



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Условия формирования аномального термического режима на
европейской территории России в переходные сезоны года»

Исполнитель _____ Шишкина Татьяна Романовна
(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)

« 11 » июня 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Общая характеристика климата.....	6
1.1 Классификация климатов	6
1.2 Климатообразование	10
1.3 Общая циркуляция атмосферы	15
1.4 Типы воздушных масс северного полушария.....	19
2. Использованные архивы и банки данных	21
3. Анализ формирования аномального термического режима на ЕТР за осенний период	25
3.1. Объект исследования и методы исследования	25
3.2 Анализ среднемесячных значений температуры воздуха за осенний период.....	26
3.3 Анализ повторяемости дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха осенью	31
3.4 Анализ синоптической ситуации для дней с аномально высокими и аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха за осенний период на ЕТР	35
3.4.1 Синоптические ситуации для аномально холодных дней.....	35
3.4.1.1 Сентябрь	35
3.4.1.2 Октябрь	37
3.4.1.3 Ноябрь	37
3.4.2 Синоптические ситуации для аномально теплых дней	38
3.4.2.1 Сентябрь	38
3.4.2.2 Октябрь	42

3.4.2.3 Ноябрь	43
4. Анализ формирования аномального термического режима на ЕТР весной.....	44
4.1 Анализ среднемесячных значений температуры воздуха за весенний период.....	44
4.2 Определение положения точек бифуркации для области исследования	46
4.3 Анализ повторяемости дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха весной.....	48
4.4 Анализ синоптической ситуации для дней с аномально высокими и аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха за весенний период на ЕТР.....	51
4.4.1 Синоптические ситуации для аномально холодных дней.....	51
4.4.1.1 Март	51
4.4.1.2 Апрель.....	56
4.4.1.3 Май	59
4.4.2 Синоптические ситуации для аномально теплых дней	61
4.4.2.1 Март	61
4.4.2.2 Апрель.....	63
4.4.2.3 Май	66
Заключение	68
Список использованных источников.....	71
Приложения.....	73

Введение

Аномальные среднесуточные значения температуры воздуха относятся к опасным метеорологическим явлениям, которые могут нанести серьезный ущерб экономике, сельскому хозяйству и другим отраслям. В последние годы фиксируются аномальные значения температуры воздуха, превышающие исторические максимумы. В переходные сезоны устойчивость воздушных потоков уменьшается, и формирование температурного режима представляет особый интерес. Анализ синоптических условий формирования дней с аномальными значениями среднесуточной температуры воздуха в осенний и весенний периоды на Европейской территории России (ЕТР) является актуальной задачей.

Целью научно-исследовательской работы является анализ условий формирования аномально высоких и аномально низких значений среднесуточной температуры воздуха в переходные сезоны на Европейской территории России (ЕТР).

Для достижения поставленной цели необходимо определить следующие задачи:

- 1) Сформировать архив данных по среднесуточным значениям температуры воздуха в выбранных пунктах с 1959 года по 2018 год.
- 2) Выделить границы квартильных градаций в выбранных пунктах: «среднее», «ниже среднего», «значительно ниже среднего», «выше среднего» и «значительно выше среднего».
- 3) Проанализировать повторяемость дней с температурами, попадающими в данные градации.
- 4) Проанализировать циркуляционные особенности, сопутствующие дням с аномальными значениями среднесуточной температуры воздуха.

В первой главе представлена общая характеристика климата и основные климатообразующие процессы.

Во второй главе представлена информация об использованных архивах данных (ВНИИГМИ-МЦД) и данных реанализа (модель NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSRv1)).

В третьей и четвертой главах представлена область исследования и представлены методы исследования. Проанализированы среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха осени и весны. Рассчитаны границы квартильных градаций, выделяющие anomalно низкие и anomalно высокие значения среднесуточной температуры воздуха. Проанализирована повторяемость anomalно теплых и anomalно холодных дней на выбранных станциях. В процессе работы были сформированы карты пространственного распределения изменения повторяемости по области исследования. Так же рассмотрена синоптическая ситуация, характерная для дней с anomalно высокими и anomalно низкими значениями температуры воздуха.

В заключении описана проделанная работа и сформулированы выводы.

1. Общая характеристика климата

Климат – это относительно устойчивый многолетний режим погоды. Для каждой местности на Земле характерен свой уникальный климат, который зависит от орографии, типа подстилающей поверхности, почвы и т.д. Климат зависит от астрономических и географических факторов, от количества получаемой солнечной радиации, общей циркуляции атмосферы, типа подстилающей поверхности.

Существует понятие «локальный климат», которое используется для описания режима погоды отдельных территорий. Локальный климат разделяется на четыре типа: макроклимат, мезоклимат, микроклимат и наноклимат. Макроклимат – климат крупных географических зон, больших частей материков и океанов. Мезоклимат – климат, характерный для небольших территорий, однородных по природным условиям, к примеру, лесная местность, морское побережье, речная долина или небольшой город. Горизонтальный масштаб мезоклимата составляет <1 км, он зависит от типа подстилающей поверхности. Микроклимат – климат приземного слоя воздуха, определяется микромасштабными различиями земной поверхности внутри местного климата и имеет горизонтальный масштаб ≤ 10 км, а вертикальный 100–200 м. Наноклимат формируется за счет микровозвышений и микропонижений размером в сантиметры и десятки сантиметров с горизонтальным масштабом 1–3 м и вертикальным $\leq 0,5$ м. [1]

1.1 Классификация климатов

Чтобы обобщить разнообразие климатических условий на Земле, необходимо различать области, сходные по определенным климатическим особенностям и исследовать как они распространены.

Б. П. Алисов предложил различать климатические зоны и области, исходя из условий общей циркуляции атмосферы. В северном и южном полушариях выделяются четыре климатических пояса по признаку преобладания в них в течение года одной из основных воздушных масс: экваториальной, тропической, умеренной, арктической (антарктической).

Между основными поясами выделяются три переходных пояса, где преобладают воздушные массы более низких широт летом и более высоких широт зимой. Это субэкваториальный пояс, в котором летом преобладает экваториальный воздух, а зимой – тропический. В субтропическом поясе летом превалирует тропический воздух, зимой – умеренный. В субарктическом (субантарктическом) поясе летом господствует умеренный воздух, зимой – арктический (антарктический). В каждой широтной зоне различаются типы континентального и океанического климата, особенности которых определяются влиянием суши и океана. Также выделяется климат западных побережий и климат восточных побережий, различия которых связаны преимущественно с особенностями общей циркуляции атмосферы и отчасти с распределением океанических течений.

Границы зон определяются по среднему положению климатических фронтов. Так тропическая зона находится между летним положением и зимним положением полярных фронтов. Поэтому круглый год она будет занята преимущественно тропическим воздухом. Субтропическая зона находится между зимним и летним положениями полярных фронтов, поэтому зимой она будет находиться под преобладающим воздействием полярного воздуха, а летом – тропического воздуха. Также определяются и границы других зон. [2] Расположение климатических зон Земли представлено на рисунке 1.1

Следует отметить, что классификация климатов по Б.П. Алисову была составлена в середине XX века и основывалась на гидрометеорологических данных прошлого столетия. В последующем классификация изменялась с учетом более поздних наблюдений.

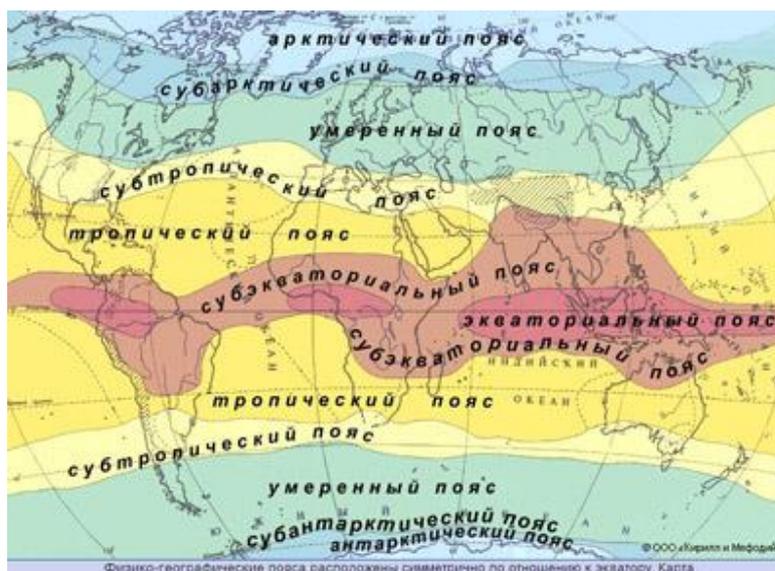


Рисунок 1.1 – Климатические пояса

Характеристика климатических поясов Земли.

– Экваториальный пояс. Воздух в экваториальном поясе выносится из тропического пассатами. В экваториальном поясе наблюдаются высокие температуры воздуха от 24 °С. Высокое содержание влаги в воздухе. Интенсивные конвективные процессы, так как вертикальный градиент температуры близок к влажноадиабатическому. Слабые и неустойчивые ветра. Грозы и обильные ливневые осадки. Обычно, осадки выпадают из мощной кучевой облачности (мощных кучевых облаков, то есть внутримассовые облака, кучево-дождевые, облака вертикального развития). Количество осадков увеличивается близ внутритропической зоны конвергенции (ВЗК). [3]

Внутритропическая зона конвергенции – зона, проходящая вдоль экватора, заключенная между пассатом Северного полушария и пассатом Южного полушария. Ширина ВЗК может достигать 100 км и больше.

– Субэкваториальный пояс. Расположен между тропическим и экваториальным поясами. Поскольку это переходный пояс, для него характерна смена воздушных масс от зимы (тропический воздух) к лету

(экваториальный воздух). Эта смена воздушных масс влияет на сельское хозяйство и другие отрасли. Температура воздуха в среднем может достигать от 15° до 32 °С. В субэкваториальном поясе выпадает от 250 до 2000 мм осадком в год. [3]

– Тропический пояс. Наблюдается жаркое лето, низкая влажность, отсутствие дождей и облачности. Температура воздуха и температура почвы претерпевает значительные суточные и годовые колебания. Температура летом достигает от 30 - 40 °С. Зимой среднемесячная температура воздуха может быть от 12 до 20 °С. Поскольку тропический пояс граничит с умеренным поясом, здесь могут фиксироваться волны холода. Причиной этому являются вторжения холодных воздушных масс, которые могут привести к падению температуры воздуха ниже 0°С. [3]

– Субтропический пояс. Пояс расположен между умеренными и тропическими поясами обоих полушарий. Обычно в субтропическом поясе наблюдается смена умеренного и тропического воздуха от сезона к сезону. Так как субтропический пояс граничит с умеренным поясом, для которого характерна активная циклоническая деятельность, то в субтропическом поясе также наблюдаются циклоны и связанные с ними осадки. Среднемесячная температура воздуха летом выше 22–24 °С, достигая 30–35 °С и более. Зимой – свыше 4 °С, следствием полярных вторжений являются заморозки и морозы, а также выпадение снега.

– Умеренный пояс. Расположен между субтропическим и субарктическим поясами. Находится между 40° с.ш. и 65° с.ш. В этих широтах солнечной радиации поступает меньше, чем в тропических и экваториальных поясах, поэтому радиационный баланс в умеренном поясе отрицательный.

Для умеренного пояса характерна активная циклоническая деятельность на фронтах. Характерной чертой умеренного климата является частая смена воздушных масс.

–Субарктический (субантарктический) пояс. Расположен между умеренным и арктическим поясами. Годовые амплитуды температуры воздуха в субарктическом (субантарктическом) поясе имеют наибольшие значения, поскольку этот пояс переходный. Так как солнечные лучи достигают этого пояса под углом, тепловой энергии поступает меньше и радиационный баланс, по этой причине, отрицательный. Климат холодный, средняя температура воздуха января от -5 до -40 °С, июля от 5 до 12 °С, осадков от 250 до 600 мм в год. Снег лежит $7-8$ месяцев.

– Арктический (антарктический) пояс. Поскольку арктический (антарктический) пояс находится близ полюсов, а солнечные лучи на высоких широтах достигают земную поверхность под большим углом, радиационный баланс здесь отрицательный.

Отличительной чертой арктического пояса являются небольшие суточные амплитуды температуры воздуха зимой, но в переходные сезоны года, по периферии пояса температура воздуха может изменяться на 15 °С и более.

1.2 Климатообразование

Основные физические механизмы, которые определяют внешнее влияние на климатическую систему, и вдобавок взаимодействия между связями в климатической системе, называются климатообразующими факторами. Важнейшими факторами являются:

- удаленность от моря;
- океанские течения;
- направление преобладающих ветров;
- форма Земли;
- расстояние от экватора;
- явление Эль-Ниньо.

В настоящее время широко признано, что деятельность человека также влияет на климат и это воздействие не везде одинаково. Например,

изменения, по-видимому, происходят быстрее вблизи полюсов, чем во многих других местах.

Причиной глобальной циркуляции воздушных масс служит неравномерный нагрев солнечными лучами подстилающей поверхности – рисунок 1.2. Солнечные лучи не всегда полностью поглощаются земной поверхностью, поскольку подстилающая поверхность имеет шероховатости, рельеф и разный тип почвы. поэтому солнечные лучи не всегда полностью поглощаются.



Рисунок 1.2 – Виды солнечной радиации

Влияние океанических течений

Океан играет важную роль в перераспределении тепла на нашей планете. Большая часть излучения солнца поглощается океаном, особенно в тропических водах вокруг экватора, где океан действует как массивная, удерживающая тепло, солнечная панель. Земная поверхность также поглощает некоторое количество солнечного света, а атмосфера помогает удерживать тепло, которое в противном случае быстро излучалось бы в космос после захода солнца.

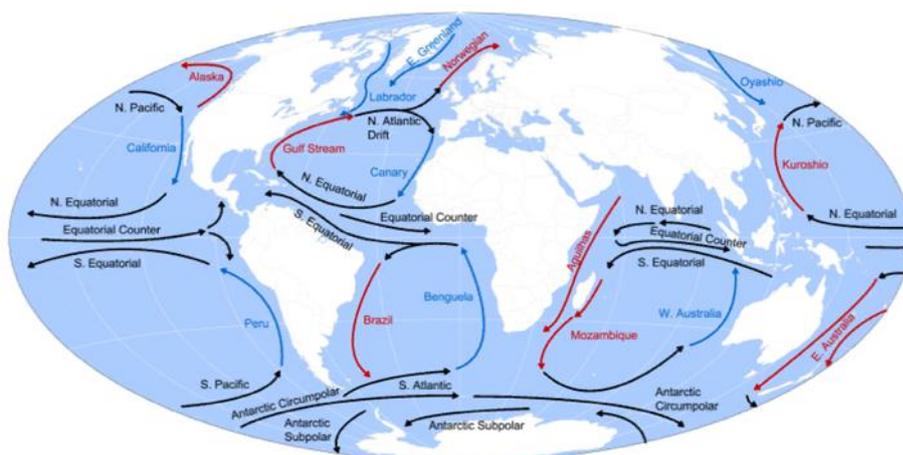


Рисунок 1.3 – Глобальная карта океанических течений

Океан не только накапливает энергию, поступающую от солнечной радиации, а также перераспределяет энергию по всей Земле. Из-за неравномерного нагрева водяных масс имеет место перераспределение тепла между слоями воды. Поверхность воды всегда испаряется, обмениваясь теплом с окружающим воздухом. В результате образуются дожди и штормы, которые затем переносятся пассатами.

Погодные условия во внеэкваториальных районах определяют океанические течения. Течения — это перемещение водных океанических масс в непрерывном потоке. Такие течения, в основном, создаются ветрами или градиентами температур, а также вращением Земли и приливами.

Океанические течения переносят тепло от экватора к полюсам. На полюсах водные массы охлаждаются и, из-за планетарного градиента температур, снова устремляются к экватору. Таким образом, течения регулируют глобальный климат, препятствуя неравномерному распределению солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. Без течений в океане температура воздуха были бы аномальной.

Главным океанским течением, влияющим на ЕТР, является Гольфстрим.

Форма земли.

На климат могут влиять горы. В горах выпадает больше осадков, чем в низменностях, потому что, когда воздух поднимается над возвышенностью, он охлаждается, конденсируется и выпадает в виде осадков.

Чем выше место над уровнем моря, тем будет холоднее. Это происходит потому, что по мере увеличения высоты воздух менее способен поглощать и удерживать тепло.

Расстояние от экватора.

Расстояние от экватора влияет на климат места. На полюсах энергия Солнца достигает поверхности Земли под меньшими углами и проходит через более толстый слой атмосферы, чем на экваторе. Это означает, чем дальше от экватора, тем холоднее климат. Полюса также испытывают наибольшую разницу между продолжительностью «летнего» и «зимнего» дня – полярный день и полярная ночь.

Влияние Эль-Ниньо.

Обычно в Тихом океане пассаты дуют на запад вдоль экватора, унося теплую воду из Южной Америки в сторону Азии. Как только теплая вода перемещается, холодная вода поднимается из глубины — процесс, называемый апвеллингом. Эль-Ниньо и Ла-Нинья являются двумя противоположными климатическими моделями, которые нарушают эти нормальные условия. Ученые называют эти явления циклом Эль-Ниньо-Южное колебание. Эль-Ниньо и Ла-Нинья наносят огромный экономический и экологический ущерб, поскольку они влияют на сельское хозяйство, могут вызвать наводнения и лесные пожары. Явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья нерегулярные, потому что происходят каждые 3-8 лет и обычно длятся от нескольких месяцев до нескольких лет. Эль-Ниньо встречается чаще, чем Ла-Нинья. [10]

Эль-Ниньо означает «Маленький мальчик», или «Младенец Христос» на испанском языке. Южноамериканские рыбаки впервые заметили периоды аномально теплой воды в Тихом океане в 1600-х годах. Полное название,

которое они использовали, было Эль-Ниньо-де-Навидад, потому что Эль-Ниньо обычно достигает пика в декабре.

Эль-Ниньо может значительно повлиять на нашу погоду. Более теплые воды заставляют тихоокеанское струйное течение двигаться к югу от своего нейтрального положения. С этим сдвигом районы на севере США и Канады стали суше и теплее, чем обычно. Но на побережье Мексиканского залива и юго-востоке США эти периоды более влажные, чем обычно, и увеличили наводнения.

Антропогенное воздействие.

Антропогенное изменение (иначе известное как антропогенное изменение климата) относится к выбросам парниковых газов, которые происходят в результате деятельности человека. Существует ряд способов, которыми люди по всему миру выделяют дополнительный углекислый газ в атмосферу, что, в свою очередь, оказывает огромное влияние на климат в целом, а также на другие аспекты природного мира, включая качество жизни животных, растений и человека.

Существует несколько видов антропогенного воздействия на климат, и, хотя многие из этих способов используются каждый день, необходимо найти альтернативы, чтобы начать обращать вспять изменение климата.

Сжигание ископаемого топлива.

Одним из самых существенных факторов, способствующих изменению климата, и тот, который полностью вызван только деятельностью человека - это сжигание ископаемого топлива. Даже в последнее время, чтобы обогреть дома, управлять автомобилями и питать электронные устройства, сжигают уголь, газ или нефть в больших количествах. Эти ископаемые виды топлива состоят из углекислого газа, который в течение многих миллионов лет находился в земле, но теперь высвобождается обратно в воздух. Это напрямую вызывает увеличение количества углекислого газа в воздухе, что вызывает всевозможные проблемы, включая глобальное потепление.

Сельское хозяйство.

Поскольку метан является парниковым газом, что означает, что он удерживает тепло от Солнца в атмосфере Земли, выброс его в больших количествах в воздух может означать огромное изменение климата.

Аэрозоли.

Хотя эта проблема была гораздо более актуальной в 90-х годах, она по-прежнему является проблемой для климата сегодня. Аэрозоли представляют собой очень маленькие частицы, которые естественным образом присутствуют в атмосфере. Тем не менее, количество аэрозолей, присутствующих в воздухе сегодня, намного выше, чем до того, как люди начали сжигать ископаемое топливо. Сейчас все больше аэрозолей содержат черный углерод, органические соединения и даже соединения серы.

Использование удобрений.

Чтобы из года в год повышать урожайность сельскохозяйственных культур, используются химические удобрения на сельскохозяйственных угодьях. Тем не менее, эти удобрения, которые часто очень опасны для употребления как для людей, так и для животных, проникают в нашу атмосферу. Кроме того, удобрения часто содержат много закиси азота, еще одного парникового газа, который влияет на среднюю температуру воздуха Земли.

1.3 Общая циркуляция атмосферы

Атмосферная циркуляция – это масштабное движение воздуха, которое вместе с океанической циркуляцией, представляет собой систему, с помощью которой тепловая энергия перераспределяется по поверхности Земли. [7,8]

Еще в 1730-х годах ученый-любитель Джордж Хэдли описал идеализированную модель движения воздуха в атмосфере. Хэдли отметил, что воздух на экваторе нагревается сильнее, чем в любом другом месте на Земле. Для сравнения, воздух над полюсами холоднее, чем в любом другом

месте. Следовательно, приземный воздух вблизи экватора будет подниматься в верхние слои атмосферы и опускаться из верхних слоев атмосферы до уровня земли вблизи полюсов. Чтобы уравновесить эти вертикальные движения воздуха, необходимо было также предположить, что воздух течет по поверхности Земли от каждого полюса обратно к экватору, а в верхних слоях атмосферы — сверху от экватора к полюсам. [9]

Круговое движение воздуха, описанное Хэдли, представляет собой конвекционную ячейку. Термин «конвекция» относится к передаче тепла, когда оно переносится из одной области в другую потоком, в данном случае воздухом.

Проведя исследование, Хэдли сделал вывод о том, что ветра в Северном полушарии не могут дуть строго с севера на юг или в Южном полушарии с юга на север. Вращение Земли, а именно сила Кориолиса, влияет на направление ветра. Вращение Земли отклоняет воздушные потоки на восток или запад.

Спустя столетие после того, как была предложена первоначальная теория Хэдли, французским физиком Гаспаром Гюставом де Кориолисом было опубликовано математическое описание этого движения. Кориолису удалось математически доказать, что объект, движущийся на любом вращающемся теле, всегда движется по криволинейной траектории по отношению к любому другому телу на том же вращающемся теле. Это открытие, ныне известное как эффект Кориолиса, дало более точное описание того, как приземный ветер отклоняется на восток или запад, чем первоначальная теория Хэдли.

Существуют различные методы изучения общей циркуляции атмосферы, например, синоптический, статистический и гидродинамический.

Синоптический метод – метод анализа и прогноза перемещения циклонов, антициклонов и других барических образований, их изменений, с

помощью синоптических карт (абсолютной и относительной топографии), аэрологический диаграмм, спутниковых снимков и т.д.

Статистический метод – метод, в основе которого лежат статистические законы. Расчет параметров распределения (среднее, дисперсия, коэффициент асимметрии), расчет климатических характеристик редкой повторяемости.

Гидродинамический метод предполагает построение математических моделей атмосферных процессов с помощью основных уравнений гидродинамики (уравнения движения, неразрывности, притока тепла, состояния, переноса влаги и примеси). Поскольку уравнения гидродинамики записаны в частных производных, на сегодняшний день их нельзя решить точно, поэтому их решают приближенными методами, например, методом сеток, спектральным методом, методом конечных элементов или методом конечных объемов. В зависимости от цели к уравнениям могут применяться приближения:

географическое, гидростатическое, адиабатическое, баротропности/бароклинности.

На рисунке 1.4 представлена общая циркуляция атмосферы.

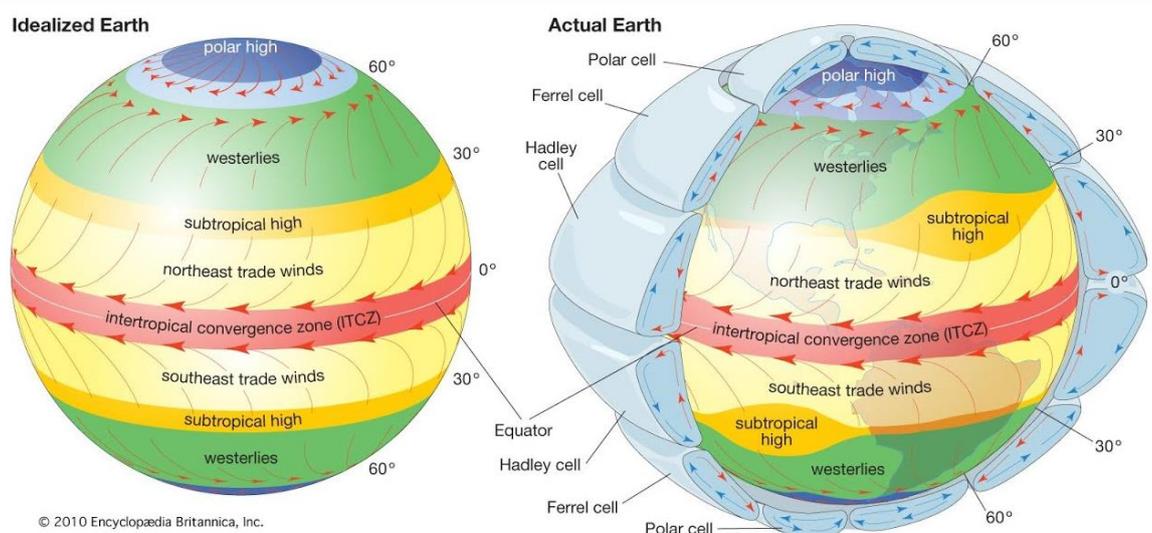


Рисунок 1.4 – Общая циркуляция атмосферы

Основные характеристики:

- а) Изменение направления и скорости воздушных течений при смене сезонов;
- б) Не стационарность атмосферных процессов. В атмосфере сложно предугадать траекторию движения воздушных масс;
- в) Скорость и направление ветра изменяются от высоты. неравномерное распределение энергии от слоя к слою;
- г) Горизонтальные скорости, как правило, превышают вертикальные;
- д) Воздушные течения распространяются вдоль широтного круга, реже в меридиональном направлении;
- е) Вихревые движения. [4]

Исследование климата

Для исследования климата необходимы многолетние наблюдения. Климатическая обработка применяется к многолетним рядам наблюдений и ее целью является определение климатических характеристик, например, многолетнего среднего значения или расчетных климатических характеристик редкой повторяемости (1 раз в 100 или 200 лет). Все закономерности, которые получены в климатологии, например, изотермы норм температур по Земному шару, являются результатами климатической или климатологической обработки. Также расчетные климатические характеристики являются практическим вкладом климатологии в различные отрасли человеческой деятельности (строительство, сельское хозяйство, транспорт и другие) Поэтому климатическая обработка информации является основой климатологии и все числовые климатические характеристики получены только на основе климатической обработки [5]. В качестве основного математического аппарата для климатической обработки применяются вероятностно-статистические методы. Для получения климатических рядов используются метеорологические наблюдения, выполняемые в определенные сроки. Например, наблюдения за температурой воздуха в настоящее время проводятся 8 раз в сутки через 3

часа и называются срочными наблюдениями. Измерение осадков осуществляется раз в сутки. При применении автоматических регистрирующих приборов дискретность наблюдений (интервалы между измерениями) может задаваться и быть значительно меньше, чем 3 часа. В результате даже в течение одного года наблюдений формируется большой массив данных, а климатические характеристики получаются из метеорологических данных путем последовательного обобщения или агрегирования информации. Можно выделить три основных уровня обобщения: внутри года, за многолетний период и по пространству. Обычно, для эффективного метеорологических рядов, принято использовать период в 30 лет (по наставлению ВМО). [1].

Можно отметить, что ряд природных факторов влияют на климат и определяют его особенности. К таким факторам можно отнести: дальность акваторий, особенности рельефа территории, степень антропогенного влияния, влияние преобладающих воздушных масс, географическое местоположение, тип земной поверхности. [1]

1.4 Типы воздушных масс северного полушария

Воздушная масса – это объем воздуха с относительно постоянной температурой и влажностью на данной высоте. Воздушные массы обычно покрывают сотни или тысячи квадратных километров. Фронт – это поверхность раздела, на которой встречаются воздушные массы с разными гидрометеорологическими характеристиками.

Роль воздушных масс и фронтов в разработке прогнозов впервые была оценена метеорологом Вильгельмом Бьеркнесом в 1920-х годах. Сегодня воздушные массы и фронты все еще интенсивно изучаются как предикторы будущих погодных условий.

Вертикальные размеры воздушным масс могут достигать тропопаузы.

Воздушные массы имеют свойства перемещаться. В зависимости от типа подстилающей поверхности, а также погодных условий, ВМ могут изменяться, т.е. трансформироваться. [4]

Воздух перемещается над землей в виде воздушных масс и различных элементов циркуляции атмосферы: циклонов и антициклонов, пассатов, муссонов, штормов и т. п. Обычно воздушная масса квазиоднородна и имеет достаточно большой размер с радиусом в сотни километров. Поэтому значения метеоэлементов в разных ее частях будут достаточно схожими, а во временных графиках наблюдений на ближайших станциях будет иметь место синхронность, которую количественно можно рассчитать с помощью коэффициента корреляции. Воздушные массы определяют режим погоды над территорией, над которой она находится.

Классификация воздушных масс базируется на географической территории, на которой они располагаются (очаг формирования). По этому принципу можно выделить основные типы: арктическая воздушная масса (АВМ), умеренная (УВМ), тропическая (ТВМ) и экваториальная (ЭВМ). С учетом характера подстилающей поверхности они могут быть отнесены к континентальным и морским. [3]

С севера и северо-запада на ЕТР вторгается морской арктический воздух (МАВ), преимущественно через Норвежское и Баренцево (его незамерзающую часть) моря. С северо – востока на ЕТР через Баренцево море (его замерзающую часть) и через Карское море происходит вторжение континентального арктического воздуха (КАВ). [4]

С запада движется морской умеренный воздух (МУВ), главным образом в тылу циклонов и их холодными фронтами.

Континентальный умеренный воздух (КУВ) формируется в зоне умеренных широт, внутри континента. Континентальный умеренный воздух образуется в области сибирского антициклона зимой и может проникать на ЕТР.



Рисунок 1.5 – Основные виды воздушных масс на европейской части России

2. Используемые архивы и банки данных

В работе использовались данные Мирового Центра Данных - (ВНИИГМИ-МЦД). Главная страница сайта представлена на рисунке 2.1.

Специализированные массивы для климатических исследований находящиеся во ВНИИГМИ-МЦД включают следующие основные архивы данных: температура воздуха (сроки, сутки, месяц), атмосферное давление, суммы осадков, радиозондовые и аэрологические наблюдения. [11]

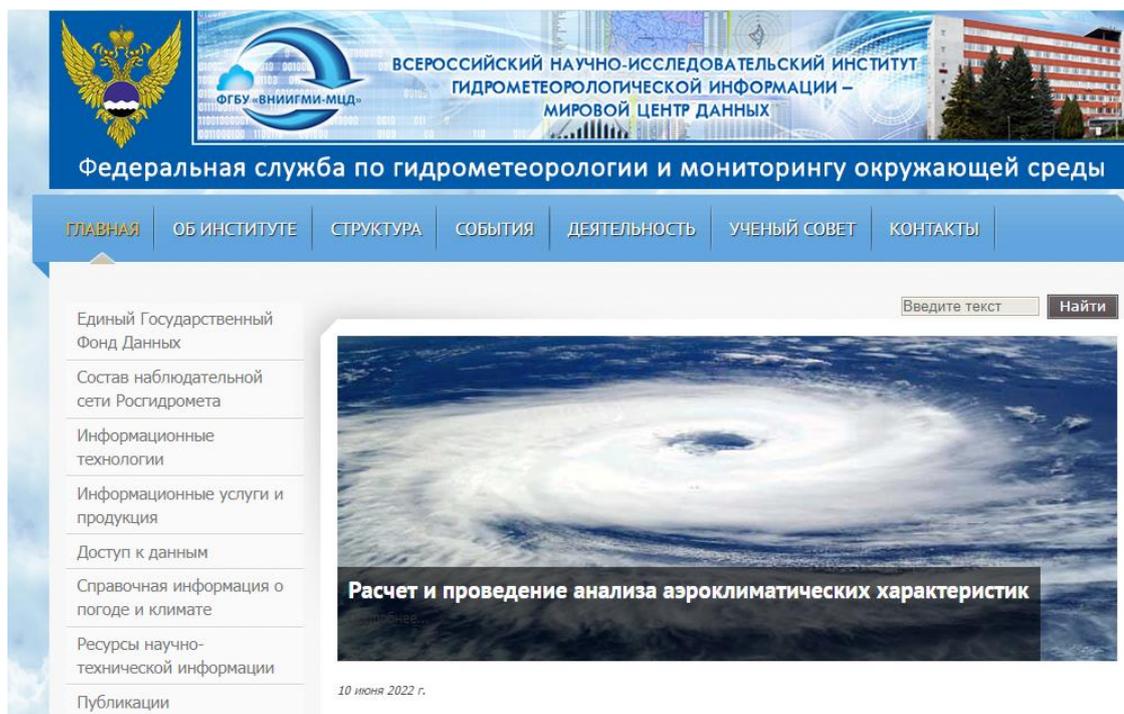


Рисунок 2.1 – Главная страница сайта ВНИИГМИ-МЦД

По дискретности наблюдений архивы делятся на три основных вида.

1) Ежедневные данные на метеорологических станциях на территории РФ, включая: каталог станций, ежедневные данные по температуре воздуха и количеству осадков и описание этого массива данных, характеристики снежного покрова и описание этого массива. [1]

2) Месячные данные по 476 станциям России, включая каталог станций, многолетние ряды температур воздуха, сумм осадков, атмосферного давления на уровне станции, высот барометра, продолжительность солнечного сияния, высот гелиографа, упругость водяного пара с описанием структуры архива каждой климатической характеристики. [1]

3) Срочные данные радиозондовых наблюдений по 12 станциям ГСНК территории РФ, включая каталог станций, описание массива данных и сами данные. [1]

В работе использовался архив данных по температуре воздуха и осадкам (ежедневные данные).

Также использовались данные реанализа NCEP (CFSR) – рисунок 2.2. Реанализ представляет собой систему с высоким разрешением, связанную с атмосферой, океаном, поверхностью суши и морским льдом, чтобы обеспечить наилучшую оценку состояния областей за исследуемый период.[12]

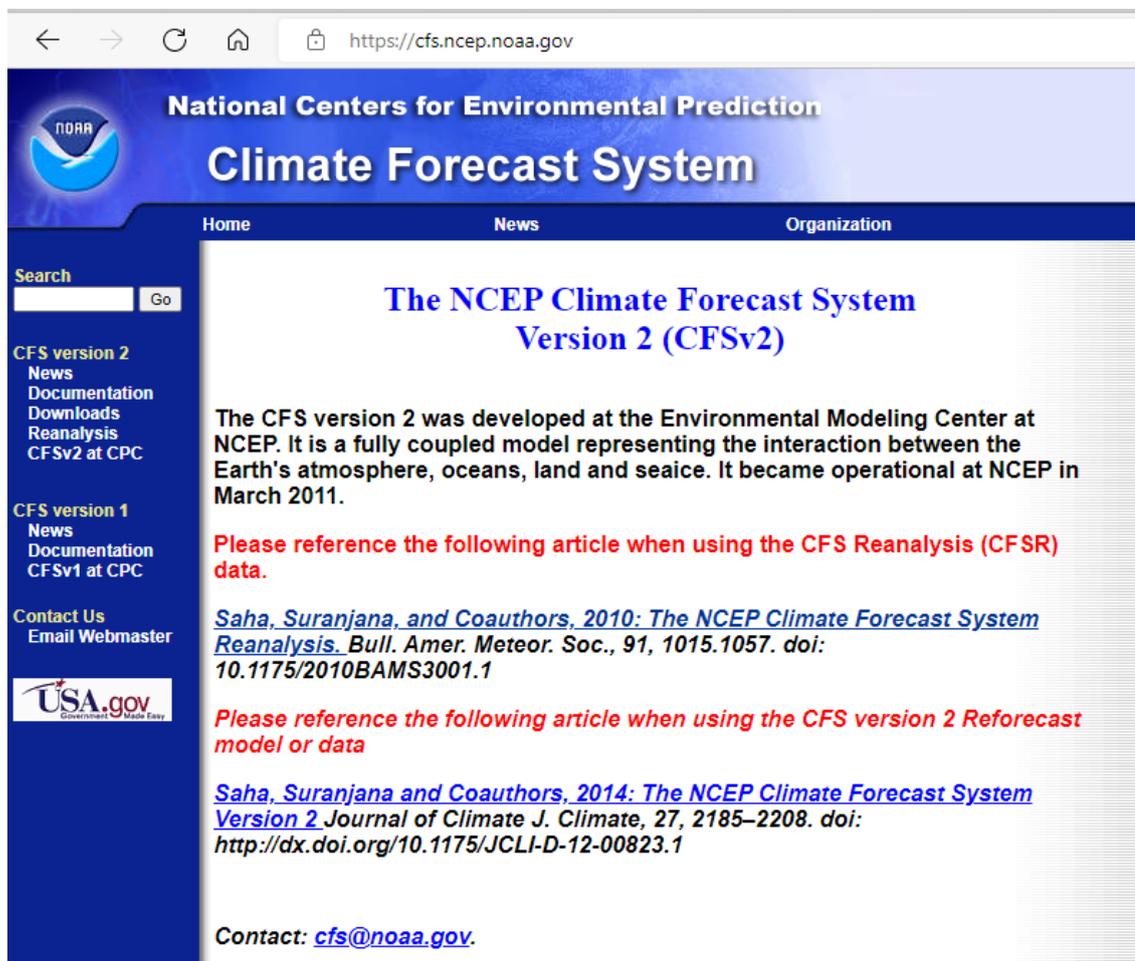


Рисунок 2.2 – Главная страница сайта NCEP CFS

Текущий CFSR будет расширен в качестве операционного продукта в режиме реального времени в будущем. Новые функции CFSR включают в себя:

- 1) связь атмосферы и океана
- 2) модель морского льда
- 3) ассимиляцию спутниковых излучений по схеме статистической интерполяции точек сетки (GSI) за весь период.

Глобальное разрешение CFSR составляет ~38 км с 64 уровнями, простирающимися от поверхности до 0,26 ГПа. Глобальная модель поверхности суши имеет четыре уровня почвы, а глобальная модель морского льда имеет три слоя.

Атмосферная модель CFSR зафиксировала изменения в диоксиде углерода (CO₂) за период с 1979 по 2009 года, а также изменения в аэрозолях и других следовых газах и вариации солнечной активности. Большинство имеющихся наблюдений со станций и спутниковых наблюдений были включены в CFSR.

Выходные данные CFSR для атмосферы, океана и поверхности суши доступны с часовым временным разрешением и горизонтальным разрешением 0,5° широты × 0,5° долготы. Данные CFSR распространяются Национальным центром климатических данных (NCDC).

Синоптические карты из архива были взяты с сайта www.wetterzentrale.de. На сайте представлены карты абсолютной топографии AT-500, AT-850, T2m, карты осадков. [13]

Модели CFSR, ERA, NOAA. Главная страница сайта представлена на рисунке 2.3.



3. Анализ формирования аномального термического режима на ЕТР за осенний период

3.1. Объект исследования и методы исследования

Для анализа дней с аномально высокими (значения, превышающие градацию «значительно выше среднего») и низкими значениями (значения, превышающие градацию «значительно ниже среднего») среднесуточной температуры воздуха на Европейской территории России были вычислены границы квартильных градаций в выбранных пунктах. Для этой цели были использованы данные по среднесуточной температуре воздуха с 1959 года по 2018 год из архива ВНИИГМИ-МЦД по 16 станциям (рисунок 3.1), расположенным относительно равномерно на Европейской территории России.

Выбраны следующие пункты Европейской территории России: Калевала (Республика Карелия), Сортавала (Республика Карелия), Петрозаводск (Республика Карелия), Вологда (Вологодская область), Вытегра (Вологодская область), Койнас (Архангельская область), Онега (Архангельская область), Котлас (Архангельская область), Великие Луки (Псковская область), Кострома (Костромская область), Курск (Курская область), Москва (Московская область), Санкт-Петербург (Ленинградская область), Нижний Новгород (Нижегородская область), Смоленск (Смоленская область), Тамбов (Тамбовский район). Самая северная станция – Калевала, самая южная станция – Курск.

Данный регион было интересно рассмотреть, поскольку он находится под влиянием сразу нескольких воздушных масс приходящих с Атлантики, Арктического побережья, внутриматериковой части России и южных вод (Средиземное море, Черное море). Таким образом из-за особенностей

воздушных масс, температура воздуха на исследуемой области может достигать аномальных значений.

На рисунке 3.1 представлена карта выбранных станций на Европейской территории России. Карта с нанесенными станциями была сформирована в сервисе «Конструктор карт Яндекс».



Рисунок 3.1 - Выбранные станции на Европейской территории России

3.2 Анализ среднемесячных значений температуры воздуха за осенний период

Для анализа среднемесячных значений температуры воздуха за осенний период были сформированы данные из мирового банка данных гидрометеорологической информации ВНИИГМИ-МЦД.

В начале работы были получены данные о среднемесячной температуре воздуха сентября, октября и ноября с 1959 года по 2018 год для всех 16 станций.

Чтобы зафиксировать изменения среднемесячной температуры ряды были осреднены по 30 лет (именно такой период считается климатической нормой) и сопоставлены между собой.

Данные расчёта для сентября и октября представлены на графиках рисунка 3.2.

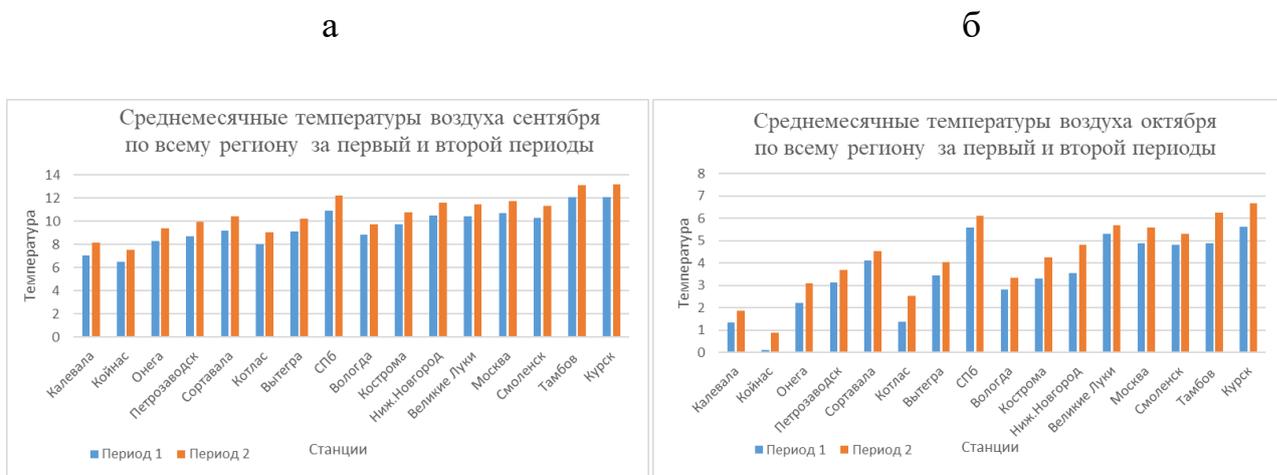


Рисунок 3.2 – Среднемесячные значения температуры воздуха сентября (а) и октября (б)

Станции на графике расположены с севера на юг. Необходимо отметить, что на всей территории для каждого пункта наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха для сентября и октября. Изменение среднемесячных значений температуры за два периода практически одинаковое на всех станциях. Наибольшее изменение в сентябре отмечено в Петрозаводске и составило 1,25 °С, наименьшее – в Вологде, на 0,90 °С. Общее изменение в среднем составляет 1,10 °С.

Похожая ситуация наблюдается в октябре. Наибольшее изменение отмечено в пункте Тамбов и составило 1,36 °С, наименьшее – в г. Великие Луки, на 0,36 °С. Общее изменение в среднем составляет 0,80 °С.

Ноябрь является переходным месяцем между теплым и холодным полугодием, в этом месяце часто наступает климатическая зима, но в данной работе рассмотрен календарный осенний период, поэтому для ноября также были проанализированы среднемесячные значения температуры. Данные расчёта для ноября представлены на графиках рисунка 3.3. В ноябре также наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха.

Необходимо отметить, что значение среднемесячной температуры воздуха в Великих Луках и Курске в первом периоде отрицательное, а во втором периоде положительное, этот переход среднемесячной температуры воздуха через 0 °С наглядно виден на графике рисунка 3.3.

Интересно, что в Санкт-Петербурге и в первом и во втором периоде наблюдались только положительные среднемесячные значения температуры воздуха.

На станциях Койнас, Котлас и Вологда изменения среднемесячной температуры воздуха минимальные.

Наибольшее изменение в ноябре отмечено в пункте Тамбов и составило 0,9 °С, наименьшее – в г. Калевала, Котлас и Вологда, на 0,1 °С. Общее изменение в среднем составляет 0,80 °С.

Среднемесячная температура воздуха на станциях Сортавала и Смоленск во втором периоде стремится к 0 °С.

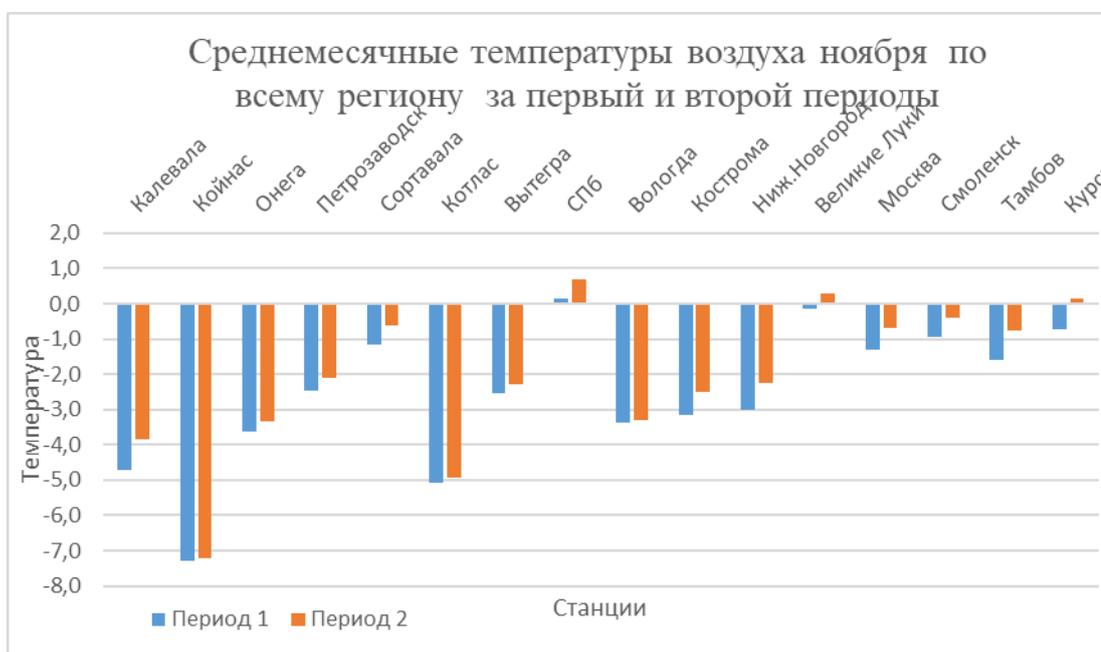


Рисунок 3.3 – Сравнительный анализ среднемесячных значений температуры воздуха ноября по всему региону за первый и второй периоды

Рассмотрим более детально два пункта – Великие Луки и Курск, так как в ноябре среднемесячные значения температуры воздуха на этих станциях перешли через 0 °С во втором периоде.

На графике рисунка 3.4 представлено изменение среднемесячной температуры ноября на станции Великие Луки за период с 1959-2018 гг. Было произведено скользящее осреднение (с окном осреднения 30 лет).



Рисунок 3.4 – Среднемесячные значения температуры воздуха ноября в г. Великие Луки за период с 1959-2018 гг. (скользящие средние за 30 лет)

Начиная с конца 1990-х годов, наблюдается переход среднемесячной температуры воздуха выше нуля и до настоящего времени имеет тенденцию оставаться положительным. Для станции Курск наблюдается такая же тенденция. Интересно было проанализировать неосредненные графики среднемесячной температуры воздуха за тот же период.

На графике рисунка 3.5 представлены среднемесячные значения температуры воздуха ноября в г. Великие Луки и в г. Курск за период с 1959-2018 гг.

а



б

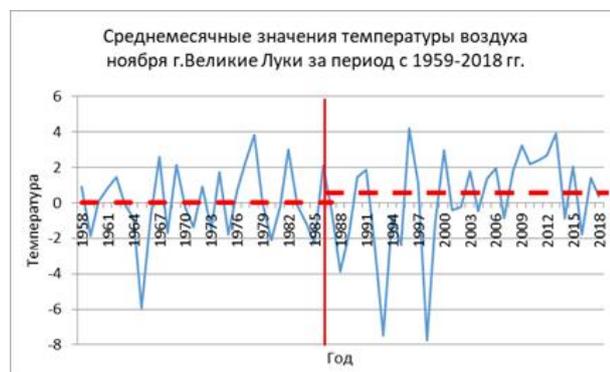


Рисунок 3.5 - Среднемесячные значения температуры воздуха ноября на станциях Великие Луки (а) и Курск (б) за период с 1959-2018 гг.

Среднеквадратическое отклонение для ряда Великие Луки для первого периода равна $1,95\text{ }^{\circ}\text{C}$, для второго периода – $2,87\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднеквадратическое отклонение для ряда Курск для первого периода равна $1,94\text{ }^{\circ}\text{C}$, для второго периода – $3,04\text{ }^{\circ}\text{C}$. На графике видно, что во втором периоде наблюдений среднемесячные значения температуры воздуха для станции Великие Луки имеют резкие колебания значений с 1991 года по 2000. В 1991 году температура составляла $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, в 1993 году среднемесячная температура понизилась до $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, в 1996 году повысилась до $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в 1998 году снова понизилась до $-7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. После 2000х годов среднемесячные значения температуры воздуха в общем держаться выше нуля. Такие же резкие колебания имеет ход среднемесячной температуры воздуха на станции

Курск. В 1990 году температура составляла 2,2 °С, в 1993 году понизилась до -9 °С, в 1996 году повысилась до 6 °С после 2000х годов среднемесячные значения температуры воздуха также в общем держаться выше нуля.

3.3 Анализ повторяемости дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха осенью

Для расчета повторяемости аномально теплых и аномально холодных дней были определены квартильные градации «среднее», «ниже среднего», «значительно ниже среднего», «выше среднего» и «значительно выше среднего». Для анализа дней с «аномально высокими» и «аномально низкими» значениями среднесуточной температуры воздуха использовались градации «значительно выше среднего» (ЗВС) и «значительно ниже среднего» (ЗНС). Дни, попадающие в данные градации в работе, считались аномальными. В результате исследования была рассчитана повторяемость случаев аномально высоких и аномально низких среднесуточных температур воздуха за периоды: первый (1958г.-1988г.) и второй (1959г.-2018г.) периоды.

В общем, по всей исследуемой территории число случаев за 2 периода аномальных среднесуточных температур воздуха представлено в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Повторяемость случаев дней со среднесуточной температурой воздуха ЗНС и ЗВС для рассматриваемой территории ЕТР

Период, годы	ЗНС, число дней	ЗВС, число дней
1958-1988	4583	5145
1989-2018	4574	5126
Изменение	-9	-19

Из таблицы следует, что количество аномально теплых дней и аномально холодных дней за два периода практически не изменилось.

Рассмотрим более детально каждую станцию. На рисунке 3.6(а, б) представлены графики повторяемости anomalно холодных (а) и anomalно теплых (б) дней за два периода.

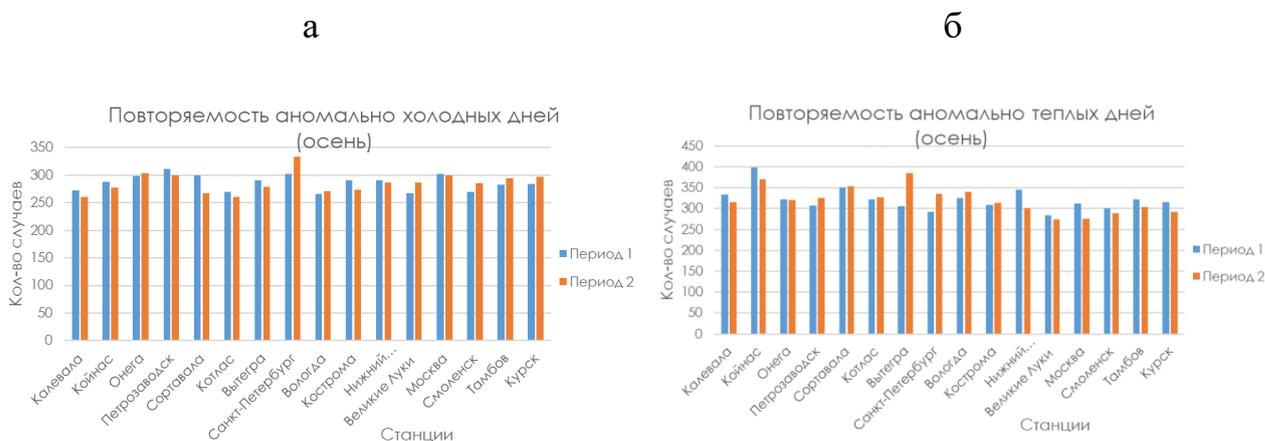


Рисунок 3.6 - Повторяемость anomalно холодных и anomalно теплых дней осенью за два периода

Анализ графиков повторяемости anomalно холодных и anomalно теплых дней за осенний период позволяет сделать следующие выводы:

Повторяемость anomalно низких значений среднесуточной температуры воздуха:

1) Уменьшение повторяемости дней с anomalно низкими значениями среднесуточной температуры воздуха наблюдается на станциях: Калевала, Койнас, Петрозаводск, Сортавала, Котлас, Вытегра, Кострома, Нижний Новгород, Москва. Увеличение повторяемости anomalно холодных дней зафиксировано на станциях: Онега, Санкт-Петербург, Вологда, Великие Луки, Смоленск, Тамбов, Курск.

2) Изменение повторяемости неравномерное. Пункты с самыми значительными изменениями (более 20 случаев) – Сортавала, Санкт-Петербург и Великие Луки, с самыми незначительными изменениями (менее 10 случаев) – Онега, Котлас, Вологда, Нижний Новгород, Москва.

3) В 1993 году выявлено максимальное количество случаев аномально низких среднесуточных температур воздуха за осенний период – 605 на всей рассматриваемой территории, а 1974 год показал минимальное их количество – 16.

Повторяемость аномально высоких значений среднесуточной температуры воздуха:

1) Уменьшение повторяемости аномально теплых дней наблюдается на станциях: Калевала, Койнас, Онега, Нижний Новгород, Москва, Смоленск, Тамбов, Курск. Увеличение повторяемости аномально теплых дней зафиксировано на станциях: Петрозаводск, Сортавала, Котлас, Вытегра, Санкт-Петербург, Вологда, Кострома.

2) Пункты с самыми существенными изменениями (более 40 случаев) – Вытегра, Санкт-Петербург, Нижний Новгород. Пункты с самыми незначительными изменениями (менее 5) – Онега, Сортавала, Котлас.

3) В 1967 году зафиксирована самая высокая повторяемость дней с аномально высокой температурой воздуха – 462 на всей рассматриваемой территории. Самая невысокая повторяемость аномально теплых дней была в 1959 году – 35 случаев на всей рассматриваемой территории.

Следует отметить, что на крайних северных станциях Калевала и Койнас наблюдается и уменьшение аномально холодных дней и уменьшение аномально теплых дней.

В ходе работы были построены карты пространственного распределения изменения повторяемости аномально теплых и аномально холодных дней (рисунок 3.7а и 3.7б). Для этих целей использована программа ГИС MapInfo (географическая информационная система (ГИС), предназначенная для сбора, хранения, отображения, редактирования и анализа пространственных данных).

а

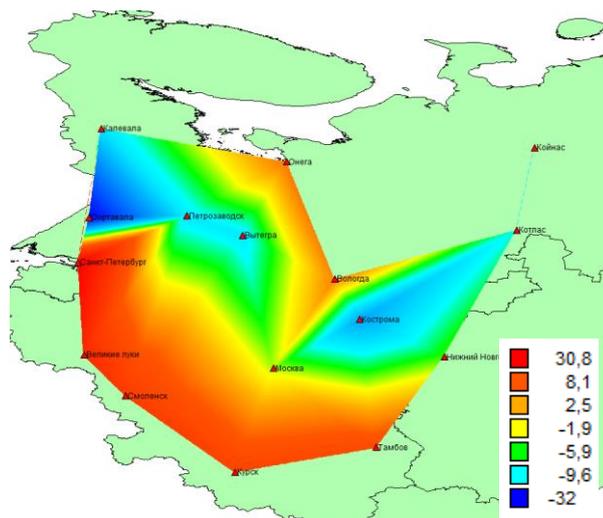


Рисунок 3.7а - Пространственное распределение изменения повторяемости anomalously низких значений температуры воздуха (а)

б

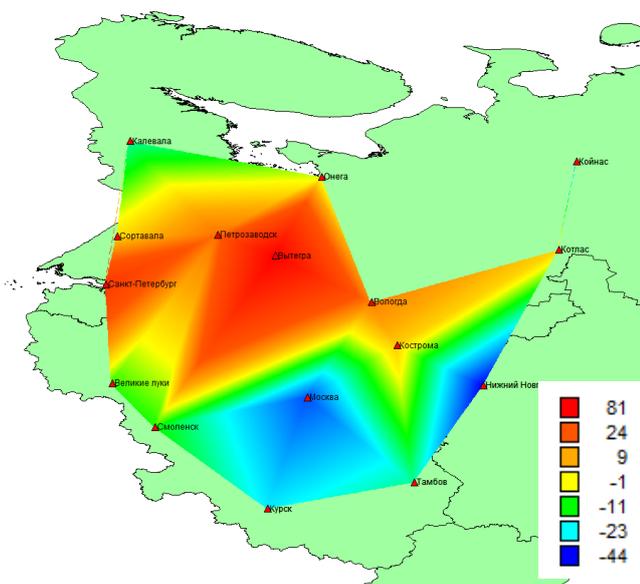


Рисунок 3.7б - Пространственное распределение изменения повторяемости anomalously высоких температур воздуха (б)

Максимальный рост повторяемости anomalously холодных дней (рис.3.7а) осеннего периода наблюдается в западной, юго-западной и южной частях области исследования. Рост числа anomalously теплых дней зафиксирован в западной и центральной частях области исследования.

3.4 Анализ синоптической ситуации для дней с аномально высокими и аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха за осенний период на ЕТР

Были выявлены характерные синоптические ситуации для аномально теплых и аномально холодных дней осеннего периода. Температура воздуха в эти дни попадала в градации «значительно выше среднего» и «значительно ниже среднего».

Синоптическая ситуация была описана в тех случаях, когда аномальные значения среднесуточной температуры воздуха наблюдались на большинстве станций области исследования. В качестве критерия использовалась граница – более 50 %.

Для выявления особенностей циркуляционного режима в эти дни были рассмотрены синоптические карты из архива данных реанализа модели NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSRv1) за период с 1959 года по 2018 год.

В ходе работы применялись карты абсолютной топографии, такие как: карта AT500, совмещенная с приземной картой, карта AT850, карта осадков, карта температуры воздуха на уровне двух метров.

3.4.1 Синоптические ситуации для аномально холодных дней

3.4.1.1 Сентябрь

Характерная синоптическая ситуация для дней, попадающих в градацию «значительно ниже среднего» в сентябре представлена на рисунке 3.8.

Область исследования находится под влиянием гребня антициклона, расположенного над Литвой. Затоки воздушных масс с северо-запада приносят холод. Особенность ситуации в том, что высотная фронтальная зона (ВФЗ) проходит у Украины, что значительно южнее ее среднесезонного

положения. При таком положении ВФЗ, на высоте 5 километров циркулирует холодный воздух умеренных широт.

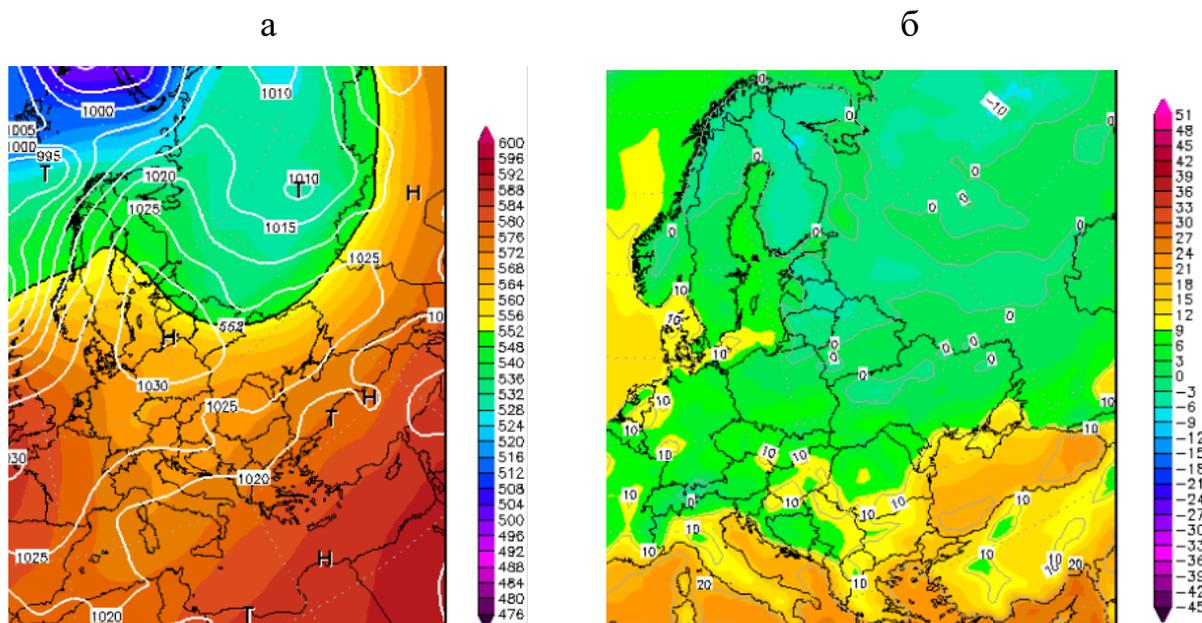


Рисунок 3.8 - Синоптическая ситуация, характерная для anomalously низких значений температуры воздуха в сентябре 28.09.1986 00:00

а- AT_{500+} Приземная б- T_{2m}

При такой синоптической ситуации практически на всех станциях наблюдалась среднесуточная температура воздуха близкая к 0°C - такая температура в сентябре является anomalously.

По результатам анализа формирования anomalously термического режима сентября, был зафиксирован период с резким похолоданием, который повторяется ежегодно. Длительность этого периода составляет 4-5 дней. Этот период характеризуется anomalously холодными днями. В этот период наблюдаются anomalously низкие значения среднесуточной температуры воздуха для сентября. Предположительно, этот период является волной холода и является «анти-аналогом» бабьего лета.

Такие явления почти всегда наблюдаются при арктических вторжениях и влиянии на ЕТР тыловой части меридионально вытянутых арктических циклонов с центром в районе Новой Земли. Ложбины этих циклонов часто распространяются до 55° - 60° широты.

3.4.1.2 Октябрь

Характерная синоптическая ситуация для аномально холодных дней в октябре представлена на рисунке 3.9. Область исследования находится под влиянием северной части гребня, затоки воздушных масс с севера Баренцева моря приносят холод. Поле малоградиентное.

Необходимо отметить, что высотная фронтальная зона (ВФЗ) проходит у черноморского побережья, отсюда следует, что на высоте 5 километров до этой границы циркулирует теплый воздух тропических широт.

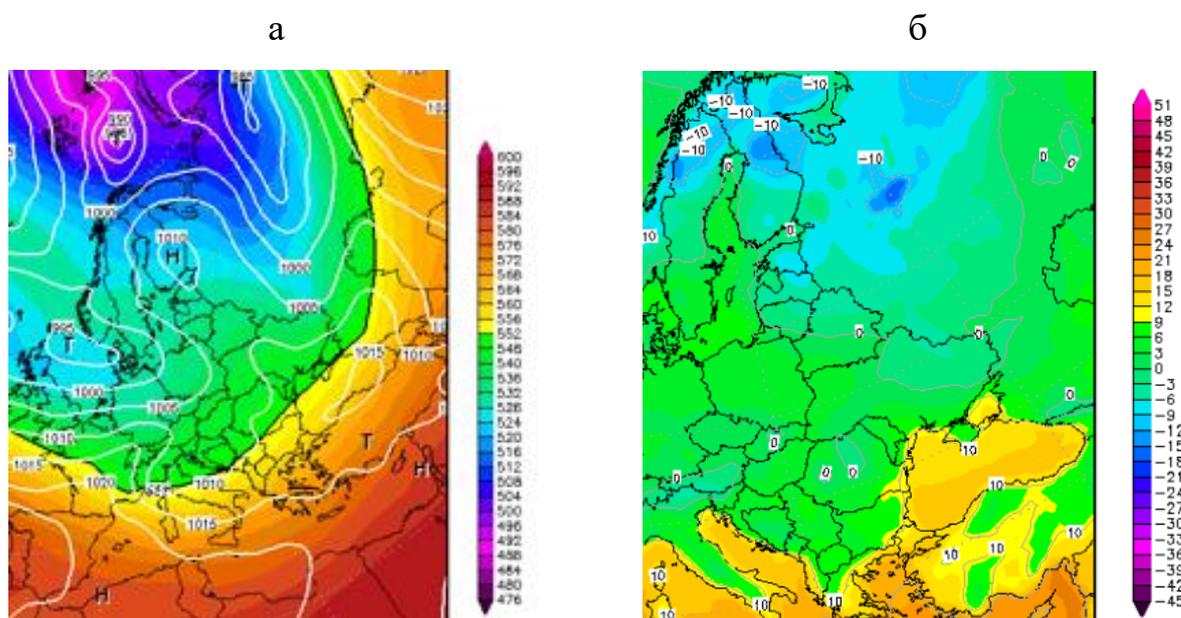


Рисунок 3.9 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких значений температуры воздуха в октябре 24.10.1992 00:00

а-АТ₅₀₀+Приземная б-Т_{2м}

3.4.1.3 Ноябрь

Ноябрь является переходным периодом, для которого характерна неустойчивость воздушных масс. В ноябре наиболее сложно прогнозировать погоду из-за перехода с теплого полугодия на холодное. Высотная фронтальная зона смещается южнее ее среднесезонного положения, в результате чего область исследования все чаще находится в зоне действия холодных воздушных масс. Таким образом, сложно выявить характерную

синоптическую ситуацию для дней, попадающих в градацию «значительно выше среднего» и «значительно ниже среднего».

Характерная синоптическая ситуация для аномально холодных дней в ноябре представлена на рисунке 3.10. На область исследования влияет передняя часть циклона с центром над Норвегией. На карте АТ-850 прослеживается ложбина холода практически над всей ЕТР и Кольским полуостровом. Затоки воздушных масс с Норвежского моря приносят аномальный холод. ВФЗ располагается южнее своего среднеосеннего положения, захватывая почти всю Европу.

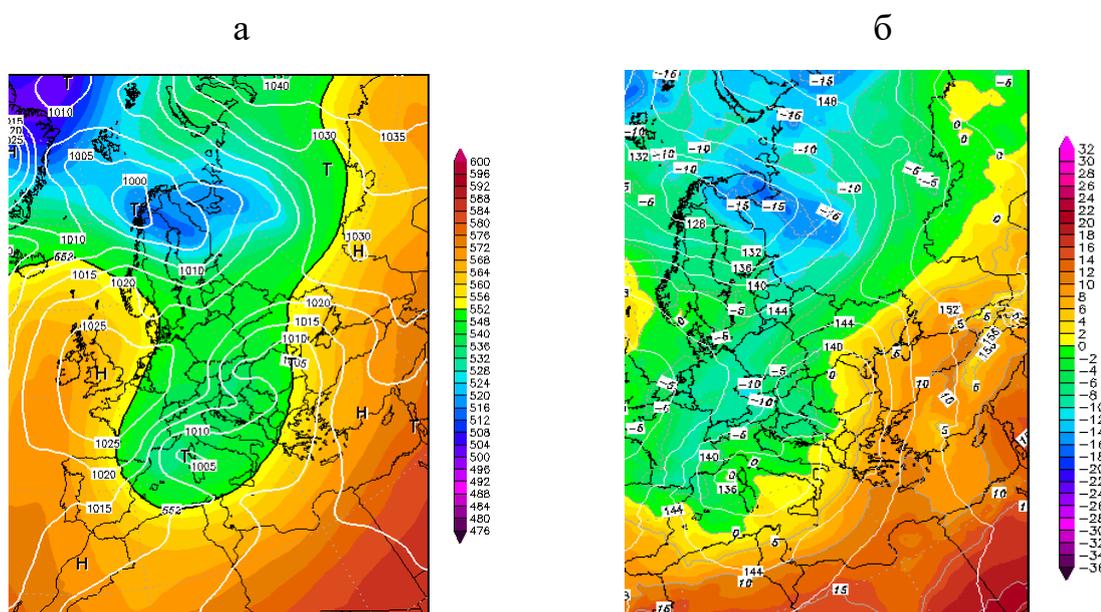


Рисунок 3.10 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких значений температуры воздуха в сентябре 15.11.2007 00:00

а-АТ₅₀₀+Приземная б-АТ₈₅₀

3.4.2 Синоптические ситуации для аномально теплых дней

3.4.2.1 Сентябрь

На рисунке 3.11, представлена синоптическая ситуация наиболее характерная для аномально теплых дней в сентябре. Область исследования находится под влиянием малоградиентного поля обширного антициклона, расположенного над Норвежским морем. Воздушные потоки, идущие с прогретого континента, приносят высокие температуры.

Необходимо отметить, что и здесь ВФЗ проходит севернее ее среднеосеннего положения. На карте видно, что ВФЗ захватывает часть Гренландии, острова Шпицберген и проходит по югу Новой Земли. Это свидетельствует о том, что на высоте 5 километров в этих областях циркулирует теплый воздух южных широт.

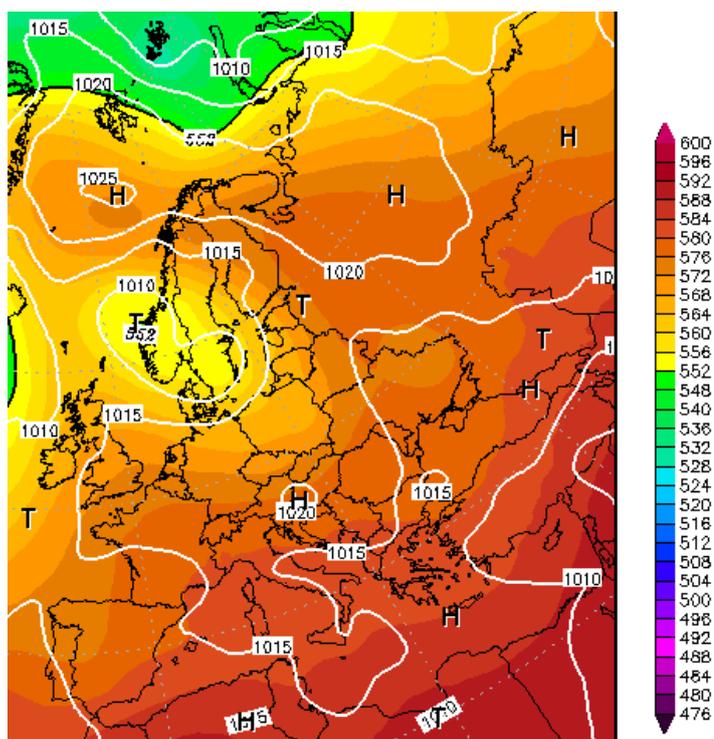


Рисунок 3.11 - Синоптическая ситуация, характерная для anomalно высоких значений среднесуточной температуры воздуха 01.09.2004 АТ-500+Приземная

Расположение очагов тепла и холода в этот день представлено на рисунке 3.12.

На карте рисунка 3.12 (а) можно наблюдать очаг тепла, захватывающий область исследования. На высоте 1.5 км наблюдается (рисунок 3.12 б) гребень тепла, связанный с западной периферией антициклона.

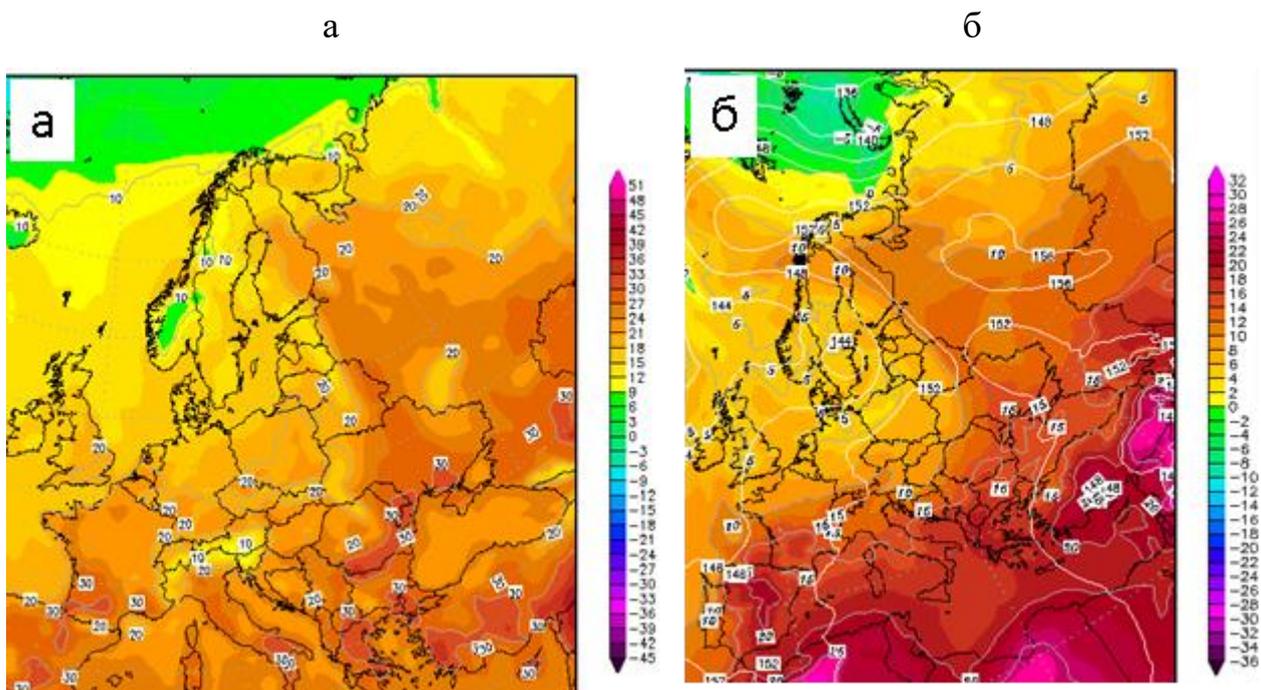


Рисунок 3.12 - Расположение очагов тепла в приземном слое (2м) (а) и на высоте 1,5 км (АТ 850) (б) 1 сентября 2004 года

Работа по определению причин формирования аномальных значений температуры воздуха была ранее проведена для зимнего периода для Санкт-Петербурга.

Было выявлено, что если ВФЗ проходит через широту 60° и заходит на южную часть Северо-Западного региона, то в Санкт-Петербурге наблюдаются аномально высокие значения среднесуточной температуры воздуха в зимний период.

Среднее климатическое положение ВФЗ (полярного фронта) представлено на рисунке 3.13.

Проанализировав положения ВФЗ, выявлено, что с наступлением осеннего периода, происходит смещение границ ВФЗ севернее.



Рис. 57. Климатические фронты в январе



Рис. 58. Климатические фронты в июле

Рисунок 3.13 – Положение климатических фронтов в январе и июле

Следующая характерная синоптическая ситуация для дней с аномально высокими значениями среднесуточной температуры воздуха в сентябре представлена на рисунке 3.14 (а, б). В данном случае, положение ВФЗ также наблюдается значительно севернее своего среднего климатического положения, и практически вся область исследования находится под влиянием аномально теплых воздушных масс во всей нижней тропосфере (то есть до высот 5 км). Выраженный гребень тепла отчетливо виден на карте АТ-850 (рис. 3.14 б). Интересно, что по данным Гидрометцентра в сентябре 2005 года среднемесячная температура воздуха во многих регионах России превысила исторические максимумы. [5]

а

б

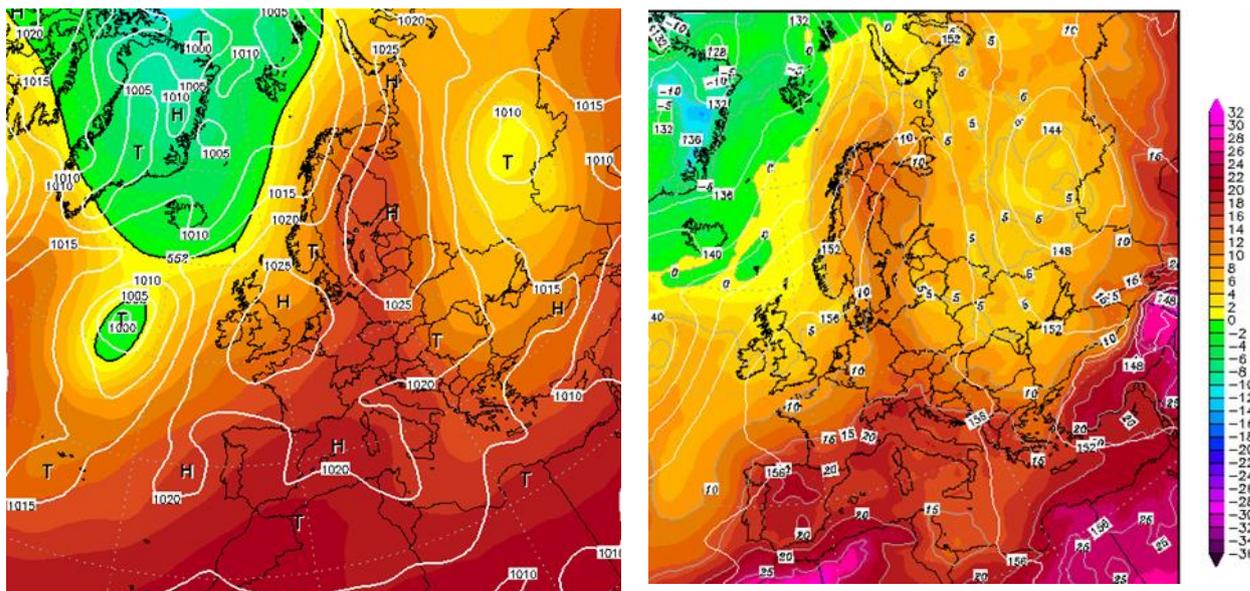


Рисунок 3.14. - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений среднесуточной температуры воздуха в сентябре 02.09.2005 12:00

а- AT_{500} +Приземная б- AT_{850}

3.4.2.2 Октябрь

Следующим этапом в работе были рассмотрены дни, в которых среднесуточная температура воздуха попадает в градации «значительно выше среднего» в октябре. Синоптические ситуации для данного месяца такие же как в сентябре.

Проанализируем синоптическую ситуацию, представленную на рисунке 3.15. Область исследования находится под влиянием западной периферии антициклона, расположенного над Республикой Коми. Антициклон почти стационарный, так как его приземный и высотный центры совпадают. ВФЗ находится значительно севернее ее среднесезонного положения. Затоки воздушных масс наступают с северной Европы, погода ясная малооблачная и теплая.

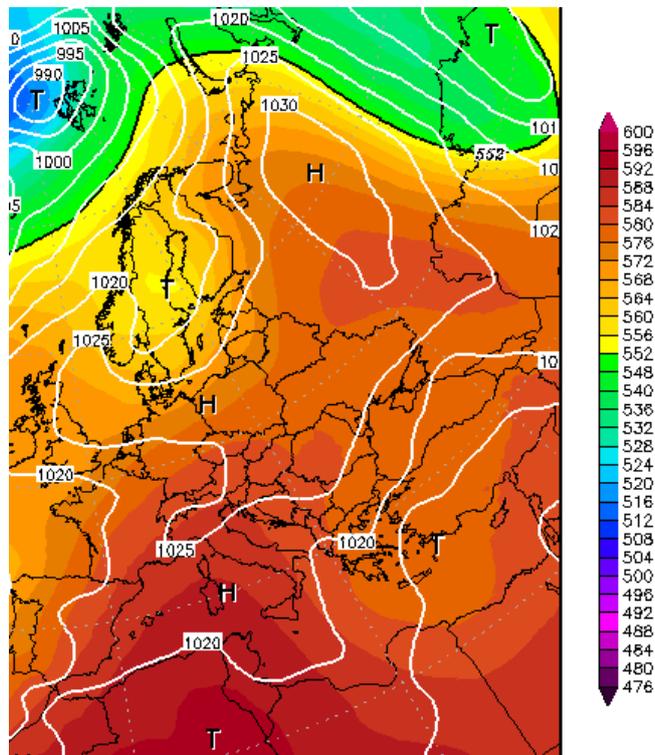


Рисунок 3.15 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений среднесуточной температуры воздуха в октябре 01.10.2007 12:00

АТ₅₀₀+Приземная

3.4.2.3 Ноябрь

Синоптическая ситуация, характерная для дней с температурой, воздуха попадающей в градацию «значительно выше среднего» на рисунке 3.16. Область исследования под влиянием центральной части антициклона, расположенного южнее Москвы. Особенность ситуации в том, что положение ВФЗ здесь близкое к среднему, соответственно нет условий для формирования аномального гребня тепла. Воздушные массы с Сибири приносят холод и практически над всей областью исследования наблюдаются аномально низкие значения среднесуточной температуры воздуха.

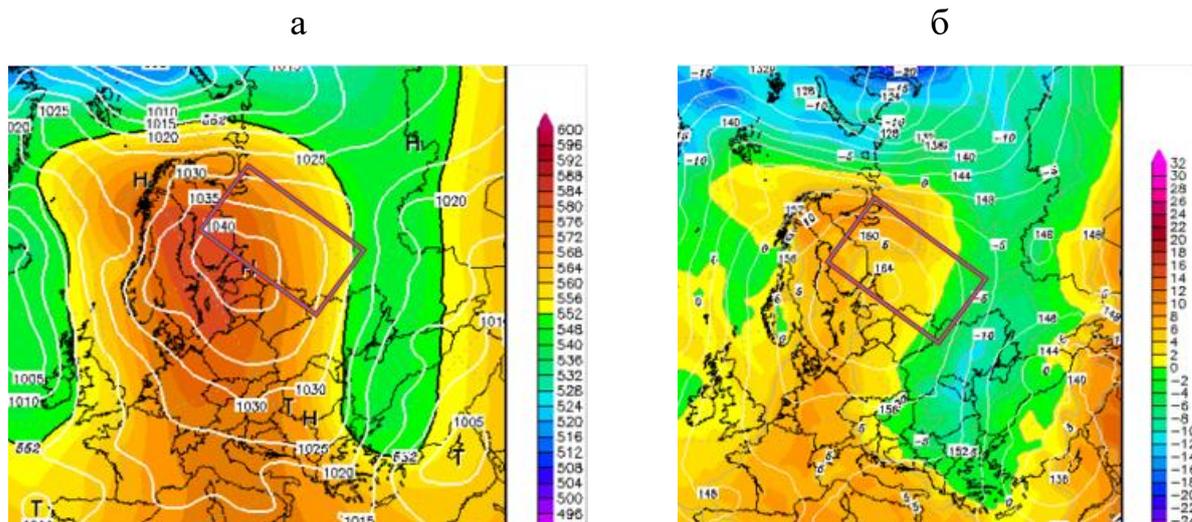


Рисунок 3.16 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений среднесуточной температуры воздуха 10.11.2003г. (а АТ-500+Приземная; б АТ-850)

Осенью на всей области исследования практически не наблюдаются изменения повторяемости аномально теплых и аномально холодных дней. Анализируя характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию “значительно выше среднего” можно сделать вывод, что в этом случае область исследования чаще всего находилась под влиянием мощных антициклонов и теплого сектора циклонов. Также важным предиктором является смещение ВФЗ севернее ее нормального положения. Характерной синоптической ситуацией для дней, попадающих в градацию “значительно ниже среднего” является расположение области исследования в зоне действия арктических циклонов.

4. Анализ формирования аномального термического режима на ЕТР весной

4.1 Анализ среднемесячных значений температуры воздуха за весенний период

Для весеннего периода также были рассчитаны и проанализированы среднемесячные значения температуры воздуха для всех станций с 1959 года по 2018 год. Графики среднемесячных значений температуры воздуха в марте и апреле представлены на рисунке 4.1 (а, б), в мае – на рисунке 4.2.

В результате можно заключить, что для всех станций наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха для всего весеннего периода. В марте (рис.4.1а) для всей территории в среднем температура воздуха увеличилась на 1,7°C. Однако, наибольшие изменения претерпела южная часть исследуемой области, изменение составило, в среднем, 2,4°C. Наибольшее изменение зафиксировано в г. Курск – 2,7°C, наименьшее в Вологде – 1,0°C. В апреле (рис.4.1б) зафиксировано равномерное изменение среднемесячной температуры воздуха для всех станций. Общее изменение для всей территории составило 1,4°C. Наибольшее изменение зафиксировано в г. Смоленск – 1,9°C, наименьшее в городах Вологда и Тамбов – 1,1°C.

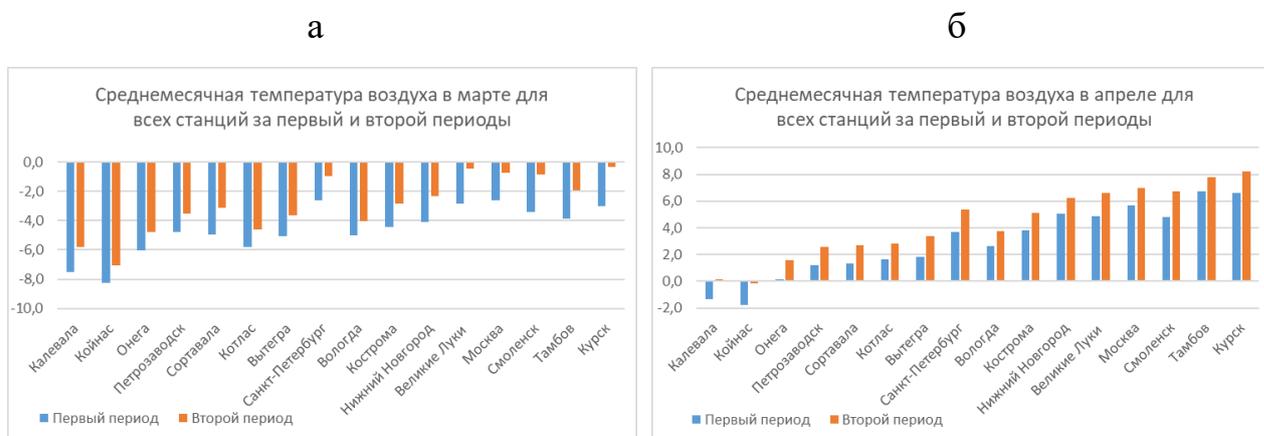


Рисунок 4.1 - Среднемесячные значения температуры воздуха в марте (а) и апреле (б)

В мае (рис.4.2) для всей территории изменения незначительные, в среднем составили 0,7°C. Наибольшее изменение зафиксировано в г. Койнас – 1,3°C, наименьшее в г. Тамбов – 0,2°C.

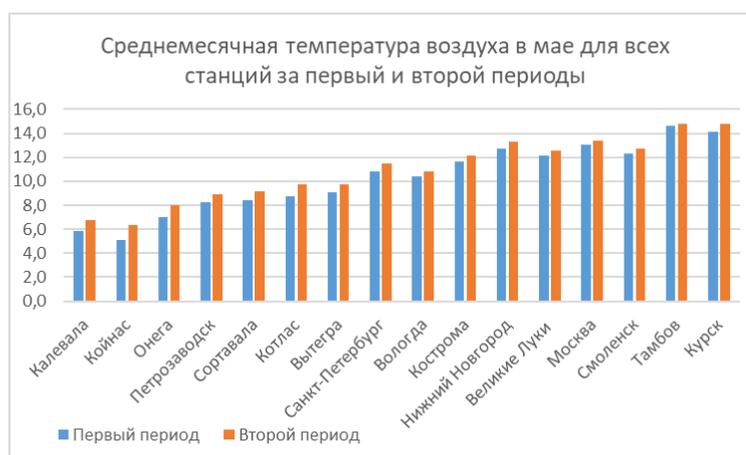


Рисунок 4.2 - Среднемесячные значения температуры воздуха в мае

Подводя итог, можно сказать, что значительно всего среднемесячная температура воздуха изменилась в марте. Наиболее подвержены изменениям в марте и апреле – южная часть исследуемой области, а в мае – северная часть. Возможным предиктором в данной ситуации является ВФЗ полярного фронта. В последнее время наблюдается смещение ВФЗ к северу от своего климатического положения. Вследствие этого, исследуемая территория все чаще находится в южных частях циклонов, траектория которых также сместилась к северу. Контрасты температуры между северной и южной частью территории исследования остаются значимыми до мая включительно, особенно для арктического побережья, поэтому в Койнасе в мае фиксируются значительные повышения температуры воздуха.

4.2 Определение положения точек бифуркации для области исследования

Также было интересно рассмотреть, в какой период произошла смена тренда в временном ряде среднегодовых значений температуры воздуха. С помощью программы, написанной доктором физико-математических наук, профессором кафедры экспериментальной физики атмосферы РГГМУ, Кузнецовым А.Д., были определены положения точек бифуркации.

Определение точек бифуркации основано на замене реального ряда математической моделью, в данных расчетах, полиномом первой степени (отрезки прямых). Далее, рассчитываются параметры математической модели – коэффициенты линейного тренда. Оценивается «близость» параметров математической модели при помощи среднеквадратического отклонения тренда от значений временного ряда. Результаты представлены на рисунке 4.3 (а,б,в,г). Точки бифуркации во временном ряде среднегодовой температуры воздуха за 1958-2018 гг. были определены для всей области исследования, а также для северной, центральной и южной ее частей.

На рисунке 4.3(а) видно, что для всей ЕТР точка бифуркации приходится на 1986-1987 годы. На северной части ЕТР смена климатических процессов наступила в 1961-1962 гг. В центральной части – в 1986-1987 гг. В южной части в 1974-1975 гг.

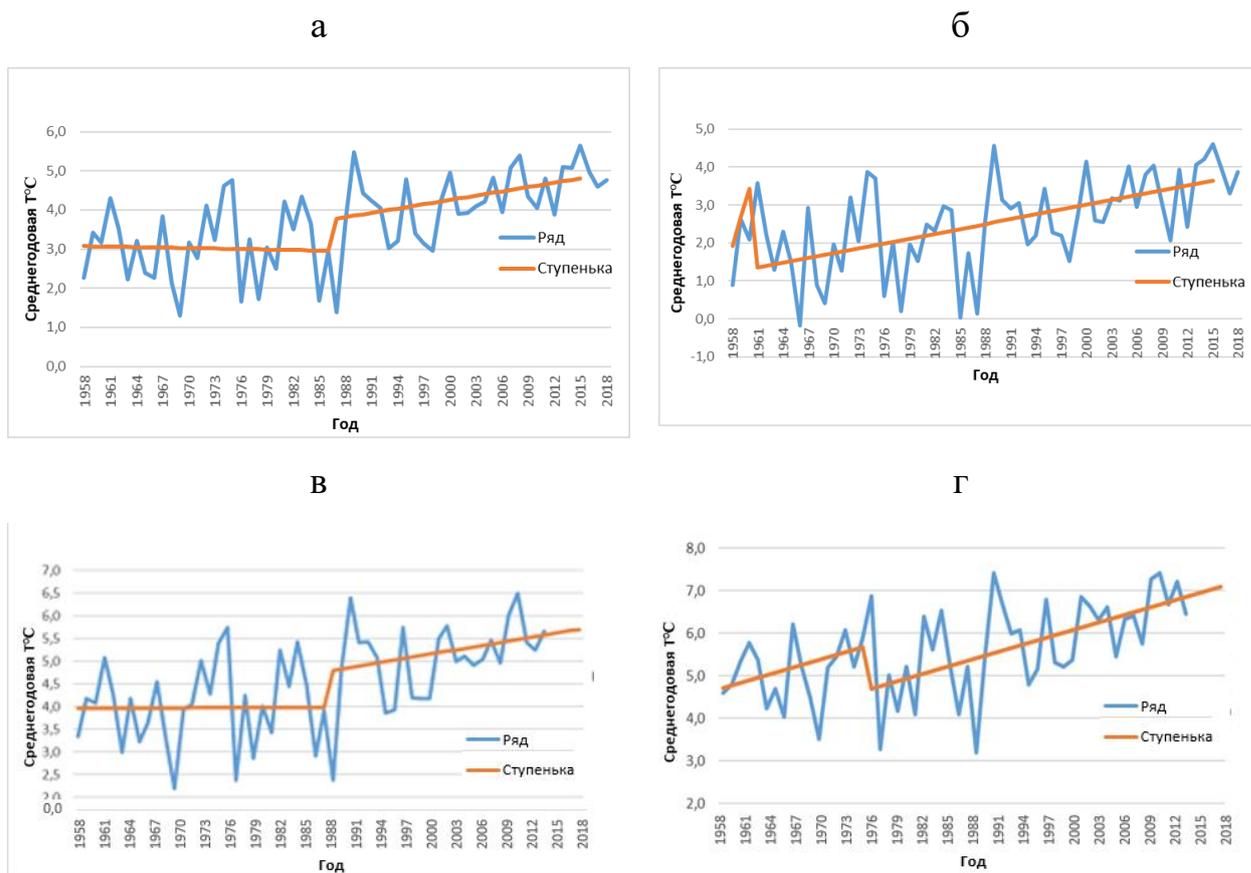


Рисунок 4.3 – Положение точек бифуркации для всей области исследования (а), для северной части (б), для центральной части (в), для южной части (г)

В более наглядном виде результаты поиска точек бифуркации представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Смена тренда во временном ряде среднегодовой температуры воздуха за 1958-2018 гг. для ЕТР

Территория	Ступенька, гг.
Вся область исследования	1986-1987
Северная часть	1961-1962
Центральная часть	1986-1987
Южная часть	1974-1975

Причиной изменения тренда во временном ряде среднегодовой температуры может быть изменение циркуляционного режима.

4.3 Анализ повторяемости дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха весной

Для весны также рассчитана повторяемость случаев аномально высоких и аномально низких среднесуточных температур воздуха за первый (1958-1988 гг.) и второй (1989-2018 гг.) периоды. Общее число случаев по всей исследуемой области за два периода представлено в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Повторяемость дней со среднесуточной температурой воздуха ЗНС и ЗВС для рассматриваемой территории ЕТР.

Период, годы	ЗНС, число дней	ЗВС, число дней
1958-1988	4952	5695
1989-2018	5160	5171
Изменение	208	-524

За весь исследуемый период повторяемость дней с аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха растет, а повторяемость дней с аномально высокими значениями температуры воздуха уменьшается.

Более наглядно изменение повторяемости дней со среднесуточной температурой воздуха ЗНС и ЗВС для рассматриваемой территории представлено на рисунке 4.4 (а,б)

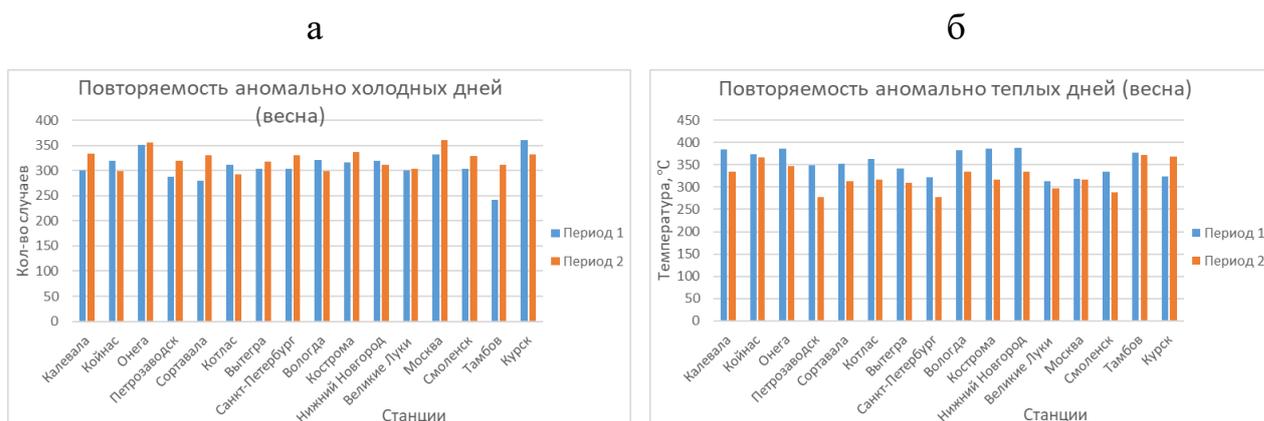


Рисунок 4.4 Повторяемость аномально холодных и аномально теплых дней весной за два периода

Анализ графиков повторяемости аномально холодных и аномально теплых дней за весенний период позволяет сделать следующие выводы:

Повторяемость аномально низких значений среднесуточной температуры воздуха:

1) Практически на всей исследуемой территории наблюдается увеличение повторяемости дней с аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха. Только на станциях Койнас, Котлас, Вологда и Курск число дней с аномально низкой температурой воздуха уменьшается.

2) Изменение повторяемости практически равномерное. Пункты с самыми значительными изменениями (более 50 случаев) – Сортавала и Тамбов, с самыми незначительными изменениями (менее 10 случаев) – Онега и Великие Луки.

3) В 1999 году выявлено максимальное количество случаев аномально низких среднесуточных температур воздуха в весенний период – 377 на всей рассматриваемой территории, а 2016 год показал минимальное их количество – 10.

Повторяемость аномально высоких значений среднесуточной температуры воздуха:

1) Практически на всей области исследования, кроме станции Курск, наблюдается уменьшение повторяемости дней с аномально высокими значениями среднесуточной температуры воздуха.

2) Пункты с самыми существенными изменениями (более 60 случаев) – Петрозаводск и Кострома. Пункты с самыми незначительными изменениями (менее 10) – Москва и Тамбов.

3) В 2007 году зафиксирована самая высокая повторяемость дней с аномально высокой температурой воздуха – 412 на всей рассматриваемой территории. Самая невысокая повторяемость аномально теплых дней была в 2006 году – 17 случаев на всей рассматриваемой территории.

В ходе работы были также получены, с помощью программы ГИС MapInfo (географическая информационная система (ГИС), карты пространственного распределения изменения повторяемости аномальных значений среднесуточной температуры воздуха весной - рисунок 4.5а и 4.5б.

На карте виден рост повторяемости дней с аномально холодными значениями среднесуточной температуры практически для всех станций, кроме станций Курск, Койнас, Котлас и Вологда. Максимальный рост зафиксирован для северо-западной и юго-восточной части ЕТР.

Для всех станций, кроме станции Курск, наблюдается сокращение дней с аномально высокими значениями среднесуточной температуры воздуха. На всей исследуемой территории Европейской территории России наблюдается увеличение числа дней с аномально высокими среднесуточными температурами воздуха в осенний период.

области находится под воздействием восточной периферии антициклона с центром над Норвегией, а восточная часть – под влиянием тыловой части циклона с центром над Усть-Цильмой (Республика Коми). Холодные воздушные массы с арктического побережья захватываются антициклоном и устремляются в южные области, и при малоградиентном поле устанавливается холод.

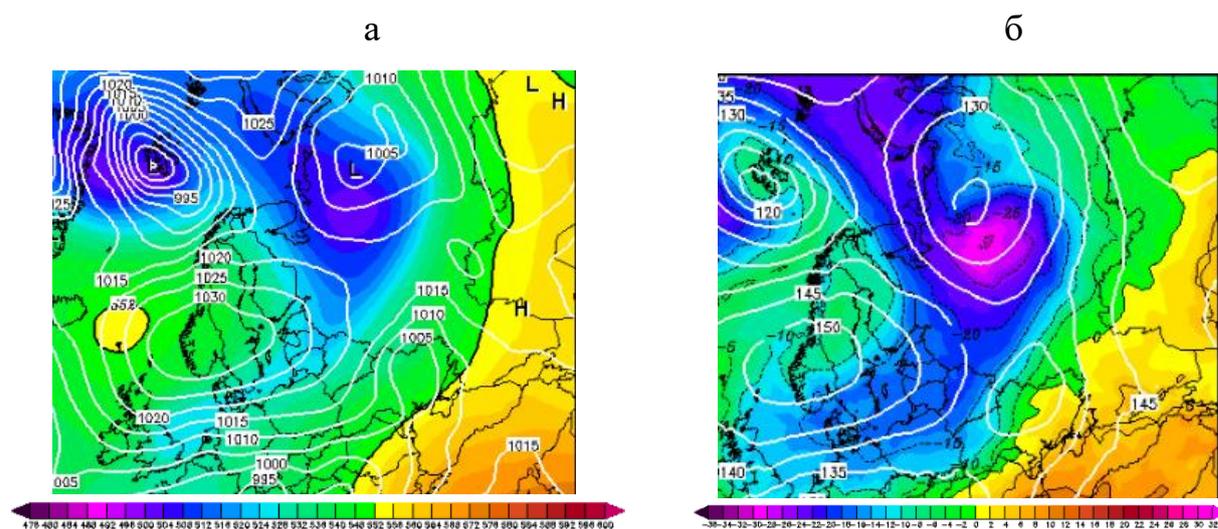


Рисунок 4.6 – Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких температур воздуха в марте за 17.03.2018 12:00 ч.

а- АТ₅₀₀ + Приземная; б-АТ₈₅₀

Высотная фронтальная зона (ВФЗ) проходит у черноморского побережья. Над всей ЕТР на высоте 5 километров наблюдается высотная барическая ложбина, что свидетельствует о развитии арктических процессов в средней тропосфере над областью исследования. На карте АТ-850 прослеживается мощная ложбина холода, которая захватывает всю ЕТР, а также центральную и южную Европу. В связи с вышеописанными синоптическими процессами, на территории исследования наблюдается обширный очаг холода, в котором даже дневные температуры наблюдаются ниже -18°C . (рис.4.7).

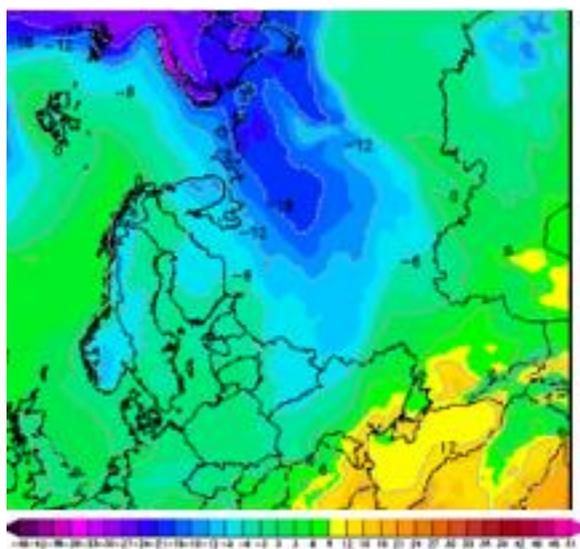


Рисунок 4.7 – Очаг холода в приземном слое (Температура на уровне 2м)

Аналогичная синоптическая ситуация наблюдалась 06.03.2018 г. (рис.4.8) Малоградиентное барическое поле, установившееся над районом исследования, и отсутствие облачности способствовали вымораживанию - температура воздуха достигла аномально низких значений.

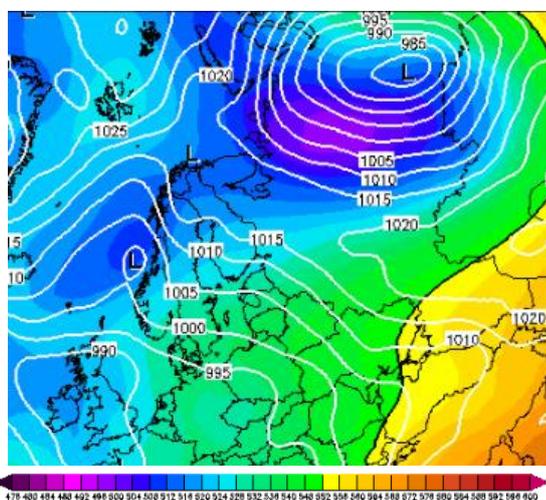


Рисунок 4.8 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких значений температуры воздуха в марте за 06.03.2018 12:00 ч.

АТ500+Приземная

В ходе работы были рассчитаны расстояния между изобарами малоградиентных полей, которые соответствуют сильному охлаждению воздуха – таблица 4.3.

Таблица 4.3 – Расстояния между изогипсами в случае малоградиентных барических полей.

Дата	Расстояние, км.
17.03.2018	530
06.03.2018	630
10.03.2006	890

В рассмотренных случаях при соответствующей синоптической ситуации расстояние между изобарами наблюдалось от 530 до 890 км.

Интересная синоптическая ситуация, характерная для аномально низких температур воздуха в марте, представлена на рисунке 4.9 а, б.

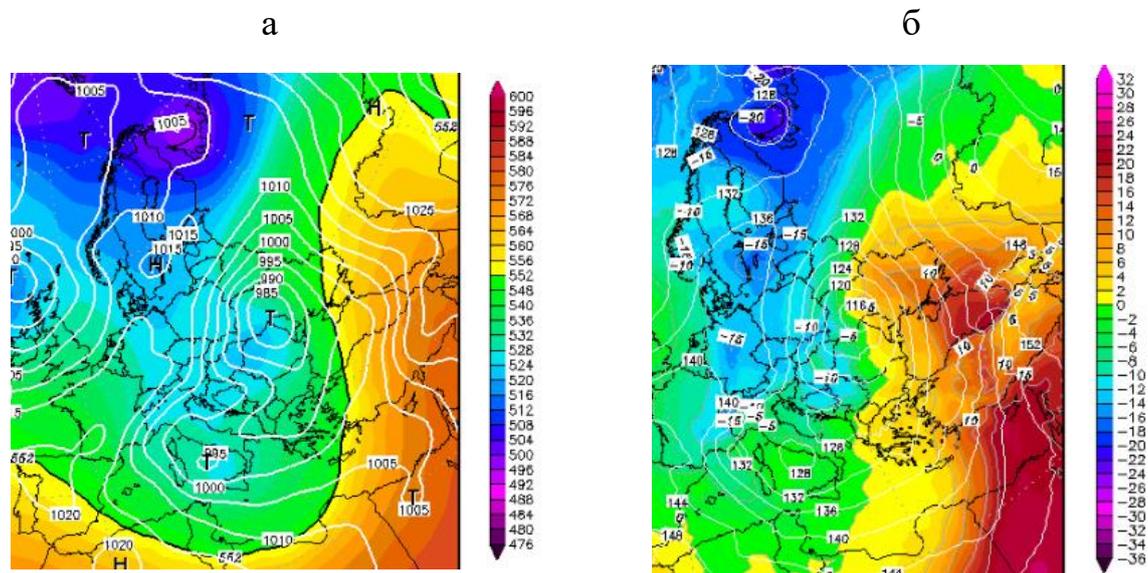


Рисунок 4.9 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких температур воздуха в марте за 15.03.2013 06:00 ч.а- AT_{500} +
Приземная; б- AT_{850}

Северная и центральные части территории исследования находятся в малоградиентном поле высокого давления. Южная часть ЕТР находится под влиянием передней части циклона, с центром над юго-восточной Европой, в зоне высоких градиентов. Воздух из очага холода, расположенного в районе Кольского полуострова, с высокими скоростями будет перемещаться в южные территории.

Следует отметить, что данный циклон относится к категории южных циклонов, так как в нем наблюдаются значительные контрасты температур на фронте (рис.4.9б). Аномально низкие значения температуры воздуха, поступающие от очага холода и прогретые южные воздушные массы, провоцируют развитие циклогенеза. Такие циклоны поднимаются в более высокие широты.

Быстрое перемещение южных циклонов обостряют атмосферные фронты и служат причиной выпадения большого количества осадков. [6]

Аналогичная синоптическая ситуация наблюдалась 02.03.2005 г. Циклон, сформировавшийся 27 февраля 2005 г., за счет высоких контрастов температуры воздуха поднялся до северных широт (65° - 70° с.ш.) к 02.03.2005 г. и занял всю ЕТР, в этот момент циклон был окклюдирован, именно поэтому большая часть территории находилась в области холода.

Величины температурных контрастов в тыловой и передней частях на АТ-850, наблюдающихся при развитии южных циклонов, представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Величины температурных контрастов

Дата	Контраст, °С
15.03.2013	>18°С
02.03.2005	>20°С

Траектории движения южных циклонов на примере 15.03.201 и 27.03.2005 показаны на рисунке 4.10.

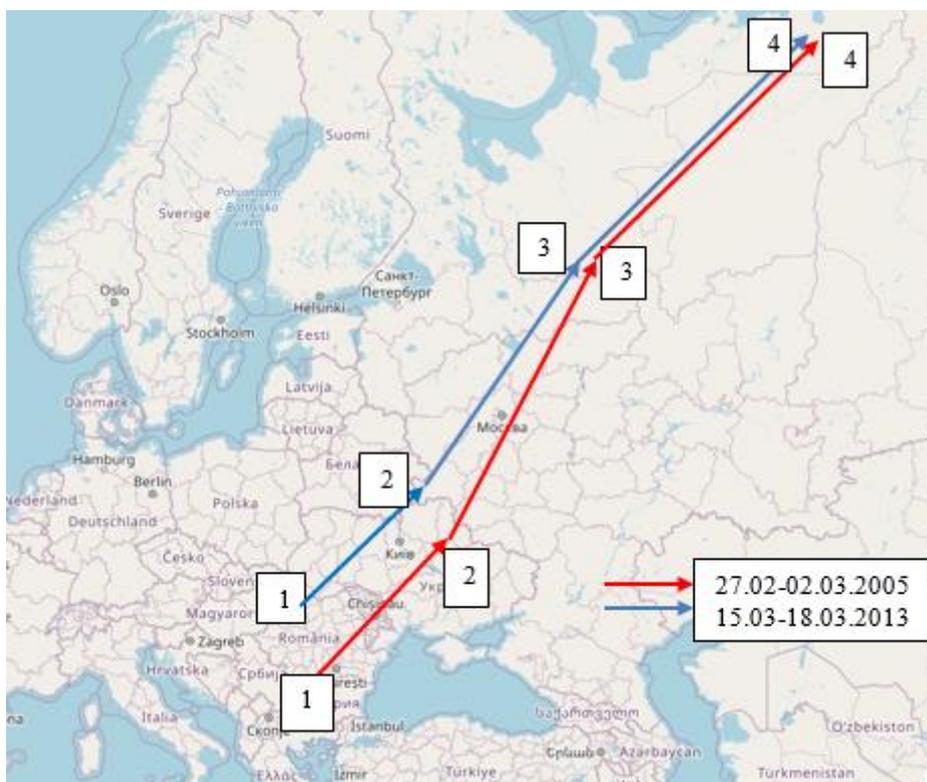


Рисунок 4.10 – Траектории движения южных циклонов 27.02.2005 и 15.03.2013

В результате можно выделить следующие характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию «значительно ниже среднего» в марте:

- 1) Малоградиентное поле над всей ЕТР.
- 2) Тыловая часть циклона над восточной частью ЕТР.
- 3) Особый случай с высокими контрастами температуры воздуха: выход южных циклонов и влияние на ЕТР их тыловых частей.

4.4.1.2 Апрель

Характерная синоптическая ситуация для дней, попадающих в градацию «значительно ниже среднего» в апреле представлена на рисунке 4.11. Территория исследования находится под влиянием глубокой ложбины

от циклона с центром над полуостровом Таймыр. Воздушные массы поступают с арктического побережья Баренцева моря и приносят холод.

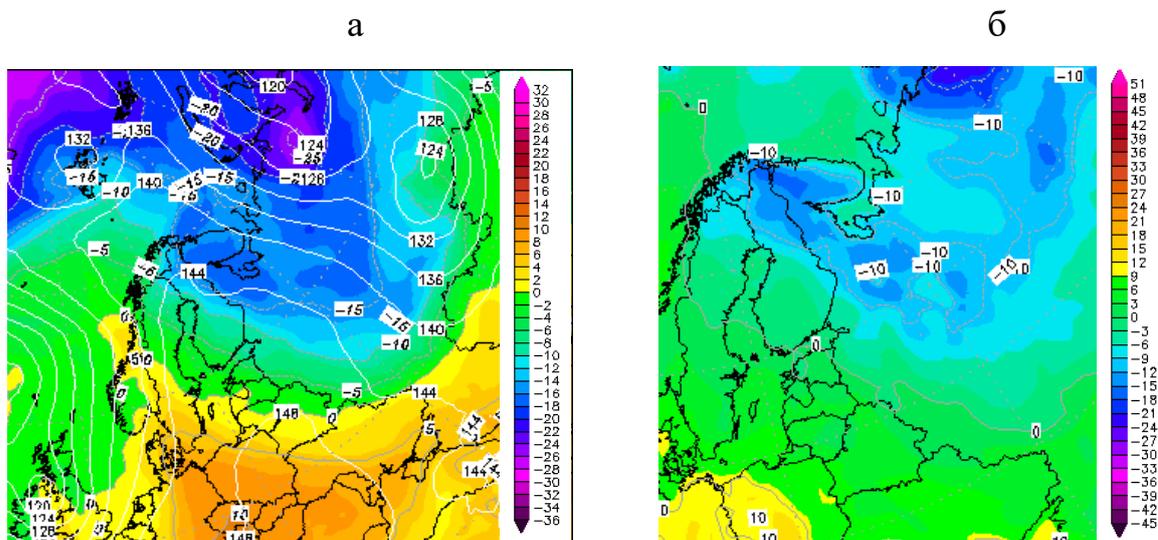


Рисунок 4.11 – Синоптическая ситуация, характерная для anomalно низких температур воздуха в апреле 08.04.2009 00:00а-АТ₈₅₀ б-Т_{2м}

Аналогичная синоптическая ситуация представлена на рисунке 4.12.

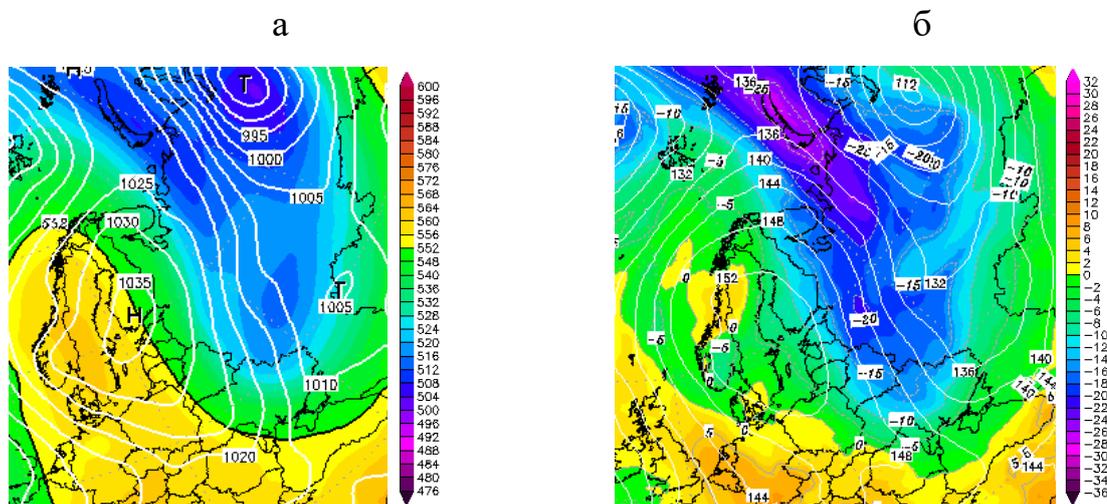


Рисунок 4.12 – Синоптическая ситуация, характерная для anomalно низких температур воздуха в апреле 02.04.2004 00:00 а-АТ₅₀₀+500 б-АТ₈₅₀

Регион исследования находится под влиянием тыловой части циклона, расположенного над северной частью Ямало-Ненецкого автономного округа.

От выраженного очага холода над Новой Землей поступают холодные воздушные массы, приводящие к аномальным значениям температуры воздуха.

Интересная синоптическая ситуация, характерная для аномально низких значений температуры воздуха в апреле представлена на рисунке 4.13.

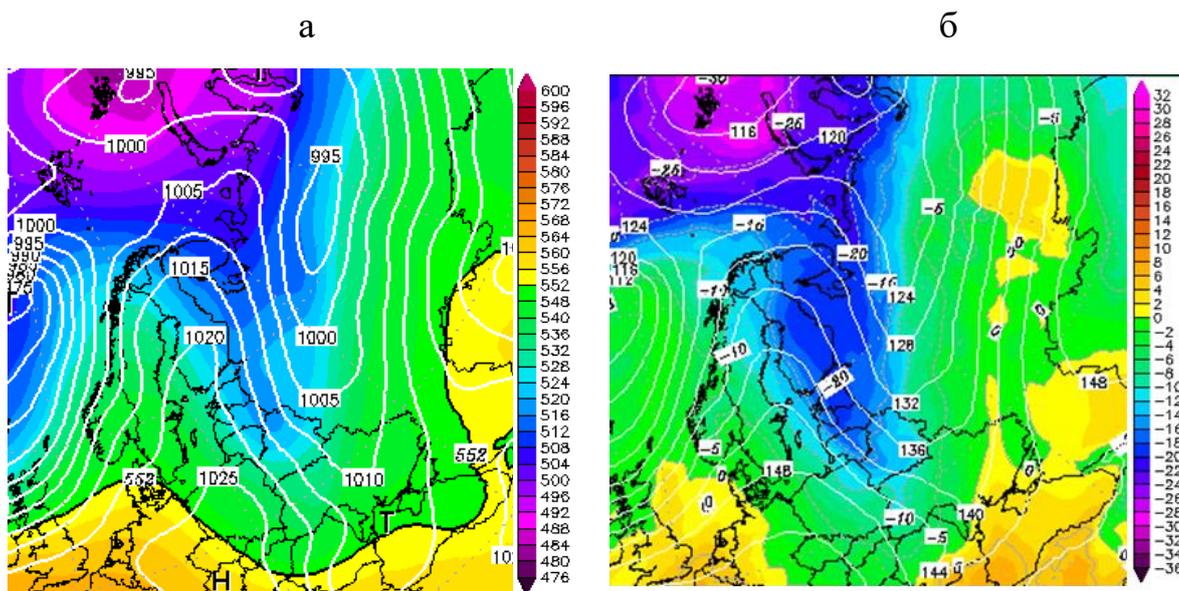


Рисунок 4.13 – Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких температур воздуха в апреле 01.04.2003 00:00 (а- AT_{500} + Приземная б- AT_{850})

Синоптическая обстановка 01.04.2003 г. обусловлена влиянием восточной периферии антициклона на западную часть территории исследования и тыловой части циклона, с центром республикой Коми, на центральную и восточную части ЕТР.

Таким образом, исследуемый регион находится на «стыке» двух барических образований и воздушные массы, поступающие с арктического побережья, устремляются на юг.

В результате можно выделить следующие характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию «значительно ниже среднего» в апреле:

1. Тыловая часть циклона с центром над ЯНАО (с выраженным очагом холода).
2. Восточная часть гребня антициклона на западе ЕТР и тыловая часть циклона в центральной и восточной частях ЕТР.
3. Малоградиентное поле над всей ЕТР

4.4.1.3 Май

Синоптическая ситуация, характерная для anomalно низких значений температуры воздуха в мае, представлена на рисунке 4.14.

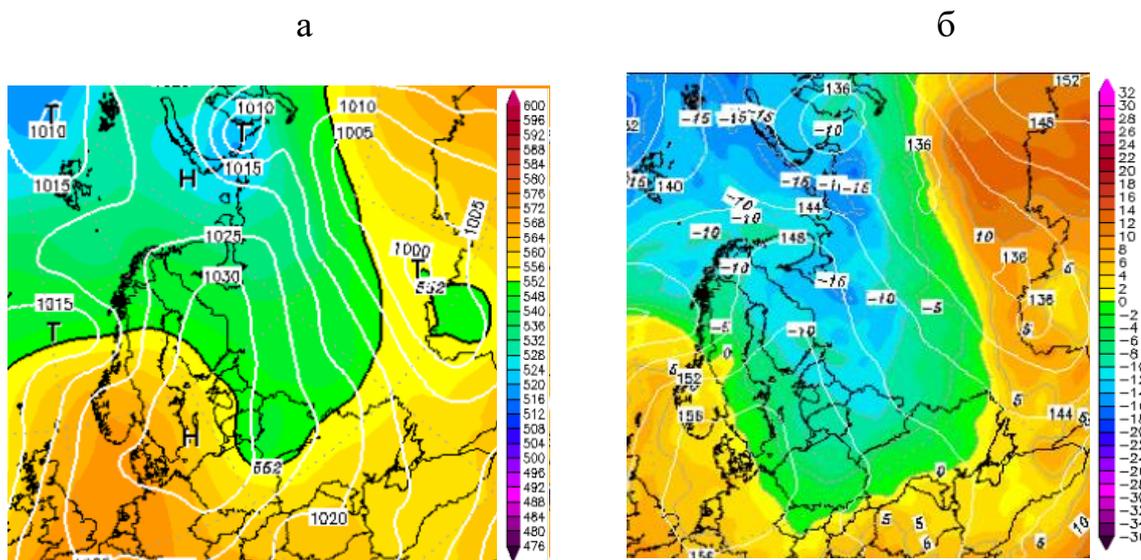


Рисунок 4.14 – Синоптическая ситуация, характерная для anomalно низких температур воздуха в мае 02.05.1995 00:00 а-АТ₅₀₀+Приземная б-АТ₈₅₀

Территория исследования находится под воздействием двух барических образований – циклон с центром над Карским морем и восточная и северо-восточная периферия антициклона с центром в районе датского побережья Балтийского моря.

барическое поле, установившееся над районом исследования, и отсутствие облачности способствовали вымораживанию, отчего температура воздуха достигла аномально низких значений (рис.4.16)

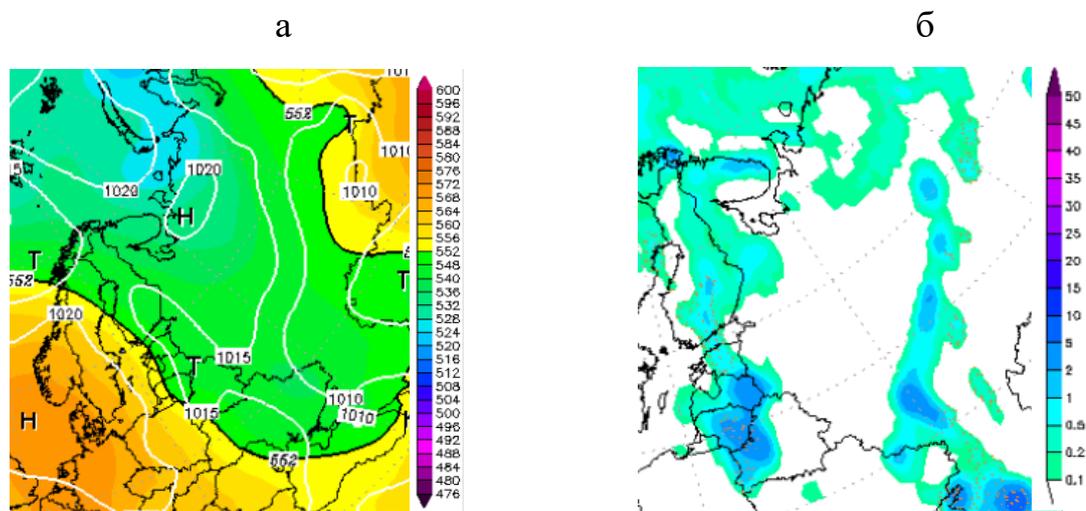


Рисунок 4.16 – Синоптическая ситуация, характерная для аномально низких температур воздуха в мае 08.05.2008 00:00 а- $A_{T_{500}}$ +Приземная б- Pr_{ec} , мм

В результате можно выделить следующие характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию «значительно ниже среднего» в мае:

1. Восточная часть гребня антициклона на западе ЕТР и тыловая часть циклона в центральной и восточной частях ЕТР.
2. Малоградиентное поле на всей ЕТР.

4.4.2 Синоптические ситуации для аномально теплых дней

4.4.2.1 Март

Рассмотрим синоптические ситуации, характерные для аномально теплых дней в марте – рисунок 4.17.

Территория исследования находится под влиянием западной периферии антициклона, расположенного над юго-восточной частью ЕТР. Затоки воздушных масс с юга-востока приносят тепло. Особенность ситуации в том, что на юге России, где формируется теплая воздушная масса, наблюдаются устойчивые положительные температуры выше 10 °С.

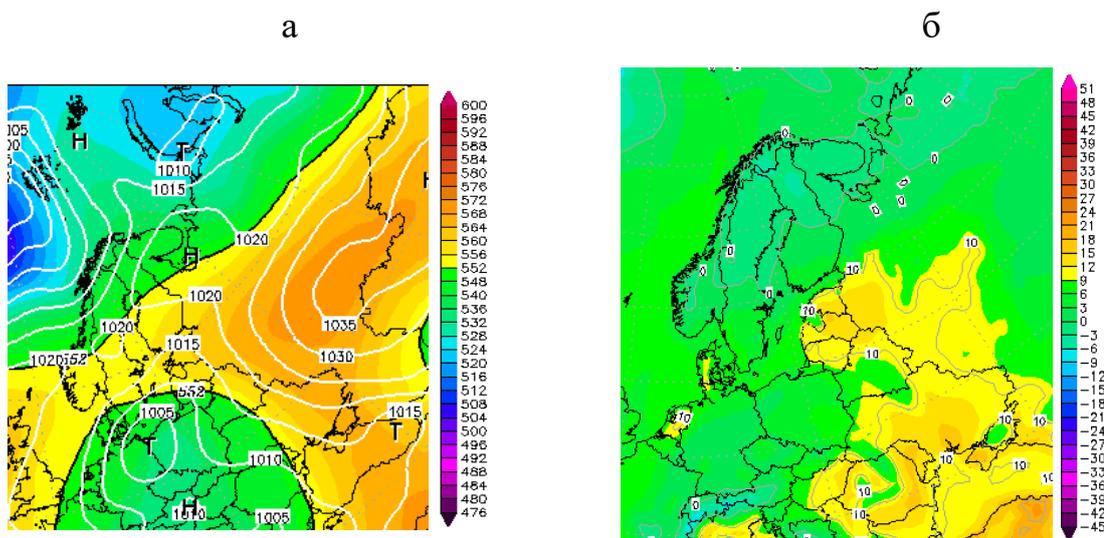


Рисунок 4.17 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в марте 22.03.2007 12:00 а-
 AT_{500} +Приземная б- AT_{850}

Похожая синоптическая ситуация, характерная для аномально теплой погоды, представлена на рисунке 4.18.

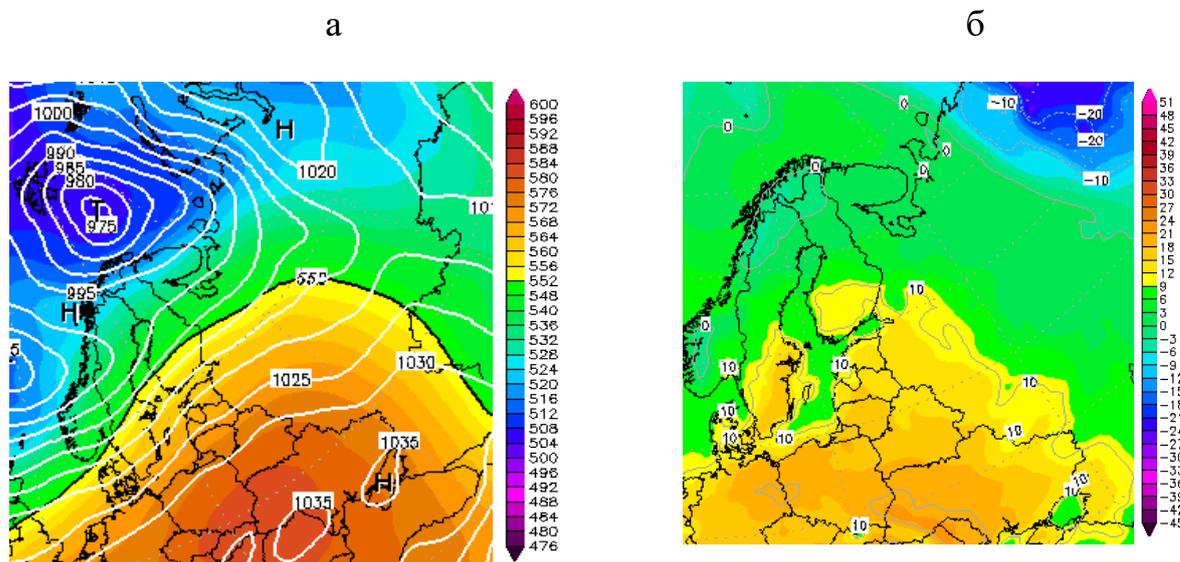


Рисунок 4.18 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в марте 19.03.1990 12:00 а- AT_{500} б-
 AT_{850}

Территория исследования находится частично под воздействием северной периферии антициклона и частично (север ЕТР) под воздействием южной части циклона. Антициклон расположен на юге Европы, и потоки воздушных масс с юго-запада приносят тепло. В этом случае следует отметить нестандартное положение ВФЗ, которая проходит практически по границе республики Карелия, отсюда следует, что на высоте 5 километров до этой границы циркулирует теплый воздух тропических широт.

В результате можно выделить следующие характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию «значительно выше среднего» в марте:

1. Влияние антициклона или южной части циклона на ЕТР с потоками воздушных масс с юга или юго-запада. Особенность ситуации в том, что на юге России, где формируется теплая воздушная масса, продвигающаяся к региону исследования, наблюдаются устойчивые положительные температуры выше 10 С, что значительно выше климатической нормы ЕТР в марте.

4.4.2.2 Апрель

Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в апреле, представлена на рисунке 4.19.

В апреле аномально высокие значения температуры воздуха наблюдаются вследствие влияния на всю ЕТР антициклона, с центром, расположенным над Хельсинки – рисунок 4.19. Территория в районе южной периферии антициклона (Прибалтика, Белоруссия) аномально прогрета. В районе ЕТР не наблюдаются высоких градиентов барического поля. Длительное стационарирование антициклона, изначально Азорского, сформировало очаг тепла, который и формирует аномально высокие для апреля температуры воздуха на большей части ЕТР. Воздушные массы с юго-востока приносят тепло. При такой синоптической ситуации даже в Петрозаводске среднесуточная температура воздуха достигла аномальных значений - +13 °С при норме +5 °С.

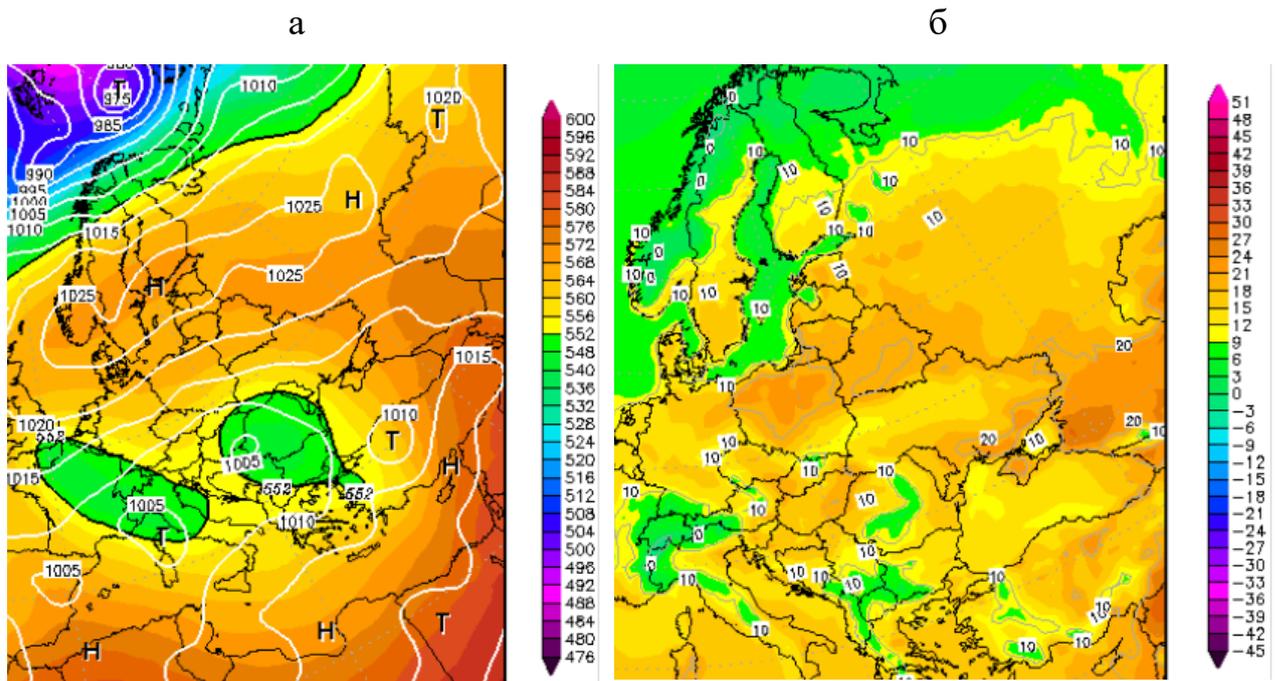


Рисунок 4.19 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в апреле 19.04.2014 12:00 а-АТ₅₀₀ б-Т_{2м}

Интересный синоптический случай представлен на рисунке 4.20.

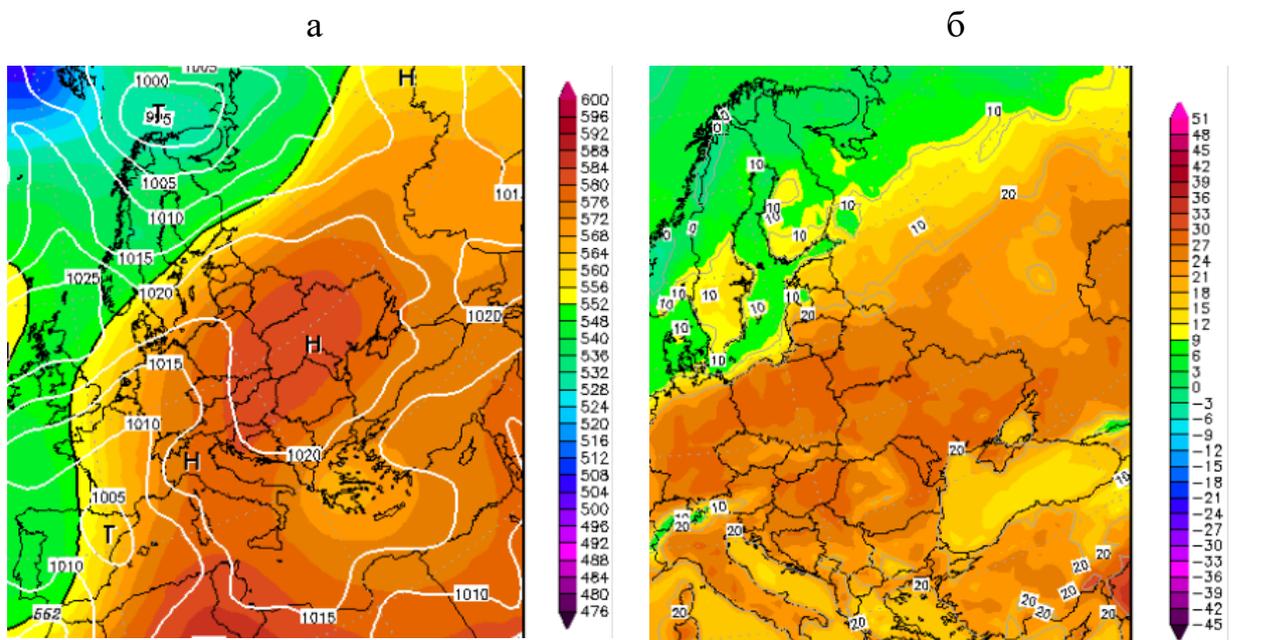


Рисунок 4.20 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в апреле 28.04.2012 12:00 а-АТ₅₀₀ б-Т_{2м}

Антициклон, расположенный над Украиной, прослеживается от приземного слоя до высоты 5 километров, его приземный и высотный центры совпадают. Мощные нисходящие движения и отсутствие облачности способствуют дополнительному прогреву воздуха. Воздушные массы на юге Европы и над ЕТР аномально прогреты, над ЕТР наблюдается малоградиентная центральная часть антициклона, над ней устанавливаются аномально высокие значения температуры воздуха. Следует отметить, что и здесь ВФЗ расположена значительно севернее ее средневесеннего положения.

Интересная синоптическая ситуация представлена на рисунке 4.21.

а

б

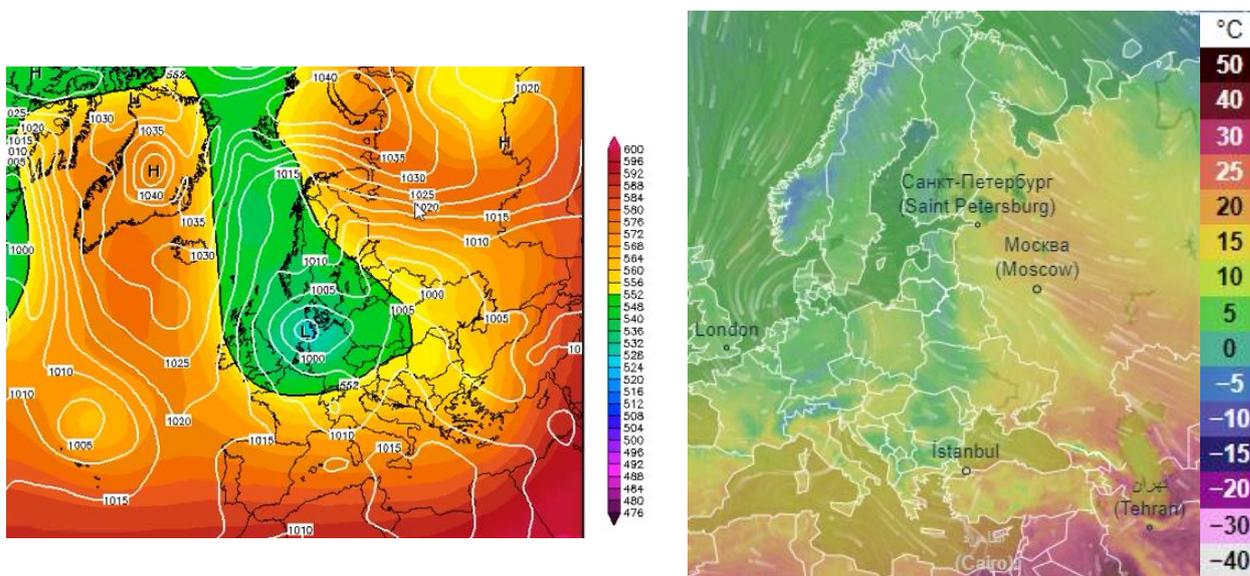


Рисунок 4.21 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в апреле 26.04.2016 12:00 а- T_{500} +Приземная б- T_{2m} [14]

Над о. Шпицберген, Норвегией, Великобританией и северной Европой наблюдается ультраполярное вторжение холодных воздушных масс на высоте 5 км (узкая полоса зеленого цвета). Область исследования находится под влиянием обширного антициклона с центром над о. Новая Земля,

который изобарами объединяется с антициклоном над о. Гренландия. На высотах циркулирует теплый тропический воздух. Из-за выраженного температурного контраста, между двумя барическими образованиями, адвекция усиливается и воздушные массы с юго-востока с высокой скоростью приносят аномальное тепло на ЕТР.

В результате можно выделить следующие характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию «значительно выше среднего» в апреле:

1) Стационарный антициклон. Совпадение приземного центра с высотным.

2) Высокие контрасты при ультраполярном вторжении, способствующие продвижению прогретого воздуха со значительно отдаленных от ЕТР южных территорий.

4.4.2.3 Май

Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в мае, представлена на рисунке 4.22.

а

б

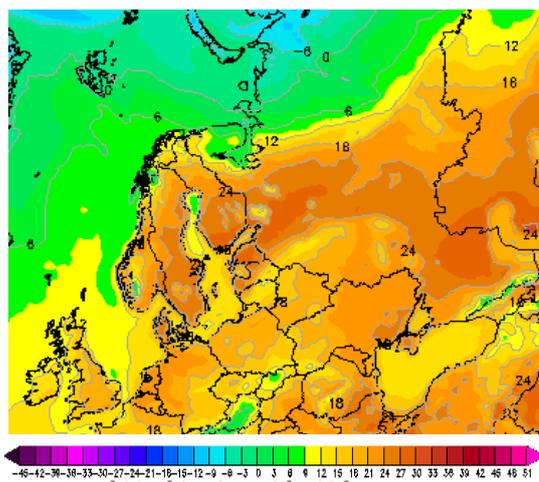
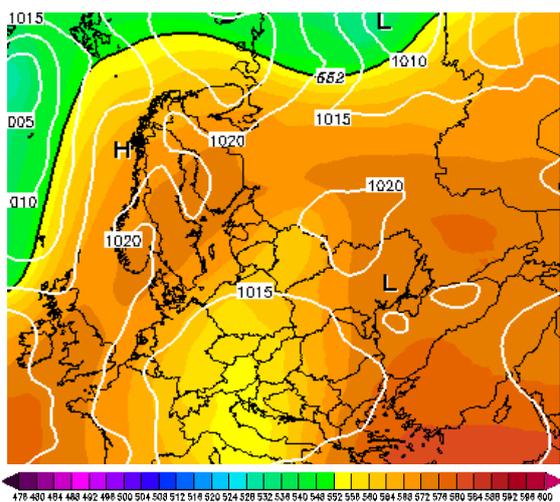


Рисунок 4.22 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в мае 15.05.2018 12:00 а-АТ₅₀₀+Приземная б-Т_{2m}

Регион исследования находится под влиянием малоградиентного поля высокого давления. ВФЗ проходит значительно выше своего среднесезонного положения. Дневная температура воздуха в самом северном пункте региона исследования, Калевале, достигла 17°C, при норме в 7°C, а в Тамбове 27°C, при норме в 21°C.

Похожая ситуация наблюдалась 06 мая 2006 года – рисунок 4.23. Регион исследования находится в малоградиентном поле антициклона, расположенного над Швецией. Центр антициклона в приземном слое совпадает с высотным центром. В результате, из-за мощных нисходящих движений в антициклоне и отсутствия облачности устанавливается аномально жаркая погода.

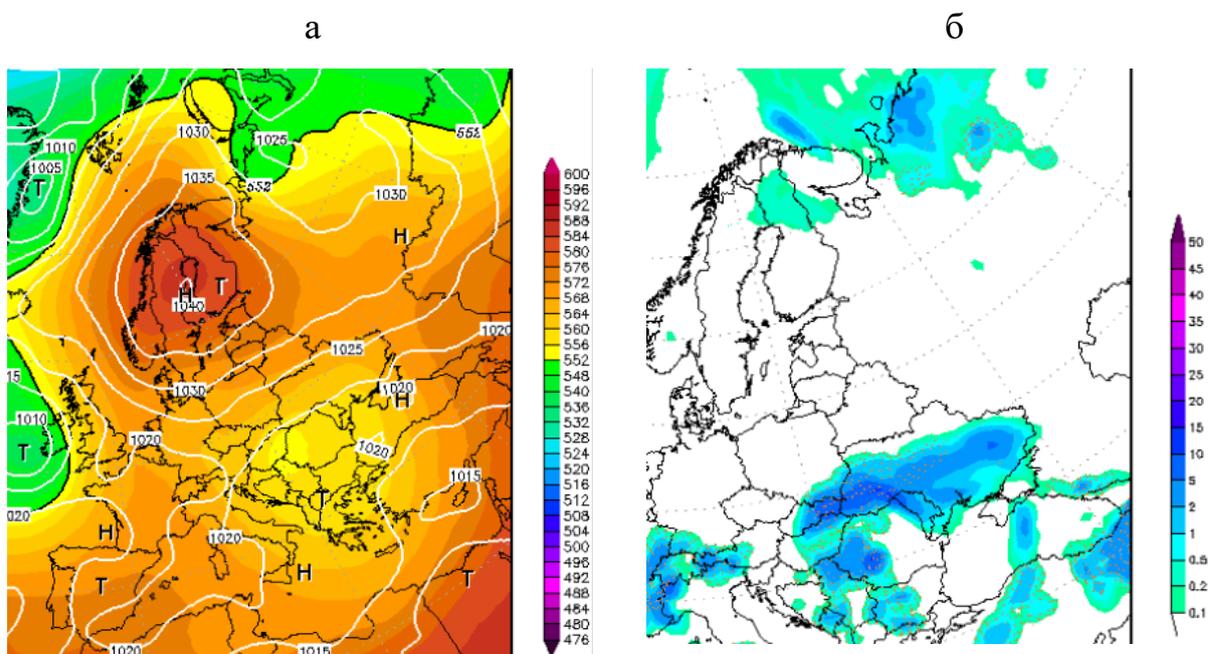


Рисунок 4.23 - Синоптическая ситуация, характерная для аномально высоких значений температуры воздуха в мае 06.05.2006 12:00 а-АТ₅₀₀+Приземная б-Т_{2m}

В результате можно выделить следующие характерные синоптические ситуации для дней, попадающих в градацию «значительно выше среднего» в мае:

1) В большинстве случаев (89%) при аномально высоких температурах над регионом исследования наблюдается малоградиентное поле. Май относится к началу летнего климатического сезона и ему соответствует некая перестройка барического поля.

Подводя итоги, можно сказать, что на исследуемой территории для каждого пункта наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха для весеннего периода.

Повторяемость аномально холодных дней растет, а повторяемость аномально теплых дней уменьшается.

Весной небольшой рост повторяемости аномально теплых дней отмечается на юге территории. Максимальный рост повторяемости аномально холодных дней наблюдается в северо-западной и юго-восточной частях области исследования.

Аномально низкие значения среднесуточной температуры воздуха наблюдаются при:

1) Малоградиентное поле барической седловины, выходящей на Баренцево море.

2) Восточная часть гребня антициклона на западе ЕТР и тыловая часть циклона в центральной и восточной частях ЕТР.

Аномально высокие значения среднесуточной температуры воздуха наблюдаются при:

1) Стационарный антициклон над всей ЕТР (с совпадением приземного и высотного центров. Антициклон находится под ВФЗ полярного фронта).

Заключение

По итогам магистерской диссертации все цели достигнуты и задачи решены.

В ходе работы был собран архив данных по среднесуточной температуре воздуха осеннего и весеннего периодов в 16 пунктах с 1959 года по 2018 год, рассчитаны среднемесячные значения температуры воздуха. По

результатам анализа можно сделать вывод, что на всей территории для каждого пункта наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха для осеннего и весеннего периодов. Наибольший интерес представляет ноябрь, так как в этом месяце средние значения среднемесячной температуры воздуха на станциях Великие Луки и Курск переходят через нулевой предел, во втором периоде значения положительные.

Была определена смена тренда в ряде среднегодовой температуры воздуха, которая для ЕТР приходится на 1986-1987 гг.

Были выделены границы квартильных градаций для каждого месяца осеннего и весеннего периодов для выбранных пунктов. Проанализирована повторяемость дней с температурами, попадающими в градации «значительно выше среднего» и «значительно ниже среднего». Осенью повторяемость аномально теплых и аномально холодных дней за весь исследуемый период практически не меняется. Весной повторяемость аномально холодных дней растет, а повторяемость аномально теплых дней уменьшается.

В ходе научно-исследовательской работы с помощью программы ГИС MapInfo были построены карты пространственное распределение изменения повторяемости аномально низких и аномально высоких значений среднесуточной температуры воздуха. Хотя количество аномально теплых дней весной в общем числе уменьшается, небольшой рост отмечается на юге территории. Число аномально холодных дней растет, максимальный рост наблюдается в северо-западной и юго-восточной частях области исследования.

Были проанализированы и выделены характерные синоптические ситуации, при которых происходит формирование аномальных высоких и аномально низких значений среднесуточной температуры воздуха.

Осенью аномально низкие значения температуры воздуха наблюдаются при влиянии на ЕТР очага холода над Баренцевым морем, при этом область

исследования находится в тыловой части арктических циклонов. Весной аномально низкая температура воздуха возникает при малоградиентном поле барической седловины, выходящей на Баренцево море.

Выявлена одинаковая синоптическая ситуация для аномально теплых дней весной и осенью – это стационарный высокий антициклон над всей ЕТР с совпадением приземного и высотного центров. Особенность ситуации в том, что антициклон находится под ВФЗ полярного фронта.

Также следует отметить, что практически при каждой ситуации, когда наблюдается аномальная среднесуточная температура воздуха, положение ВФЗ смещено более чем на 1500 км от ее среднесезонного положения.

В дальнейшем работу следует продолжать, особое внимание уделяя таким предикторам как ВФЗ и траекториям барических образований, при которых возникают аномальные значения температуры воздуха.

Список использованных источников

1. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология: Книга 1.: учебник. – СПб, РГГМУ, 2019. – 378 с.
2. Хромом С.П. Метеорология и Климатология для географических факультетов — Л.: Гидрометеоздат, 1983. - 455 с.
3. Сорокина В.Н., Гущина Д. Ю. ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - Москва : Географический факультет МГУ, 2006. - 103 с.
4. Зверев А.С. Синоптическая метеорология — Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 711 с.
5. Основные погодно-климатические особенности, наблюдавшиеся в Северном полушарии Земли в 2005 году. [Электронный ресурс] / Гидрометцентр России. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/climate/climat-tab13/climate-analysis-2005-all/2975--2005-> (Дата обращения: 10.05.2022)
6. Синоптический анализ экстремальной засушливости и увлаженности на территории Российской Федерации / Д. Н. Уткузова, Р. М. Вильфанд, В. М. Хан, Е. С. Ганиева // Биосфера. – 2015. – Т. 7. – № 1. – С. 50-60. – EDN TQKNLP.
7. Угрюмов А.И., Лаврова И.В. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы : учебное пособие / А.И. Угрюмов, И.В. Лаврова. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2021. – 72 с.
8. Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В. Теория общей циркуляции атмосферы. – Казань, 2013.
9. Петросянц М.А. и др. Циркуляция атмосферы в тропиках. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 639 с.
10. Нестеров Е.С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в Атлантико-Европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. – 2000.
11. Сайт ВНИИГМИ-МЦД – Режим доступа: <http://meteo.ru/> (Дата обращения: 10.05.2022)

12. Сайт модели NCEP CFSv2 – Режим доступа: <https://cfs.ncep.noaa.gov/>
(Дата обращения: 10.05.2022)
13. Сайт архива синоптических карт – Режим доступа:
<https://www.wetterzentrale.de/> (Дата обращения: 10.05.2022)
14. Сайт с визуальным отображением метеорологических характеристик -
Режим доступа: <https://www.ventusky.com/> (Дата обращения
10.05.2022).

Приложения

Приложение А.

Таблица 1 - Квартильные градации «значительно ниже среднего» и «значительно выше среднего» в выбранных пунктах для осеннего периода на ЕТР.

Станция/месяц	ЗНС, °С			ЗВС, °С		
	9	10	11	9	10	11
Тамбов	7,4	-0,3	-8,2	17,6	11,0	4,5
СПб	7,5	1,0	-5,5	15,9	10,2	5,3
Сортавала	5,6	-1,0	-7,9	13,9	8,7	4,1
Смоленск	6,2	-0,4	-7,1	15,3	10,3	4,4
Петрозаводск	5,0	-1,9	-8,8	13,9	8,3	3,1
Онега	4,8	-2,9	-11,6	13,5	7,5	2,1
Нижний Новгород	6,1	-1,7	-9,9	16,2	9,7	2,7
Москва	6,5	-0,4	-7,8	16,1	10,6	4,4
Курск	7,4	0,3	-6,7	17,5	11,7	5,2
Котлас	3,8	-4,5	-14,9	13,6	7,6	1,2
Кострома	5,6	-2,0	-10,7	15,0	9,1	2,6
Койнас	2,6	-6,5	-19,1	11,9	5,4	-0,4
Калевала	3,2	-4,8	-13,7	12,2	6,6	1,6
Вытегра	5,1	-2,0	-10,3	14,4	8,8	3,2
Вологда	4,6	-3,0	-12,0	14,0	8,5	2,5
Великие Луки	6,4	-0,1	-6,5	15,6	10,7	5,2

Таблица 2 - Квартильные градации «значительно ниже среднего» и «значительно выше среднего» в выбранных пунктах для весеннего периода на ЕТР.

Станция/месяц	ЗНС, °С			ЗВС, °С		
	3	4	5	3	4	5
Тамбов	-9,4	1,5	8,8	2,1	13,4	19,9
СПб	-7,8	-0,2	5,9	2,8	10,3	17,1
Сортавала	-10,9	-2,6	4,1	1,0	6,4	14,3
Смоленск	-7,9	0,6	6,9	2,4	11,7	17,6
Петрозаводск	-11,2	-3,4	2,9	1,1	7,6	15,1
Онега	-13,2	-4,8	2,0	0,3	6,2	14,3

Станция/месяц	ЗНС, °С			ЗВС, °С		
	3	4	5	3	4	5
Нижний Новгород	-9,2	-0,2	6,8	1,7	12,2	18,8
Москва	-7,4	1,1	7,4	3,3	12,7	18,6
Курск	-7,7	1,9	8,6	3,7	13,2	19,6
Котлас	-13,5	-4,1	3,5	0,6	8,3	15,8
Кострома	-9,9	-1,0	6,0	1,3	10,9	17,6
Койнас	-17,5	-8,3	0,0	-1,0	5,1	12,6
Калевала	-15,1	-6,5	1,2	-0,5	4,2	12,4
Вытегра	-12,8	-3,3	3,7	1,3	8,5	16,0
Вологда	-12,0	-2,3	4,7	0,8	9,2	16,4
Великие Луки	-8,0	0,7	7,0	3,2	11,8	17,5

Приложение Б.

Таблица 3 - Максимальные и минимальные значения среднемесячной температуры воздуха за осенний в выбранных пунктах.

Станции/месяц	Максимум			Минимум		
	9	10	11	9	10	11
Тамбов	24,6	18,6	12,8	0,8	-10	-25,4
СПб	21,9	16	11,7	1,4	-6,6	-16,3
Сортавала	19,7	14	10,1	0,1	-9	-21
Смоленск	22,2	17,1	11,6	0,2	-8,7	-20
Петрозаводск	21,8	15	9,5	-0,6	-9,3	-21,2
Онега	20	14,1	8,4	-0,1	-13	-28,3
Нижний Новгород	23,3	18,1	11,2	-0,7	-11,3	-25,3
Москва	23,4	18,3	13,6	-0,3	-9,6	-19,4
Курск	24,6	19,5	13,8	-0,5	-8,1	-22,6
Котлас	20,9	15,2	10,6	-1,3	-17,3	-34,9
Кострома	22,7	17,3	11,4	-1,2	-12,1	-25,7
Койнас	19,4	14,4	6,4	-4,6	-19,4	-41,6
Калевала	18,1	13,3	9	-2	-16,3	-31,7
Вытегра	21,8	14,9	8,9	-1,2	-11,2	-28
Вологда	20,3	17,4	9,3	-2,3	-14,3	-28,7
Великие Луки	23,6	18,4	11,3	-0,9	-9,7	-22,3

Таблица 4 -Максимальные и минимальные значения среднемесячной температуры воздуха за весенний период в выбранных пунктах.

Станции/месяц	Максимум			Минимум		
	3	4	5	3	4	5
Тамбов	11,8	20,8	27,6	-21,6	-10,8	1,0
СПб	9,3	20,5	26,5	-19,2	-10,7	0,2
Сортавала	7,1	13,6	20,5	-23,1	-13,8	-1,4
Смоленск	11,8	21,3	24,4	-21,8	-10,4	0,7
Петрозаводск	8,4	18,3	26,2	-23,2	-13,7	-4,0
Онега	6,5	18,4	24,1	-26,4	-15,8	-4,2
Нино	11,1	20,2	27,0	-24,1	-14,3	-0,5
Москва	12,5	19,6	27,0	-19,4	-10,2	0,6
Курск	13,0	22,0	25,8	-24,2	-8,9	0,9
Котлас	9,1	17,4	24,5	-27,9	-16,8	-4,4
Кострома	9,2	19,8	25,9	-22,8	-13,8	-0,8
Койнас	6,8	13,7	22,8	-33,2	-18,7	-8,8
Калевала	5,2	12,3	21,0	-28,5	-13,9	-6,3
Вытегра	8,1	19,7	26,3	-28,0	-14,7	-3,7
Вологда	7,8	18,6	23,5	-24,7	-14,2	-1,9
Великие Луки	11,4	18,4	24,7	-24,7	-9,4	0,4

Приложение В.

Таблица 5 - Квартильные градации «значительно ниже среднего» и «значительно выше среднего» за осенний период для всего региона ЕТР.

ЕТР/месяц	ЗНС,°С			ЗВС,°С		
	9	10	11	9	10	11
	2,3	-6,8	-17,9	18,3	12,7	6,9

Таблица 6 - Квартильные градации «значительно ниже среднего» и «значительно выше среднего» за осенний период для всего региона ЕТР.

ЕТР/месяц	ЗНС,°С			ЗВС,°С		
	3	4	5	3	4	5
	-17,7	-7,5	1,5	5,4	13,9	20,7