсуточной температуры является достаточно опасным явлением и оказывает значительное влияние на все сферы жизни человека. Это отражается на здоровье людей, сельском хозяйстве, авиации и т.д.

Ранее исследования данного типа проводились для северных регионов нашей страны, поскольку там межсуточная изменчивость наиболее ярко выражена и достигает даже 20°C. Для г. Москва подобная работа проведена впервые.

Для выполнения цели были выполнены следующие задачи:

1. Провести анализ термического режима холодного полугодия в городе Москва в период 1961 по 2020 год;
2. Провести анализ термического режима теплого полугодия в городе Москва с 1961 по 2020 год;
3. Проанализировать повторяемости дней со значительными межсуточными колебаниями температуры воздуха в городе Москва;
4. Описать синоптические ситуации и выявить условия, предшествующие значительным межсуточным колебаниям воздуха в городе Москва, сопоставив синоптические карты и дни с резкими колебаниями температуры.

Для анализа данных были взяты среднесуточные данные по температуре воздуха в городе Москва с 1961 по 2020 год. В качестве

источника данных был взят сайт Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [7].

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения трех глав, заключения и списка литературных источников, а также включает в себя 38 рисунков и 5 таблиц.

В первой главе описывается циркуляция атмосферы, подробно рассмотрены циркуляционные факторы климата и основные барические объекты.

Во второй главе отражены климатические особенности г. Москва и географическое положение региона.

В третьей главе представлены результаты анализа синоптические условия формирования дней со значительной межсуточной изменчивостью температуры воздуха холодного полугодия г. Москва. Представлены характеристики теплого и холодного полугодий с 1961 по 2020 год.

Данная работа является первым шагом в детальном исследовании аномальных режимов термического режима в г. Москва и её несомненно нужно продолжать в дальнейшем

1. ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ

1.1 Циркуляционные факторы климата

Одним из главных видов зональной циркуляции атмосферы, который происходит в течение года, называется западным переносом воздуха. Обычно он является ярко выраженным на широтах между 50 и 70 параллелями обоих полушарий. По причине того, что в Южном полушарии на данных широтах преобладает океан, западный перенос воздуха образует там течение морей Западных Ветров. Это течение является одним из самых значимых и масштабным на нашей планете.

Воздух над Евразией формируется из воздушных масс, которые приходят туда с Атлантики. Поэтому западный перенос приносит в Евразию воздух, насыщенный влажностью с большим количеством осадков, которое уменьшается по мере продвижения в сторону суши.

Зимой такой режим циркуляции приносит не только высокую влажность, но и повышение температуры на территории Европы и европейской территории России (ЕТР). А в летние месяцы, наоборот, возникает понижение температуры. Это происходит из-за того, что летом суша может быть прогрета сильнее, чем океан.

Действие западного переноса прекращается при столкновении с хребтами и нагорьем у Забайкалья и Якутии. Поэтому воздушные массы из Атлантики не могут попадать на территорию восточной территории России, лишь частично проникая на Забайкалье.

Все это приводит к тому, что осадки над описанной выше территорией имеют неоднородное распределение. Более отчетливо это заметно зимой. В холодное полугодие области воздействия западного переноса осадков значительно больше, чем к восточной части от нее. Данное распределение формирует наиболее мощный покров снега, что хорошо влияет на режим температур почвы и на процесс перезимовки растений.

1.2 Основные барические объекты

Циклоны и антициклоны – это трехмерные вихри атмосферы синоптического масштаба. Данные барические объекты обладают особенными структурами полей метеорологии, формирующие условия погоды в разных областях данных вихрей атмосферы [4].

Циклоническое поле давления – территория, которая имеет относительно пониженное давления, в данной области отмечаются замкнутые изобары либо изогипсы. Центр циклона – точка, в которой наблюдается самое низкое давление. Сами изобары, которые очерчивают данный барический объект на приземной карте, обычно в виде круга или овала [4].

Схематичное изображение циклона представлено на рисунке 1.1. Обычно в центре циклона наблюдается давление около 950-1010 гПа. Эти цифры характерны на уровне моря для умеренных и высоких широт.

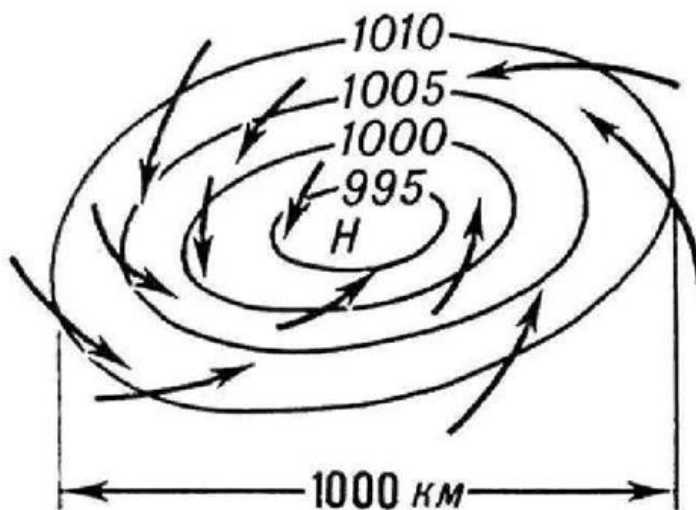


Рисунок 1.1 - Схематичное изображение циклонического вихря

По своим размерам циклон в максимальной стадии развития обычно достигает приблизительно 1000-2000 км. Это расстояние определяется

между самыми дальними точками на последней замкнутой изобаре для умеренных широт.

Если говорить про другие широты, то для тропических широт давление в центре циклона меньше, чем для умеренных. Эти цифры обычно варьируются от 900 до 970 гПа.

Барический максимум на синоптических картах говорит о наличии антициклона в данной области. Точка с самым высоким давлением в этой области и будет являться центром антициклона. Обычно это 1000- 1035 гПа. Схематично антициклон изображен на рисунке 1.2.

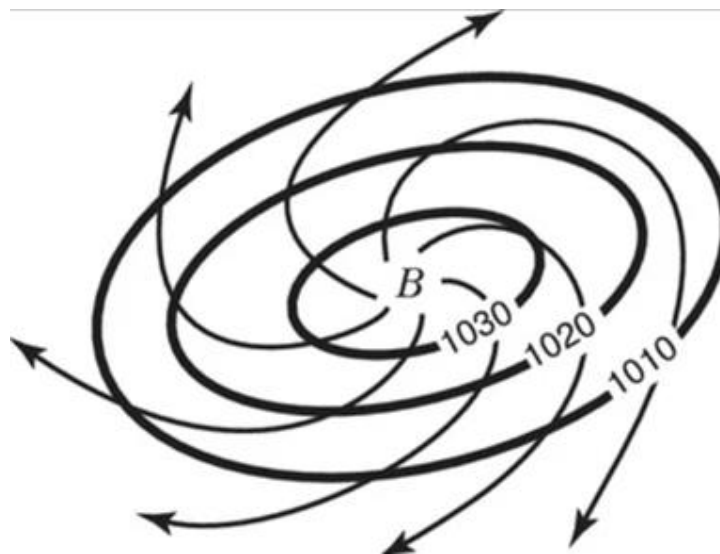


Рисунок 1.2 - Схематичное изображение антициклонического вихря

Горизонтальные масштабы антициклона больше, чем у циклона и варьируются в районе 2000-3000 км.

Циркуляция обоих главных барических объектов обычно изначально наблюдается у земной поверхности, далее начинает проходить на наиболее высокие уровни. Именно поэтому по вертикальному уровню развития разделяются их делят на несколько видов: низкие, средние, высокие, верхние и стратосферные.

1) низкие стадии наблюдаются, когда замкнутые изогипсы отмечаются на приземной карте, иногда на карте АТ850, при этом на наиболее высоких уровнях они не наблюдаются;

2) средние стадии отмечаются, когда замкнутые изобары наблюдаются в нижней и средней областях тропосферы, при этом на наиболее высоких уровнях и на карте АТ300 они не наблюдаются;

3) высокие стадии отмечаются, когда наблюдаются замкнутые изобары на абсолютно всех картах стандартных высот;

4) верхние, когда они отмечаются на некоторых уровнях тропосферы, но отсутствуют на приземной карте;

5) к стратосферным циркуляциям этих барических объектов относятся высокие циклоны и антициклоны, которые простираются из области тропосферы на территорию нижнего уровня стратосферы или образовались самостоятельно в области стратосферы.

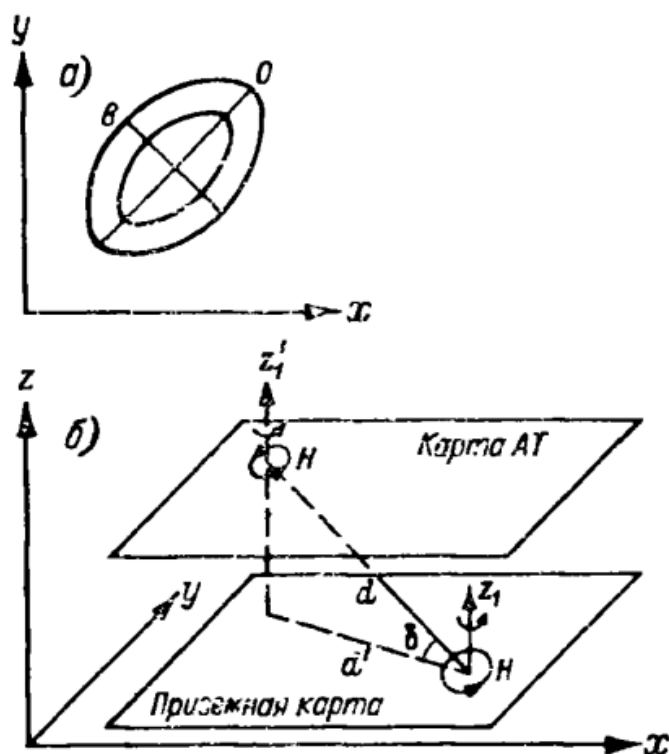


Рисунок 1.3 – Оси барических систем

Рисунок 1.3 демонстрирует расположение осей барических образований, с помощью которых проводится анализ перемещения и времени жизни циклонов и антициклонов. На данном рисунке на первом изображении представлена схема горизонтальных осей симметрии, на втором – схема наклонной оси.

В определенном числе случаев географическое расположение центральной части на приземной карте и картах абсолютной топографии почти полностью одинаковое. В таких случаях считается, что высотная ось данных барических объектов вертикальная, при этом она бывает и совершенно иной.

Оси бывают нескольких видов:

1) горизонтальными осями циклонов и антициклонов называются оси симметрии, к которым относятся большая и малая, при замкнутых изобарах в форме эллипса;

2) высотной осью данных барических объектов является линия, которая соединяет точку центра на приземной карте с центрами этих же циклонов и антициклонов на картах абсолютной топографии.

При нанесении на одну карту местоположение центров на разных высотах и соединении их линией, можно получить проекцию высотной оси циклонов и антициклонов на горизонтальную плоскость.

Зачастую, в момент работы, на картах погоды местоположение центра барического образования определяют с погрешностью $\pm 5,0$ км.

Подобные отличительные черты вихрей циклонов и антициклонов дают возможность отметить взаимную связи этих барических вихрей на разных высотах, а также некую их обособленность.

Такие барические объекты, как циклон и антициклон, при постепенном своем развитии находятся поочередно в четырех разных стадиях. Первая стадия – возникновения, которая длится около суток. Для данной стадии характерно появление первой замкнутой изобары. Вторая стадия – стадия

молодого антициклона или циклона, в данную стадию циклон постепенно начинает углубляться, а антициклон усиливается. Третья стадия – стадия максимального развития. Во время этого процесса давление в центре циклона или антициклона изменяется незначительно. Четвертая стадия – исчезновение. Для такого барического объекта, как циклон, данная стадия имеет название «заполнение», а для антициклона – «разрушение».

По природе образования развитие циклонов происходит в несколько стадий. Все стадии представлены на рисунке 1.4.

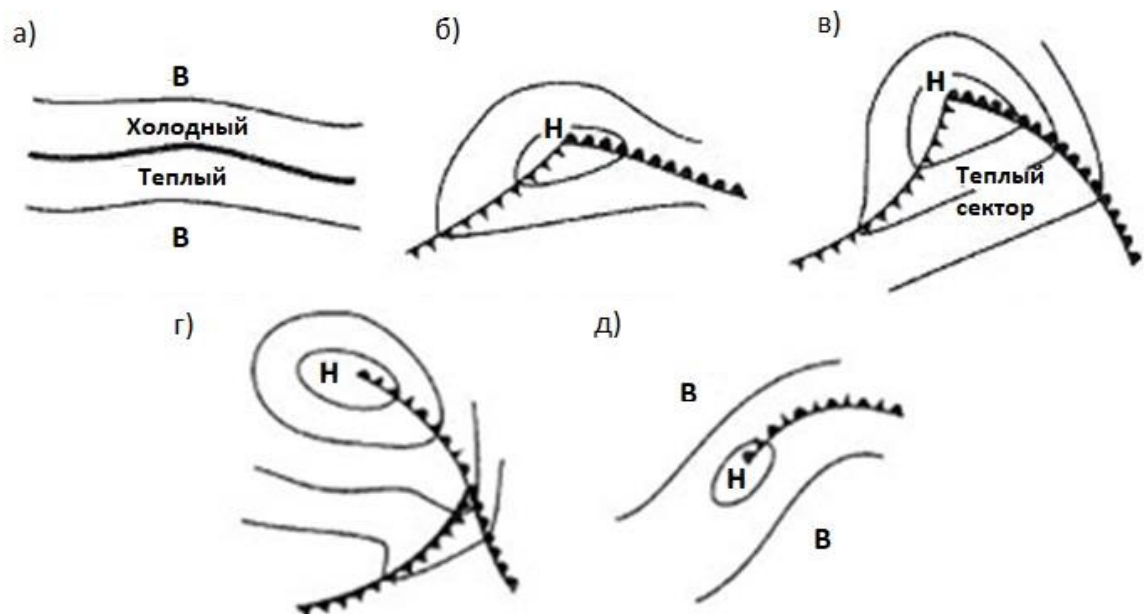


Рисунок 1.4 – Стадии развития циклона

а) начальная стадия (стадия волны); б) молодой циклон (ранняя стадия); в) молодой циклон (более поздняя стадия); г) окклюдированный циклон; д) заполнившийся циклон

Первая стадия – фронтальная волна. Данная стадия наблюдается от первичных признаков зарождения данного барического объекта на фронте до образования самой первой замкнутой изобары, которая будет кратна 5;

Вторая стадия – молодой циклон. Эта стадия наблюдается от образования этой барической системы до начальных процессов

окклюдирования подразделяется ещё на 2 стадии – раннюю и более позднюю;

Третья стадия – окклюдированный циклон. Данная стадия наблюдается от начального этапа процесса окклюдирования до полного исчезновения циклона.

Стадии развития данного барического объекта в обоих случаях почти одинаковый, только если третью стадию окклюдированного циклона поделить на две стадии, а именно первая – стадия максимального развития циклона и вторая – стадия заполнения.

На каждом из этих этапов любой из данных барических объектов обладает особой трехмерной структурой, помимо этого циклоны и антициклоны различаются параметрами погодных условий. Длительность каждой стадии варьируется от пары часов до пары дней.

Важно заметить, что циклоны и антициклоны не всегда проходят через абсолютно все стадии развития. Нередко происходит так, что волны на фронтах не подвергаются развитию дальше.

На стадии молодого циклона есть вероятность начала стадии заполнения, а на стадии молодого антициклона начинается разрушение, при этом не получив максимального развития.

Все эти барические объектов разделяются на фронтальные и внутримассовые. Это разделение зависит от условий, в которых образуются циклоны и антициклоны.

К внутримассовым барическим объектам относятся тропические, термические циклоны, субтропические антициклоны и антициклоны внетропических широт.

Наибольшее влияние на погоду в умеренных и высотных широтах влияют фронтальные циклоны и антициклоны. Продолжительность их жизни можно связать с высотной фронтальной зоной (ВФЗ). Именно она определяет траекторию их движения и силу барических образований.

1.3 Погодные условия в циклонической циркуляции

На стадии молодого циклона выделяются три области, которые сильно различаются по погодным условиям погоды.

1) Область центра и передней части холодного сектора данной барической системы, которая находится перед теплым фронтом. В данной области характеристики погодных условий формируются параметрами теплого фронта.

По мере приближения к центральной части циклона и к области теплого фронта облачность становится гораздо мощнее, а это способствует большей вероятности обложных атмосферных осадков.

2) Область тыловой зоны холодного сектора циклона, которая располагается за холодным фронтом. В данной зоне погодные условия формируются параметрами холодного фронта, а также свойствами холодного неустойчивого воздуха.

При значительной относительной влажности воздушной массы и достаточной неустойчивости воздуха в данной области наблюдается выпадение ливневых атмосферных осадков, как минимум это наблюдается в самое благоприятное время суток.

В случае если холодные воздушные массы сухие и в них образуются значительные нисходящие движения воздуха, а это наблюдается при активном росте атмосферного давления за холодным фронтом, то в данной области отмечается безоблачные и малооблачные характеристики погодных условий.

3) Область теплого сектора, которая располагается среди теплого и холодного фронтов. Так как теплый воздух считается в основном влажным и устойчивым, то и характеристики погодных условий в этой области часто соответствуют характерной погоде для подобной ситуации.

В такой воздушной массе может наблюдаться сплошные слоистые или слоисто-кучевые облачные массивы, периодически они сопровождаются

выпадением морящих атмосферных осадков, а также формированием адвективных туманов.

В зимний период над территорией суши в стадии молодого циклона в области теплогo сектора наблюдается сплошная слоистая или слоисто-кучевая облачность, а периодически отмечается адвективные туманы и морящие атмосферные осадки.

В летний период в теплом секторе циклона в молодой стадии над областью суши в зависимости от относительной влажности воздуха и уровня стабильности теплогo воздуха отмечается малооблачные, а также облачные погодные условия, периодически наблюдаются даже грозы. В дневное время отмечается в основном кучевая облачность.

Начальный этап процесса окклюдирования этого барического объекта, как правило, совпадает со временем стадии максимального развития. В данном виде циклона со вторичным теплом сектором различаются несколько областей погодных условий, которые являются аналогичными областям в молодом циклоне.

Помимо этого, выделяют еще одну область, а именно настоящий теплой сектор, который находится на периферии этого барического объекта. Схематично данный вид циклона изображен на рисунке 1.5.

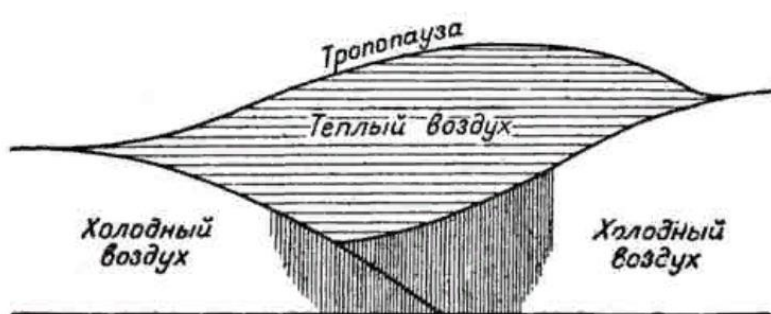


Рисунок 1.5 - Схема вертикального разреза циклона в состоянии окклюзии

Стоит отметить, что во вторичном теплом секторе нередко отмечается и в холодное время года ливневые атмосферные осадки, т.к. относительно теплый воздух на нижних слоях, который располагается за фронтом

окклюзии, имеет отличительную неустойчивость и в области верхней тропосферы становится холодным.

По погодным условиям выделяется две области:

Первая зона – центральная и передняя область циклона перед фронтом окклюзии.

Вторая зона – тыловая область циклона за фронтом окклюзии.

Уровень отличий погодных условий в этих двух областях определяется уровнем отличий параметров воздуха с двух сторон фронта окклюзии.

В окклюдированном данном барическом объекте, который уже заполняется, фронты начинают размываться, сплошная область наблюдаемых обложных атмосферных осадков разделяется на обособленные зоны. Постепенно погодные условия начинают выравниваться на территории секторов и сам циклон распадается, при этом на высотах этот барический объект продолжает отслеживаться еще продолжительное время [3].

1.4 Погодные условия в антициклонической циркуляции

Как правило, в антициклонах атмосферные фронты не развиваются, характеристики погодных условий формируются в основном параметрами воздуха, их воздействием друг на друга с подстилающей поверхностью земли.

В них происходит нисходящее движение воздуха в центре, что приводит к малооблачной погоде. Однако, если влажность воздуха достаточно большая, то зимой возможно образование сплошной слоистой и слоисто-кучевой облачности в зимний период.

Северная граница антициклонов часто бывает связана с областью теплого сектором циклона, который находится поверху. Зимой здесь обычно наблюдается сплошная и значительная слоистая и слоисто-кучевая

облачность, периодически отмечаются несильные атмосферные осадки из данной облачности. Частым явлением в этой области являются туманы. Летом здесь наблюдается небольшое количество облачности верхнего яруса. При этом днем возможно появление кучевой облачности.

Для западной границы характерно нахождение у передней части циклона. В холодное время года в этой области высокого давления нередко отмечается слоистая и слоисто-кучевая облачность, которая может достигать большой протяженности по вертикали при условии, если параллельно изобарам в направлении с юга на север продвигается достаточно увлажненные и постоянно охлаждающиеся воздушные массы. Это может привести к обложным атмосферным осадкам, которые смещаются вдоль изобар, огибая антициклон по часовой стрелке.

Когда антициклон стационарирует и живет долгое время, на западной части могут скапливаться несколько фронтов. Они будут параллельны друг другу и образуют большие градиенты ветра и давления. В летний период, при повышенной температуре воздуха и значительной относительной влажности воздуха часто отмечаются грозы.

Южная граница этой барической системы находится рядом с северной частью области низкого давления. Это порождает облачность верхнего яруса и среднего яруса. В зимний период из высокослоистой облачности велика вероятность выпадения атмосферных осадков в виде снега. Здесь чаще всего наблюдается сильный ветер, который приводит к образованию метелей.

Восточная граница антициклонов находится рядом с тыловой частью циклонов. При неустойчивом воздухе в данной области в летний период днем развиваются кучевая облачность и даже кучево-дождевая, при наличии кучево-дождевой облачности могут отмечаться ливневые атмосферные осадки. Зимой здесь бывают безоблачные или малооблачные условия погоды, с небольшим количеством слоисто-кучевой облачности.

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ Г. МОСКВА

2.1 Географическое положение исследуемого региона

Москва расположена в центральной части России. Её площадь занимает 2500 км². Город стоит на обоих берегах Москвы-реки, в среднем её течении. Но также есть несколько и более мелких водотоков. Их несколько десятков и многие из них заключены в коллекторы. К таким водотокам относятся Химка, Пресня, Сетунь, Нищенка, Яуза и другие.

В пределах Москвы также насчитывается не менее двух сотен водоемов – озер и прудов. Географическое положение Москвы, в общем и целом, можно считать выгодным. Давайте перечислим главные его черты: Город расположен в регионе с благоприятными агроклиматическими условиями. Москва отличается крайне выгодным транспортно-географическим положением. Столица находится в междуречье Волги и Оки и, посредством речных путей, имеет выход в бассейны Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Общие особенности рельефа Столица расположена в центре обширной Восточно-Европейской (Русской) равнины (см. карту ниже). При этом рельеф Москвы достаточно разнообразен. Город находится на стыке двух крупных орографических структур: Смоленско-Московской возвышенности на западе и Мещерской низменности на востоке. Последняя отличается плоской поверхностью и высокой степенью заболоченности.

Самая высокая точка Москвы (255 метров) находится на юго-западе города, в пределах Теплостанской возвышенности. Минимальная отметка (114 метров) зафиксирована в юго-восточной части столицы, около Бесединских мостов. Для рельефа Москвы характерны флювиогляциальные равнины, широкие и хорошо развитые речные долины, а также моренные гряды. Практически вся территория города покрыта довольно мощным слоем (до 60 метров) четвертичных отложений, в том числе, ледникового происхождения.

2.2 Климатическая характеристика исследуемого региона

Средняя полоса России лежит в пределах атлантико-континентальной климатической области умеренного пояса. Для неё характерно не слишком холодная зима и теплое, но не чрезмерно жаркое лето. Во все сезоны преобладают западные ветры, приносящие воздух атлантического происхождения. Наиболее низкие температуры наблюдаются в январе: в среднем от -8° на западе до -12° на востоке района. Летом различия внутри района гораздо меньше, чем зимой: от 18° на северо-западе до 20° на юго-востоке. Годовая амплитуда температуры воздуха сравнительно невелика ($26-30^{\circ}$). Среднее продолжительность безморозного периода составляет 125-140 дней для открытого ровного места, а сумма температур за это время $1800-2300^{\circ}$, что позволяет успешно возделывать в Центре большую часть зерновых, картофель, овощи, кормовые травы, лен. Среднегодовое количество осадков составляет 450-600 мм. Климат умеренно континентальный, не вызывающий особых затруднений в ведении хозяйства, эксплуатации производственных и социальных объектов. Климат позволяет выращивать зерновые и технические культуры, картофель и овощи, заниматься садоводством и развивать различные отрасли животноводства [4].

Климат Москвы обусловлен географическим положением ее в умеренных широтах с соответствующим радиационным и циркуляционным режимом. В связи с тем, что Москва расположена между центром Азиатского континента и Атлантическим океаном, на ее климате сказывается как влияние суши, так и океана. Континентальность его составляет примерно 42% и характеризуется умеренно континентальным. Зимой наряду с устойчивыми морозами почти ежегодно наблюдаются оттепели, летом ясная и довольно жаркая погода перемежается с дождливой и относительно прохладной.

В течение большей части года отмечается значительная повторяемость юго-западных и западных ветров, с которыми переносится морской воздух

Атлантику. Это отражает влияние общей циркуляции атмосферы, важного для умеренных широт климатообразующего фактора, особенно в холодный период года, когда температурные контрасты между сушей и водной поверхностью наиболее велики.

Согласно классификации Алисова, Москва находится в поясе умеренно континентальных широт. Здесь преобладают умеренные воздушные массы, которые трансформируются из морских воздушных масс арктического и умеренного воздуха. Из-за большой изменчивости атмосферной циркуляции наблюдается непостоянство погоды. Временами погода сменяется очень резко, что и приводит к образованию резких межсуточных изменений.

Для Москвы работниками Центрального института прогнозов составлен календарь синоптических положений за период 1894 — 1949 гг., основой которого является повторяемость барических образований и траекторий их вхождений. Затем В. Н. Соколовым с помощью счетно-аналитических машин были исследованы синоптические положения с учетом климатических материалов за 54 года наблюдений. Полученный многолетний материал дал возможность проводить климатологический анализ в зависимости от циркуляционных факторов [5].

Согласно синоптическому календарю за 54 года, в Москве в течение всего года повторяемость антициклонической формы циркуляции больше циклонической. Однако в зимний период (декабрь — февраль) преобладание антициклонических положений над циклоническими составляет всего 1—5%. Наибольшая повторяемость антициклонических образований наблюдается в мае — на 20% больше, чем циклонических.

Представляет интерес продолжительность сохранения синоптического положения, которая характеризует устойчивость барических образований. Зимой, наибольшую устойчивость обнаруживают северо-западные циклоны — максимальная длительность такой серии достигает 13 дней, а летом — местные и южные циклоны 7 — 10 дней. Максимальная продолжительность стационарирования антициклонов отмечена при восточных и северо-восточных

траекториях (12 — 13 дней). Средняя же продолжительность циклонической погоды в Москве, несколько меньше, чем антициклонической.

Повторяемость траекторий антициклонов от сезона к сезону резко изменяется. В холодный период (ноябрь — март) на ЕТС преобладает отрог высокого давления, обычно соединяющийся с сибирским максимумом и являющийся следствием вовлечения в его систему антициклонов преимущественно северо-западного происхождения и выдвижения на запад гребня сибирского максимума

Обращает на себя внимание резкая смена по сезонам траекторий циклонов, а следовательно, и характера циркуляции: зимой отмечается максимум циклонов северо-западного происхождения, летом — увеличение циклонов южных траекторий, которые в зимнее время реже достигают района Москвы.

Таким образом, климат Москвы складывается под воздействием различных циркуляционных процессов, обуславливающих адвекцию и трансформацию воздушных масс, что проявляется в режиме колебаний и различных сочетаниях величин метеорологических элементов.

Не менее важным остается факт изменения климата нашей планеты. Данный вопрос интересует многих ученых и исследователей, которые посвящают большое количество работ данной теме.

Некоторые климатические модели предсказывают, что при повышении средней глобальной температуры на 3 °С струйное течение ослабнет, а ветровая система сместится со своего обычного положения. Потепление с поверхности Земли увеличит испарение, что приведет к большему среднему количеству осадков по всему миру. Однако смена ветров может уменьшить количество осадков в определенных районах и оказать дополнительную нагрузку на некоторые сельскохозяйственные угодья. Особенно, когда модели в более высоких широтах предсказывают более высокие зимние осадки. Некоторые модели предполагают, что интенсивность осадков должна увеличиваться, что предполагает возможность более экстремальных явлений,

связанных с осадками, таких как наводнения и сильные засухи. По мере того, как планета нагревается, общее количество осадков должно увеличиваться для равного увеличения испарения. В настоящее время климатические модели не могут точно предсказать изменения в глобальном характере осадков.

Считается, что чем теплее мир, тем больше осадков может выпадать в жидкой фазе. Все это приведет к тому, что большая часть зимнего стока пойдет в океан, а не в формы рельефа, которые захватывают тающий снег весной. Также к последствиям изменения климата можно отнести повышение уровня моря из-за таяния полярных льдов. В настоящее время, ученые предполагают, что к 2100 году уровень моря превысит текущее значение на 50 см. Если рассматривать как самую низкую прогнозируемую температуру, так и самую высокую, то в будущем следует ожидать повышение уровня океана от 15 до 95 см. Это приведет к ужасным последствиям для экосистем, находящихся на прибрежных территориях. Кроме того, прибрежные подземные воды могут быть загрязнены соленой водой.

Некоторые климатологи считают, что в XXI веке земля будет нагреваться с высокой скоростью. Такой процесс может вызвать множество проблем. При этом увеличение уровня углекислого газа (CO_2) в атмосфере может иметь некоторые положительные последствия. Например, более высокий уровень углекислого газа будет ускорять рост некоторых растений. Тем самым, рост растений употребит больше углекислого газа и может замедлить увеличение его количества в окружающей среде.

При повышении температуры воздуха может трансформироваться способ поглощения и выделения углекислого газа (CO_2) наземными массивами. Влияние увеличения углекислого газа на верхние слои атмосферы не изучено в полной мере. Однако климатические модели предполагают, что при постоянном нагреве нижней атмосферы (тропосфера), верхняя атмосфера (стратосфера, мезосфера и термосфера) будет охлаждаться. Охлаждение происходит за счет дополнительных молекул

углекислого газа (и других следовых газов), испускающих больше инфракрасного излучения как вверх, так и вниз.

Климат является важнейшим показателем контроля окружающей среды. Всевозможные сочетания параметров атмосферы оказывают сильнейшее влияние на формирование растительного и животного мира, почв и рельефа. Каждый из них прямо или косвенно влияет на различные сферы деятельности человека и определяют экологическое состояние.

3. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ МЕЖСУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. МОСКВА

3.1 Постановка цели и задач

Целью выпускной квалификационной работы является анализ синоптических условий формирования значительных межсуточных колебаний температуры воздуха в теплый и холодный период с 1961 по 2020 год в г. Москва.

Тема работы актуальна, поскольку резкий перепад межсуточной температуры является достаточно опасным явлением и оказывает значительное влияние как на все сферы жизни человека. Это отражается на здоровье людей, сельском хозяйстве, авиации и т.д.

Для данного региона наиболее опасными являются резкие понижения температуры в холодный период, поскольку они приводят к образованию гололедно-изморозевых отложений, которые приводят, например, к провисанию и обрыву проводов и нарушают деятельность транспорта, энергетики и т.д. Гололед в свою очередь опасен для движения автомобилей, пешеходов и аэропортов. Однако влияние межсуточных изменений с повышением температуры также нельзя недооценивать. Резкое потепление воздуха порождает адвективные туманы, которые нарушают работу аэродрома и приводят к коррозии.

Именно поэтому важно понимать условия образования межсуточных колебаний воздуха и своевременно применять меры по предотвращению последствий.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ термического режима холодного полугодия в городе Москва в период 1960 по 2020 год;
2. Провести анализ термического режима теплого полугодия в городе Москва с 1960 по 2020 год;

3. Проанализировать повторяемости дней со значительными межсуточными колебаниями температуры воздуха в городе Москва;

4. Описать синоптические ситуации и выявить условия, предшествующие значительным межсуточным колебаниям воздуха в городе Москва, сопоставив синоптические карты и дни с резкими колебаниями температуры.

Для анализа данных были взяты среднесуточные данные по температуре воздуха в городе Москва с 1961 по 2020 год. В качестве источника данных был взят сайт Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [7].

В качестве значительной межсуточной изменчивости температуры воздуха были приняты перепады среднесуточной температуры больше 10 °С. Данный предел основан на критерии, принятом в аэропорту Пулково Северо-Западного филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета». В данной работе мы рассмотрим как случаи с понижением, так и случаи с повышением температуры. Наибольшую опасность представляют понижения температуры, т.к. они приносят большие потери.

Для проведения синоптического анализа условий формирования резких межсуточных колебаний температуры подготовлен архив карт погоды для каждого дня с межсуточным изменением температуры воздуха более 10°С в период с 1961 по 2020 год в сроки 00, 06, 12 и 18 часов по ВСВ. Карты являются результатом реанализа моделей GFSR (Global Forecast System Reanalysis), ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [8] и DWD (Deutscher Wetterdienst) [9].

Москва расположена в междуречье рек Ока и Волга, в центре Восточно-Европейской равнины. Сам город стоит на реке Москва. Средняя высота над уровнем моря составляет 180 м. Здесь встречаются также невысокие холмы и низменные участки. На территории города насчитывается множество водоемов, которые также оказывают влияние на

погодные условия региона. Вокруг города расположились лесопарковые зоны, с преобладанием сосновых боров вперемешку с торфяными болотами. Географическое расположение города Москва представлено на рисунке 3.1.

Москва является столицей нашей страны и главным узлом авиасообщений страны. Помимо основных аэропортов, на территории города расположено большое количество военных, грузовых, учебных и небольших гражданские аэропортов и аэродромов. Все они требуют обслуживания и подвергаются влиянию резких межсуточных изменений температуры воздуха, а это подтверждает важность изучения выбранной темы в данном регионе.

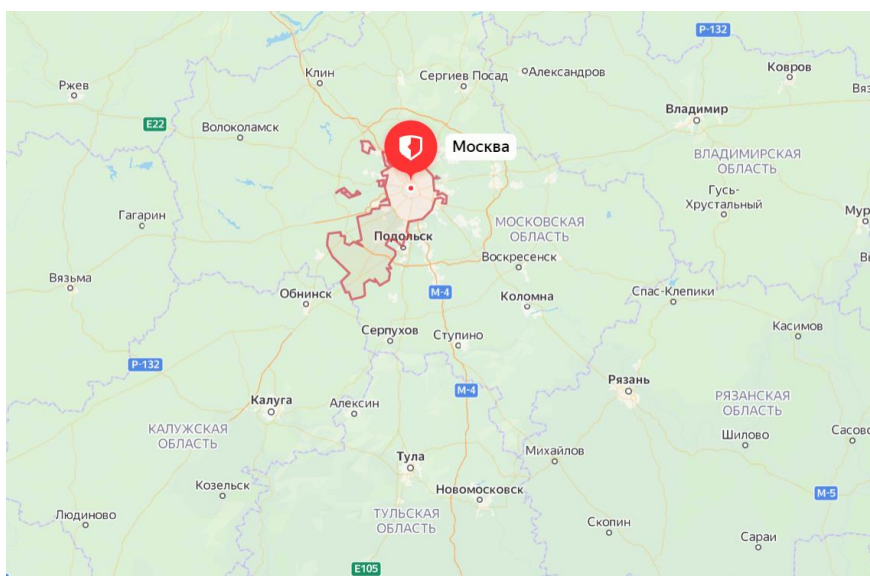


Рисунок 3.2 - Географическое расположение г. Москва

3.2 Анализ термического режима холодного и теплого полугодия в г. Москва.

В данной работе для анализа термического режима региона был построен график среднегодовых значений температуры воздуха в г. Москва с 1960 по 2020 год (рис.3.3). С коэффициентом корреляции равным 0,44, что является значимым, можно говорить об увеличении температуры воздуха за последние 60 лет.

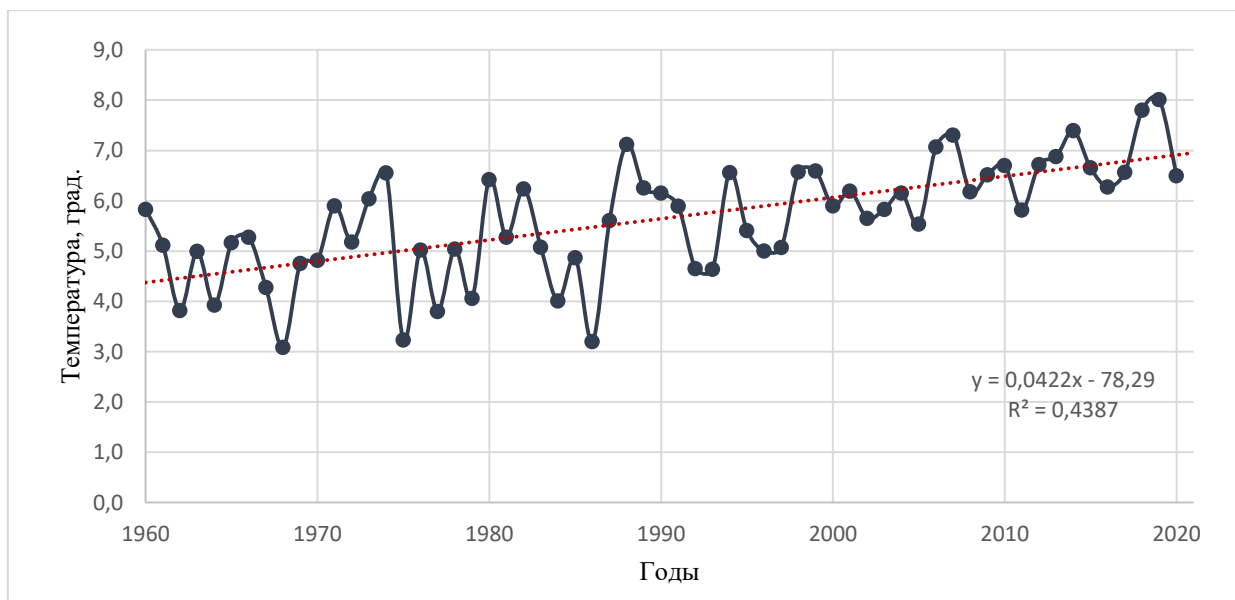


Рисунок 3.3 - Изменение среднегодовой температуры воздуха для г. Москва с 1961 по 2020 год

Разобьем временной отрезок на две равные части по 30 лет, чтобы оценить ступенчатое изменение средней температуры воздуха. Общая таблица изменения среднегодовой температуры за 1961-1990 и 1991-2020 годы выглядит следующим образом:

Таблица 1 - Средние температуры воздуха за исследуемые периоды

Период, годы	Средняя температура, °C
1961-1990	5.0
1991-2020	6.3
Разность	1.3

Рассмотрим среднемесячную разность температур за период с 1961 - 1990 м 1991-2020 годы отдельно для каждого месяца года. Гистограмма с разностью представлена на рисунке 3.3.

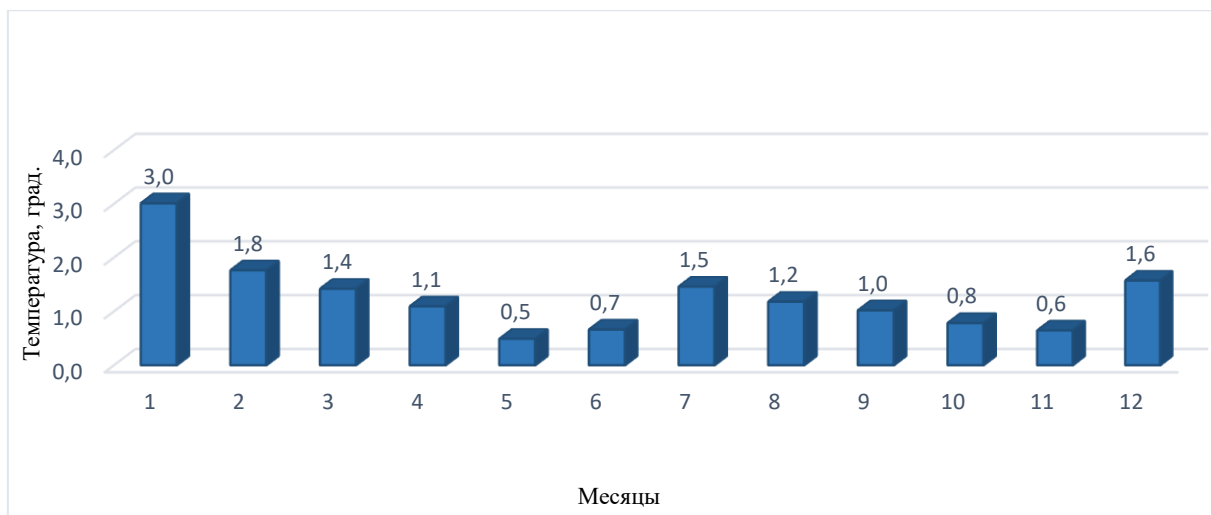


Рисунок 3.4 - Разница среднемесячных температуры между первой (1961-1990 гг.) и второй половиной (1991-2020 гг.) исследуемого периода

Анализируя рисунок 3.4 видно, что наибольшее увеличение температур произошло в зимний период (с декабря по февраль). Максимальный прирост температуры в г. Москва за последние 60 лет составил 3 градуса в январе, а минимальный – 0,5 градусов в мае. Следовательно, можно сделать вывод, что температура воздуха г. Москва более чувствительна к резким изменениям температура в зимний период.

Изучим повторяемость дней с резким изменением межсуточной температуры для г. Москва. Для этого найдем разность среднесуточных температур для каждого дня с 1961 по 2020 год. Результат расчета сведен в таблицу 2:

Таблица 2 - Повторяемость случаев резких изменений температуры воздуха

Период	Число случаев значительной изменчивости	
	Повышение	Понижение
1961-1990	46	48
1991-2020	21	26
1961-2020	67	74
Всего:	141	

В результате проведения работы за период с 1961 по 2020 год был выявлен 141 случай резкого изменения межсуточной температуры более 10 градусов в г. Москва. Из них 67 случаев с отрицательным изменением температуры и 74 случая с положительным увеличением. Если рассматривать изменение по 30-летним периодам, то в период с 1961-1990 года наблюдалось 94 случая с небольшим преобладанием положительных изменений, а с 1991-2020 года – 47 случаев с большим преобладанием положительных изменений, чем в первом 30-летнем периоде.

На рисунке 3.5 приведены случаи повторяемости изменений по месяцам. Рисунок демонстрирует, что наибольшее количество резких межсуточных изменений в г. Москва происходит в зимний период с ноября по март. Месяцем с наибольшей повторяемостью является январь (63 случая), за ним следует декабрь (40 случаев) и февраль (22 случая).

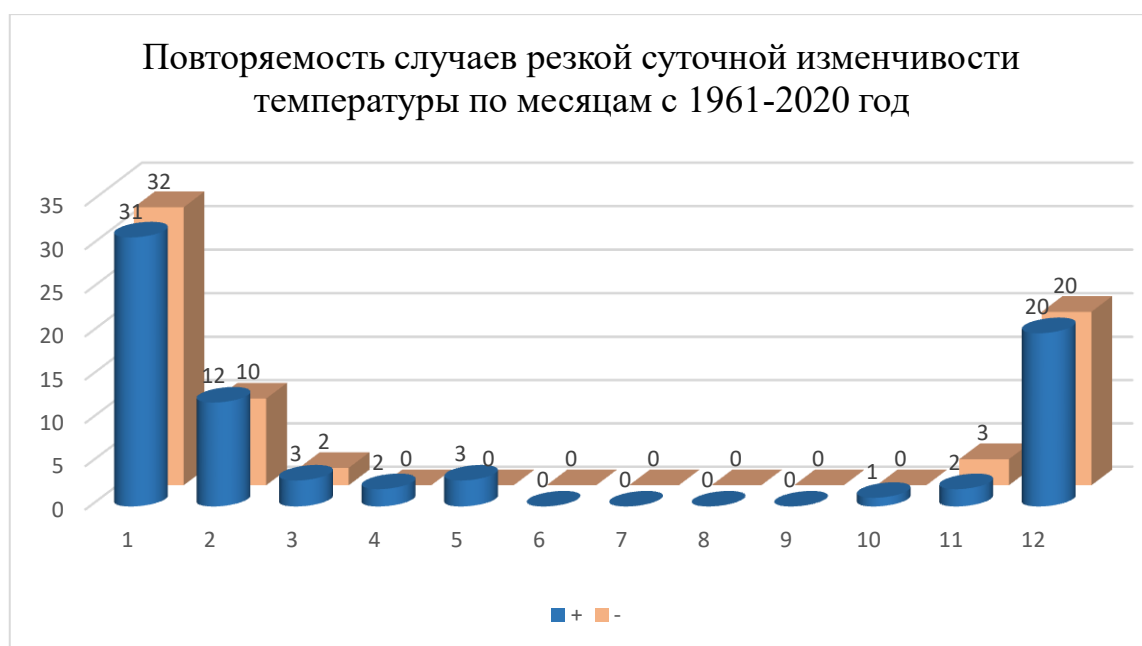


Рисунок 3.5 - Повторяемость случаев резкой суточной изменчивости температуры по месяцам с 1961-2020 год

Рассматривая термический режим теплого полугодия в г. Москва – с апреля по октябрь, следует отметить, что за период с 1961 по 2020 год

наблюдалось всего 6 случаев из 141 с резким изменением среднесуточной температуры воздуха. Из них 2 случая с повышением в апреле, 3 случая с повышением в мае и 1 случай резкого повышения температуры в ноябре.

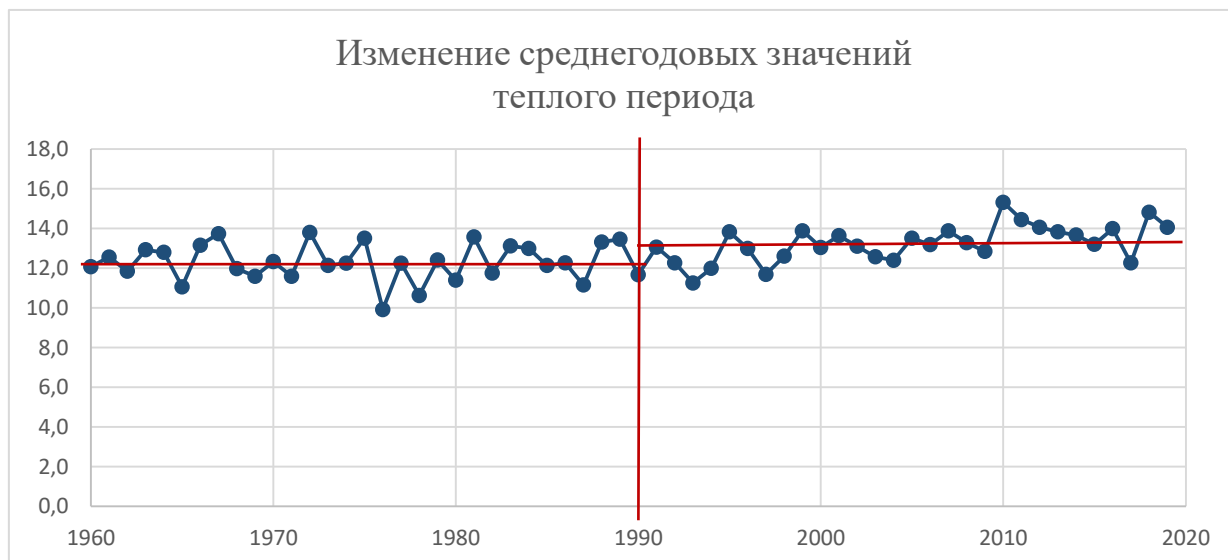


Рисунок 3.6 - Изменение среднегодовой температуры воздуха за теплый период (апрель-октябрь)

На рисунке 3.6 представлен среднегодовой ход температуры воздуха для г. Москва. При этом за последние 60 лет средняя температура увеличилась на 1°С. Расчет средних температур за рассматриваемые периоды и разность приведены в таблице 3:

Таблица 3 - Средние температуры воздуха холодного периода за исследуемые периоды

Период, годы	Средняя температура, °С
1961-1990	12.3 ±0.8
1991-2020	13.3 ±0.7
Разность	1.0

Отдельно рассмотрим годовой ход температурного режима холодного полугодия и подробно рассмотрим его, поскольку 135 случаев повторяемости

резких изменений температуры воздуха из 141 приходится на этот период. Для этого были выбраны данные по среднесуточной температуре с ноября по март (табл. 4) и усреднены методом скользящего среднего. Полученные данные были использованы для построения графика, приведенного на рисунке 3.5.

Таблица 4 - Среднемесячные значения температур холодного периода

Год	Месяц					Год	Месяц				
	11	12	1	2	3		11	12	1	2	3
1961	-1.5	-8.1	-6.2	-2.1	0.2	1991	1.0	-4.0	-6.2	-6.6	-1.2
1962	1.2	-7.4	-4.2	-6.3	-5.0	1992	-2.9	-4.4	-5.3	-4.0	1.7
1963	-0.3	-8.8	-15.9	-9.7	-9.4	1993	-8.1	-3.6	-4.4	-5.0	-1.9
1964	-2.2	-2.9	-8.1	-9.9	-6.2	1994	-2.7	-7.9	-3.4	-11.2	-2.9
1965	-5.8	-1.5	-9.5	-10	-3.3	1995	-2.9	-9.5	-5.9	-0.4	0.6
1966	-0.9	-10.5	-9.7	-8.0	0.0	1996	3.8	-7.0	-10.0	-9.6	-3.0
1967	0.3	-9.6	-13.9	-9.5	0.3	1997	-1.1	-7.5	-7.7	-4.1	-0.9
1968	-2.8	-5.3	-15.5	-8.1	-1	1998	-8.4	-5.9	-4.7	-6.9	-1.3
1969	1.6	-9.2	-16.2	-13.4	-6.9	1999	-4.8	-1.7	-4.6	-5.8	-0.8
1970	-2.1	-5.9	-10.4	-8.0	-2.9	2000	0.0	-2.6	-6.1	-2.4	-0.7
1971	-0.6	-5.7	-3.5	-9.9	-4.2	2001	-0.7	-10.6	-4.3	-6.9	-2.1
1972	-0.1	-0.9	-14.9	-7.1	-2.5	2002	-2.0	-12.6	-4.8	-0.4	2.2
1973	-2.4	-5.9	-10.2	-3.1	-1.0	2003	1.1	-2.1	-7.4	-8.7	-2.7
1974	1.8	-2.3	-10.2	-1.6	-0.6	2004	-1.8	-2.9	-6.5	-6.5	1.3
1975	-3.2	-4.0	-3.7	-6.5	1.2	2005	1.3	-4.1	-3.0	-9.2	-6.0
1976	-0.7	-3.7	-12.2	-10.8	-2.6	2006	0.8	1.2	-10.8	-12.9	-3.7
1977	1.4	-8.2	-11.3	-6.7	-0.9	2007	-2.1	-2.0	-1.6	-10.0	4.4
1978	1.8	-14.5	-7.3	-8.5	0.4	2008	2.3	-1.8	-5.8	-1.3	1.8
1979	-1.2	-5.7	-10	-8.1	-0.9	2009	2.3	-6.5	-5.6	-5.0	-0.6
1980	-2.4	-4.2	-11.3	-7.1	-6.4	2010	2.0	-7.6	-14.5	-7.6	-1.1
1981	-0.6	-3.5	-5.4	-4.9	-3.1	2011	0.1	-0.2	-7.5	-10.7	-2.0
1982	2.0	-1.1	-10.2	-8.2	-0.6	2012	1.6	-8.6	-6.8	-11.1	-3.1
1983	-1.7	-3.2	-4.0	-7.4	-1.4	2013	3.9	-1.7	-8.5	-3.8	-6.6
1984	-3.5	-9.6	-4.4	-9.8	-2.4	2014	-1.5	-3.9	-8.6	-1.8	2.8
1985	-3.6	-6.5	-10	-13.2	-3.1	2015	0.8	0.2	-4.4	-1.9	2.0
1986	-0.1	-7.5	-6.7	-13.1	0.2	2016	-2.8	-4.6	-10.1	-0.7	0.3
1987	-3.6	-7.0	-17.5	-7.1	-5.3	2017	0.0	0.0	-7.8	-3.8	2.4
1988	-4.7	-6.9	-7.2	-5.9	-1.0	2018	-1.0	-5.6	-4.3	-9.3	-5.1
1989	-2.6	-5.3	-2.1	-0.3	2.0	2019	1.7	0.8	-6.6	-1.7	0.6
1990	0.2	-3.4	-5.7	0.5	2.0	2020	2.1	-4.4	0.1	-0.1	3.8
Ср.знач.	-1.2	-5.9	-9.2	-7.5	-2.1	Ср. знач.	-0.6	-4.4	-6.2	-5.6	-0.7



Рисунок 3.7 - Изменение среднегодовой температуры воздуха за холодный период (ноябрь – март)

На рисунке 3.7 мы видим ступенчатое изменение средней температуры холодного периода. За последние 60 лет температура увеличилась на 1.7 градус, переходным годом можно считать 1990 год. Минимумы температуры холодного периода наблюдались в 60-х годах, а максимум в 2020 году. Расчет средних температур за рассматриваемые периоды и разность приведены в таблице 5:

Таблица 5 - Средние температуры воздуха холодного периода за исследуемые периоды

Период, годы	Средняя температура, °C
1961-1990	-5.2 ±1.5
1991-2020	-3.5 ±1.4
Разность	1.7

В результате анализа термического режима холодного полугодия в городе Москва за период с 1961 по 2020 годы можно сделать вывод о том,

что температура холодного полугодия повышается. Рост среднемесячных температуры наблюдался в каждом исследуемом месяце с максимумом в январе. Таким образом, наибольший вклад в изменения температурного режима холодного полугодия вносит январь. Основным периодом для резких межсуточных колебаний на территории г. Москва является холодное полугодие с ноября по март. Максимальная повторяемость дней с резкими изменениями температур также наблюдается в январе.

3.3 Синоптические условия формирования дней со значительной положительной межсуточной изменчивостью температуры воздуха холодного полугодия г. Москва

В процессе работы над бакалаврским проектом было проведено исследование синоптических условий формирования дней со значительной межсуточной изменчивостью.

Отдельно в работы были рассмотрены существенные понижения среднесуточной температуры воздуха с амплитудой колебания более 10 С и существенные повышения среднесуточной температуры воздуха в районе г. Москва за период с 1961 по 2020 г. Имеет смысл в процессе анализа синоптической ситуации выделить зимний сезон, весенний и осенний. В летние месяцы дни с высокой межсуточной изменчивостью не зафиксированы.

Рассмотрим зимние случаи резких повышений температуры воздуха за период с 1961 года по 2020 год.

В последние 30 лет в январе наблюдается повторяемости случаев повышения температуры воздуха: 23 случая за первые 30 лет (с 1961 г. по 1990 г.) и 9 случаев за период с 1991 г. по 2020 г. В феврале произошло 22 случая резких изменений температуры. Из них 10 случаев в первую половину исследуемого периода и 12 случаев во вторую половину. Для декабря зафиксировано 40 случаев, при это 20 из них были с положительным знаком

и 20 с отрицательным. В период с 1961 по 1990 год выявлено 32 случая, а с 1991 по 2020 год лишь 8 случаев.

На рисунке 3.8 представлена характерная синоптическая ситуация для дней со значительной межсуточной изменчивостью для начала периода исследования.

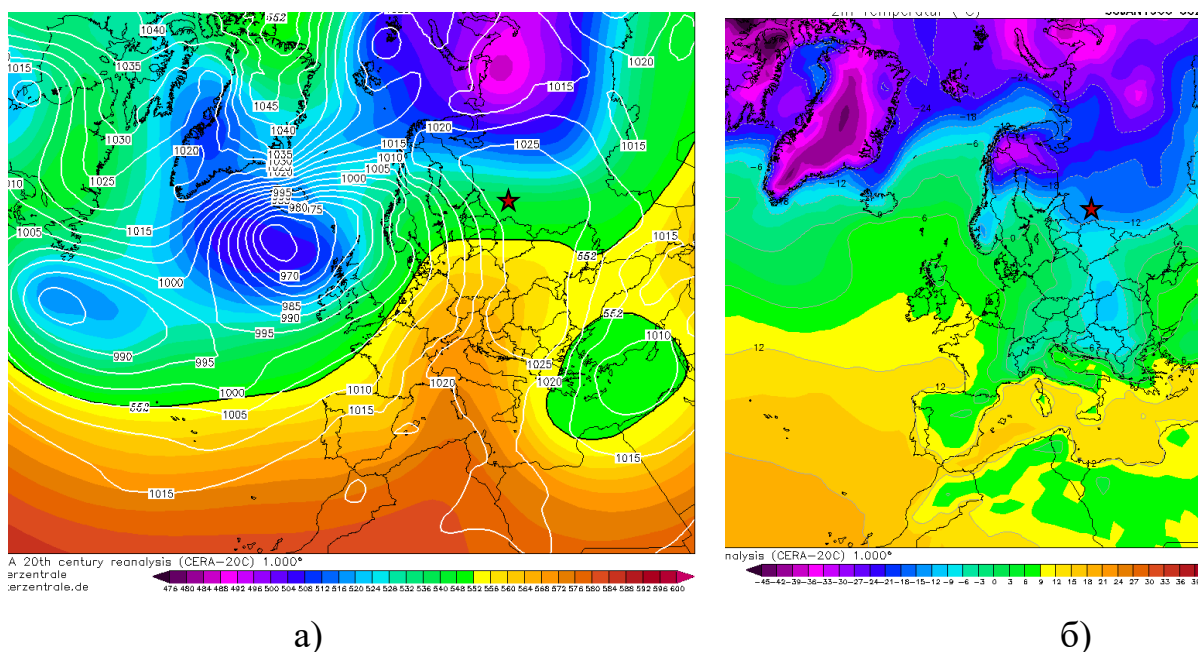


Рисунок 3.8 - Синоптическая ситуация, характерная значительному повышению среднесуточной температуры воздуха. Начало потепления.

а) Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500

б) Поле температуры на высоте 2 м.

С 30 января по 31 января среднесуточная температура воздуха повысилась на 14,6 С. Рассмотрим динамику синоптических процессов за этот интервал времени.

Анализируя карту погоды на рисунке 3.8 можно сделать вывод, что в день с низкой среднесуточной температурой воздуха (-16,2С) Москва находилась под воздействием малоградиентного поля антициклона, расположенного Северо-Западом РФ, центральной частью ЕТР и югом

России. На карте поля температуры (рисунок 3.8 б) Москва находится на юго-западной периферии очага холода, связанного с малоградиентным полем северной части антициклона и малоградиентным полем пониженного давления над арктическим побережьем.

Над Северной Атлантикой располагается глубокий циклон с давлением в центре 965 гПа, Западная Европа, Прибалтика, Белоруссия находятся под влиянием высокоградиентной передней части этого циклона.

На карте AT500 высотная фронтальная зона имеет в общем широтную ориентацию, в дальнейшем циклон будет смещаться в восточном направлении

Над югом Балтики наблюдается зона пониженных температур (рисунок 3.8 б), поэтому в первые часы при продвижении передней части циклона на ЕТР, в Москве при юго-западных потоках не наблюдается значительного потепления.

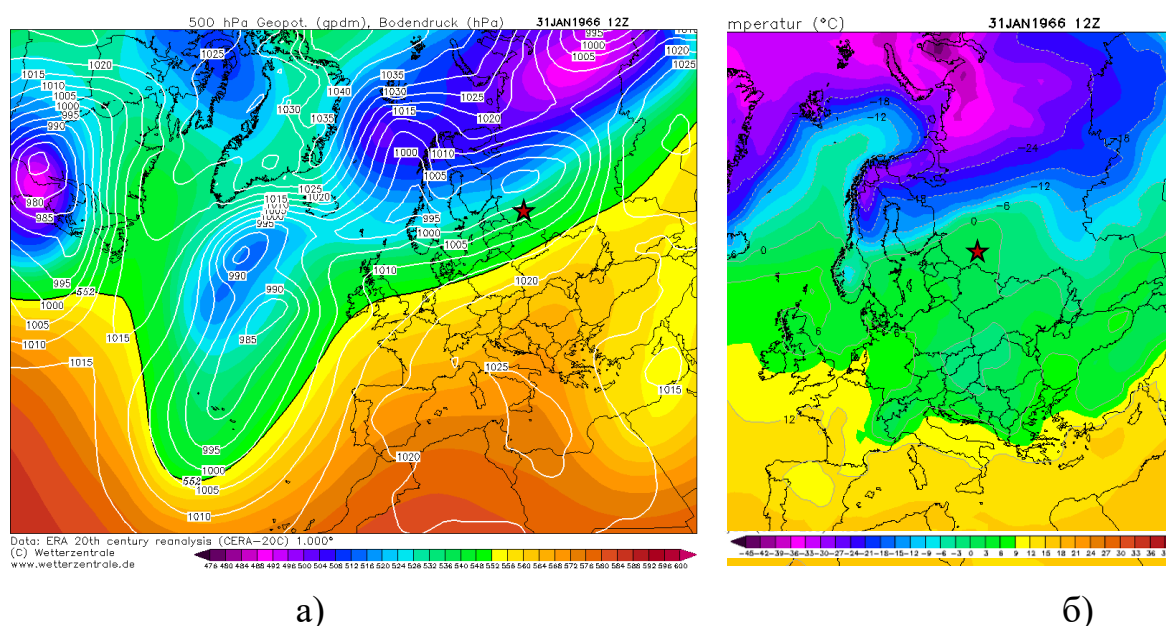


Рисунок 3.9 - Синоптическая ситуация, характерная значительному повышению среднесуточной температуры воздуха. Потепление.

а) Совмещенная карта погоды: Приземная+AT500

б) Поле температуры на высоте 2 м.

В день значительного повышения темп воздуха Москва оказалась под влиянием южной части глубокого циклона (рисунок 3.9, а), имеющего несколько сопряженных центров: над Северо-Западом РФ (давление в центре 995 гПа), над побережьем Скандинавии (давление в центре 995 гПа). Циклон имеет общие изобары с образованием над Северной Атлантикой.

На рисунке 3.9 б показано поле температуры воздуха на высоте 2 м в день потепления. Москва в дневные часы находится в области положительных температур (среднесуточная температура составила -1,6 С). Очаг тепла предположительно связан с теплым сектором циклона.

Ход среднесуточной температуры воздуха представлен на рисунке 3.10. Интересно, что после кратковременного повышения температуры воздуха наблюдался еще один случай значительной межсут изменчивости, когда темп резко понизилась на 15,9 С.

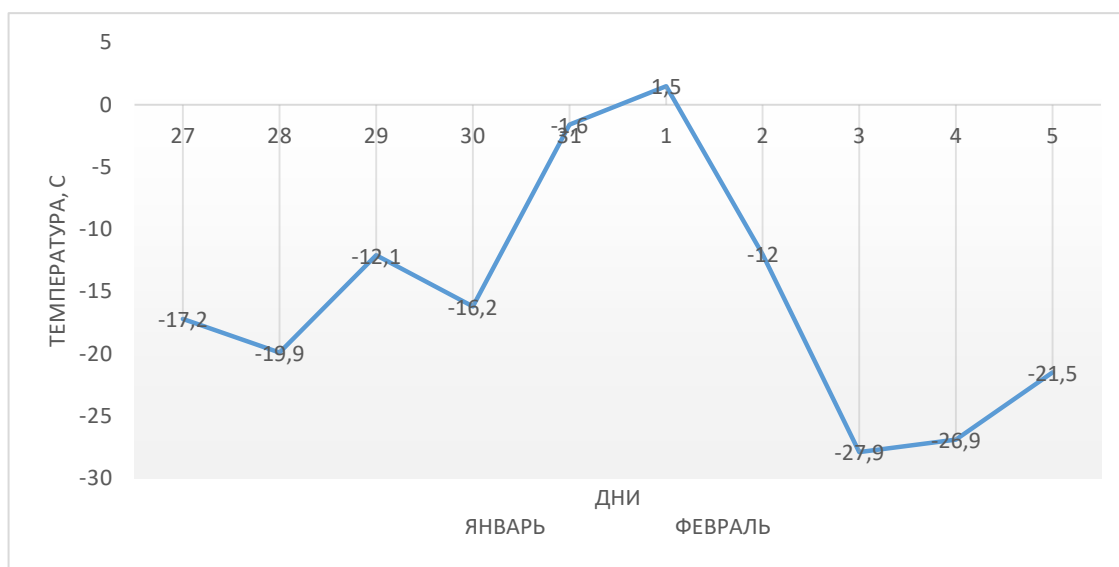


Рисунок 3.10 - Ход среднесуточной температуры воздуха в период резких перепадов в январе-феврале 1966 г.

Синоптическая ситуация понижения температуры в это период будет рассмотрена в пункте 3.4.

Рассмотрим еще один случай значительного повышения температуры воздуха в городе Москва за 8 января 2002 года.

На совмещенных синоптических картах рисунка 3.11 (Приземная+АТ500) можно отметить положение высотной фронтальной зоны ВФЗ в районе Скандинавии и Балтийского моря, ВФЗ образует волну. До потепления тропический воздух на высоте 5 км циркулирует над Балтикой, затем перемещается вместе с волной в сторону Евро ТР (ЕТР). Высотный гребень, создает благоприятные условия для продвижения южного антициклона с центром над юго-западной частью Европы в восточном направлении.

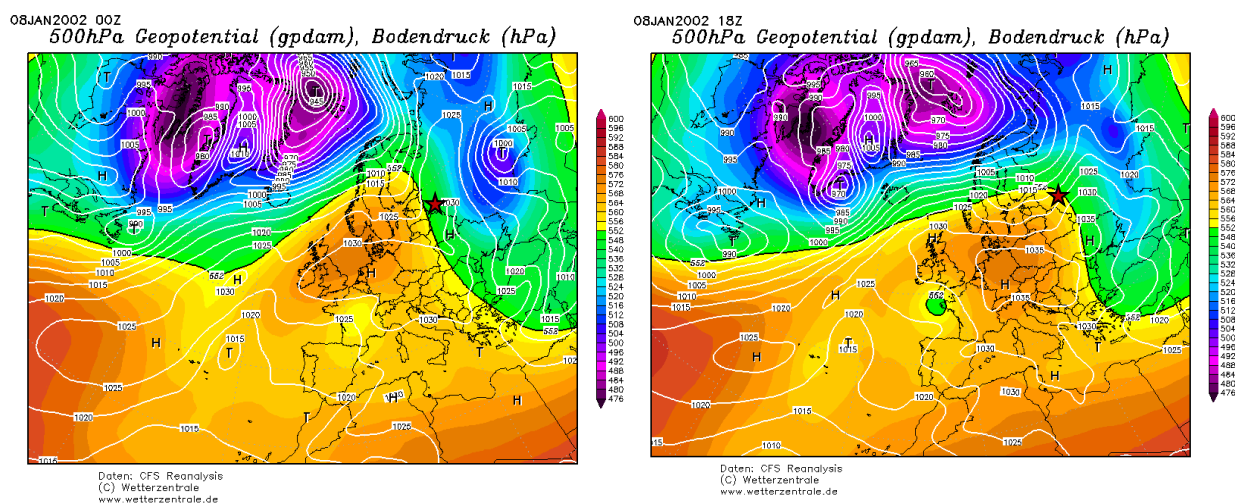


Рисунок 3.11 - Синоптическая ситуация, характерная значительному повышению среднесуточной температуры воздуха. В момент начала потепления (а) и после прихода тепла (б)

Синоптическая ситуация до повышения температуры воздуха связана также с малоградиентным полем антициклона, который формирует очаг холода над ЕТР, что иллюстрирует карта визуализации поля температуры воздуха программного погодного сервиса Ventusky (рисунок 3.12).

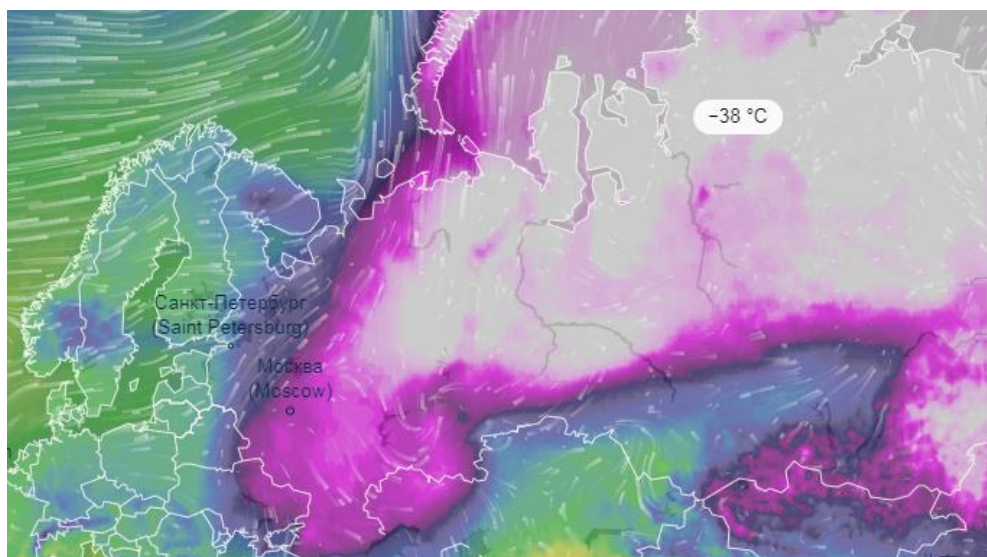


Рисунок 3.12 - Очаг холода над ЕТР и Азией. Визуализация поля температуры модели реанализа ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)

В дальнейшем, на большой территории, в районе всей ЕТР формируется высокоградиентное поле между арктическим циклоном и южным антициклоном, куда попадает г. Москва. Погодная ситуация этого дня представлена на рисунке 3.13.

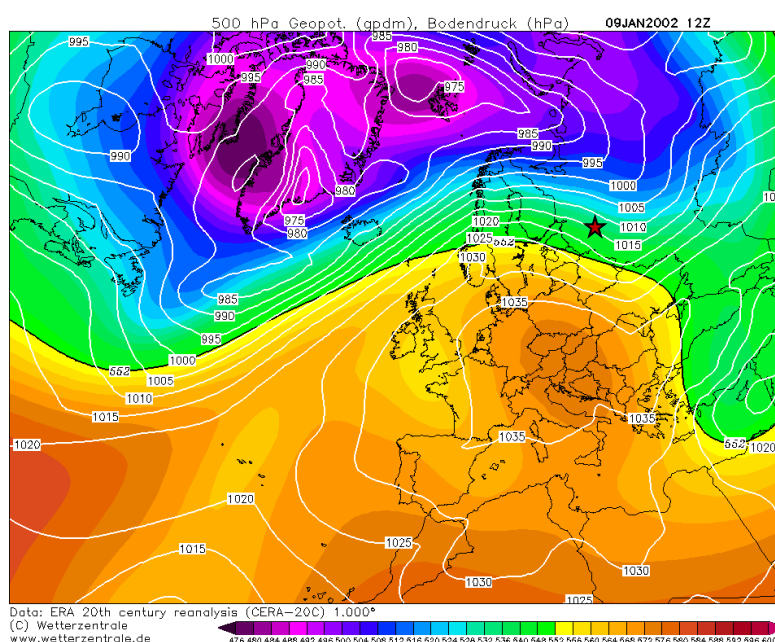


Рисунок 3.13 - Синоптическая ситуация повышения температуры воздуха в Москве 9 января 2002 года. Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500

Затоки воздушных масс наблюдаются с Балтийского региона, отступление очага холода и продвижение теплых воздушных масс формируют резкий перепад среднесуточной температуры воздуха в г. Москва.

Рассмотрим ещё один случай резкого изменения среднесуточной температуры воздуха в г. Москва за 12 января 2003 года. Этот случай является интересным, поскольку он следовал за случаем с резким понижением температуры воздуха 10-11 января, рассмотренном в п. 3.4. Ход среднесуточной температуры исследуемого периода представлен на рисунке 3.14.

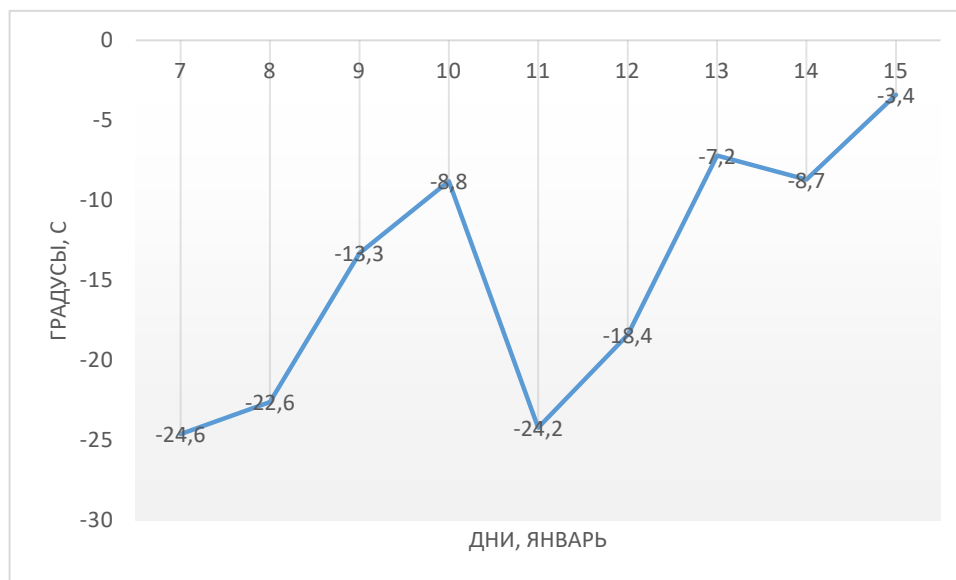


Рисунок 3.14 - Ход среднесуточной температуры воздуха в период резких перепадов в январе 2003 г.

Данный ход температуры отличается от первого рассмотренного случая тем, что сначала у нас наблюдается резкое повышение, а затем резкое понижение температуры воздуха.

Рассмотрим синоптическую ситуацию, характерную для дня, предшествующего потеплению воздуха в г. Москва (рисунок 3.15).

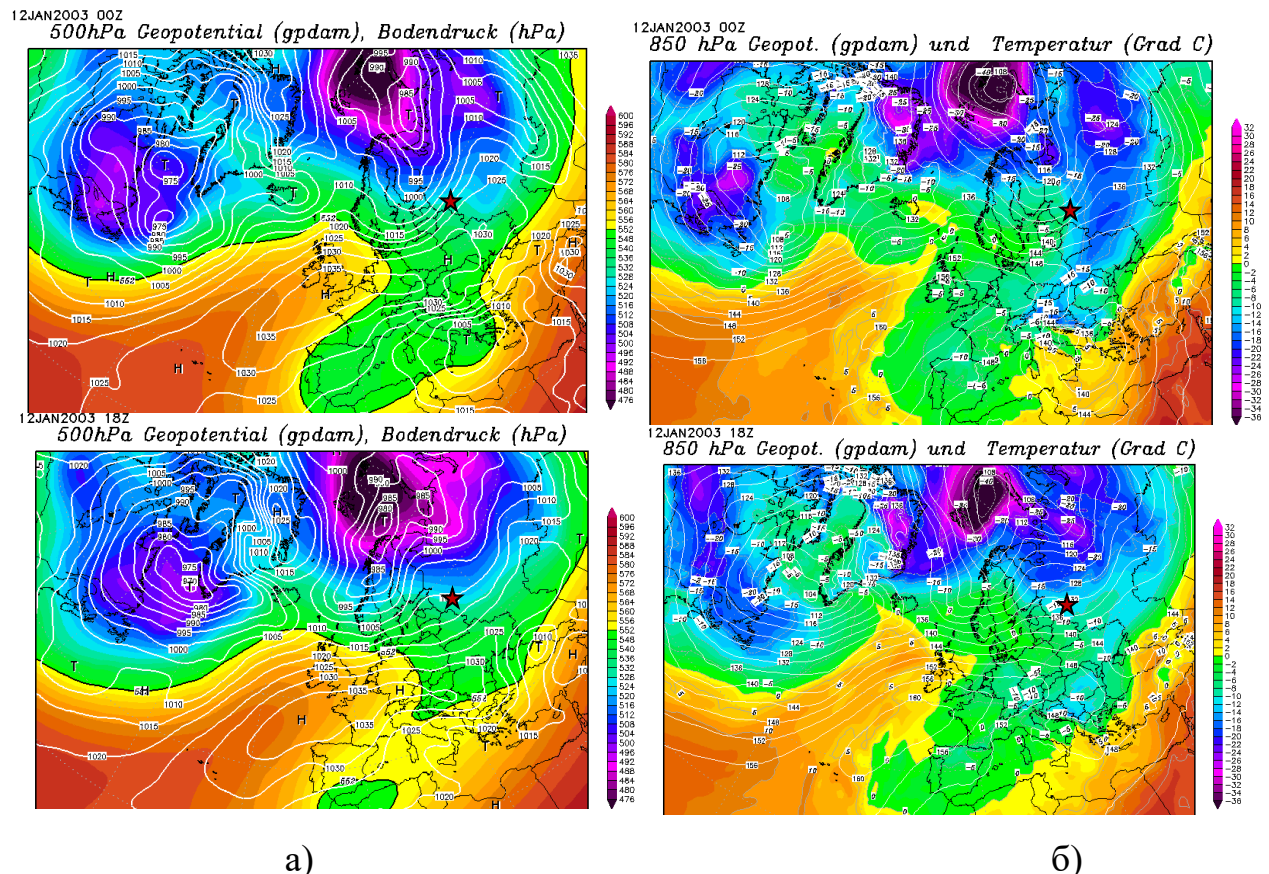


Рисунок 3.15 - Синоптическая ситуация, характерная значительному повышению среднесуточной температуры воздуха. Начало (сверху) и окончательное (снизу) потепление. а) Совмещенная карта погоды:

Приземная+АТ500, б) Поле температуры на высоте 2 м.

На рисунке 3.15 мы видим, что ВФЗ образует высотную ложбину в районе западной Европы, охватывая всю Европу и ЕТР. До потепления тропический воздух на высоте 5 км циркулирует над Атлантикой. А погода над территорией Москвы формируется арктическим вторжением, Москва находится в высокоградиентном поле южной части мощного арктического циклона с центром над Баренцевым морем. После чего южный антициклон начинает смещать ВФЗ в сторону ЕТР, область высотной ложбины уменьшается. Уменьшается и очаг холода, связанный с арктическим вторжением над территорией Европы и ЕТР В результате, Москва

оказывается в малоградиентном поле между северным циклоном и южным антициклоном.

Гребень холода над территорией Европы и ЕТР также отчетливо виден и на карте приземной температуры воздуха программного погодного сервиса Ventusky, изображенной на рисунке 3.16.

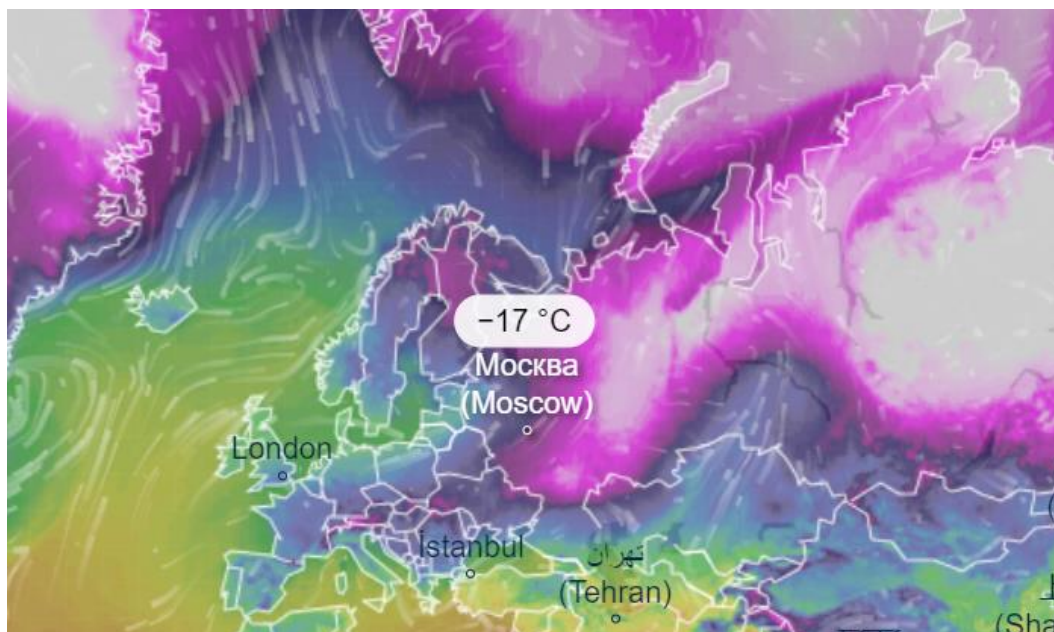
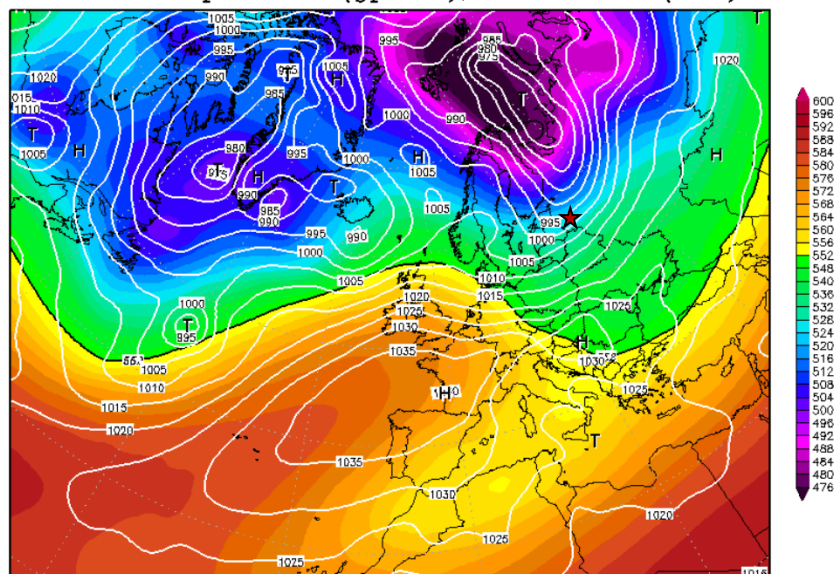


Рисунок 3.16 - Очаг холода над Европой и ЕТР. Визуализация поля температуры модели реанализа ECMWF

Затем, 13 января 2003 года, когда среднесуточная температура воздуха составила -7.2°C (температура воздуха повысилась от $-18,4^{\circ}\text{C}$ до $-7,2^{\circ}\text{C}$), на совмещенной синоптической карте рисунка 3.17 (Приземная+AT500) мы видим уже характерную ситуацию потепления.

А именно, образуется высокоградиентное поле давления между арктическим циклоном и южным антициклоном над территорией Москвы. При этом, в районе Норвежского моря появляется первая замкнутая антициклоническая изобара. В результате, приток тепла из Атлантики осуществляется через Балтику, а не через Скандинавию (как во втором случае), для которой типично формирование очага холода на юге.

13JAN2003 12Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)



Daten: CFS Reanalysis
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Рисунок 3.17 - Синоптическая ситуация повышения температуры воздуха в Москве 13 января 2003 года. Совмещенная карта погоды:

Приземная+AT500

Это также хорошо демонстрирует карта визуализации поля температуры воздуха программного погодного сервиса Ventusky (рисунок 3.18).

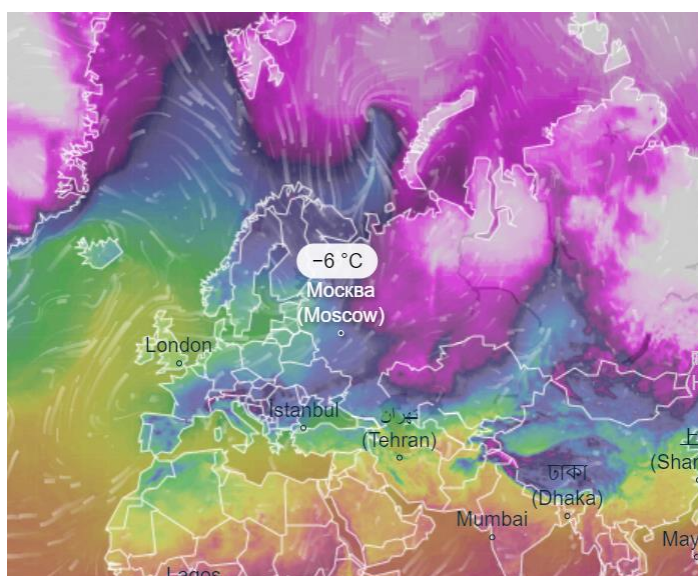


Рисунок 3.18 - Приток тепла из Атлантики. Визуализация поля ветра и температуры модели реанализа ECMWF

Помимо зимних случаев существенного повышения среднесуточной температуры, которых было достаточно большое количество, наблюдались также несколько случаев положительных перепадов температур. Весенние случаи интересны тем, что происходят в переходный сезон года. Следует отметить, что зимние перепады среднесуточной температуры воздуха имеют более высокую амплитуду колебаний. В Москве не наблюдалось за весь период межсуточных изменений температуры воздуха более, чем на 11°C . Рассмотрим характерный случай 21 марта 2014 года, изменение среднесуточной темп составило 11°C (увеличение температуры с -1.8°C до 9.2°C).

Днем 22 марта наблюдались максимальные положительные температуры воздуха в г. Москва. На рисунке 3.19 мы видим мощный циклон с двумя центрами над Северной Атлантикой, он охватывает своим высокоградиентным полем всю Атлантику вплоть до Восточной Европы.

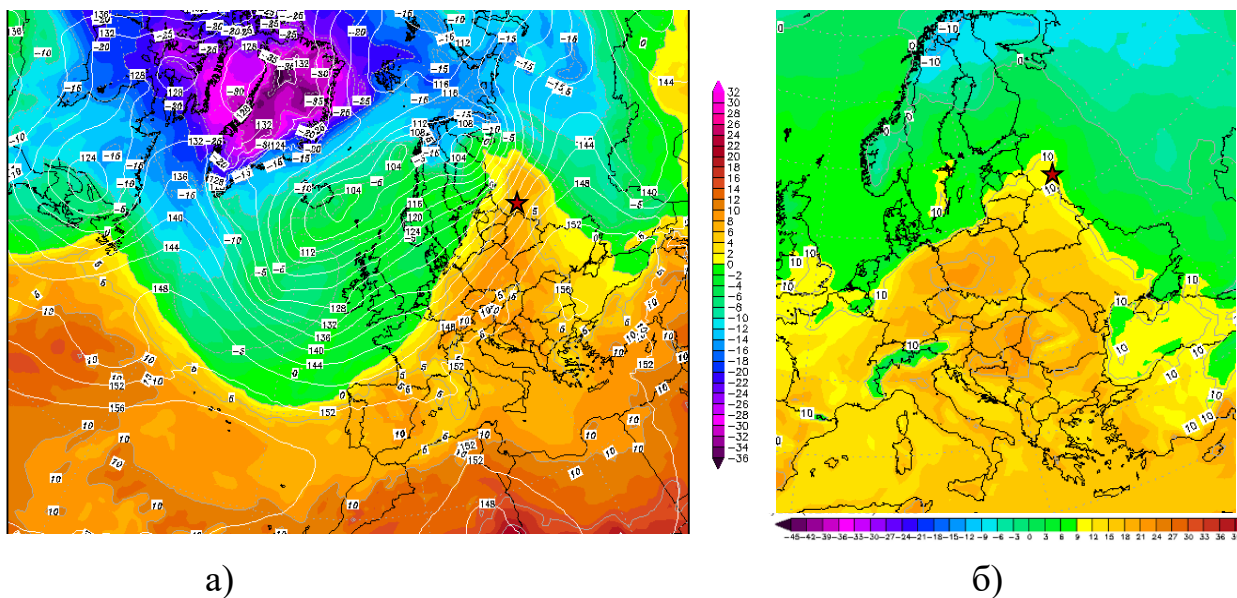


Рисунок 3.19 - Синоптическая ситуация, характерная значительному повышению среднесуточной температуры воздуха. Потепление.

а) Совмещенная карта погоды: Приземная+AT500

б) Поле температуры на высоте 2 м.

Именно высокоградиентное поле формирует юго-западные потоки и, чем ниже будет расположен центр циклона, тем более прогретые воздушные массы будут поступать с южных регионов.

Москва в данном случае расположена в теплом секторе циклона, что отчетливо видно на рисунке 3.20. Для этой части циклона характерны воздушные массы, приходящие с юго-западной части Европы, где в марте уже фиксируются положительные температуры. Поскольку, Москва расположена на западе центрального региона России и в целом близка к Восточному региону Европы, то здесь в марте уже наблюдаются положительные температуры. Поэтому здесь нет таких ярко выраженных перепадов, как в северных регионах нашей страны. Например, по данным исследования, проводимого на Кафедре метеопрогнозов, в г. Воркута, в марте месяце, тот же циклон может приводить к резким изменениям среднесуточной температуры более 20°C.

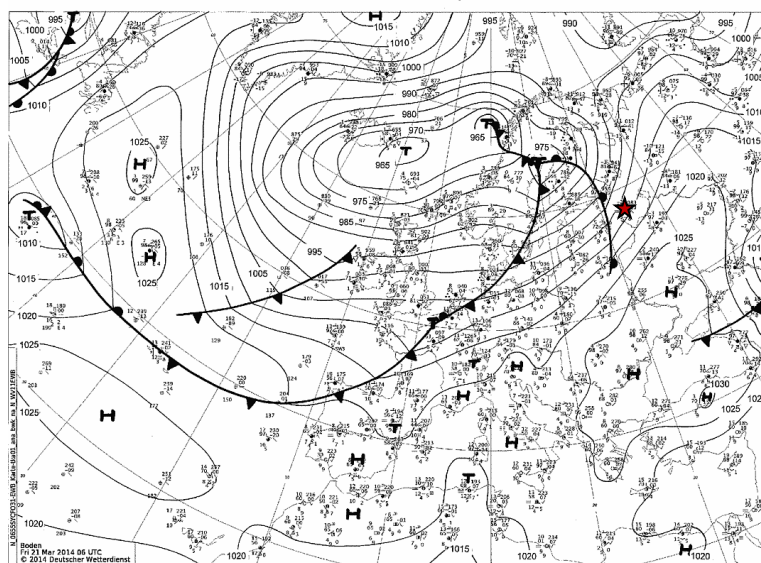


Рисунок 3.20 - Приземная карта погоды 22 марта 2012 года
с нанесенными фронтами

Подводя итоги следует отметить, что последний случай существенного положительного изменения среднесуточной температуры наблюдался в 2017 году, а повторяемость явления за последние 30 лет уменьшилась почти в 3

раза. На данном этапе работы можно предположить, что предиктором этого является положение высотной фронтальной зоны. Но для обоснованного вывода необходимо продолжать исследования в данном направлении, проанализировать циркуляционные процессы в течение всех зим за последние 30 лет, чтобы определить стандартные синоптические процессы и сравнить их с синоптическими условиями формирования резких изменений среднесуточной температуры воздуха.

3.4 Синоптические условия формирования дней со значительной отрицательной межсуточной изменчивостью температуры воздуха холодного полугодия г. Москва

Рассмотрим зимние случаи резких понижений температуры воздуха за период с 1961 года по 2020 год.

В последние 30 лет в зимний период наблюдалось 60 случаев существенного понижения температуры воздуха. Из них в январе 21 случай за первые 30 лет (с 1961 г. по 1990 г.) и 10 случаев за период с 1991 г. по 2020 г.. Для декабря это всего 20 случаев, из которых 17 случаев за первые 30 лет (с 1961 г. по 1990 г.) и 3 случая за период с 1991 г. по 2020 г.. В феврале зафиксировано всего 12 случаев резких перепадов температур – пять за первые 30 лет (с 1961 г. по 1990 г.) и 7 за вторые (с 1991 г. по 2020 г.).

На рисунке 3.21 представлена характерная синоптическая ситуация для дней со значительной отрицательной межсуточной изменчивостью для начала периода исследования. 1 февраля 1966 года Москва продолжает находиться под влиянием глубокого циклона, имеющего несколько сопряженных центров: над Северо-Западом РФ (давление в центре 995 гПа), над побережьем Скандинавии (давление в центре 995 гПа). Циклон имеет общие изобары с образованием над Северной Атлантикой и смещается в юго-восточном направлении. В результате чего г. Москва оказывается в центре циклона, что характеризуется достаточно высокой температурой.

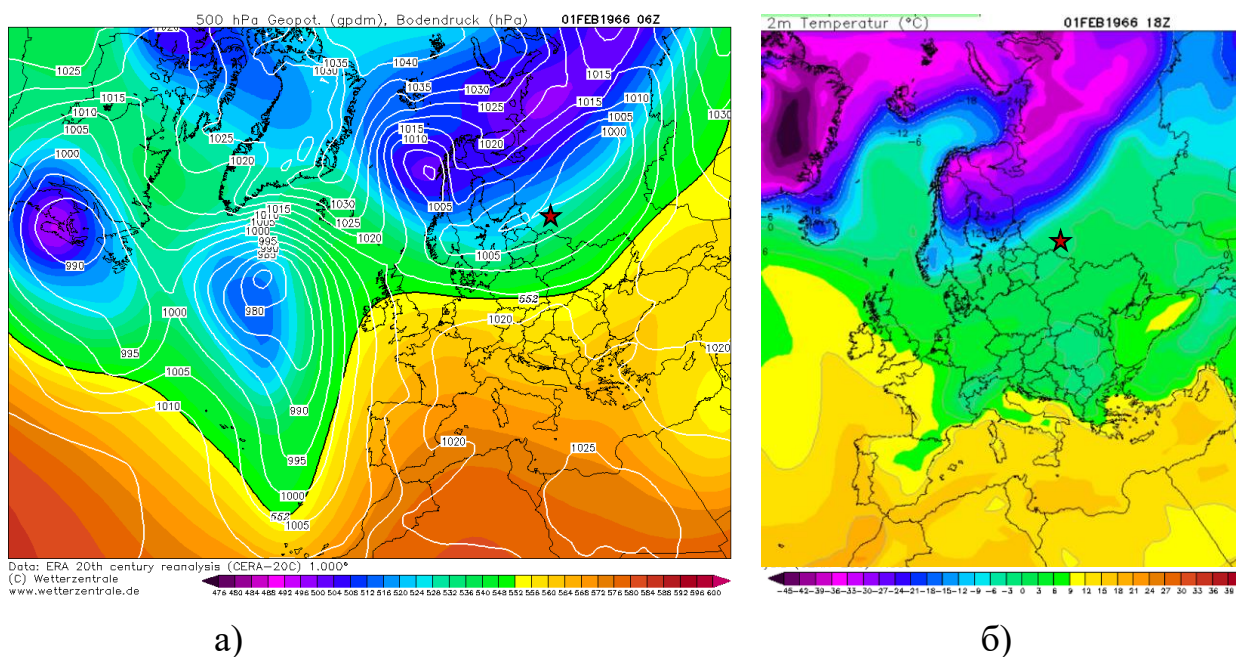


Рисунок 3.21 - Синоптическая ситуация, характерная значительному понижению среднесуточной температуры воздуха. До похолодания.

а) Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500

б) Поле температуры на высоте 2 м.

Этот случай произошел после дня со значительной положительной изменчивостью, который был рассмотрен выше. За два дня температура воздуха понизилась на 29,4 С. В первый день (1.02.1996 г.) температура воздуха составила 1,5 С, а во-второй день (2.02.1996 г.) уже опустилась до -12 С, в результате перепад температур составил -13,5 С. После этого температура опустилась ещё на 15,9 °С, что привело к среднесуточной температуре равной -27,5 С. А уже с 3 февраля наблюдались лишь незначительные повышения температуры, что и демонстрирует график на рисунке 3.22.

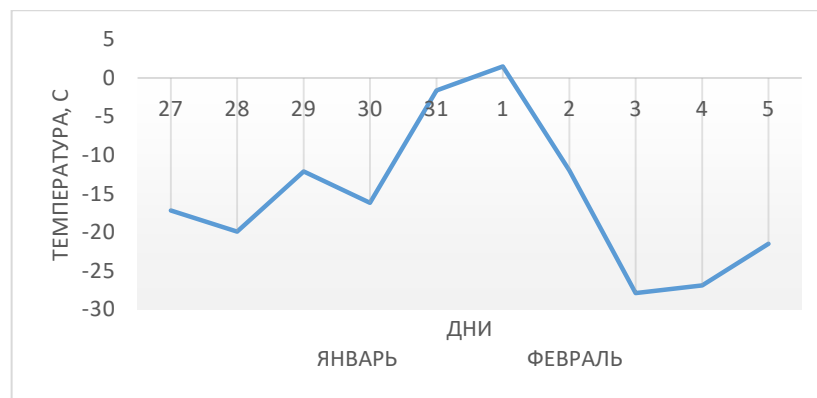
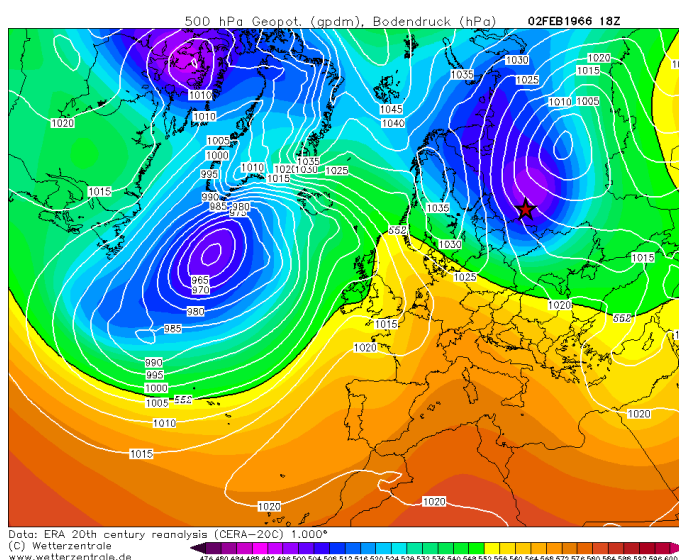
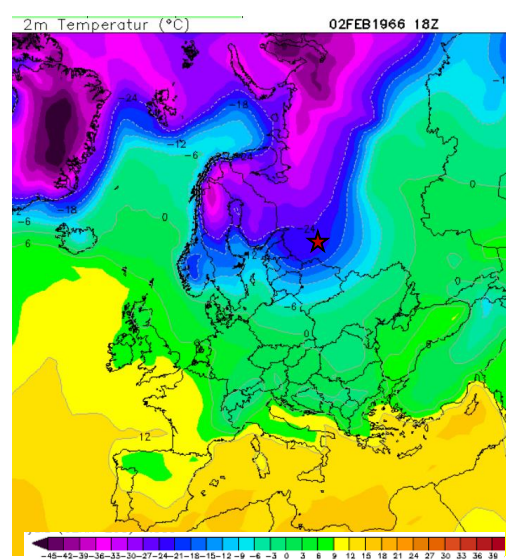


Рисунок 3.22 - Ход среднесуточной температуры воздуха в период резких перепадов в январе-феврале 1966 г.

На рисунке 3.23 показана синоптическая ситуация 2 февраля, когда похолодание продолжилось во второй день. Циклон с центром над ЕТР смещается, и Москва оказывается уже в тыловой части циклона, в которую приходят арктические воздушные массы, формируя очаг холода над ЕТР. Эта ситуация характерна для резких отрицательных перепадов температуры.



а)



б)

Рисунок 3.23 - Синоптическая ситуация, нехарактерная значительному понижению среднесуточной температуры воздуха. Второй день похолодания.

а) Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500

б) Поле температуры на высоте 2 м.

Затем тыловая часть циклона уходит, и Москва находится в передней части гребня антициклона с малоградиентным полем. Это отчетливо изображено на рисунке 3.24.

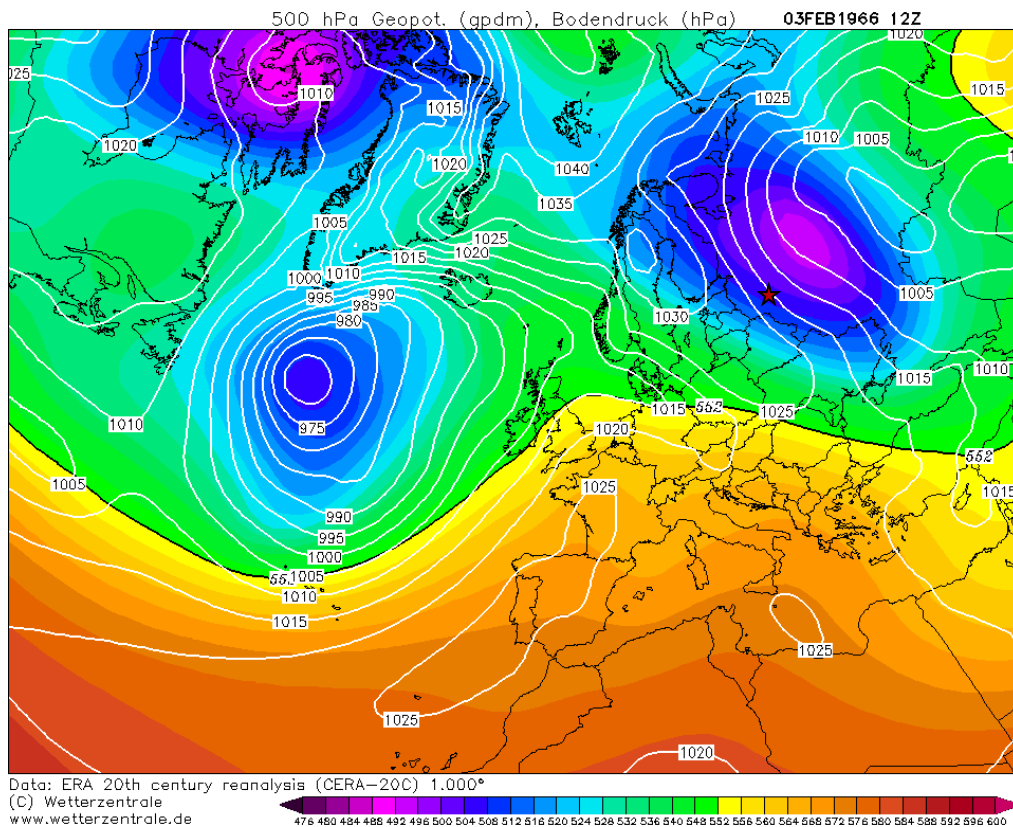


Рисунок 3.24 - Синоптическая ситуация понижения температуры воздуха в Москве 3 февраля 1966 года. Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500

Значительного потепления не происходит, поскольку глубокий циклон (давление в центре - 970 гПа) над Атлантикой не будет двигаться в направлении ЕТР. Это обуславливается наличием небольшой волны ВФЗ в районе Великобритании. Следовательно, над территорией Москвы дальнейшего понижения температуры не будет.

Случай, произошедший 15 декабря 1978 года, является ярким примером арктического вторжения на более низкие широты. Сначала температура была больше нуля и составила 1.6°C.

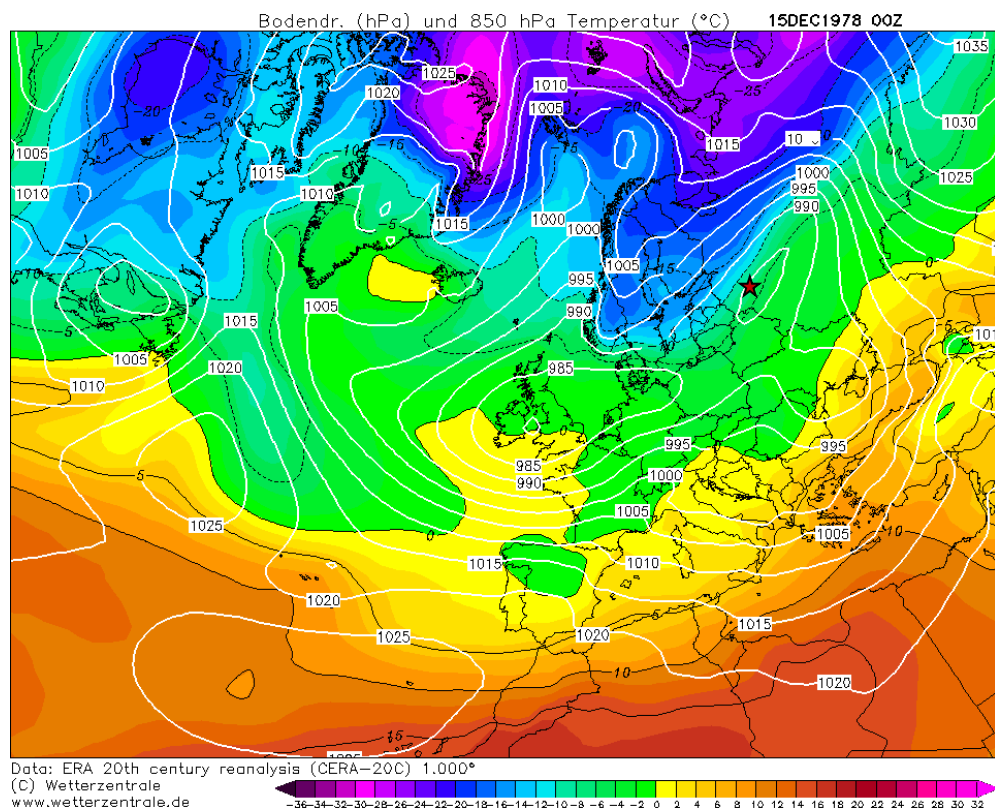


Рисунок 3.25 - Синоптическая ситуация до понижения температуры воздуха в Москве (15 декабря 1978 года). Совмещенная карта погоды:
Приземная+АТ850

На совмещенной карте температур на высоте 1,5 км и приземного давления, представленной на рисунке 3.25 Москва находится в зоне достаточно высоких температур. На высоте над Центральной и Западной Европы наблюдается зона высоких температур, над Великобританией - положительные. Москва попадает в зону холода, связанном с гребнем арктического антициклона, который действует на Кольский полуостров и Северо-запад России. Именно здесь наблюдается очаг холода. В результате столкновения южного циклона и гребня антициклона, над Балтикой формируется высокоградиентное поле давления.

В течении суток наблюдается изменение оси вторжения гребня (рис. 3.26). Гребень высокого давления движется на восток и занимает область Сибири и Центральной России. В его малоградиентном поле формируется отдельный центр антициклона с центром в районе Северо-Западного региона.

Под влиянием центра антициклона оказывается Москва, которая находится на южной границе очага холода ультраполярного вторжения.

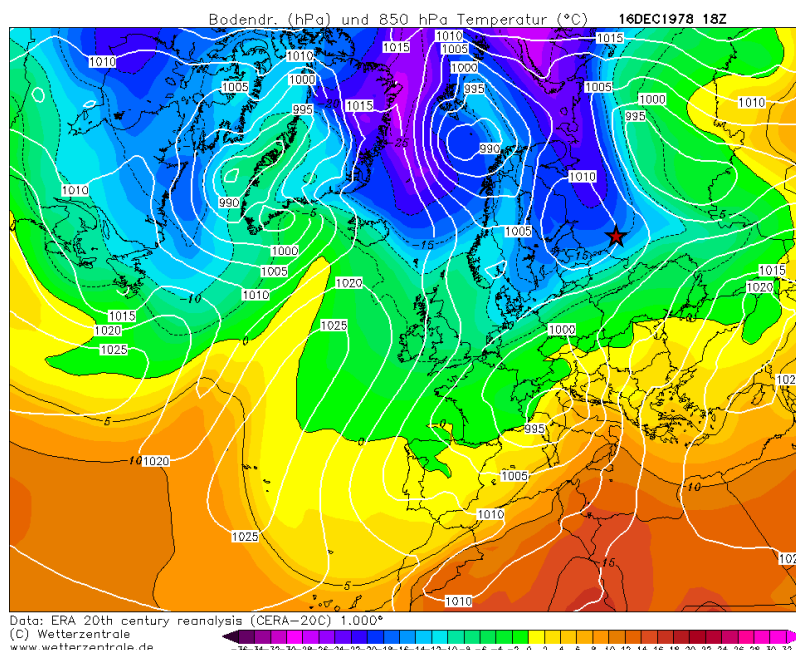
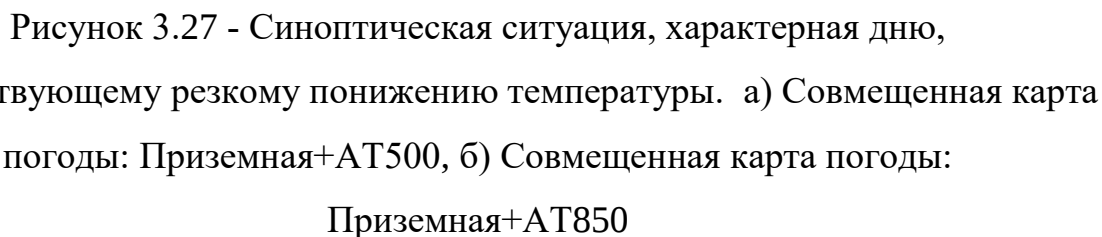
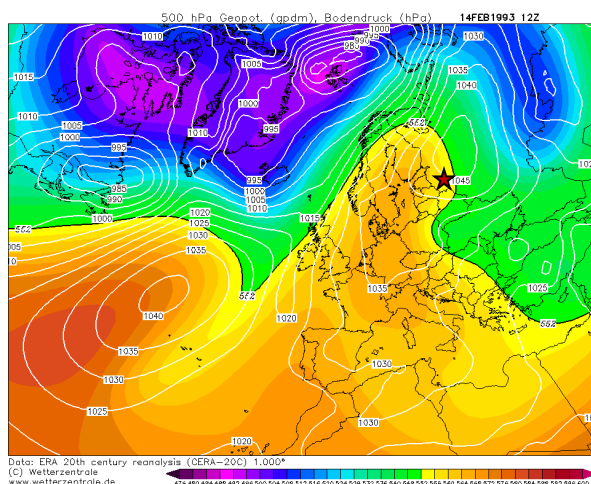


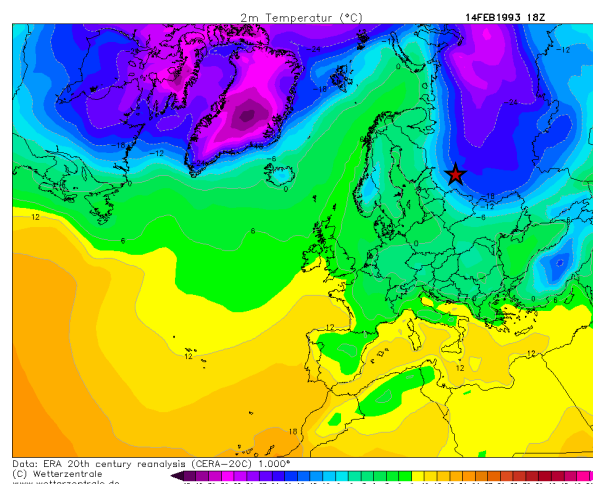
Рисунок 3.26 - Синоптическая ситуация после понижения температуры воздуха в Москве (16 декабря 1978 года). Совмещенная карта погоды:
Приземная+АТ850

Характерным случаем для начала второй половины исследуемого периода является случай, зафиксированный 13 февраля 1993 года. В день, когда температура ещё не понизилась, над Сибирью располагается глубокий циклон с давлением в центре 995 гПа (рис. 3.27). Центр барического образования расположен над Западной Сибирью. На территории Европы, над центральной Россией наблюдается поле антициклона с центром над центральной Европой. Вся Прибалтика и прилегающие территории, в том числе и Москва, оказались в малоградиентном поле, где формируется гребень данного антициклона с осью, направленной в сторону Новой Земли. Над Сибирью и частью Северо-Запада на высоте 1,5 км можно обнаружить очаг холода, связанный с тыловой частью циклона и передней частью гребня антициклона. В данный момент очаг холода находится восточнее Москвы.





а)



б)

Рисунок 3.28 - Синоптическая ситуация после резкого понижения температуры. а) Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500, б) Карта температуры на 2 м.

В случае 10 января 2003 года приведен пример синоптической ситуации с резким понижением температуры, предшествующий резкому повышению. Здесь мы видим, что в день до похолодания (рис 3.29) погода в г. Москва определялась антициклоном с тремя центрами – над югом Скандинавии, в районе Англии и на юге Атлантического океана.

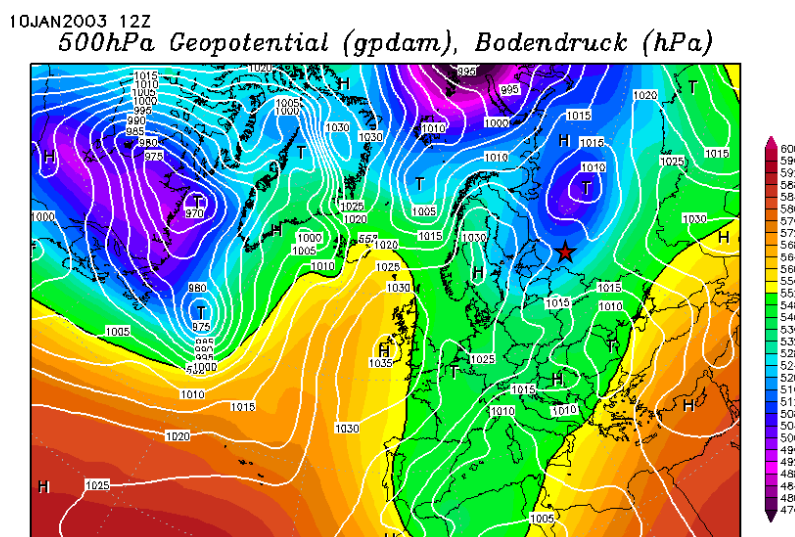


Рисунок 3.29 - Синоптическая ситуация до понижения температуры воздуха в Москве (10 января 2003 года). Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ500

Большой по своей протяженности антициклон приносил в Москву теплые воздушные массы, идущие из Атлантики через Центральную Европу. После чего зарождающийся гребень антициклона в районе ЕТР начинает увеличиваться в сторону Западной Сибири и по мере продвижения Москва оказывается в тыловой части гребня. Данная синоптическая ситуация хорошо прослеживается на рисунке 3.30.

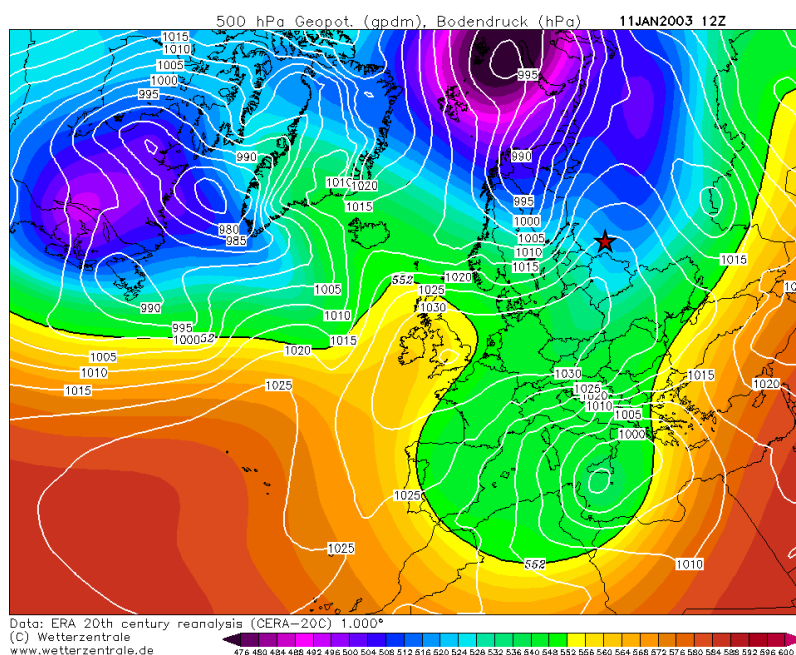
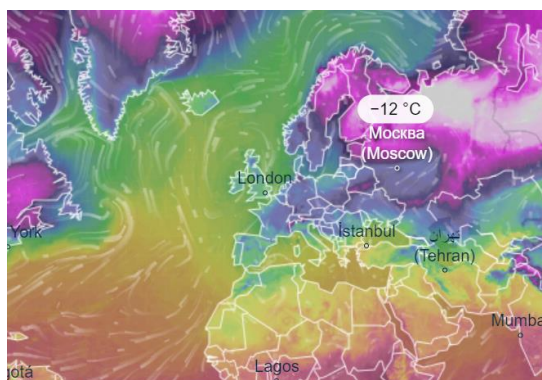


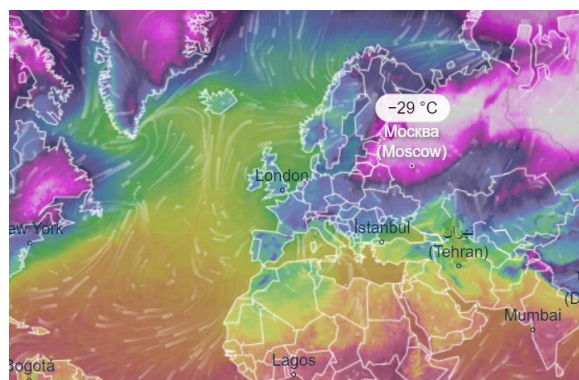
Рисунок 3.30 - Синоптическая ситуация после понижения температуры воздуха в Москве (11 января 2003 года). Совмещенная карта погоды:

Приземная+АТ500

А поскольку гребень захватывает арктический воздух, то и воздушные массы, пришедшие в Москву, привели к резкому понижению температуры до -29°C . На рисунке 3.31 приведены карты приземной температуры воздуха, полученные с помощью сервиса Ventusky до (а) и после (б) прихода арктической воздушной массы.



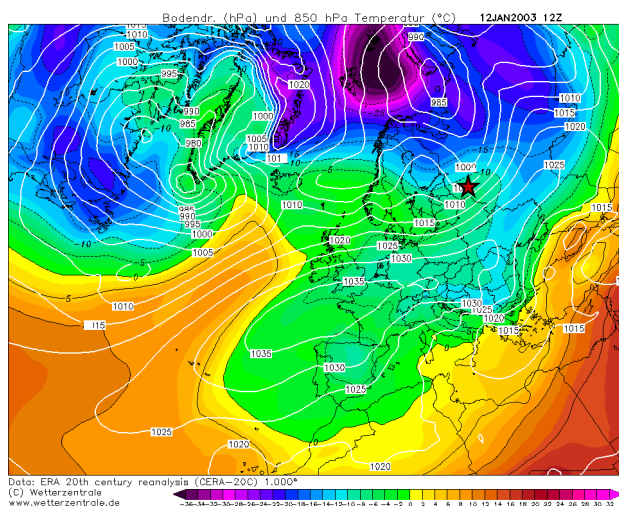
а)



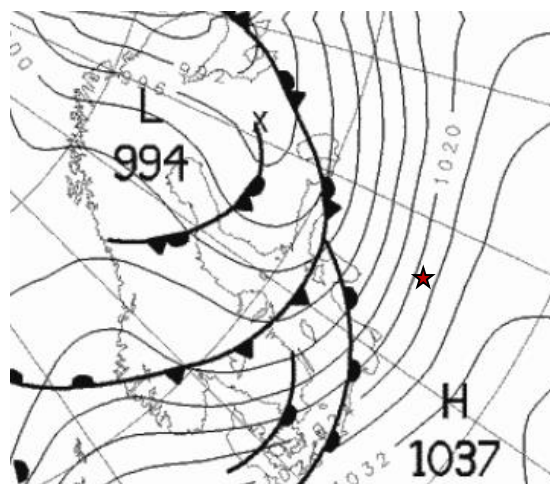
б)

Рисунок 3.31 - Визуализация поля ветра и температуры модели реанализа ECMWF на приземной карте погоды до (а) и после (б) похолодания

Потепление показано на рисунке 3.32 (а). На карте изображен гребень тепла в районе Москвы, которая находится в малоградиентном поле. После чего произошло окклюдирование фронта, и Москва оказалась в теплом секторе циклона.



а)



б)

Рисунок 3.32 - Синоптическая ситуация, характерная для дня после резкого понижения температуры. а) Совмещенная карта погоды: Приземная+АТ850, б) Приземная карта погоды с нанесенными фронтами

Это подтверждается также рисунком 3.32 (б), однако мы считаем, что точка окклюзии должна находиться северо-восточнее точки, нарисованной с помощью программы.

Ещё одним примером резкого межсуточного изменения среднесуточной температуры в г. Москва можно считать перепад температуры между 16 и 17 января 2006 год. В данном случае резкое понижение воздуха связано с тем, что очаг холода над Сибирью арктическим побережьем России, связанный с формированием антициклона, начинает приближаться к Центральной России. В результате центральная Россия оказывается в высокоградиентном поле, где преобладают достаточно сильные ветра. Москва находится в зоне действия антициклона и вследствие этого воздушные массы идут с очага холода. Именно они приносят резкое похолодание. Карты приземных температур до и после похолодания приведены на рисунке 3.33.

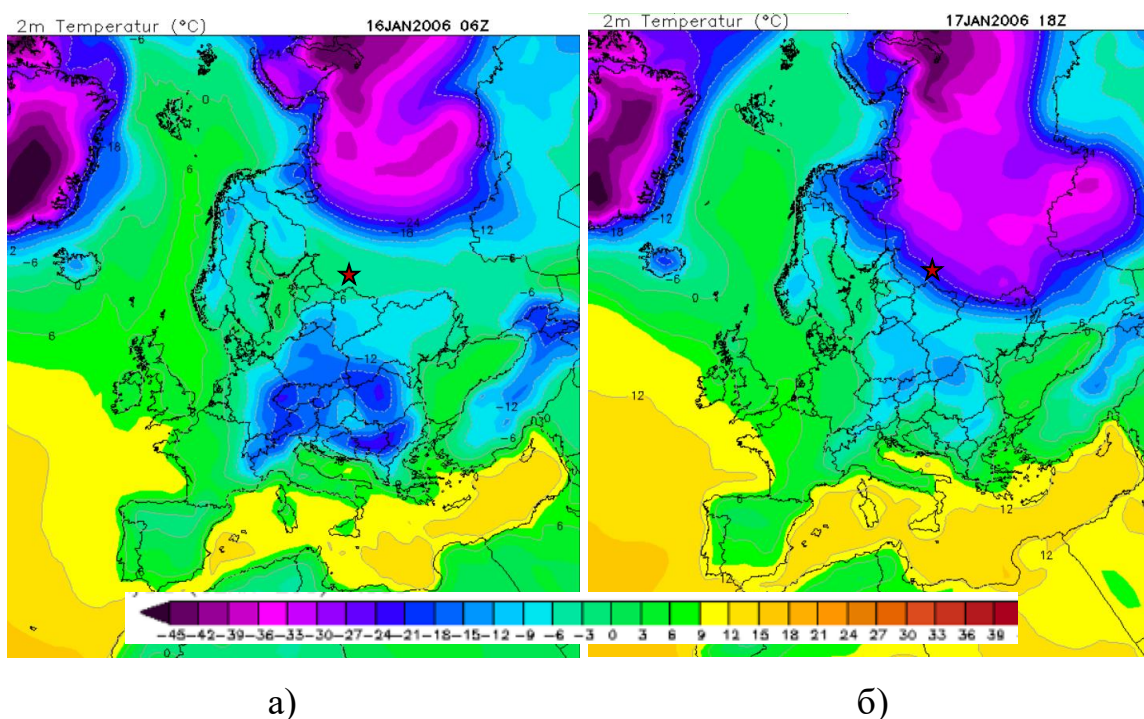


Рисунок 3.33 - Карты приземной температуры на высоте 2 м до арктического вторжения (а) и после резкого изменения температуры (б)

Москва до продвижения антициклона находилась под действием облачности, связанной с фронтальной системой циклона с центром в Волгоградской области (рис. 3.34). Она способствовала повышению температуры до прихода антициклона и привела к формированию резкого изменения среднесуточной температуры.

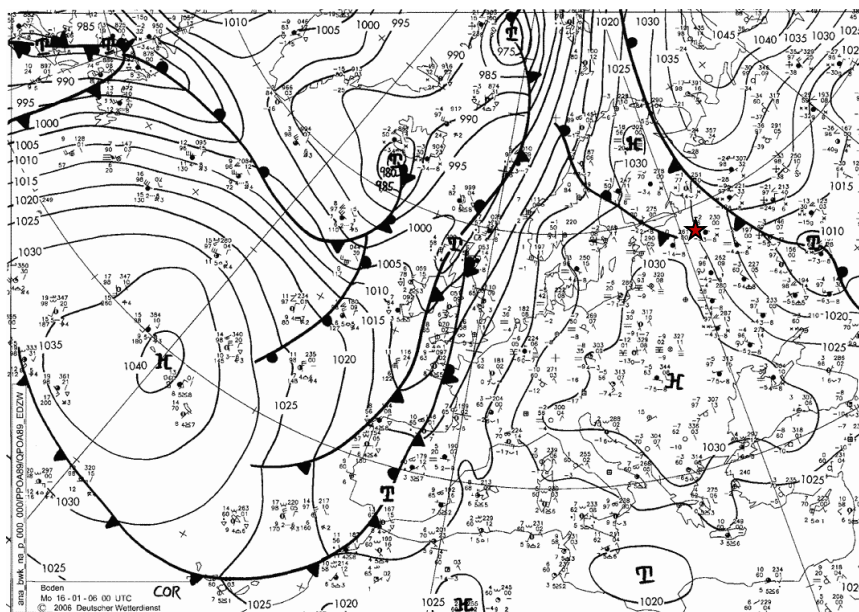


Рисунок 3.34 - Приземная карта погоды 16 января 2006 года
с нанесенными фронтами

Подводя итоги резких отрицательных изменений температуры, можно сделать вывод, что в случаях резкого понижения температуры на территорию г. Москва приходит арктический воздух. Синоптическим условием данного явления наличие тыловой части гребня над исследуемым регионом. Когда гребень антициклона достаточно большой по своей протяженности, он приносит холодные воздушные массы с севера, вызывая арктическое вторжение. Чем более высокоградиентное поле он образует, тем более сильным может оказаться вторжение.

За последние 30 лет количество случаев с резким изменением среднесуточной температуры уменьшилось на 46%.

Заключение

Понимание синоптических условий возникновения резких межсуточных изменений температуры воздуха от суток к суткам является важным шагом к предсказанию данного явления и минимализации ущерба, к которому они могут привести.

Анализ синоптических условий формирования значительных межсуточных колебаний температуры воздуха в теплый и холодный период с 1961 по 2020 год в г. Москва показал, что для повышения и понижения температуры существуют свои характерные синоптические ситуации. Однако не стоит исключать, что бывают случаи и с нехарактерными ситуациями, которых значительно меньше.

В г. Москва было выявлен 141 случай с резким изменением температуры за исследуемый период. При этом большая часть приходится на зимний период 135 случаев. Это объясняется особенностями её географического положения и более сильной циклонической деятельности зимой, с которой связаны более значительными адвективными изменениями температуры. Междусуточная изменчивость температуры тем больше, чем чаще и чем сильнее адвективные изменения температуры, происходящие в данной местности.

Последний случай существенного положительного изменения среднесуточной температуры наблюдался в 2017 году, а повторяемость явления за последние 30 лет уменьшилась почти в 3 раза. На данном этапе работы можно предположить, что предиктором этого является положение высотной фронтальной зоны. Но для обоснованного вывода необходимо продолжать исследования в данном направлении, проанализировать циркуляционные процессы в течении всех зим за последние 30 лет, чтобы определить стандартные синоптические процессы и сравнить их с синоптическими условиями формирования резких изменений среднесуточной температуры воздуха.

В случаях резкого понижения температуры на территорию г. Москва приходит арктический воздух. Синоптическим условием данного явления наличие тыловой части гребня над исследуемым регионом. Когда гребень антициклона достаточно большой по своей протяженности, он приносит холодные воздушные массы с севера, вызывая арктическое вторжение. Чем более высокоградиентное поле он образует, тем более сильным может оказаться вторжение.

За последние 30 лет количество случаев с резким изменением среднесуточной температуры уменьшилось на 46%.

Список используемой литературы

1. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 - 48 с.
2. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1989. - 568 с.
3. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
4. Минц А. А. Центральный район (экономико-географический очерк) . М.: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1963. – 34 с.
5. Мякишева Н.В. Климатическая система Земли Санкт-Петербург, РГГМУ, 2008. - 94 с.
6. С. Donald Ahrens. Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere. Thomson Brooks/Cole, 2000. - 464 p.
7. База данных по температуре в г. Москва // 7. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 26.02.2022).
8. Архив карт реанализа URL: <http://wetterzentrale.de> (дата обращения: 01.02.2022).
9. Карты погоды DWD // Архив реанализа URL: https://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html (дата обращения: 01.02.2022).