МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

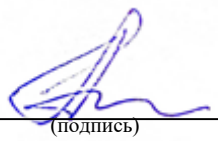
(бакалаврская работа)

На тему: «Анализ особенностей формирования весеннего сезона в г.Ижевск»

Исполнитель **Корнилова Елена Андреевна**
(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)

« 07 » июня 2025 г.

Санкт–Петербург
2025

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 3

1.Климат 5

1.1 Понятие климата и климатообразующие факторы 5

1.2 Общая циркуляция атмосферы 9

1.3 Воздушные массы 12

1.4 Атмосферные фронты 15

1.5 Физико- географическое положение Ижевска 18

1.6 Особенности климата Удмуртии 19

2.Понятие «весны» и методы ее определения 22

2.1 Понятие весны 22

2.2 Методы определения весны 23

2.3 Даты устойчивого перехода температуры воздуха 25

3. Анализ особенностей формирования весеннего сезона в г. Ижевск за период с 1963 г. по 2022 г. 27

3.1 Постановка цели и задач 27

3.2 Результаты исследования 29

3.3 Анализ синоптических ситуаций, характерных раннему началу весны без возвратов холода 36

3.4 Анализ ранних весен с возвратами холода 45

3.5 Аномально ранняя весна 9 марта 2020 года 49

3.6 Аномально поздняя весна 51

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 55

ВВЕДЕНИЕ

Целью бакалаврской работы является анализ особенностей формирования весеннего сезона в городе Ижевск с 1963 по 2022 гг.

В последнее время глобальное потепление стало основным явлением изменения погодных и синоптических условий во всем мире. По всей земле изменение климата неравномерно. Оно затрагивает различные секторы экономики, такие как сельское хозяйство, рыболовство, лесное хозяйство, энергетика, туризм. Колебания температур также оказывают влияние на организм человека.

В климатологии началом весны принято считать момент, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво переходит через 0 °С в сторону положительных значений [1] Иными словами, устанавливается безморозный период – дни уже не характеризуются отрицательными среднесуточными температурами. Данный переходной рубеж служит важным индикатором смены сезонов, отделяя конец зимы от наступления климатической весны. На территории Удмуртской Республики (включая г. Ижевск) в среднем устойчивый переход через 0 °С весной происходит в конце марта – начале апреля [1].

Значимость изучения сроков наступления весны обусловлена их большим влиянием на природные процессы и хозяйственную деятельность. От времени, когда температура воздуха преодолевает рубеж 0 °С, напрямую зависят следующие ключевые явления и процессы:

Сход снежного покрова – устойчивое потепление инициирует активное таяние снега и очищение поверхности земли от снега;

Просыхание почвы – после схода снегов начинается прогрев и высыхание верхнего слоя почвы, что важно для начала полевых работ;

Вскрытие рек – повышение температуры воздуха приводит к таянию речного льда и началу ледохода на водоёмах;

Начало вегетации растений – с переходом температуры через +5 °C начинает пробуждаться растительность, стартует рост озимых культур и других холодостойких растений [2].

Актуальность исследования климатических особенностей наступления весны за период 1963–2022 гг. для г. Ижевска обусловлена потребностью выявить, как менялись сроки наступления весеннего сезона на фоне современных климатических изменений. Последние десятилетия характеризуются глобальным потеплением, и региональные проявления этого процесса выражаются, в частности, в перестройке режима сезонов года. Предварительные наблюдения указывают, что в Ижевске, как и в целом по Среднему Поволжью и Приуралью, тенденция потепления климата стала отчётливо проявляться с конца 1980-х годов, а в 2000-х гг. получила устойчивый характер [3]. Это сопровождалось значительным повышением температуры воздуха в холодное полугодие – зимой и ранней весной [3]. В результате современные весны наступают заметно раньше, чем в середине XX века, что требует детального анализа и объяснения. Рассмотрение за почти 60-летний период динамики дат перехода температуры через 0 °C, а также связанных с этим синоптических ситуаций, позволит оценить влияние изменений атмосферной циркуляции и регионального климата на сроки начала весны в Ижевске.

В данной работе особое внимание уделяется: общим климатическим условиям региона и климатообразующим факторам, влияющим на сезонные изменения; особенностям атмосферной циркуляции и типичным синоптическим ситуациям, приводящим к наступлению весны; анализу изменений в датах наступления весны и продолжительности весеннего периода за период 1963–2022 гг., включая сравнение того, как весна наступала раньше и как она наступает сейчас, в контексте наблюдаемого потепления климата.

Климат

Понятие климата и климатообразующие факторы

Климат определяется как многолетний статистический режим погоды, характеризующийся совокупностью метеорологических элементов, таких как температура, влажность, осадки, ветер и облачность, а также атмосферных явлений, наблюдаемых в данной местности за продолжительный период времени, обычно составляющий несколько десятилетий [4] Это определение подчеркивает ключевое отличие климата от погоды, которая представляет собой текущее, краткосрочное состояние атмосферы. Для точной характеристики климата и выявления долгосрочных тенденций требуется обширный объем многолетних наблюдений и тщательный статистический анализ, поскольку изменения климата происходят постепенно, в отличие от быстрых колебаний погоды [5]. Климатическая система Земли является сложной и динамичной, представляя собой совокупность взаимодействующих компонентов. Она включает пять основных сфер:

Атмосфера — газовая оболочка Земли, в которой происходят все метеорологические процессы. Особое значение для климата имеют тропосфера (нижние 12 км) и стратосфера (до 50 км), где формируются основные погодные явления и происходит поглощение ультрафиолетового излучения озоном, что влияет на температурный режим [6]. Характеристики атмосферы, такие как температура, плотность, химический состав и движение, изменяются в широком диапазоне пространственных и временных масштабов

Гидросфера — включает все водные объекты на Земле: океаны, моря, реки, озера, подземные воды, а также воду в твердом (лед) и жидком состояниях. Циркуляция океана играет важную роль в переносе тепла и влаги по планете, оказывая значительное влияние на климат.

Литосфера — твердая оболочка Земли, включающая земную поверхность и верхние слои твердой Земли [5]. Рельеф и орография являются существенными факторами, влияющими на местные климатические условия.

Криосфера — совокупность всех форм льда и снега на Земле, включая ледники, снежный покров, морской лед и вечную мерзлоту [6]. Эти компоненты активно участвуют в энергетическом и водном балансе планеты.

Биосфера — совокупность всех живых организмов, которые взаимодействуют с атмосферой, гидросферой и литосферой. Растительность, животный мир и деятельность человека оказывают влияние на состав атмосферы (например, через выбросы парниковых газов или изменения в землепользовании), а также на водный и энергетический балансы [5].

Взаимодействие этих компонентов является ключевым для функционирования климатической системы. Таким образом, климат не является статичным состоянием, а представляет собой динамическую систему, поведение которой определяется сложными взаимосвязями между ее составляющими.

Климат на Земле формируется под воздействием множества взаимосвязанных факторов, которые определяют температурный и осадочный режимы в каждом регионе. Эти факторы не действуют изолированно, а постоянно взаимодействуют, создавая уникальные климатические условия в различных частях планеты.

Солнечная радиация и энергетический баланс Земли

Солнечная радиация является первичным и наиболее значимым климатообразующим фактором, поскольку она представляет собой основной источник энергии для всей земной системы [7]. Неравномерное распределение солнечной энергии по поверхности Земли, обусловленное сферической формой планеты и наклоном ее оси, приводит к

формированию температурных градиентов. Эти градиенты, в свою очередь, являются движущей силой для атмосферных движений (ветров), процессов испарения, формирования облаков и выпадения осадков. Изменения в интенсивности солнечной радиации, как естественные, так и антропогенные, могут существенно влиять на распределение энергии в атмосфере, способствуя глобальным и региональным климатическим изменениям.

Географическая широта и распределение суши и океана

Географическая широта играет определяющую роль в формировании климата, поскольку она напрямую влияет на угол падения солнечных лучей и, следовательно, на количество солнечного тепла, получаемого земной поверхностью [8]. В высоких широтах солнечная энергия достигает поверхности под меньшими углами и проходит через более толстый слой атмосферы, что приводит к значительно более низким температурам и формированию полярных климатов. Кроме того, широта определяет продолжительность дня и ночи в течение года, что сказывается на сезонных колебаниях температуры.

Распределение суши и океана является еще одним важным фактором. Водные объекты, такие как моря и океаны, обладают высокой теплоемкостью и нагреваются, и остывают значительно медленнее, чем суша [4]. Это приводит к тому, что прибрежные районы характеризуются более умеренным климатом с меньшими суточными и сезонными колебаниями температуры, тогда как внутренние континентальные области испытывают более резкие перепады температур, становясь очень жаркими и сухими летом и очень холодными зимой [8] Близость к морю также влияет на влажность и количество осадков: чем дальше от моря, тем меньше осадков выпадает.

Рельеф и орография

Рельеф местности, особенно наличие горных хребтов (орография), оказывает значительное влияние на климат. Горы выступают в качестве

барьеров для воздушных масс, изменяя их движение и способствуя орографическому подъему воздуха. В результате на наветренных склонах, обращенных к потоку воздуха, выпадает значительно больше осадков, поскольку поднимающийся воздух охлаждается и конденсируется. На подветренных склонах, напротив, формируются так называемые "дождевые тени" с существенно меньшим количеством осадков.

Океанические течения

Океанические течения оказывают существенное влияние на температуру и режим осадков в прилегающих к ним прибрежных районах. Теплые океанические течения, такие как Гольфстрим, переносят тепло от экватора к полюсам, повышая температуру воздуха над ними и способствуя испарению и формированию осадков, что приводит к более мягким зимам и влажной погоде. Напротив, холодные течения стабилизируют приземный воздух, подавляя образование облаков и осадков, что часто приводит к формированию пустынь на западных побережьях континентов.

Естественные и антропогенные воздействия

Естественные воздействия включают:

Извержения вулканов: Выбросы аэрозолей в стратосферу могут отражать солнечный свет обратно в космос, вызывая временное похолодание климата [9].

Изменения солнечной активности: Вариации в интенсивности солнечного излучения влияют на количество энергии, получаемой Землей, что может приводить к небольшим, но измеримым изменениям климата [9].

Орбитальные вариации Земли (циклы Миланковича): Долгосрочные изменения в наклоне земной оси, эксцентриситете орбиты и прецессии влияют на распределение солнечной радиации по широтам и сезонам, что является ключевым фактором в изменении климата на геологических временных масштабах [9].

Антропогенные воздействия вызваны деятельностью человека и являются основной причиной современного изменения климата. Наиболее

значимым примером является выброс парниковых газов (таких как углекислый газ, метан), которые поглощают тепловую энергию, излучаемую Землей, и удерживают ее в атмосфере, приводя к глобальному потеплению [9].

1.2 Общая циркуляция атмосферы

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) представляет собой фундаментальную систему глобальных движений воздушных масс, которая играет центральную роль в формировании климата и погоды на Земле. ОЦА определяется как совокупность замкнутых течений воздушных масс в масштабах полушария или всего земного шара, ответственных за широтный и меридиональный перенос вещества и энергии в атмосфере. Эта глобальная транспортная система необходима для поддержания теплового равновесия Земли и предотвращения экстремальных температурных градиентов, которые иначе возникли бы из-за неравномерного солнечного нагрева.

С синоптической точки зрения ОЦА понимается как совокупность основных типов движений (ветров), горизонтальные размеры которых сопоставимы с размерами континентов и океанов. К ним относятся устойчивые системы, такие как западный перенос в умеренных широтах обоих полушарий, пассаты субтропиков, муссоны, струйные течения, а также движения в планетарных волнах, циклонах и антициклонах. Эти движения обеспечивают обмен крупными воздушными массами как по горизонтали, так и по вертикали в тропосфере, стратосфере и мезосфере, оказывая решающее влияние на формирование погодных условий и климата Земли.

Неравномерное нагревание Земли солнечной радиацией, в сочетании с эффектом Кориолиса, приводит к формированию трех основных

циркуляционных ячеек в каждом полушарии, ячейку: Хэдли, Ферреля и Полярные ячейки

Эти ячейки регулируют глобальные ветровые режимы и, как следствие, влияют на распределение климатических зон по планете.

Рисунок 1.1 Схема глобальной циркуляции атмосферы

Ячейка Хэдли. Эта ячейка расположена между экватором и примерно 30° широты в обоих полушариях. Ее движущей силой является интенсивный солнечный нагрев в экваториальных регионах. Теплый, влажный воздух поднимается в зоне экватора, создавая область низкого давления. Поднявшись, воздух расходится к полюсам в верхних слоях тропосферы, постепенно охлаждаясь. Около 30° широты охлажденный воздух опускается, формируя субтропические зоны высокого давления. У поверхности Земли воздух возвращается к экватору, образуя устойчивые восточные ветры, известные как пассаты. Ячейка Хэдли является термически прямой циркуляцией, что означает, что она непосредственно обусловлена температурными градиентами и эффективно переносит тепло и угловой момент от низких широт к высоким [10].

Ячейка Ферреля. Эта ячейка занимает средние широты, примерно между 30° и 60° в обоих полушариях. В отличие от ячеек Хэдли и Полярной,

ячейка Феррeля является термически непрямой циркуляцией. Это означает, что она не прямо обусловлена температурными градиентами, а поддерживается крупномасштабными вихрями, такими как бароклинные волны, которые возникают в средних широтах. В этой ячейке воздух поднимается около 60° широты (субполярная зона низкого давления), движется к экватору в верхних слоях, опускается около 30° широты (субтропическая зона высокого давления) и возвращается к полюсу у поверхности в виде западных ветров (западного переноса) [10]. Интенсивность и протяженность ячейки Феррeля определяются жизненным циклом бароклинных волн, меридиональным температурным градиентом, статической устойчивостью и влиянием тропических процессов. Это подчеркивает, что не все крупномасштабные атмосферные циркуляции являются прямым ответом на нагрев; некоторые поддерживаются переносом импульса и тепла переходными погодными системами (вихрями), что представляет собой более сложную динамику.

Полярная ячейка. Полярная ячейка расположена между 60° широты и полюсами [10]. В этой ячейке холодный, плотный воздух опускается непосредственно над полюсами, создавая области высокого давления, известные как полярные максимумы. У поверхности Земли воздух движется от полюсов к более низким широтам, где встречается с более теплым воздухом ячейки Феррeля около 60° широты. В этой зоне происходит подъем воздуха, формируя субполярную зону низкого давления, после чего воздух возвращается к полюсу в верхних слоях атмосферы [10]. Поверхностные ветры в этой ячейке известны как полярные восточные ветры. Полярная ячейка также является термически прямой циркуляцией и играет ключевую роль в поддержании экстремально холодного климата полярных регионов.

Взаимодействие этих трех ячеек в каждом полушарии генерирует глобальные ветровые режимы — пассаты в тропиках, западные ветры в средних широтах и полярные восточные ветры в высоких широтах. Эти

глобальные ветровые системы, в свою очередь, значительно влияют на океанические течения и формирование климатических зон по всей планете.

Изменения в силе или положении этих циркуляционных ячеек могут существенно влиять на глобальный климат. Сдвиги ячеек могут привести к изменениям в распределении осадков, траекториях штормов и температурных режимах, что имеет серьезные последствия для экосистем, продовольственной безопасности и здоровья человека.

Воздушные массы

В рамках бакалаврской работы проводится анализ синоптических ситуаций, обуславливающих наступление весны. Важным аспектом исследования, требующим детального рассмотрения, выступают воздушные массы. Именно они оказывают решающее влияние на формирование метеорологической обстановки в изучаемом регионе. Перемещение воздушных масс влечет за собой смену погоды.

В тропосфере, нижнем атмосферном слое, существуют обширные объёмы воздуха, известные как воздушные массы. Они могут простираться на тысячи квадратных километров по горизонтали и достигать 20–25 км по вертикали. Отличительной чертой воздушных масс является их однородность по таким параметрам, как температура, влажность, прозрачность и запыленность. Эта однородность свойств достигается за счет длительного пребывания воздушной массы над однородной подстилающей поверхностью в сходных условиях теплового и радиационного баланса. В воздушной массе горизонтальные градиенты малы. В атмосферных фронтах происходит резкое увеличение градиентов или изменение их направления. Очагами формирования воздушных масс являются обширные, малоподвижные антициклонические системы.

Классификация воздушных масс основана на их температурных и влажностных характеристиках, которые, в свою очередь, определяются

регионами их формирования (источниками) [11]. Существует две основные категории по влагосодержанию:

Континентальные воздушные массы — формируются над континентами и, следовательно, являются сухими.

Морские (океанические) воздушные массы — формируются над океанами и, следовательно, являются влажными

Эти две категории далее подразделяются по температурным свойствам, зависящим от широты происхождения:

Арктические/Антарктические воздушные массы — формируются над полярными регионами (Арктика или Антарктика) и очень холодны.

Полярные воздушные массы — формируются в более высоких широтах как над сушей, так и над морем, и менее холодны, чем арктические.

Тропические воздушные массы — формируются в низких широтах над сушей или морем и, следовательно, являются теплыми или жаркими.

Экваториальные воздушные массы — формируются в экваториальных широтах и характеризуются высокой температурой и влажностью.

Комбинируя эти обозначения, получают полные названия воздушных масс, например:

Континентальная арктическая: очень холодная и сухая.

Морская полярная: холодная и влажная.

Континентальная тропическая: жаркая и сухая.

Морская тропическая: теплая и влажная.

В умеренных широтах, таких как территория России, преобладают воздушные массы умеренных широт, которые различаются по своим свойствам в зависимости от сезона. Однако на эти территории также могут влиять арктические и тропические воздушные массы, что приводит к формированию субполярных и субтропических климатов с выраженной сезонностью.

Формирование воздушных масс происходит в результате продолжительного контакта атмосферного воздуха с однородной подстилающей поверхностью (океан, континент, ледники) при стабильных атмосферных условиях.

Стадии формирования:

Первичная стадия. Воздушные потоки перемещаются в область с однородной поверхностью. Между атмосферой и подстилающей поверхностью начинается тепло- и влагообмен.

Этап стабилизации. В воздушной массе формируется вертикальная стратификация. Ослабление вертикальных движений (конвекции) способствует выравниванию свойств.

Приобретение характеристик. В течении 4-10 суток воздух полностью приспосабливается к условиям поверхности. Достигается устойчивость температуры и влажности, сигнализирующая о завершении процесса.

Влияние воздушных масс на погодные условия

Воздушные массы, благодаря своим однородным характеристикам температуры и влажности, оказывают прямое и значительное влияние на погодные условия в регионах, над которыми они располагаются [12]. Когда воздушная масса длительно находится над определенной территорией, она определяет ее текущую погоду. Например, континентальная полярная воздушная масса принесет холодную и сухую погоду, тогда как морская тропическая воздушная масса — теплую и влажную [12].

Однако наиболее динамичные и значительные изменения погоды происходят, когда две воздушные массы с разными характеристиками встречаются. Граница между ними называется атмосферным фронтом [5]. В этой переходной зоне наблюдаются резкие изменения метеорологических величин, таких как температура, влажность, направление ветра и атмосферное давление.

Взаимодействие воздушных масс вдоль фронтов часто приводит к формированию облачности и осадков. Более плотный холодный воздух подтекает под менее плотный теплый воздух, вынуждая его подниматься. Этот подъем воздуха приводит к его охлаждению, конденсации водяного пара, образованию облаков и выпадению осадков. Тип и интенсивность осадков, а также характер облачности зависят от типа фронта и стабильности поднимающегося воздуха [13]. Например, при движении холодной воздушной массы над более теплой поверхностью (что делает ее нестабильной) может возникать конвекция, приводящая к ливневым осадкам и грозам [12].

Таким образом, воздушные массы являются не просто статичными объемами воздуха, а динамическими элементами, чье перемещение и взаимодействие определяют повседневные погодные изменения и формируют климатические особенности регионов. Изучение их классификации, трансформации и взаимодействия на фронтах является ключевым для понимания и прогнозирования погодных явлений.

Атмосферные фронты

Атмосферный фронт — это переходная зона, или граница, которая разделяет две контрастные воздушные массы, обладающие различными характеристиками температуры и влажности [14]. Эти зоны значительно длиннее, чем шире, и могут простираться на сотни или даже тысячи километров. Вдоль фронта наблюдаются резкие изменения метеорологических параметров, таких как температура, точка росы, направление и скорость ветра, а также атмосферное давление.

Основные структурные и динамические характеристики фронтов:

Большие горизонтальные температурные (или плотностные) контрасты: Фронты представляют собой зоны, где градиент температуры по горизонтали значительно выше, чем в окружающей среде [14]. Чем сильнее

разница в температуре (плотности) между воздушными массами, тем более интенсивным может быть фронт.

Большая относительная завихренность: Вдоль фронтальных зон часто наблюдается значительная положительная геострофическая относительная завихренность. Увеличение температурного контраста приводит к усилению этой фронтальной завихренности.

Большая статическая устойчивость: Фронтальные зоны характеризуются повышенной статической устойчивостью по сравнению с воздухом по обе стороны от границы. Это означает, что вертикальные движения воздуха в этих зонах могут быть ограничены, если не происходит сильного вынужденного подъема.

Фронты обычно располагаются в ложбинах низкого давления. Это объясняется тем, что центры воздушных масс часто ассоциируются с областями высокого давления, и при их сближении граница между ними (фронт) естественным образом оказывается в зоне пониженного давления. Вдоль фронтов также наблюдаются сдвиги направления ветра и приземная конвергенция, что способствует подъему воздуха и формированию облачности и осадков [14].

Типы атмосферных фронтов и связанные с ними погодные явления

Существует четыре основных типа атмосферных фронтов, каждый из которых характеризуется определенными погодными явлениями.

Холодный фронт. Образуется, когда более холодная и плотная воздушная масса наступает и вытесняет более теплую воздушную массу. Движутся относительно быстро, иногда в два раза быстрее теплых фронтов. Их фронтальная поверхность имеет крутой наклон. Именно он вынуждает теплый воздух подниматься резко и быстро. Это часто приводит к формированию мощных кучево-дождевых (кучевых) облаков ливневыми осадками, грозами, градом и сильными порывами ветра. После прохождения холодного фронта наблюдается резкое падение температуры,

изменение направления ветра (в Северном полушарии с юго-западного на западное или северо-западное), повышение атмосферного давления и обычно быстрое прояснение неба.

Теплый фронт. Формируется, когда теплая воздушная масса наступает и поднимается над отступающей более холодной и плотной воздушной массой [15]. Теплые фронты движутся медленнее холодных, так как теплому воздуху труднее вытеснить плотный холодный воздух. Их фронтальная поверхность имеет пологий наклон. Формируются обширные слоистые облака (Cirrus, Cirrostratus, Altostratus, Nimbostratus), которые постепенно утолщаются и опускаются по мере приближения фронта. Связанные с ними осадки обычно носят обложной, умеренный характер и могут продолжаться в течение нескольких часов или даже дней. При прохождении теплого фронта температура воздуха постепенно повышается, давление падает, а ветер меняет направление (в Северном полушарии с восточного или юго-восточного на юго-западное) [15]. После прохождения фронта облачность и осадки уменьшаются.

Стационарный фронт. Возникает, когда две воздушные массы встречаются, но ни одна из них не обладает достаточной силой, чтобы вытеснить другую, и граница между ними остается практически неподвижной. Эти фронты могут приводить к длительным периодам облачности и осадков в одном и том же районе. Погодные условия вдоль стационарного фронта могут варьироваться, представляя собой смесь условий, характерных для холодных и теплых фронтов.

Окклюдированный фронт. Формируется, когда быстро движущийся холодный фронт догоняет медленно движущийся теплый фронт, в результате чего теплая воздушная масса поднимается над поверхностью и "скрывается" (окклюдируется). Существуют два основных типа: Холодная окклюзия: холодная воздушная масса, догоняющая теплый фронт, холоднее, чем холодный воздух перед теплым фронтом. Она подтекает под обе воздушные массы. Теплая окклюзия: холодная воздушная масса,

догоняющая теплый фронт, теплее, чем холодный воздух перед теплым фронтом. Она поднимается над более холодным воздухом, вытесняя теплую воздушную массу вверх. Окклюдированные фронты ассоциируются со сложными погодными условиями, сочетающими характеристики холодных и теплых фронтов. Они могут приносить различные виды осадков, включая ливни, обложные дожди, грозы и туманы, а также разнообразные типы облаков. Окклюдированные фронты часто указывают на поздние стадии развития внетропического циклона.

Физико- географическое положение Ижевска

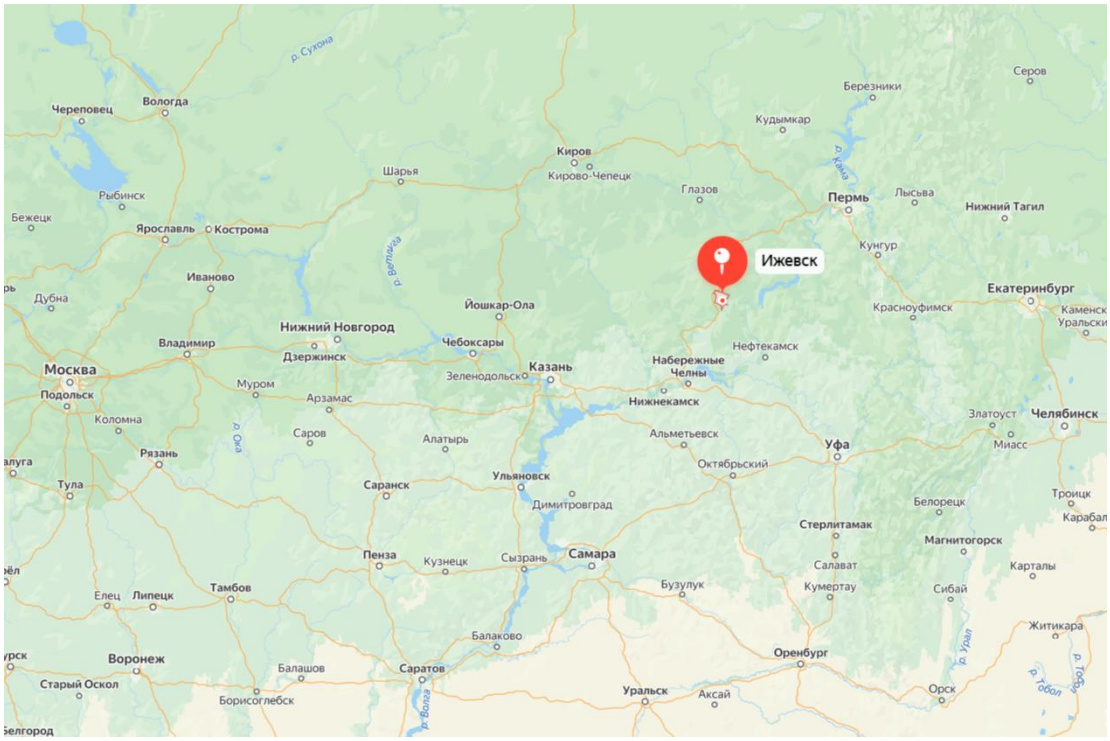


Рисунок 1.2 Расположение города Ижевска на карте России

Удмуртская республика, один из субъектов Российской федерации. Его столица город Ижевск. Входит в состав Приволжского федерального округа. На севере и северо-западе граничит с Кировской областью, на востоке — с Пермским краем, на юго-востоке — с Республикой Башкортостан, на юге — с Республикой Татарстан.

Расположен в восточной части Восточно-Европейской равнины, между реками Кама и Вятка, в западном Предуралье. Город Ижевск стоит на несудоходной реке Иж, правом притоке Камы. Центр города имеет координаты — 56 градусов северной широты и 53 градуса восточной долготы. Площадь Ижевска 316,6 км². Расстояние с самой северной точки Удмуртии до самой южной 297,5 км, с западной до восточной 200 км. В целом протяженность границ 1800 км.

Рельеф Удмуртии неоднороден, существует много возвышенностей и низменностей. Самая высокая точка 332 метра находится на северо-востоке и носит название Верхнекамская возвышенность. Самая низкая точка в юго-западной части, в Кизнерском районе. Ее высота 51 метр относительно уровня моря. На севере Удмуртии таежная зона, на юге подтаежная. Расположена далеко от морей и океанов. Расположение республики в бассейне реки Кама дает густую, развитую речную сеть. Протяженность рек, протекающих на территории Удмуртии составляет примерно 30 тыс.км. Разнообразие почв, от дерново- подзолистых до серых лесных почв. Леса занимают большую часть территории. Растительность представлена смешанными лесами, которые состоят из ели, дуба, сосны, березы.

Особенности климата Удмуртии

Климат Ижевска характеризуется как умеренно-континентальный, для которого типичны короткое теплое лето и продолжительная, многоснежная зима. Среднегодовая температура воздуха в Ижевске составляет около +3,0 °C.

Самым теплым месяцем является июль, со средней температурой около +19 °C [16]. В летний период температура обычно колеблется от -17 °C до 24 °C. Самый холодный месяц — январь, со средней температурой около -12 °C. Минимальная абсолютная температура, зафиксированная в Ижевске, составила -47,5 °C в 1978 году. В течение года в Ижевске выпадает

значительное количество осадков. В среднем, 56% всех осадков выпадает в виде дождей, 23% — в форме снега и крупы, и 21% составляют смешанные осадки (мокрый снег, снег с дождем). Лето в Ижевске комфортное и часто облачное, нередко сопровождается дождями и грозами. Преобладают юго-западные ветра. Климатические условия Ижевска формируются под влиянием различных воздушных масс. В теплое время года на погоду влияют воздушные массы умеренных широт, приносящие тепло и облачность, часто с дождями и грозами с юга и юго-запада, а летом и с юго-востока, поступают тропические воздушные массы, которые могут быть причиной оттепелей зимой и жаркой, засушливой погоды летом. В Ижевске могут быть сильные морозы. Они обусловлены развитием меридиональной циркуляции в зимний период. Выделяются четыре основные синоптические ситуации, приводящие к экстремальным холодам:

1. Ультраполярные вторжения: наиболее частая причина экстремальных морозов ниже -35 °С. Они связаны с вторжением низких холодных антициклонов или гребней из Карского моря, часто сопровождающихся глубоким циклоном на изобарической поверхности 500 гПа. Эти вторжения приводят к продолжительным периодам морозной погоды и наиболее значительным падениям температуры (до -40 °С и ниже). Приземные ветры обычно имеют северное и восточное направления [17].

2. Северные и северо-западные вторжения: смещение холодного антициклона с северо-запада на фоне глубокого высотного циклона.

3. Длительное стационирование высокого холодного циклона: над Поволжьем или Уралом.

4. Стационирование блокирующего высокого антициклона: обычно сибирского происхождения [17].

Тенденции в экстремальных морозах. За последние десятилетия наблюдается тенденция к уменьшению повторяемости морозных дней (ниже -20 °С).62 С 1944 по 1969 год количество морозных дней увеличилось до 63 случаев в год, но после 1969 года их число неуклонно сокращалось, достигнув

минимума в 13 случаев в год в 1981, 1990 и 2008 годах. Общая тенденция за весь период наблюдений является отрицательной, что указывает на сокращение числа морозных дней [17]. Кроме того, в последние десятилетия сократилась продолжительность волн холода, что означает, что их абсолютные минимумы не достигают рекордных значений, зафиксированных в более ранние периоды. Продолжительные морозные периоды (ниже -35 °C в течение 4 и более дней), которые до 1990-х годов случались в среднем раз в пять лет, в настоящее время практически отсутствуют, длительностью не более 1-2 дней

Понятие «весны» и методы ее определения

Понятие весны

Весна- это одно из четырех времен года, следующее за зимой и предшествующее лету. Обычно весна характеризуется пробуждением природы, ростом и обновлением. Идет постепенное потепление, таяние снега и льда. Растения и деревья начинают цвести.

С календарной точки зрения в северном полушарии начало весны выпадает на 1 марта и длится 3 месяца: март, апрель, май. В южном полушарии начало весны выпадает на 1 сентября и длится с сентября по ноябрь.

Астрономическое начало весны определяется по Солнцу. В северном полушарии это 20 или 21 марта, в Южном 22 или 23 сентября. Конец весеннего сезона характеризуется днем летнего солнцестояния.

Фенологическая весна связана с состоянием природы. Это период таяния снега, начало вегетации, прилета перелетных птиц, пробуждение животных из спячки.

Метеорологическая (климатическая) весна – определяется по устойчивому потеплению атмосферы. В метеорологии общепринятым критерием начала весны служит устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0 °C в сторону положительных значений.Иными словами, когда среднесуточная температура впервые перестаёт опускаться ниже нуля и устанавливается над 0 °C постоянно, можно говорить о наступлении весны. Также сопутствующим признаком служит сход постоянного снежного покрова. Метеорологическая весна не имеет фиксированной даты и наступает каждый год по-разному, в зависимости от погодных условий.

2.2 Методы определения весны

Метод среднедекадных температур

Один из способов определения даты устойчивого перехода температуры воздуха через пороги, такие как 0°C, +5°C, +10°C в осенний или весенний сезоны- это метод среднедекадных температур. Его используют в климатологии, метеорологии, агрометеорологии, чтобы провести анализ сезонных изменений.

Для того чтобы произвести вычисления каждый месяц делят на 3 декады 1-10 число, 11-20 число,21 и до конца месяца. Далее для каждой декады вычисляется средняя температура по данным ежедневых наблюдений. Весенней датой перехода считается первая декада, когда температура устойчиво превышает заданный порог и в последующих декадах не опускается ниже его. Осенью все наоборот, считается первая декада, когда средняя температура устойчиво опускается ниже порога и в последующих декадах не поднимается выше.

Метод Хаустова

Нахождение дат устойчивого перехода температуры воздуха Данный метод основан на том, что сначала считаются накопившиеся среднесуточные температуры воздуха. Накопление начинается с зимы, когда температура воздуха достигает -5°C. Считается, что с этого значения начинается период перестройки на начало весны. После этого строится график, где ставится точка минимума. Считается, что, когда график пойдет вверх, это будет означать устойчивый переход температуры воздуха через 0°C в сторону повышения.

Для расчета накопленных температур существует программа, с помощью которой можно быстро получить даты начала и конца весеннего сезона.

Метод А.В. Федорова для среднедекадных температур

А.В.Федоров под датой устойчивого перехода имеет ввиду первый день периода, когда сумма положительных отклонений превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с положительными отклонениями.

Определение даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха начинается с расчета среднедекадных температур воздуха.

Далее выбираются 2 декады, где первая декада с отрицательными температурами, а вторая с положительными температурами.

На последнем этапе нужно применить формулы для интерполяции:

Для весеннего сезона:

$$S = \frac{-a}{b-a}d + 5$$

Для осеннего сезона:

$$S = \frac{b}{b-a}d + 5$$

где S – число дней от первого дня выбранной декады с отрицательной средней температурой воздуха для весны (или декады с положительной средней температурой – для осени); b – среднедекадная температура выше 0 °С; a – среднедекадная температура ниже 0 °С; d – число дней декады с отрицательной средней температурой воздуха для весны (число дней декады с положительной средней температурой – для осени).

Когда определили величину S, ее необходимо сложить с начальной датой декады, где зафиксирована отрицательная температура. Итоговая дата будет считаться днем, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво пересекла отметку в 0°С.

Даты устойчивого перехода температуры воздуха

Переход температуры через определённые ключевые значения – важный климатический показатель, который позволяет определить границы сезонов. Устойчивым считается переход, после которого среднесуточная температура уже не возвращается обратно ниже порога (то есть наступает стабильное потепление или похолодание). В России традиционно анализируют переходы температуры воздуха через 0 °С, +5 °С, +10 °С (а также через +15 °С для лета и обратно эти же пороги осенью). Переход через 0 °С вверх (конец зимы – начало весны). Этот момент знаменует приход метеорологической весны. Переход через +5 °С вверх. Этот порог обычно достигается спустя 2–3 недели после 0 °С. В агроклиматологии дата перехода через +5 °С рассматривается как начало посадочно-полевых работ Переход через +10 °С вверх. Среднесуточная температура выше +10 °С означает приход тёплого сезона, близкого к лету. Порог +10 °С часто используют для оценки начала тёплого периода года (когда уже возможна посадка большинства овощных культур, начинается активный рост трав и т.д.) В климатических справочниках +10 °С служит границей между весной и летом: период со среднесуточной температурой $\geq +10$ °С считается тёплым временем года. Переход через +15 °С вверх. Этот уровень в средней полосе России часто ассоциируется с наступлением лета в фенологическом смысле. Аналогично, обратный переход через +15 °С вниз осенью (в конце августа – сентябре) обозначает окончание лета. Анализ устойчивых переходов температуры важен не только для классификации сезонов, но и в прикладном плане – для сельского хозяйства, строительства, энергетики. Зная средние даты переходов через 0, +5, +10 °С, можно планировать начало полевых работ, подготовку коммунальных служб к таянию снега или первому морозу и т.д. В условиях потепления климата XXI века эти даты имеют тенденцию смещаться на более ранние (весной) и более поздние (осенью), удлиняя безморозный период. Так, в ряде регионов России за последние десятилетия отмечено, что весна наступает в среднем на 5–10

дней раньше, чем в середине XX века – то есть переход через 0 °C происходит раньше обычного. Продолжительность тёплого сезона (>+10 °C) также увеличилась за счёт более раннего наступления весны и более позднего окончания осени. Эти изменения тщательно изучаются климатологами, так как влияют на экосистемы и хозяйственную деятельность [18].

Анализ особенностей формирования весеннего сезона в г. Ижевск за период с 1963 г. по 2022 г.

3.1 Постановка цели и задач

Целью исследования является анализ особенностей формирования весеннего сезона в г. Ижевск за период с 1963 г. по 2022г. Исследование характеристик весеннего сезона в г. Ижевске в свете глобального изменения климата является задачей, несомненно, актуальной и практически значимой для разработки стратегий адаптации к изменению климата, для планирования сельскохозяйственных работ, управления водными ресурсами, для планирования отопительного сезона.

Для достижения цели в исследовательской работе необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Определить даты устойчивого перехода в городе Ижевске за период с 1963 по 2022 год и проанализировать их
2. Рассчитать продолжительность весеннего сезона
3. Выделить границы градаций для начала весеннего сезона в городе Ижевске
4. Рассчитать и проанализировать среднесуточную температуру весеннего сезона
5. Анализ циркуляционных особенностей весеннего сезона
6. В работе начало весны нужно поделить на квартильные градации и провести анализ синоптических условий начала весны, которые характерны для каждой градации

Исследование проводилось с использованием архива данных среднесуточной температуры воздуха в городе Ижевске за период с 1963 по 2022 год Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных

(ВНИИГМИ-МЦД). Границами весны были приняты даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 ^{0}C и 10 ^{0}C. За начало весны принимается дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через нулевой предел в сторону повышения. За окончание – дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 ^{0}C так же в сторону повышения.

Для определения дат устойчивого перехода температуры воздуха был использован метод В.А.Хаустова, разработанный на кафедре инженерной гидрологии Института гидрологии и океанологии Российского государственного гидрометеорологического университета. Полученные данные начала и окончания весеннего сезона осредняли методом скользящего среднего, который позволяет сгладить кратковременные колебания и выявить долгосрочные климатические тенденции

Результаты исследования

В ходе научно-исследовательской работы для каждого года в г. Ижевске за период с 1963 по 2022 год были рассчитаны даты начала и окончания весны. Фрагмент полученных результатов представлен в таблице 3.1

Таблица 3.1 Даты начала и окончания весеннего сезона в городе Ижевске. Фрагмент полученных данных.

Начало весны			**Конец весны**			
год	март	апрель	год	апрель	май	июнь
1963		5	1963		3	
1964		13	1964		14	
1965		14	1965		9	
1966	26		1966		17	
1967	30		1967	24		
1968		6	1968		7	
1969		11	1969			4
1970		3	1970		20	
1971		10	1971		19	
1972	30		1972		15	
1973		3	1973		12	
1974		1	1974		4	
1975	25		1975	25		
1976		7	1976		6	
1977		3	1977	25		
1978	22		1978		25	
1979		27	1979		1	
1980		9	1980	23		
1981		15	1981		21	
1982		10	1982	25		
1983	20		1983		9	
1984		14	1984		6	
1985		15	1985			9
1986	28		1986		16	
1987		14	1987		4	
1988		2	1988		5	
1989		9	1989		7	
1990		5	1990		16	
1991		4	1991		3	
1992	26		1992		9	

Полученные данные были осреднены по 30 лет и представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Границы и продолжительность весеннего сезона в г. Ижевске за период с 1963 по 2022 гг. (скользящее осреднение 30 лет)

Период (годы)	**Начало весны**	**Окончание весны**	**Продолжительность, дни**
	6 апреля	9 мая	
	2 апреля	6 мая	

В результате анализа таблицы 3.2 можно заключить, что длительность весеннего сезона в городе Ижевске с 1963 по 2022 год увеличилась всего на 1 день. Однако, необходимо отметить, что начало и окончание весны синхронно

сдвинулись на более ранние сроки. Изменения составили 4 и 3 дня, соответственно.

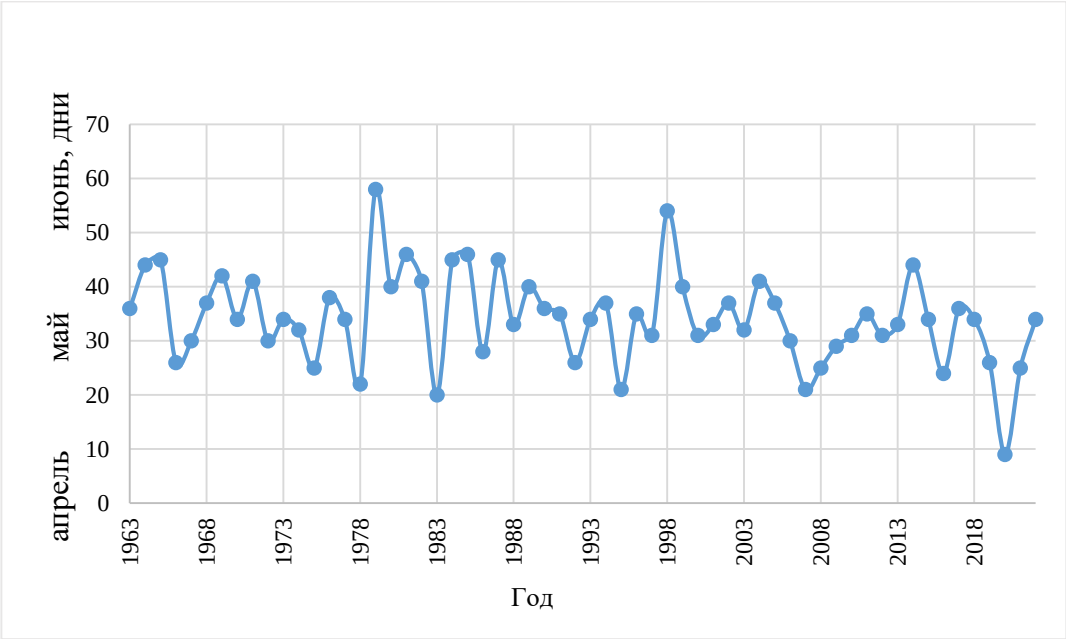


Рисунок 3.1 Начало весеннего климатического сезона неосреднённые данные

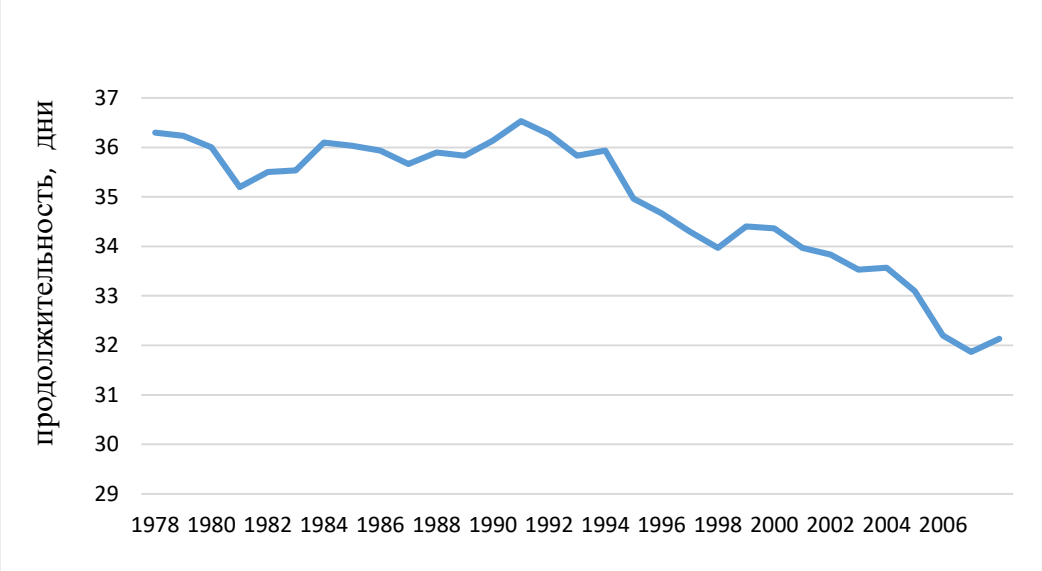
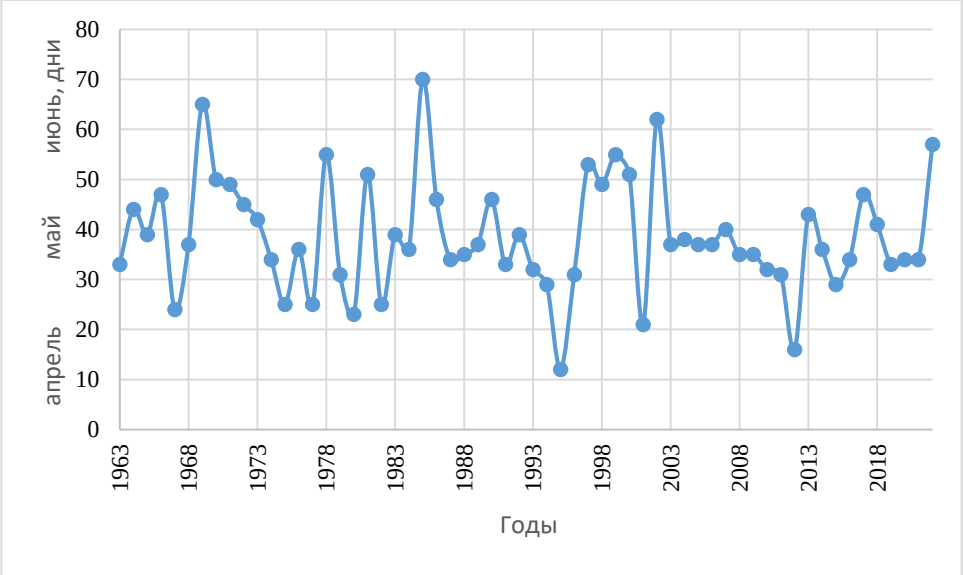


Рисунок 3.2 Начало весеннего климатического сезона, скользящее осреднение. Окно осреднения 30 лет.

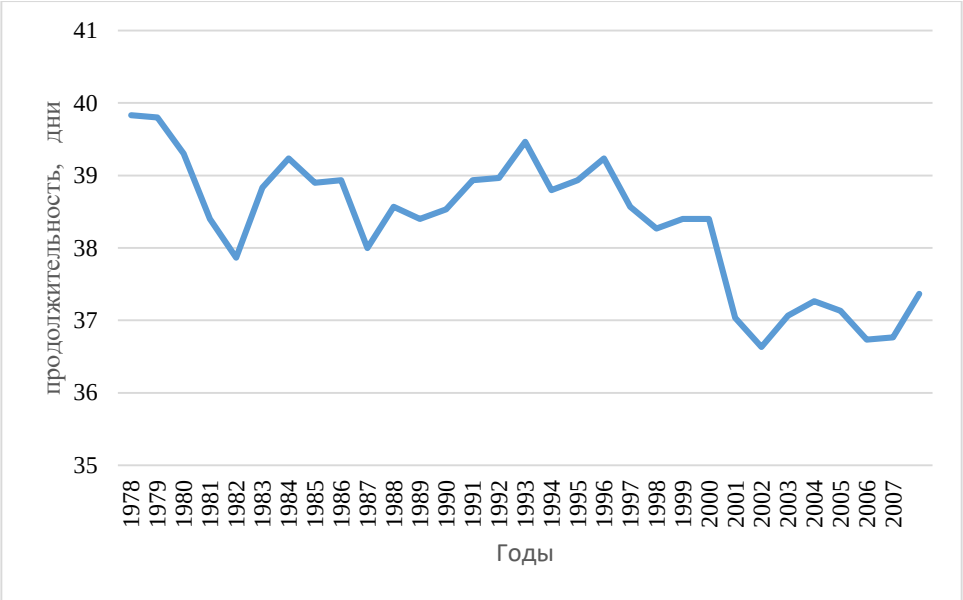
По неосреднённым датам самое раннее начало весны в городе Ижевске за период с 1963 года по 2022 год было зафиксировано 9 марта 2020 года, в большинстве случаев начало весны отмечается в последней декаде марта – в

начале апреля. Продолжительность этого весеннего периода составило 56 дней, что относится к градации «аномально позже среднего». Самая поздняя весна началась 27 апреля 1979 года и ее продолжительность составила всего 4 дня. Наиболее значительный разброс в датах начала весны наблюдается в смежных годах: 1978 – 1980 гг. (36 дней), 1983 – 1984 гг. (25 дней), 1997 – 1998 гг. (23 дня), 1982 – 1983 гг. (21 день), 1965 – 1966 гг. (19 дней).

В период исследования наиболее интересен устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха в городе Ижевске через 10 °С в сторону повышения (окончание весны) вследствие значительных колебаний даты перехода. Рассмотрим окончание весеннего климатического периода более подробно. На графиках рисунка 3.1 представлены неосредненные значения границы окончания весны (а) и осредненные даты окончания весны с окном осреднения 30 лет (б).



а)



б)

Рисунок 3.3. Даты окончания весеннего климатического сезона в городе Ижевск за период с 1963 года по 2022 год: а) неосредненные; б) скользящее осреднение. Окно осреднения 30 лет.

Дата окончания весны в городе Ижевске за период исследования в среднем сдвинулась всего на 3 дня с 9 мая на 6 мая (таблица 3.2). С точки зрения климатических изменений это незначительное колебание. Однако, если анализировать неосредненные даты окончания весны (рисунок 3.1, а), следует отметить значительный разброс конечной границы весны от самого раннего завершения весны 12 апреля 1995 года до самого позднего 9 июня 1985 года Спокойные периоды окончания весеннего сезона фиксировались в интервалы с 1970 года по 1977 год и 2003 года по 2021 год. В 2022 году зафиксировано смещение даты конца весны с высокой амплитудой 24 дня в сторону лета.

Рисунок 3.4 Термический режим весеннего сезона

В рамках рассчитанных границ для каждого года были получены средневесенние температуры воздуха. Средняя температура сезона имеет значительные колебания в период с 1963 года по 1974 год и в период с 1987 года по 1996 год с максимальной амплитудой 6°С в обоих случаях, в остальные года наблюдается спокойный период с небольшими колебаниями среднесезонной температуры. В последние 30 лет исследования средняя температура весны составила 4,9°С ± 1.6°С, изменения за весь период не значимы и находятся в рамках естественных климатических колебаний.

Таблица 3.3 Статистические показатели средне весенней температуры для города Ижевска с за период с 1963 г. по 2022 г.

Ряд	Среднее	СКО	Дисперсия	Фишер эмпирический	1,0

1 период	5,2	1,5	2,2	Фишер теоретический	2,1
2 период	4,9	1,5	2,2	Стандартная ошибка	0,2
Весь ряд	5,0	1,5	2,2	Коэффициент вариации	29,3

Рассмотрим статистические показатели полученных расчетных средне весенних температур. Среднее за первый период 5,2, среднее за 2 период 4,9. В среднем за весь ряд 5,0. Наблюдается дисперсия одинаковая для двух периодов. Периоды с 1963 по 1992 год и с 1993 по 2022 год показывают примерно одинаковую изменчивость ряда, отклонение от среднего одинаковая. Изменения температуры в ряду не значительные. Разница между периодами всего 0,3, глобального изменения температуры в городе Ижевске нет. Это тем более интересно, что дата начала весна все-таки меняется. В первом периоде с 1963 по 1992 год начало весны было 6 апреля, окончание 9 мая, а во второй период с 1993 по 2022 год начало весны плавно сдвинулось в сторону более холодного полугодия на 4 дня и выпало на 2 апреля, окончание на 6 мая. При этом продолжительность весны изменилась всего на 1 день, температура практически не изменилась.

Таблица 3.4 Квартильные градации, определяющие сроки наступления весны, рассчитаны на основе данных, собранных с 1963 по 2022 год.

Сокращение	Градации	Число

ЗРС	Значительно раньше среднего	До 20 марта
РС	Раньше среднего	с 21 по 27 марта
СВ	Средняя весна	с 28 марта – 15 апреля
ПС	Позже среднего	Позже 16 апреля

Для дальнейшего анализа даты начала весеннего сезона были разделены на 4 квартильные градации.

Анализ синоптических ситуаций, характерных раннему началу весны без возвратов холода

Особое внимание привлекают ситуации с ранними датами начала весеннего сезона. Среди всего изученного периода с 1963 по 2022 год 12 лет были отнесены к градации «раньше среднего». В первые 30 лет исследования в данной градации было 5 случаев, во второй половине 7 случаев. Рассмотрим подробнее синоптические процессы, обуславливающие возникновение ранней весны. Для каждой такой весны из градации раньше среднего был построен подробный график среднесуточных температур воздуха. Анализ термического режима проводился за 10 дней до и после начала весеннего сезона. Также весны были разделены на 2 группы: первая группа характеризуется устойчивым переходом с продолжительным периодом положительных среднесуточных температур, а вторая группа переходом с кратковременными возвратами холодов.

Рассмотрим случаи начала весеннего сезона, которые попадают в первую группу, «Дружные весны»

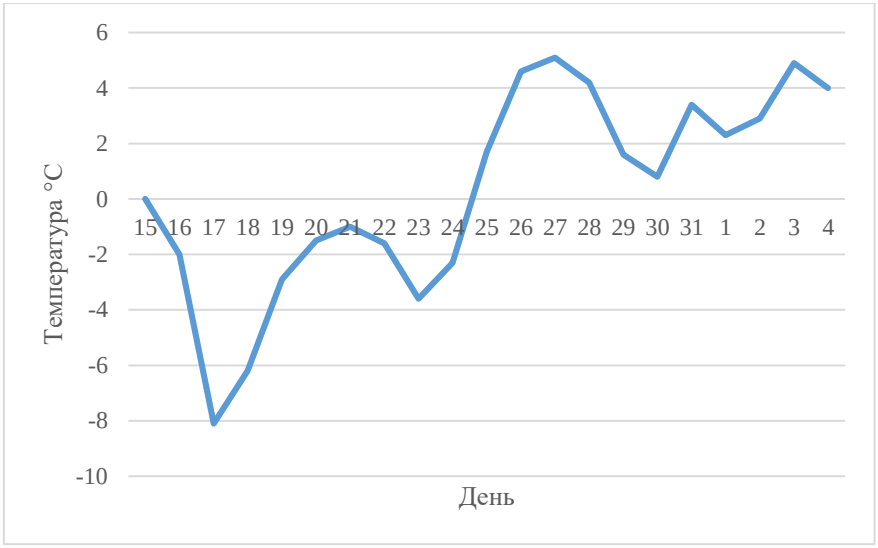


Рисунок 3.5 График хода среднесуточной температуры воздуха с 15 марта по 4 апреля 2008 года.

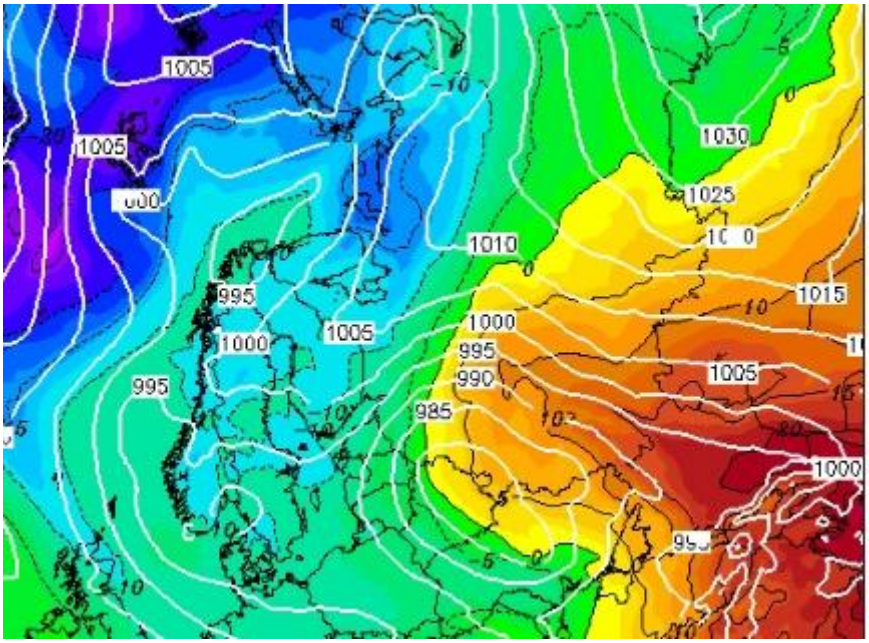


Рисунок 3.6 Синаптическая ситуация наступления весны 25 марта 2008 года

Рассмотрим случай перехода начала весны 25 марта 2008 году, когда весна являлась дружной, то есть переход был уверенный, устойчивый, без

возвратов холода ниже 0°С, в течении периода не меньше десяти дней. На первом, этапе было интересно рассмотреть ситуацию до начала весны. Она была рассмотрена десять дней до устойчивого перехода. Было выявлено значительное похолодание 17 марта, которое было связано с малоградиентное полем над всей территорией центральной России. Южнее Ижевска наблюдался слабо выраженный барический гребень с малоградиентное полем, что в сопутствии с малооблачной погодой являлась благоприятной для выхолаживания. Затем на фоне малоградиентного поля начал формироваться циклон. 17 марта малоградиентное поле на территории от Балтийского региона до Западной Сибири. С юга России на среднюю полосу России начинает распространяться малоградиентный гребень. Незначительная облачность, температура опускалась до -8°С. В последующие сроки в малоградиентном поле стал формироваться циклон и в районе Польши, Белоруссии образовался замкнутый центр с давление 995 гПа. В дальнейшем увеличение замкнутых изобар и появление теплого сектора, и прохождение его через территорию Ижевска привело к потеплению 20,21 марта. Температуры были близки к 0°С, но среднесуточные температуры не превышали 0°С. Новый циклон, сформировавшийся на юге Европы начал двигаться в северо, северо-восточном направлении в сторону Архангельска, Белого моря. Ижевск оказался далеко в передней части этого циклона. Когда циклон оказался возле Ботнического залива, Ижевск оказался в малоградиентном поле передней части циклона. Восточнее начало формироваться высокоградиентное поле, которое в дальнейшем привело к устойчивому переходу температуры воздуха через 0°С в сторону повышения.

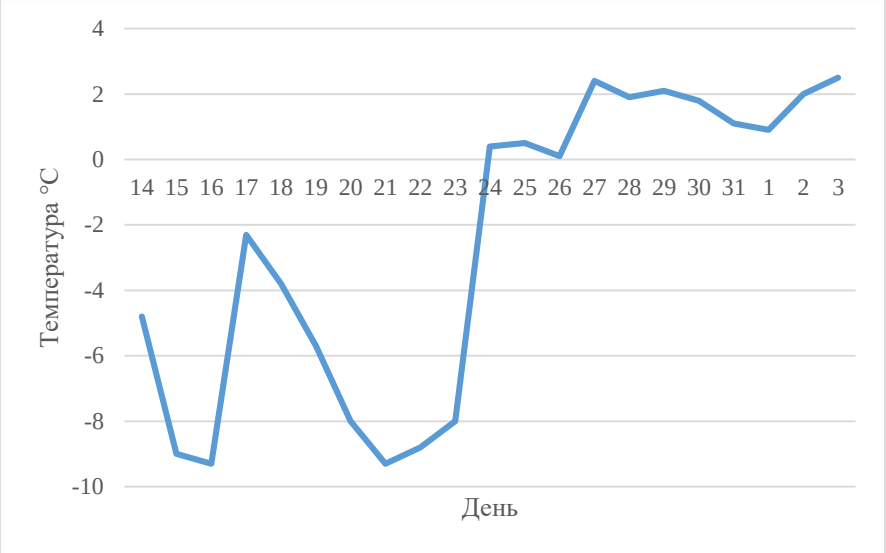
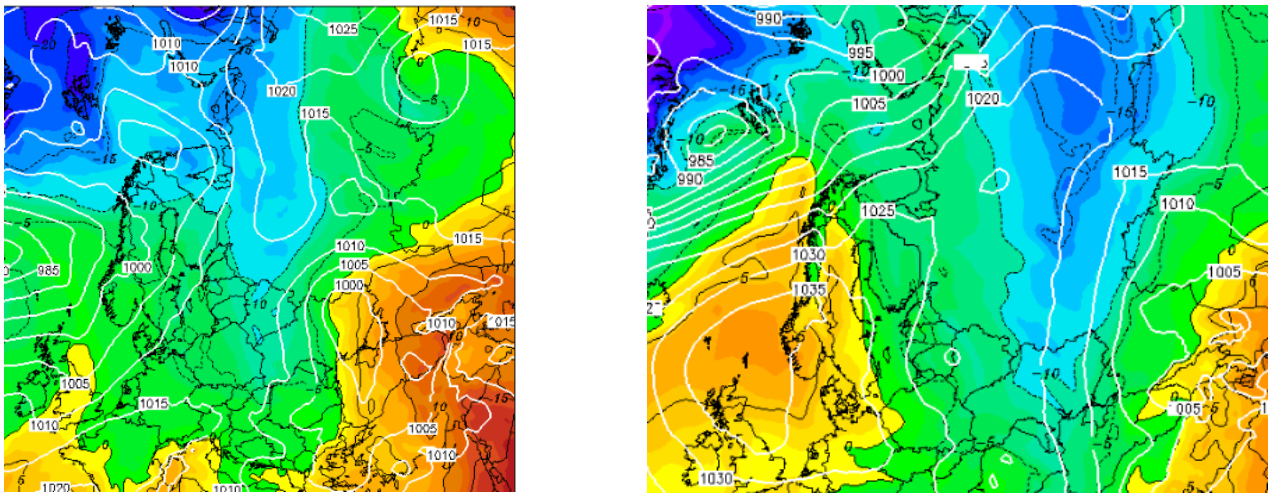


Рисунок 3.7 График хода среднесуточной температуры воздуха с 14 марта по 3 апреля 2016 года



а) б)

Рисунок 3.8 Синоптические условия формирования весны в 2016 году а)Карта погоды AT850 за 24 марта 2016 г. 18:00 UTC б) Карта погоды AT850 за 14 марта 2016 г. 18:00 UTC

Рассмотрев динамику среднесуточных температур в марте 2016 года, можно сказать, что перед датой перехода были значительные амплитуды температуры воздуха от -9,3°С до +0,4°С. После перехода температуры через нулевой предел в сторону повышения, значения температуры не опускались ниже 0°С в течении 10 дней. Проанализируем синоптическую ситуацию для

данного случая. На совмещенной карте погоды (AT850 и приземная карта, модель реанализа ERA). 14 марта Ижевск находится под влиянием восточной периферии обширного антициклона. Центр антициклона располагается над Северным морем. Давление в центре 1035 гПа. На высоте 1,5 км над арктическим побережьем до юга России прослеживается очаг холода. Регион исследования располагается в юго-западной периферии очага холода. В районе Северного моря, Балтийского региона, Норвегии, Испании наблюдается гребень тепла. До 17 марта отрицательные температуры были связаны малоградиентным полем антициклона. С 17 марта область исследования находится в тыловой части циклона в очаге холода. Температуры понижаются до -9,3°С. Лишь 23 марта температура начала повышаться и 24 марта перешла нулевой предел.

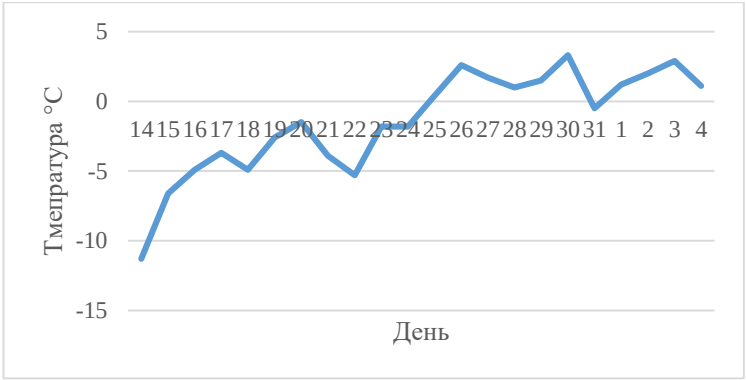


Рисунок 3.9 График хода среднесуточной температуры воздуха с 14 марта по апреля 2021 года

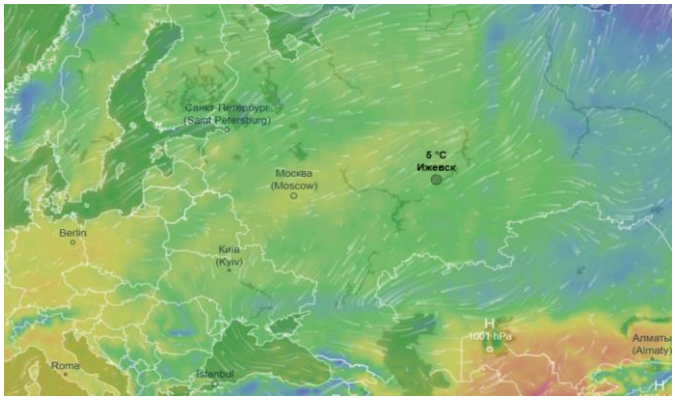


Рисунок 3.10 Модель ICON (Icosahedral Nonhydrostatic) за 25 марта 2021 года 15:00

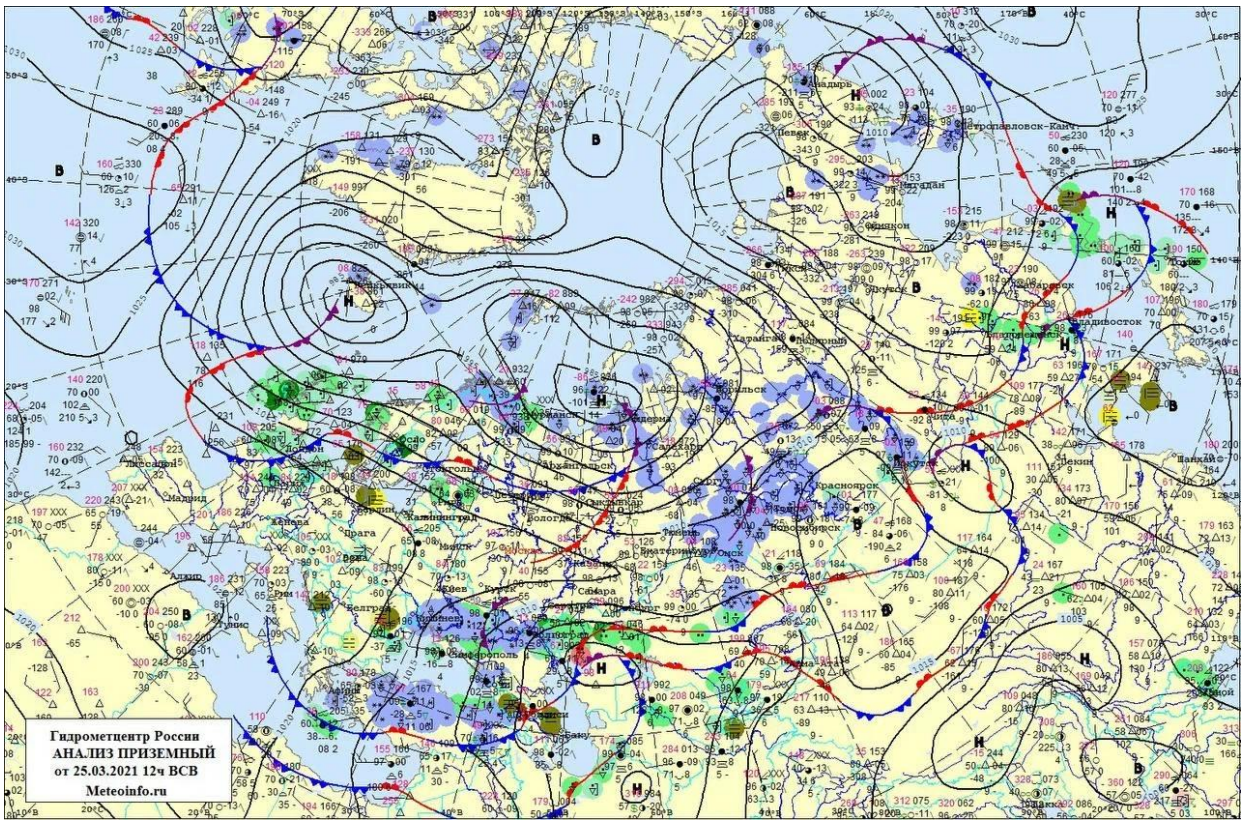


Рисунок 3.11 Синоптические условия формирования ранней весны в 2021 году

Наступление весны в 2021 году пришлось на 25 марта. На рисунке 3.11 представлена приземная карта за 12.00 часов. Известно, что южная часть циклона самая теплая, так как воздушные массы поступают с юга, юга-запада. Начиная с 20 марта, Ижевск оказался в южной части циклона под влиянием 2 центровой депрессии. Один из центров находился над Шпицбергеном, второй над Тюменью. Температура воздуха в 15:00 20 марта составляла 0°С. Воздушные массы поступали с запада, а именно Атлантического океана, что способствует повышению температуры. Циклон смещался в северо-восточном направлении. На его смену на территорию Ижевска пришла новая 2 центровая депрессия. Ижевск оказался под влиянием южной части циклона. Циклон имеет 2 центра: первый центр располагается над Рейкьявиком второй центр над Новой Землей. Направление ветра западное. Поступление воздушных масс с Атлантики. На рисунке 14, карте АТ850 мы прослеживаем гребень тепла,

связанный с теплым сектором циклона. По численной модели ICON температура в 15:00 была 5°С.

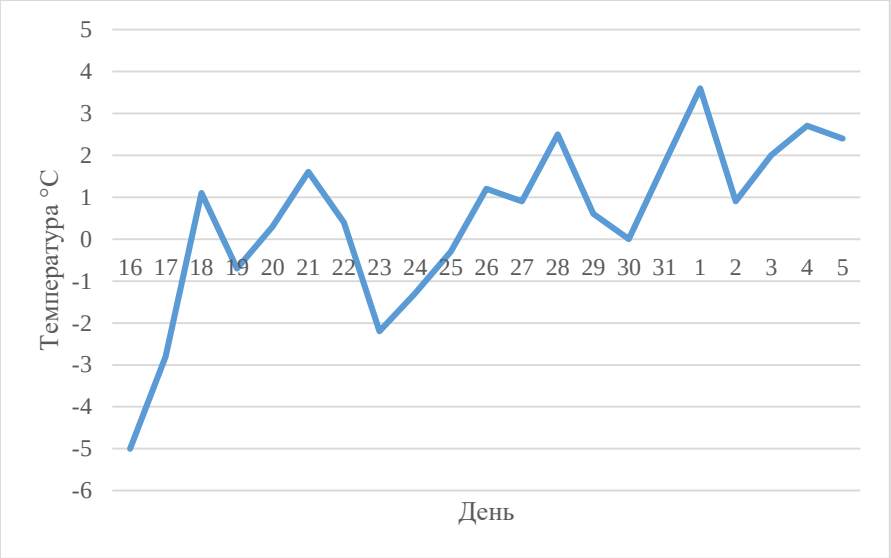


Рисунок 3.12 График хода среднесуточной температуры воздуха с 16 марта по 5 апреля 2019 года

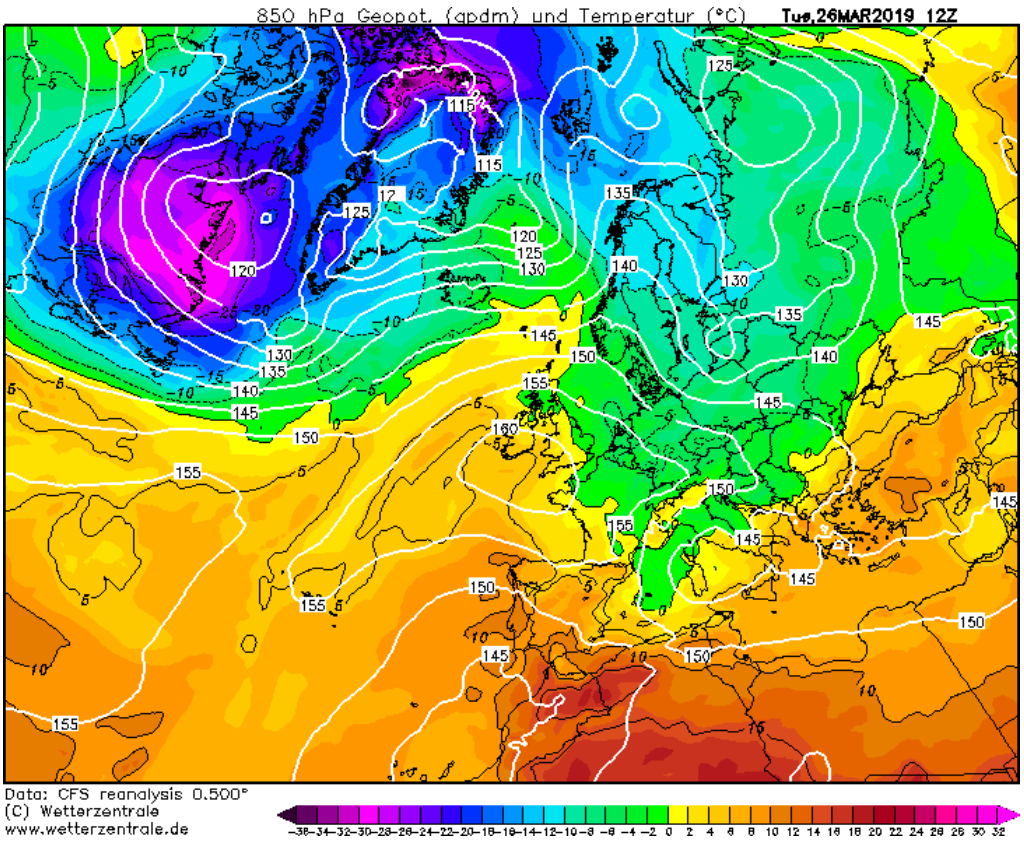


Рисунок 3.13 Синоптические условия формирования ранней весны в 2019 году

Наступление весны в 2019 году пришлось на 26 марта. На рисунке 3.10 представлена карта АТ850 за 12 часов. Начиная с 21 марта, Ижевск оказался в южной части циклона. Центр депрессии находился над Новой Землей. Температура воздуха в 15:00 21 марта составляла 6°С. Воздушные массы поступали с запада, а именно с Балтики и Атлантического океана, что способствует повышению температуры. Циклон смещался в северо-восточном направлении. К 26 марта Ижевск оказывается под влиянием высокоградиентного поля давления между двумя барическими образованиями, в переходной зоне между передней частью циклона и западной периферией антициклона. Центр циклона находился над Сыктывкаром, с давлением в центре 990 гПа. Центр антициклона находился над Черным морем, с давлением в центре 1015 гПа. По рисунку 18, карте АТ850 температура на высоте 1,5 км была в пределах -2…0°С.

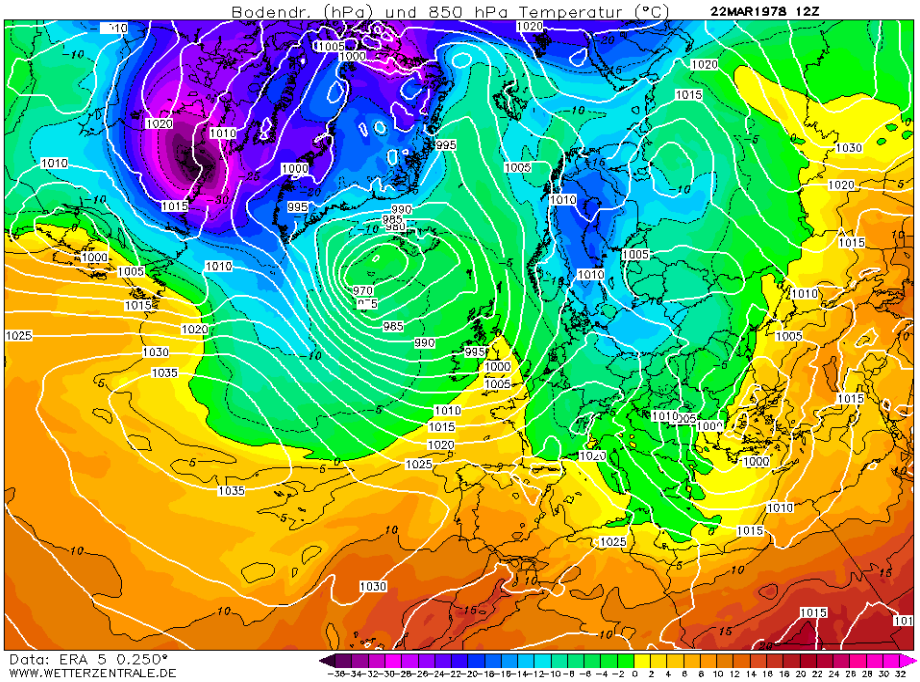


Рисунок 3.14 Синоптическая ситуация в день устойчивого перехода температуры воздуха через 0°С на повышение 22 марта 1978 г.

Наступление весны 22 марта 1978 года. Основное влияние на Ижевск оказывает обширный антициклон. Его западная часть достигает

Ставропольский край, юг Урала. Воздушные потоки начинают перемещаться с прогретых территорий. На карте АТ850 зона тепла на высоте 1,5 км смещена на восток, в южную и юго-западную часть антициклона. Близко к территории Ижевска проходит изотерма на АТ850 -5°С, а на высоте 2 метра наблюдаются положительные температуры. В дальнейшем продолжается влияние западной части антициклона, на западе от территории малоградиентное поле до Балтийского региона. В Балтийском регионе наблюдается передняя часть 2 центрового циклона. Один центр располагается между Великобританией и Исландией, второй восточнее Шпицбергена. Ижевск находится между очагом тепла, сформированным западной частью антициклона и малоградиентным полем в котором наблюдаются слабо отрицательные температуры. После 25 марта небольшое понижение температуры, но положительное происходит за счет малоградиентного поля и ночного выхолаживания 29 марта при уверенном повышении температуры Ижевск находится в передней части циклона, который сам не смещается, но развивается, и его передняя часть располагается над всей территорией северо-запада России и юга-Европы. По его передней части смещаются теплые воздушные массы, которые приводят к уверенному потеплению до 4°С. В дальнейшем ситуация практически не меняется и Ижевск находится то в передней части циклона, то в зоне взаимодействия между циклоническим образованием над Балтийским регионом и Атлантикой и полем высокого давления восточнее Ижевска, поэтому ситуация не меняется. В апреле высокие температуры поддерживаются антициклонами, располагающимися в центральной части европейской территории России и уходящими на восток. В дальнейшем, когда общий фон температуры астрономически высокий, наблюдаются арктические вторжения, но ось вторжения проходит западнее Ижевска и в результате этого все-таки устойчивый переход через 0°С приходится на 22 марта.

Анализ ранних весен с возвратами холода

Даже при раннем наступлении весны весенние месяцы часто сопровождаются эпизодами похолодания, то есть возвратами холода. Тем не менее, по мере продвижения календарного времени солнце поднимается выше, и каждый следующий прихват холода обычно слабее предыдущего, а волны тепла – всё интенсивнее. Наступление весны необратимо: несмотря на временные откаты, тренд температуры восходящий и несмотря на возвраты холода, теплые потоки перебивают холод.

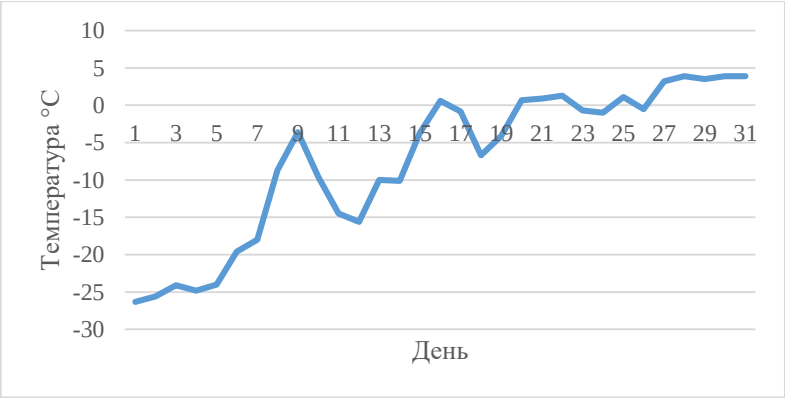


Рисунок 3.15 График хода среднесуточной температуры воздуха с 1 по 31 марта 1983 года

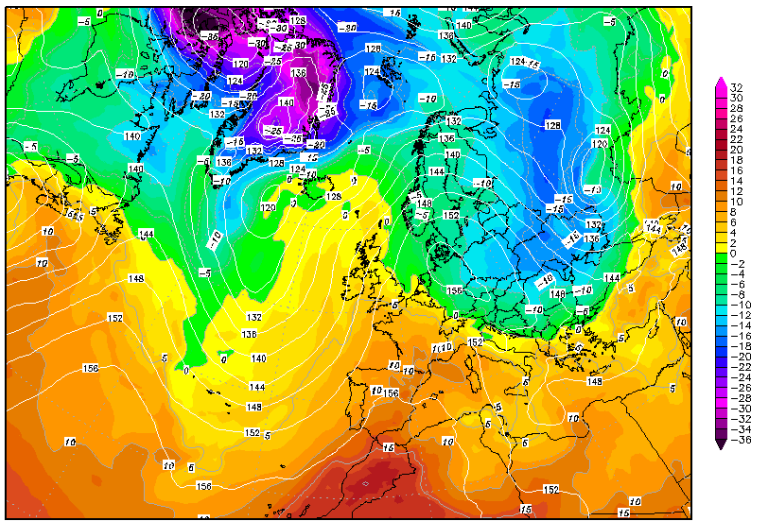


Рисунок 3.16 Поле температуры на высоте 1,5 км (AT850) 12 марта 1983 г.

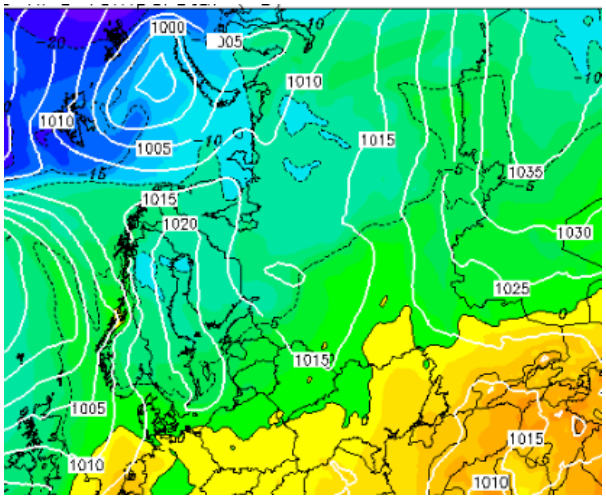


Рисунок 3.17 Карта погоды AT850 за 20 марта 1983 г. 12:00 UTC

Рассмотрим синоптические условия наступления весны 20 марта 1983 года. На графике (рисунка 3.13) представлено изменение температуры за период 10 дней до, 10 дней после даты устойчивого перехода. Необходимо отметить что был проанализирован термический режим большего периода, с 1 февраля по 30 апреля, чтобы определить ход температуры воздуха в последний месяц зимы, после перехода в течении и менее месяца. В последний месяц зимы наблюдались низкие отрицательные температуры, доходящие до -25°С, это было в конце месяца. Затем температура стала повышаться, однако в период с 9 по 12 марта, наблюдался возврат холода. Данное понижение было вызвано формированием частного циклона в ложбине многоцентровой депрессии, центры которой располагались в начале похолодания над районом Кольского полуострова и Белым морем. Над всей европейской территорией России, включая северо-запад сформировались несколько частных циклонов, над территорией Ижевска наблюдался циклон с давлением в центре 990 гПа. На синоптической карте (на рисунке 3.15) представлено барическое поле последнего дня похолодания над территорией Ижевска на, однако над Балтийском регионом и югом Европы формируется поле антициклона, которое смещает зону низкого давления в восточном направлении.

Первая попытка через нулевой предел была зафиксирована 16 марта, в течении периода до 13 марта температура понижалась так как наблюдалось влияние антициклонического поля. В период с 13 марта по 16 антициклон продвигался в восточном направлении в сторону Ижевска и 16 марта ядро антициклона располагалось на территории Приволжского федерального округа. Наблюдался положительный баланс между дневным прогревом и ночным выхолаживанием. Дата устойчивого перехода температуры воздуха наблюдалась 20 марта, до этого периода над территорией исследования фиксировалось антициклоническое поле, а уверенным переход в сторону положительных температур был связан с юго- западной периферией антициклона. В дальнейшем антициклоническое поле и развитие юго-западной периферии сопутствовало увеличению температуры, а также в дальнейшем теплый воздух, закачивался с Астраханской области и севера Каспия с прогретого участка в этих районах в теплый сектор циклона и охватывал город Ижевск.

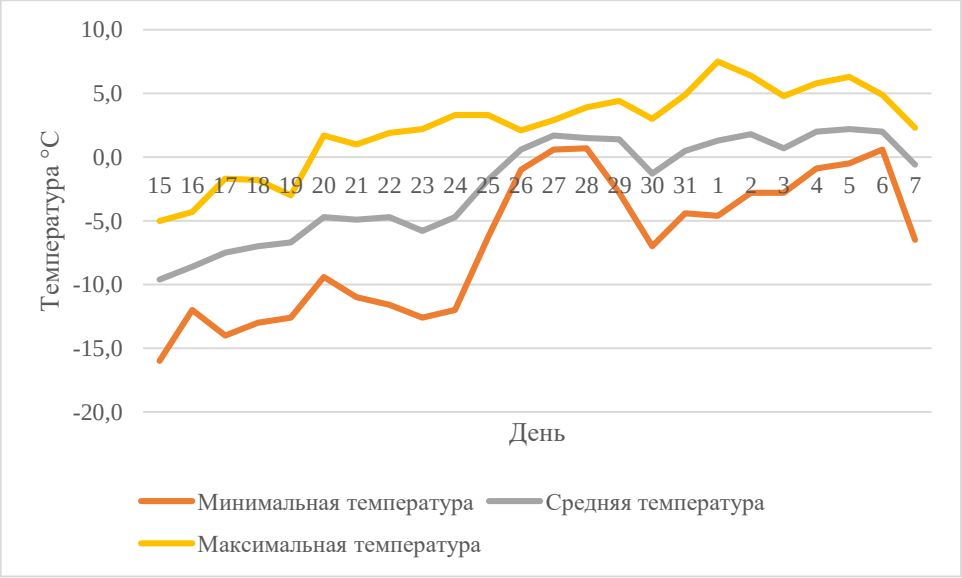


Рисунок 3.18 График хода среднесуточной, максимальной и минимальной температуры воздуха с 15 марта по 7 апреля 1992 года

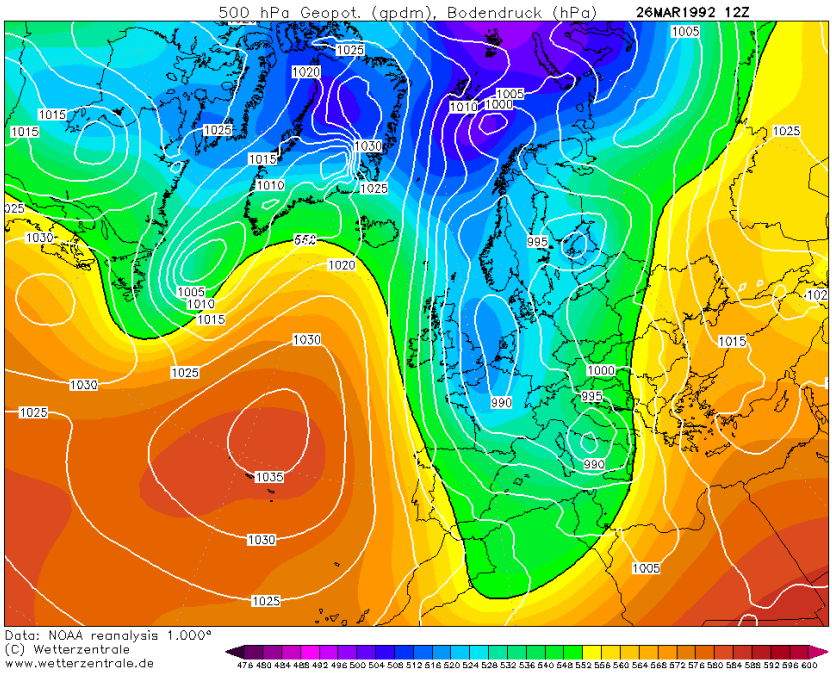


Рисунок 3.19 Глубокая и вытянутая барическая ложбина на высоте 5 км.

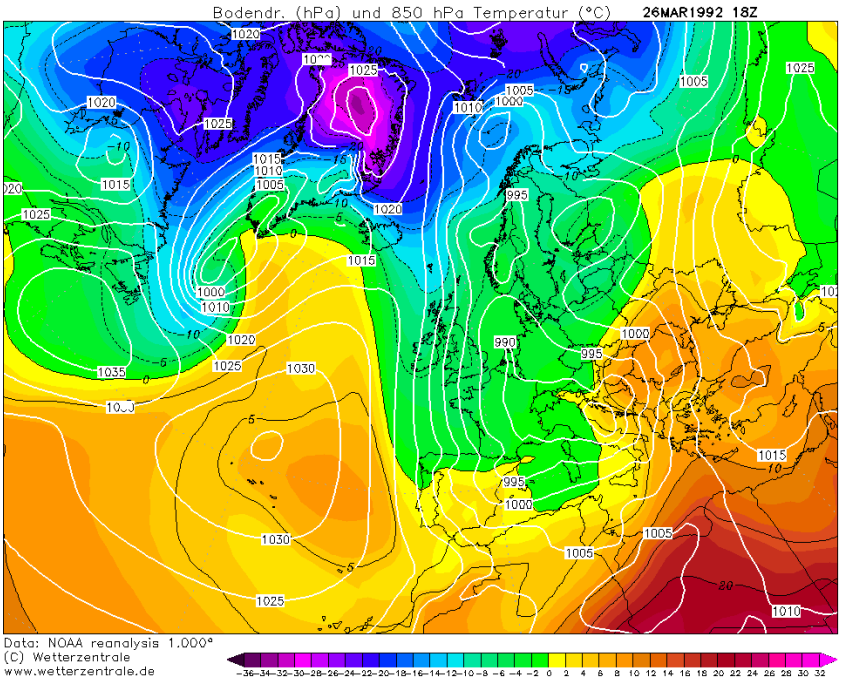


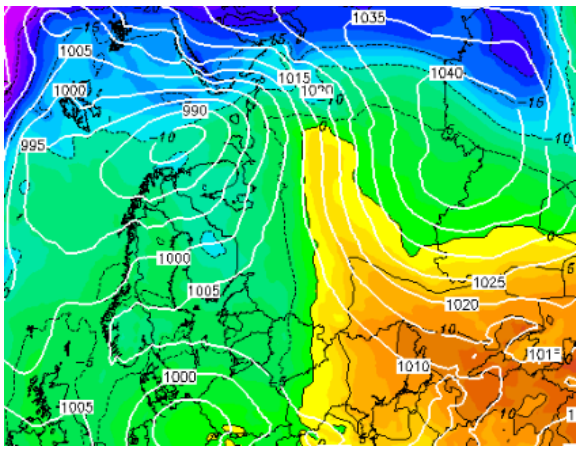
Рисунок 3.20 Карта AT850 Очаг тепла над регионом исследования

Рассмотрим ситуацию начала ранней весны в Ижевске 26 марта 1992 года. Синоптическая ситуация представлена на совмещенной карте AT500 и приземной карте (на рисунке 3.17). Синоптическая ситуация определяется на высоте полярным вторжением в глубокой и вытянутой барической ложбины на высоте 5 км. Над восточной частью Атлантического океана, Великобританией,

Испанией, севером Африки, над всей Европой и Балтийским регионом наблюдается полярное вторжение. Эти регионы находятся в зоне глубокой барической ложбины, где господствуют циклонические процессы. Наблюдается многоцентровая депрессия с центрами над Гренландским морем, Финским заливом, 3 центр в районе Северного моря, 4 центр над Италией. На востоке от барической ложбины в приземном поле располагается обширный антициклон. Его центр располагается над территорией над Уралом. Территория исследования находится в зоне взаимодействия высоких градиентов. Ижевск находится в зоне взаимодействия между западной периферией антициклона и передней частью многоцентровой депрессии. Особенностью этой депрессии является то что она вытянута глубоко на юг. За счет этого по западной периферии антициклона, по передней части циклона будут поступать, воздушные потоки с юга с того места, где уже в марте достаточно тепло. Мы видим, что Ижевск оказываемся в зоне высоких градиентов. Воздушные потоки поступают с Черного моря. На карте АТ850 видно, что Ижевск находится рядом с очагом тепла, зоной взаимодействия между антициклоном и вытянутым циклоном.

Аномально ранняя весна 9 марта 2020 года

Рисунок 3.21 График хода среднесуточной температуры воздуха с 28 марта по 20 апреля 2020 года



а) б)

Рисунок 3.22 Синоптическая ситуация начала аномально ранней весны: а) Карта погоды AT850 9 марта 2020 г. 12:00 UTC б)Карта погоды AT850 за 6 марта 2020 г. 12:00 UTC

Наиболее интересен аномально ранний переход температуры воздуха через 0°С.

Самое раннее начало весеннего периода в городе Ижевске было зафиксировано 9 марта 2020 года. Рассмотрим синоптические условия, сопутствующие аномально раннему началу весеннего периода. Третья декада февраля - начало марта в районе Ижевска характеризовалось неустойчивыми среднесуточными температурами воздуха, близкими к нулю. В первых числах марта фиксировались слабо положительные среднесуточные температуры воздуха, однако 5 марта наблюдалось арктическое антициклоническое вторжение, которому соответствовали отрицательные температуры в районе - центральной частью антициклона, из которого на территорию города поступали холодные воздушные массы. В дальнейшем антициклон переместился в юго-восточном направлении и 9 марта, в день устойчивого перехода температуры воздуха в сторону положительных значений, Ижевск находился под влиянием западной периферии антициклона, прогретые воздушные массы двигались с районов Каспийского моря. В дальнейшем на

температуру Ижевска стала оказывать влияние южная часть многоцентровой депрессии с центром над Атлантическим океаном. 12 марта в ее ложбине в районе Ботнического залива образовался отдельный центр и положительные температуры были также связаны с южной частью сформировавшегося циклона. С 22 по 24 марта наблюдался незначительный возврат холода, связанный с восточной периферией западного антициклона, в дальнейшем положительный фон температуры воздуха в Ижевске восстановился.

3.6 Аномально поздняя весна

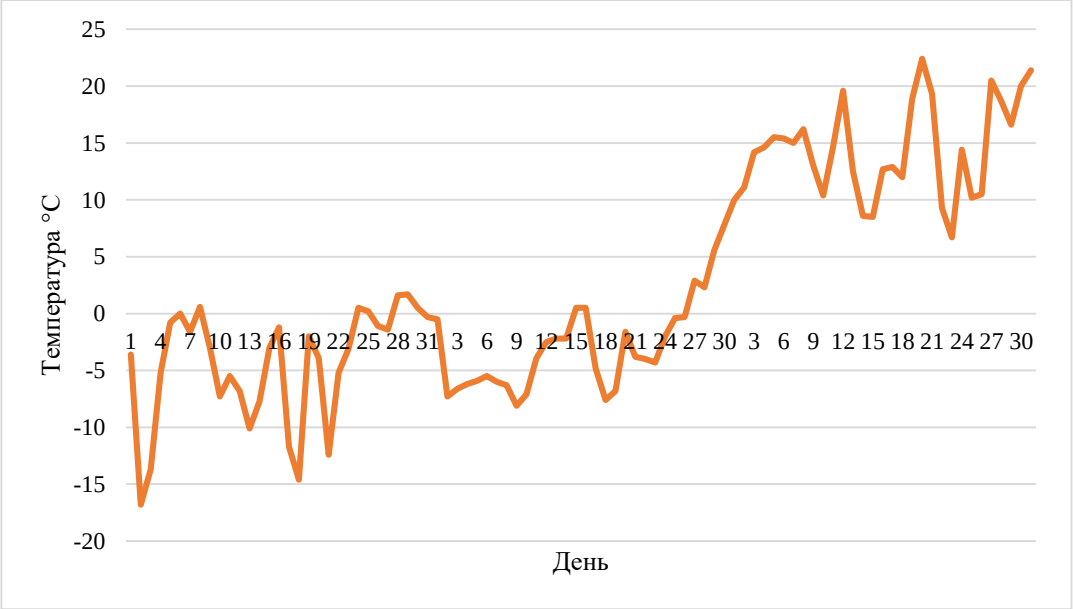
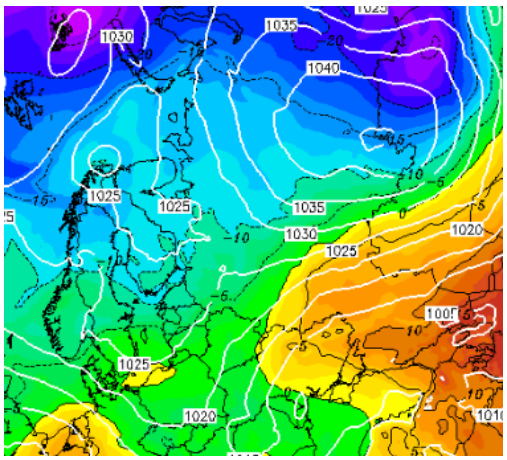


Рисунок 3.23 График суточного хода температуры воздуха за март, апрель, май 1979 года.



а) б)

Рисунок 3.24 Синоптическая ситуация начала аномально поздней весны: а) Карта погоды АТ850 за 27 апреля 1979г. 12:00 UTC б) Карта погоды АТ850 за 9 апреля 1979 г.

Отдельно была рассмотрена синоптическая ситуация, которая сопутствовала периоду предшествующему поздним веснам. Для выявления поздней весны в городе Ижевске были использованы градации в (таблице 3.4) и воспользовались градацией позже среднего. Таких случаев не много в Ижевске, всего 2. Есть 2 случая, которые находятся близко к границе градации. Мы их не рассматривали, так как они слишком близко к среднему. Интересно отметить, то что за весь период наблюдения весна в градацию раньше среднего попадала значительно чаще 12 случаев.

Рассмотрим весну 1979 года, когда начало весны наступило аномально поздно 27 апреля. В процессе исследования был рассмотрен ход среднесуточных температур воздуха для этой весны с 1 марта до конца мая. Для 1979 года было проведено детальное исследование синоптических процессов за период с марта по наступление поздней весны, а также последующий период, насколько весна после даты устойчивого перехода была «дружная», насколько повышение температуры было уверенным и не наблюдалось ли после перехода через 0°С на повышение температуры

возвратов холода. В ходе исследования марта 1979 года можно сделать вывод о том, что в первой декаде марта наблюдается усиление циклонической циркуляции с запада и возникает ситуация схожая с синоптической ситуацией характерной для начала весны, которая характеризуется зоной взаимодействия над территорией исследования передней части циклона, центр циклона располагается над Северным морем и западной периферией антициклона. Отличие от весенней синоптической ситуации зоной взаимодействия для Ижевска в том, что над территорией Балтийского региона, Белоруссией, также западом Удмуртии располагается малоградиентая ложбина циклона. Теплый сектор циклона проходит по югу Балтики, через Украину направлен в сторону Черного моря и ложбина находится в зоне холодных воздушных масс, поэтому Ижевску соответствует граница очага холода. В начале второй декады марта циклон окклюдируется, смещается сначала в восточном, потом в северо-восточном направлении, до 16 марта. Затем над северо-западом ЕТР циклон регенерирует. В момент регенерации активный холодный воздух с Арктического побережья начинает опускаться по его тыловой части и Ижевск опять оказывается в зоне очень низких температур и понижения составили до -15°С. Затем наблюдался незначительный период повышения температуры. Слабо положительные температуры в конце марта были связаны с малоградиентным полем, которое располагалось над всей территорией северо-запада России, Скандинавии и югом России, а затем передней частью южного циклона. Температура не поднималась выше 5°С. Последующее понижение температуры в начале апреля опустилось до -8°С и продолжалось длительное время, около 7 дней. Это не дало переходу стать устойчивым. Первый переход, который мог стать устойчивым как раз выпадал на конец марта, как и должно было быть, но понижение температуры 9 апреля 1979 года было связано с арктическим антициклоническим вторжением на территорию исследования, на северо- запад России, включая Поволжье. Также в первую декаду апреля на высотных картах наблюдаются барические ложбины с осью, направленной от арктического побережья на юг России. На протяжении следующего периода,

после того как антициклон заполнился в районе13,14 апреля Ижевск находился в малоградиентных барических полях пониженного или повышенного давления, что способствовало активному ночному выхолаживанию, а также так как размытые барические образования захватывали своими северными частями Арктическое побережье, это способствовало проникновению более холодных воздушных масс. После 15 апреля восстановилась циклоническая циркуляция, можно отметить, что в этот момент ведущий поток на карте АТ850 имел свое классическое положение вдоль широты, чуть севернее Черного моря. 20 апреля приходили западные циклоны, температурный фон был достаточно неустойчивым. В 20 числах над Сибирью наблюдалась омега блокирования, и вся территория от Исландии до Уральских гор была подвержена циклонической циркуляции и в районе Европейской территории России и северо-запада расположился малоподвижный циклон и в процессе его окклюдирования Ижевск находился в его тыловых частях, поэтому значительного повышения температуры не было.26 апреля над территорией Балтийского региона и Центральной Европой наблюдается узконаправленная ложбина холода, зато вся территория восточнее располагается под барическим гребнем на высоте АТ500. Под этим барическим гребнем распространяется континентальный антициклон и это приводит к уверенному повышению температуры. Далее антициклон незначительно перемещается в восточную периферию и циклоническое образование над Атлантикой и западом Скандинавии начинает также незначительно смещаться в восточном направлении и в последующие сроки 29,30 апреля Ижевск будет располагаться в благоприятной для наступления весны ситуации между прогретым антициклоном на востоке и передней частью циклона, который вытянут меридионально и туда поступают воздушные потоки с юга России, Украины. Данная ситуация продолжалась до 7 мая. Устойчивость данной ситуации связана с тем, что барическая ложбина на АТ500 находится над Балтийским регионом и западной Европой, гребень располагается над всей территорией, поэтому эта ситуация неподвижна в значительный период времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате бакалаврской работы можно сделать следующие выводы.

Анализ климатических особенностей наступления весеннего сезона в г. Ижевске за 1963–2022 гг. показал, что временные рамки начала весны существенно сместились под влиянием изменений атмосферной циркуляции и общего потепления климата.

В среднем за весь период исследования продолжительность весеннего климатического сезона в городе Ижевске увеличивается незначительно. Границы весны в течение периода с 1963 год по 2022 год синхронно смещаются в сторону холодного полугодия на 3 суток.

Даты фактического окончания весны в г. Ижевске имеют значительные колебания в течение всего периода исследования, их амплитуды в смежных годах могут составлять до 30 дней.

Условия формирования аномально ранней весны в г. Ижевске в марте 2020 года определялись длительным периодом положительных температур. Устойчивому переходу температуры воздуха через нулевой предел в сторону повышения сопутствовала западная периферия антициклона, в которую поступали теплые воздушные массы с района Каспия. Затем влияние на температуру в Ижевске оказывали южные части атлантических циклонов, в которые поступал прогретый воздух с юга России.

Условиям формирования позднего наступления весны соответствует то, что предшествует длительный период, характеризующийся частыми арктическими вторжениями. Проведя анализ оказалось, что для начала поздней весны соответствуют следующие синоптические условия: преобладание антициклонических условий: либо обширной области слабо выраженного градиента давления, либо центральной части антициклона. В конце марта и начале апреля подобная конфигурация атмосферы способствует адвекции тепла.

В рамках классификации "Ранняя весна" выделяются две подгруппы: первая – с устойчивым переходом к положительным среднесуточным температурам, характеризующаяся как "дружная весна"; вторая – с кратковременными возвратами отрицательных температур, определяемая как "неустойчивая весна".

Проведя анализ начала "дружной весны" можно сказать, что для нее соответствует синоптическая ситуация, обусловленная серией циклонических образований, траектории которых пролегают из района Британских островов через Скандинавский полуостров в направлении архипелага Новая Земля. Начало "неустойчивой весны" связано с влиянием южной периферии североатлантического циклона. Далее изменчивость погодных условий обусловлена вторжениями арктических воздушных масс, но территория города Ижевска располагается в областях барических систем, не благоприятствующих развитию интенсивных похолоданий.

Анализ рассмотренных случаев позволяет заключить об отсутствии изменений в синоптических условиях, определяющих наступление весны, с течением времени.

Список использованных источников

С

Научная статья « Исследование дат перехода температуры через 0 и 5 °С и сопутствующих циркуляционных условий юга западной Сибири» Носырева О.В. [Электронный ресурс] - atmospheric-circulation.ru. - (дата обращения

3. Научная статья «Климатические и фенологические индикаторы современного потепления на территории Удмуртской республики (на примере г. Ижевска)» Адаховский Д.А. [Электронный ресурс] - cyberleninka.ru - (дата обращения 14.04.2025).

4. Section 4: Factors that Influence Climate - NGS Magnified [Электронный ресурс] - https://ngsmagnified.com/textbooks/weather-climate/section-4-factors-that-influence-climate/ - (дата обращения 13.05.2025).

6. Earth's Climate System (Chapter 1) - Climate Analysis - Cambridge University Press, [Электронный ресурс] - https://www.cambridge.org/core/books/climate-analysis/earths-climatesystem/251C1F142B5BF04CA2706388C71FADA7 (дата обращения 03.04.2025).

7. Earth's Climate System – Montana State University, [Электронный ресурс] - https://www.montana.edu/hansenlab/documents/bio491/Chpt2EarthsClimateSystem.pdf - (дата обращения 05.04.2025).

9. Climate Forcing | National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс] - https://www.ncei.noaa.gov/products/paleoclimatology/climate-forcing - (дата обращения 14.04.2025).

10. Atmospheric dynamics | EBSCO Research Starters, [Электронный ресурс] - https://www.ebsco.com/research-starters/earth-and-atmospheric-sciences/atmospheric-dynamics - (дата обращения 15.05.2025).

11. Air Masses | National Oceanic and Atmospheric Administration, [Электронный ресурс] - https://www.noaa.gov/jetstream/synoptic/air-masses - (дата обращения 14.05.2025).

12. Air Masses | Physical Geography - Lumen Learning, [Электронный ресурс] - https://courses.lumenlearning.com/sunygeophysical/chapter/air-masses/ - (дата обращения 13.05.2025).

13. Fronts - Earth Science Regents Review, [Электронный ресурс] - https://reviewearthscience.com/book/fronts.php - (дата обращения 13.05.2025).

15. Atmospheric Processes and Phenomena [Электронный ресурс]. – https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fpressbooksdev.oer.hawaii.edu%2Fatmo%2Fchapter%2Fchapter-12-fronts-and-airmasses%2F&utf=1 - (дата обращения 12.05.2025).

16. ВНИИГМИ-МЦД - Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных: Экстремальные морозы в Ижевске в XX-XXI столетиях [Электронный ресурс]. – Дата обращения 06.05.2025).

17. Шилов, А. В. Возможности и недостатки использования скользящей средней при выработке прогнозных решений // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2015. – № 19. – С. 88-94. – EDN