



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Анализ условий формирования аномально высоких температур на северо-
западе ЕТР в летний сезон»

Исполнитель Вахромеева Дарья Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

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

Ефимова Юлия Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 31 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ	5
1.1. Основные понятия общей циркуляции атмосферы.....	5
1.2. Квазигеострофичность течений общей циркуляции.....	9
1.3. Составляющие общей циркуляции атмосферы	9
1.4. Центр действия атмосферы.....	11
1.5. Классификация индексов и типизаций циркуляции атмосферы	13
1.6. Воздушные массы и их классификация	15
1.7. Антициклоны и циклоны умеренных широт	17
2. КЛИМАТ И ЕГО ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	21
2.1. Классификация климата.....	22
2.2. Современное изменение климата.....	27
2.3. Климат Европейской территории России	28
3. АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ДНЕЙ С АНОМАЛЬНО ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА ЗА ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НА СЕВЕРО- ЗАПАДЕ РОССИИ.....	32
3.1. Постановка цели и задачи.....	32
3.2. Анализ повторяемости дней с аномально высокими температурами воздуха на северо-западе ЕТР	34
3.3. Анализ синоптической ситуации для дней с аномально высокой температурой воздуха за летний период на северо-западе России.....	38
3.4. Анализ синоптических ситуаций для дней с аномально высокой температурой воздуха за лето 2021 года	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ А	66

ВВЕДЕНИЕ

По данным научных публикаций с 70-х годов прошлого века наблюдается глобальное потепление климата. Особенно заметно изменение климата после 2000-х годов. В этот период было отмечено два летних сезона, среднесуточная температура которых устанавливала новые значения, унося в прошлое рекорды того столетия. Чаще стали наблюдаться дни с аномально высокой температурой, которые не наблюдались ранее. Примером может послужить 2010 и 2021 годы. В прошлом веке аналог подобного летнего режима всего один и им является засушливый 1972 год. В связи с этим, анализ синоптических процессов, формирующих дни с аномально высокими температурами, особенно на территории северо-запада России, является задачей актуальной и несомненно интересной.

Аномально высокие температуры в начале теплого полугодия, в летнее время негативно влияют на состояние сельскохозяйственных культур. Засухи, поражение листьев обильным количеством солнечных лучей являются негативными факторами. Поэтому при выявлении характерных синоптических ситуаций для дней с аномально высокой температурой и использовании среднесрочных данных прогностических моделей можно заранее определить дни с неблагоприятной ситуаций – этим определяется практическая значимость работы.

В первой главе описана общая циркуляция атмосферы, ее составляющие и классификация. Исследованы центры действия атмосферы в Северном и Южном полушариях, и как следствие, рассмотрены антициклоны и циклоны, их роль в формировании погодных условий.

Во второй главе рассматривается понятие климата, его классификации, условия формирования, а так же его изменения. Детально описывается климат Европейской части России, исследуются особенности атмосферной циркуляции субъектов, расположенных на северо-западе России.

В третьей главе проводится анализ синоптических условий, формирующих аномально жаркую погоду на исследуемой территории. Рассчитываются

квартильные градации температур, проводится анализ повторяемости случаев жаркой погоды. Подробно рассматривается синоптическая ситуация дней с аномально высокой температурой воздуха на северо-западе Европейской территории России.

1. АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ

Атмосферная циркуляция – механизм крупномасштабных течений воздуха над поверхностью Земли. Такая циркуляция вызвана неравномерным распределением температуры и атмосферного давления, а также возникающим барическим градиентом. Воздушное течение в атмосфере и его направление обусловлено градиентом давления, вращением Земли и влиянием подстилающей поверхности.

Циркуляцию в атмосфере можно разделить на два типа: тропосферную – пассаты, муссоны, воздушные потоки, вызванные циклонами и антициклонами, и стратосферную – зональный перенос воздуха (западное направление переноса преобладает зимой, восточное – летом). Циркуляция воздуха является одним из климатообразующих факторов, благодаря переносу воздушных масс тепло и влага поступают из одних регионов в другие. В тропосфере средних широт Северного и Южного полушарий на перифериях антициклонов субтропического происхождения преимущественное распространение имеет западный перенос. В полярных регионах преобладают восточные ветры. В нижней части тропосферы тропических широт доминирует циркуляция, вызываемая постоянными ветрами – пассатами, северо-восточного направления в Северном полушарии и юго-восточном – в Южном. В отдельных частях тропической зоны, в частности в бассейне Индийского океана, установилась муссонная циркуляция – зимние муссоны совпадают с пассатами, летние муссоны имеют противоположное направление.

1.1. Основные понятия общей циркуляции атмосферы

Общая циркуляция атмосфера (ОЦА) – это совокупность воздушных течений в трех нижних слоях атмосферы, таких как тропосфера, стратосфера и мезосфера. Происходящие процессы в этих слоях хорошо изучены и взаимосвязаны. Термосфера и экзосфера, которые располагаются выше, отличаются от нижних слоев по характеру физических и химических процессов,

а именно обладают сильно разреженным воздухом. Такая особенность отличает вышележащие слои от нижних и не позволяет объединиться в один комплекс. Так же под ОЦА понимается некая часть климатической системы «атмосфера-океан-суша». Циркуляция атмосферы представляет собой чередование зон высокого атмосферного давления в полярных и тропических широтах с зонами низкого давления в умеренных и экваториальных широтах (рисунок 1.1).

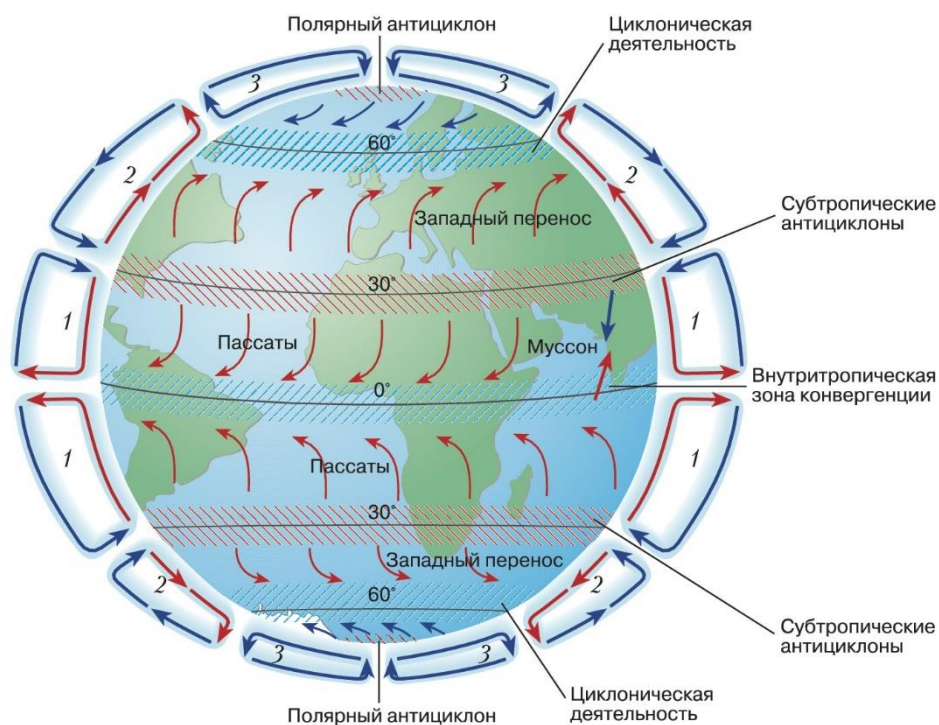


Рисунок 1.1 – Схема общей циркуляции атмосферы

Движение воздушных масс в такой системе происходит в широтном и меридиональном направлениях. Для лучшего отображения используют синоптические карты.

Важнейшими составляющими считаются зональный и меридиональный переносы в тропосфере. К крупномасштабным атмосферным явлениям относятся: постоянные и переменные ветры, струйные течения и циркуляция воздуха циклонах и антициклонах. Именно эти процессы формируют климат и погоду земного шара. Смерчи, шквалы, бризы и другие местные ветры не оказывают существенное влияние на общую циркуляцию атмосферы и называются мелкомасштабными атмосферными процессами. Атмосферная циркуляция оказывает влияние на формирование облачности, выпадение

осадков и общее изменение погоды. Лучистая энергия, трение, неоднородность земной поверхности и вращение Земли являются важными факторами, определяющими циркуляцию атмосферы. Основным источником циркуляции является солнечная энергия, а ее неоднородное распределение служит причиной глобальной циркуляции. Трение воздушных потоков о земную поверхность сказывается на замедлении скорости переноса течений и смене их направления (происходит в пограничном слое атмосферы, высотой 1-1,5 км). Подстилающая поверхность влияет на температуру воздуха, и как следствие – на ОЦА, и за счет турбулентного перемешивания распространяется на всю тропосферу. Роль вращения Земли вокруг своей оси в основном сказывается на движении в атмосфере только в высоких и средних широтах. На экваторе влияние практически равно нулю.

Основным видом циркуляции является западный перенос, который возникает в результате контраста температур между низкими и высокими широтами. Температура воздуха и атмосферное давление на высотах выше на экваторе и тропиках и ниже в полярной зоне, поэтому в нижней стратосфере и тропосфере круглогодично преобладает западная циркуляция. В летнее время воздушный поток, поступающий с запада, ограничивается высотой 16-20 км за счет установления выше переноса с востока. Восточный перенос возникает в результате более значительного прогрева воздуха в полярной тропосфере.

Метод статистической обработки данных метеорологических наблюдений – один из основных методов познания общей атмосферной циркуляции. Благодаря такому методу построены средние распределения величин для конкретных периодов, а также проанализирована изменчивость данной метеорологической величины. Таким способом получают описание проявления атмосферной циркуляции. Минусом такого метода является невозможность описать циркуляцию тех регионов земного шара, где отсутствуют наблюдения или фиксируются в малых объемах. Это относится к районам полюсов, а также к территории океана.

Еще одним методом познания циркуляции является синоптический метод, который изучает движение воздушных масс с помощью карт на различных изобарических поверхностях.

Последним из популярных методов стал гидродинамический. Предполагает построение математических моделей атмосферных процессов, используя уравнения гидродинамики.

Известны шесть основных закономерностей общей циркуляции атмосферы, которые характеризуют воздействие определяющих ее факторов:

- а. доминирование зональных потоков воздуха над меридиональными;
- б. в большей части атмосфере преобладает вихревой характер движения;
- в. наблюдаются слишком большие скорости движений по горизонтали в сравнении с вертикальными в крупномасштабных процессах;
- г. смена скорости и направления течений воздуха при переходе от сезона к сезону;
- д. изменение скоростей и направлений воздушных потоков при изменении слоев и лишенное равномерности распределение кинетической энергии в обоих направлениях – горизонтальном и вертикальном;
- е. нестационарность движений в атмосфере, их непостоянность и непрерывные смены атмосферной циркуляции и ее структурных составляющих;

Такие закономерности прежде всего связаны с изменениями притока солнечного тепла от года к году. Сильнее всего это выражено в северном полушарии, где материки занимают наибольшее пространство. Охлаждение территории материка в зимний период и нагревание в летний приводит к контрасту температур между сушей и океаном. Сезонные изменения циркуляции атмосферы наиболее проявляются в регионах, где со сменой сезона меняется и направление ветров (муссоны). В других регионах изменения происходят с другой интенсивностью и различной повторяемостью.

1.2. Квазигеострофичность течений общей циркуляции

Все течения, входящие в общую циркуляцию атмосферы в значительной степени являются *квазигеострофическими*, иными словами – близки к геострофическому ветру и в свободной атмосфере имеют направление, почти совпадающее с изобарами. Течения общей циркуляции отличаются только в слое трения – течения в нем отличаются от геострофического ветра и существенно отклоняются от изобар.

Однако, квазигеострофичность подразумевает тот факт, что и над слоем трения течения не могут быть абсолютно геострофическими. В этом слое крупномасштабные течения имеют ускорение и направлены не строго по изобарам, что приводит к изменению барического поля. В свободной атмосфере зафиксированы лишь небольшие отклонения течений от геострофического ветра, поэтому их называют квазигеострофическими.

Крупномасштабные течения в средних широтах тоже квазигеострофичны. В экваториальных широтах сила вращения Земли мала или равна нулю, вследствие чего не может уравновесить силу барического градиента. Поэтому условие геострофичности в экваториальной зоне не выполняется.

1.3. Составляющие общей циркуляции атмосферы

Зональность является самой устойчивой особенностью в распределении атмосферного давления и ветра над поверхностью Земли. Причиной зональности служит распределение температуры и своеобразие общей циркуляции атмосферы.

Зональная циркуляция – это постоянный перенос воздушных масс с запада на восток. В Северном полушарии чередование океанов и материков искажает поток западно-восточного переноса. Такой вид циркуляции выражается в доминировании меридиональных широтных градиентов давления (восточного и западного) над меридиональными (северными и южными). Степень преобладания может быть разной. Над океанами в тропической зоне восточные

составляющие ветра выражены хорошо и четко различимы на синоптических картах каждый день. Меридиональная составляющая в тропических широтах меньше зональной примерно в 10 раз. В средних широтах Южного полушария прослеживается преобладание западных ветров.

Меридиональная составляющая переноса воздушных масс в атмосферной циркуляции меньше зональной, но также имеет не малое значение. Такая циркуляция создает обмен воздушных потоков между широтами. Распределение меридиональных переносов меняется день ото дня, это связано с переносом воздушных масс в циклонах и антициклонах. Каждый циклон представляет собой перенос воздуха к высоким широтам в его передней части и к низким – в тылу, в антициклоне обратная схема переноса. Исходя из этого следует, что на одинаковом уровне в начальный момент времени на одном меридиане преобладают составляющие северного направления, на другом – южного. В средних широтах Северного полушария на нижнем уровне тропосферы господствуют составляющие южного направления, а на верхнем уровне – северного направления. Скорости таких потоков невелики.

При распределении переноса воздуха и атмосферного давления зональность проявляется не у поверхности земли, а на уровне верхней тропосферы и в стратосфере. Высокие значения давления подобны высоким значениям температуры, аналогично с низкими показателями метеорологических величин. Так как температура воздуха в тропосфере по средним значениям уменьшается от низких широт к высоким, то и меридиональный градиент давления имеет направление от низких широт к высоким. При этом геострофический ветер в обоих полушариях при таком барическом градиенте будет направлен с запада на восток. Для Северного полушария градиент давления имеет направление к северу, и ветер, отклоняющийся вправо – с запада на восток; для Южного полушария барический градиент направлен к югу, ветер отклоняется влево.

1.4. Центр действия атмосферы

Циркуляция атмосферы – важный элемент в процессах формирования погодных условий и климата того или иного региона. Появление циклонов и антициклонов непосредственно связано с центрами действия атмосферы.

Под *центром действия атмосферы* понимается область пониженного или повышенного давления характерная для определенного региона. Такие центры делятся на две группы – постоянные и сезонные. Расположение центров действия атмосферы в зимний и летний сезон представлены на рисунках 1.2 и 1.3 соответственно.

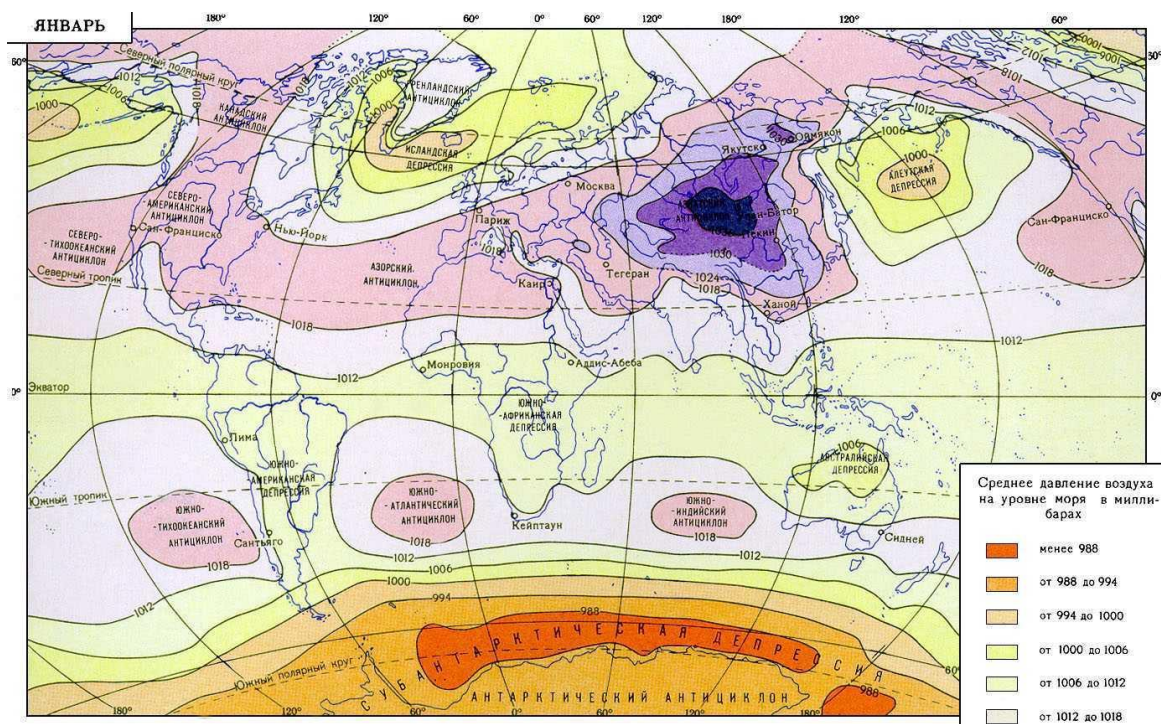
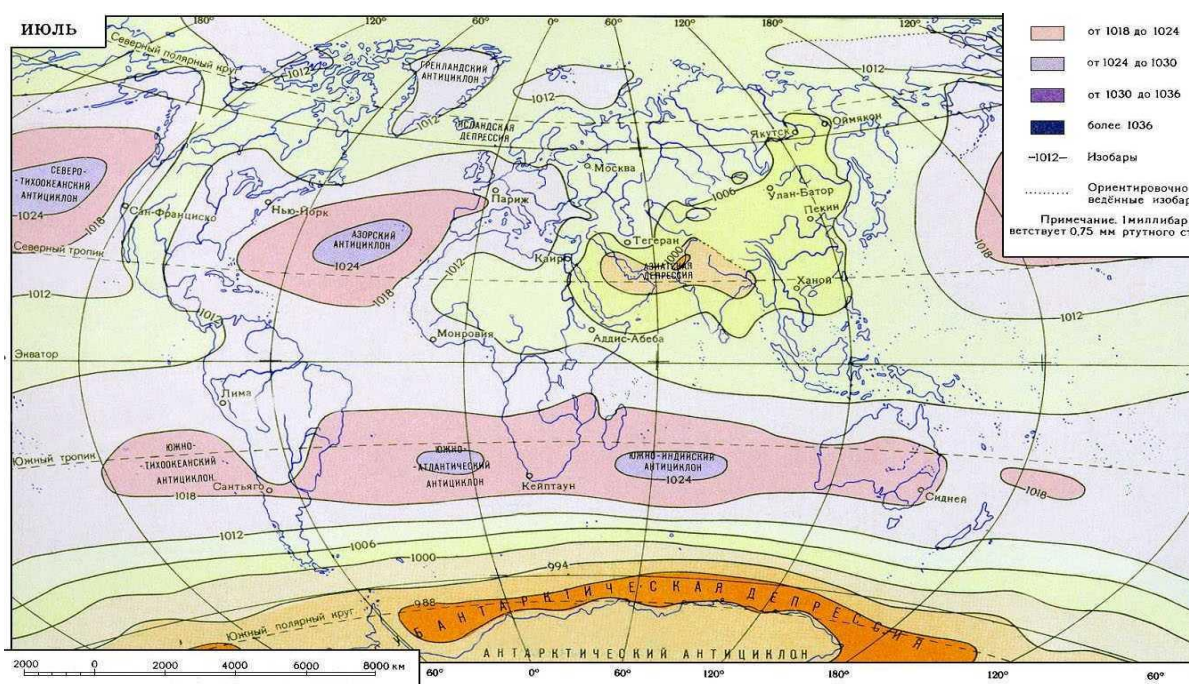


Рисунок 1.2 – Расположение ЦДА в зимний сезон



1.5. Классификация индексов и типизаций циркуляции атмосферы

Для описания характеристики атмосферной циркуляции были созданы специальные индексы. Такие индексы в основном используются для прогнозирования и описания процессов в атмосфере.

Индекс атмосферной циркуляции Россби. В роли индекса ОЦА используют зональную составляющую скорости ветра. Компонента может быть рассчитана как разность давления между конкретными широтами и переведена в скорость, выраженную в метрах в секунду. Россби определил, что все процессы, участвующие в атмосферной циркуляции, формируются в две группы – высоким и низким индексами.

Индекс атмосферной циркуляции Е. Н. Блиновой. Этот индекс выражает отношение линейной скорости потока воздуха вдоль широтного круга к расстоянию до оси вращения Земли. В результате расчетов получается угловая скорость вращения атмосферы по отношению к земной поверхности. Величина индекса изменяется, находятся периоды максимума и минимума величины.

Индекс интенсивности атмосферной циркуляции по Л. А. Вительсу. За индекс принимается средняя высота циклонов и средняя мощность антициклонов. Данный индекс отражает общее увеличение или уменьшение интенсивности того или иного барического образования. Благодаря этим расчетам, Вительсом был выявлен ряд особенностей в многолетних изменениях климата и циркуляции.

Индекс меридиональной, зональной и общей циркуляции А. Л. Каца. Удельный поток массы воздуха в единичном слое за единицу времени является общим индексом циркуляции. Рассматривая отдельно для каждого случая индексы, удалось получить значения всех индексов для малых и больших площадей, для различных высот и даже уровня моря. Как итог были определены особенности меридиональной и зональной циркуляции на высотах до 19 км в Северном полушарии.

Широкораспространённым является *индекс циркуляции или классификация атмосферных макропроцессов Г. Я. Вангенгейма и А. А. Гирса.*

В основе лежит понятие элементарного синоптического процесса – то есть процесса, при котором остаются постоянными географическое распределение знака барического поля и направление основного воздушного переноса в Атлантико-Евразийской части. В данной классификации есть три типа циркуляции – западная (W), восточная (E) и меридиональная (C). Для успешных исследований используют некие периоды существования той или иной циркуляции – годы, сезоны или месяцы. Александром Александровичем Гирсом был доказан тот факт, что ОЦА можно визуализировать как процесс постоянного преобразования ее главных типов, а также, что каждая форма циркуляции сменяется другой. Западная форма чаще всего сменяется восточной и очень редко меридиональной. На смену восточной форме приходит меридиональная, иногда западная. Смешанный тип циркуляции или западный может сменить меридиональную форму циркуляции.

Западная форма циркуляции. Для данного типа циркуляции характерны волны небольшой амплитуды, быстро перемещающийся западно-восточный перенос. Барические образования зонально смещаются с запада на восток, циклоны – в средних и северных широтах, антициклоны – в субтропиках. При атмосферных процессах наблюдаются отрицательные аномалии давления и температуры в полярных широтах, положительные – в субтропических и умеренных.

Меридиональная форма циркуляции. В этой форме циркуляции зафиксированы волны стационарного характера с большой амплитудой. Гребни на высотах располагаются над территорией Западной Европы и Западной Сибири, ложбины – над Европейской частью России. На западной периферии гребня образуется вынос тепла в сторону северных широт, который сталкивается с арктическими воздушными массами. Такое столкновение приводит к большим температурным контрастам – они в свою очередь играют роль в формировании фронтальных разделов. Отметим, что в гребне наблюдаются положительные аномалии давления и температуры, в ложбинах – наоборот.

Восточная форма циркуляции. Этот тип циркуляции схож с меридиональной тем, что в нем точно также преобладают волны с большими

амплитудами, а так же положительные температурные аномалии наблюдаются в гребнях, отрицательные – в ложбинах. Однако, высотный гребень находится над Европейской территорией России, а высотные ложбины располагаются над территориями Западной Сибири и Западной Европы.

Типизация процессов циркуляции атмосферы Б. П. Мультановского. Борис Помпеевич считал, что погодные условия над территорией Европы – это отражение состояния ЦДА, а именно Азорского и Исландского минимума. В качестве предиктора была взята частота и направление вторжений и смещений антициклонов. В процессе исследования были разработаны следующие понятия – естественный синоптический период (ЕСП) и естественный синоптический сезон (ЕСС). Под естественным синоптическим периодом понимается некий интервал времени, в течение которого в определенном синоптическом регионе наблюдается процесс с сохранением знака барического поля. Естественный синоптический сезон – это период времени, в продолжительности которого в определенном районе сохраняется влияние на циркуляцию. Существует несколько закономерностей такой типизации процессов: ритмическая деятельность, макропроцессы и их фазы. Ритмическая деятельность атмосферы отражает повторение циркуляционных систем через некий промежуток времени. Под макропроцессами понимается последовательность развития процессов синоптического характера длительностью в 30-40 дней, которая характеризуется особенностями циркуляционного режима.

1.6. Воздушные массы и их классификация

Воздушная масса – это большой объем воздуха, который имеет горизонтальные и вертикальные размеры. Имеет собственные свойства, такие как температура, влажность, прозрачность и плотность и др. Горизонтальная протяженность воздушной массы измеряется тысячами километров, вертикальная протяженность может достигать нескольких километров. В некоторых случаях масса воздуха может достигать уровня тропопаузы, в других случаях воздушные массы соединяются, как правило, теплая воздушная масса

натекает на холодную. Раздел двух воздушных масс называется линией фронта. В большинстве случаев, сформированная воздушная масса не остается постоянной, а меняет свои свойства, такой процесс называется трансформацией воздушной массы.

Термическая классификация воздушных масс включает в себя три вида:

- а. Теплая воздушная масса – такая масса воздуха, температура которой теплее окружающего воздуха в том регионе, где эта масса находится. Постепенно охлаждается, чтобы достичь теплового равновесия.
- б. Холодная воздушная масса – характеризуется процессом нагрева в конкретном регионе.
- в. Нейтральная (местная) – воздушная масса, которая на протяжении некоторого периода времени сохраняет свои свойства, то есть находится в равновесии с окружающей средой.

Географическая классификация воздушных масс содержит следующие виды:

- а. Арктический воздух – формируется в полярных широтах, имеет низкие значения температуры воздуха, небольшое количество влаги.
- б. Полярный воздух – располагается на территории умеренных широт. Подразделяется на континентальный и морской. В зимнее время континентальный воздух умеренных широт сильно охлажден, содержит небольшое количество влаги, приносит осадки и морозную погоду. В летнее время континентальная ВМ обеспечивает регион безоблачной погодой. Морской воздух формируется в районе океана. В такой воздушной массе содержится много влаги, температура умеренных значений. В летний сезон приносит обильную облачность и похолодание, зимой – потепление.
- в. Тропический воздух – круглогодично формирующаяся в тропических широтах воздушная масса. Летом может формироваться над сушей средних широт. Движение протекает от более низких широт в более высокие. Приносит с собой повышение температуры, вызывая зимой оттепели, а летом жаркую погоду. Если ТВМ сформировалась над

океаном, то для нее характерна большая влажность и температура. При формировании над континентом ТВМ обладает еще более высокими значениями температуры.

- г. Экваториальный воздух – сформировывается в экваториальной зоне, смещаясь в Южное и Северное полушария. Над любой подстилающей поверхностью имеет одинаковые свойства – высокую температуру и влажность.

1.7. Антициклоны и циклоны умеренных широт

Под внетропической циркуляцией, прежде всего, понимается циркуляция в умеренных широтах. Циклоны и антициклоны, формирующиеся в средних широтах считаются наиболее крупными атмосферными вихрями в общей циркуляции атмосферы. Своеобразием циркуляции в этой зоне является преобладание западно-восточного переноса, в результате которого возникают волны Россби. Непрерывно возникают, развиваются, трансформируются, смещаются и разрушаются циклоны и антициклоны.

Циклон – восходящий воздушный поток, с областью пониженного давления, вращающийся против часов стрелки (ветры дуют от периферии к центру).

В средних широтах каждый год возникает около сотни циклонов. Область пониженного давления формируется во фронтальной зоне, где воздух начинает двигаться к центру с низким давлением. В процессе движения происходит столкновение холодного воздуха и теплого, формируются условия для развития фронта. С развитием циклона давление в центре начинает падать, в среднем давление депрессии равно 1000-990 гПа. Самые глубокие циклоны фиксируются в полярных районах (над Беринговым морем иногда давление в циклоне составляет от 961 до 980 гПа). По мере развития циклона растут и скорости ветра в нем, а также занимаемая им территория. Период углубления длится обычно несколько суток. Если область пониженного давления соединяется с другой такой областью, то жизнь такого циклона продолжается и образует

малоподвижную область. Известны примеры таких случаев – это Исландский и Алеутские циклоны.

Циклон имеет четыре стадии развития:

- а. стадия волны;
- б. стадия молодого циклона;
- в. стадия максимального развития;
- г. стадия заполнения.

В стадии волны происходит появление начальных признаков возникновения циклонической системы до первой замкнутой изобары на приземной синоптической карте погоды. Во время этой стадии высотного центра на картах не наблюдается.

Стадия молодого циклона характеризуется процессом углубления циклона, фиксируется более двух изобарических линий.

В стадии максимального развития давление в центре циклона достигает максимальных значений, область пониженного давления перестает смещаться.

При стадии заполнения происходит ослабление циклона за счет повышения давления у земной поверхности.

Циклоны продолжают свою активность в основном на протяжении 5-7 суток, перемещаясь преимущественно с запада на восток. Скорость потока составляет в среднем 30-50 км/ч. С каждой стадией развития скорость перемещения уменьшается, а потом и вовсе становится очень маленькой.

Антициклоны – это нисходящий поток воздуха, характерной чертой которого является зона повышенного давления. Вращение барического образования происходит от центра к периферии (по часовой стрелке в Северном полушарии).

Развитие антициклонов непосредственно связано с наличием циклонов. Процессы, происходящие во фронтальной зоне, являются едиными. Поэтому при возникновении циклона в одном районе, в другом районе зарождается антициклон. Двигается антициклон так же как и циклон, в сторону ведущего потока. Процесс формирования области высокого давления подразделяют на четыре стадии.

1. стадия возникновения;
2. молодой антициклон;
3. антициклон в стадии максимального развития;
4. разрушающийся антициклон.

В первой стадии своего развития антициклон находится в зоне барической ложбины, а именно в ее тылу на высоте. На высотах не фиксируются вихри, характеризующие антициклоническую деятельность.

В стадии молодого антициклона на картах погоды заметны две и более изобар повышенного давления, что свидетельствует об активном развитии антициклона.

В стадии максимального развития антициклон имеет множество сгущенных замкнутых изобар, на высотных картах появляется центр этого барического образования. Прослеживается активная адвекция тепла, в результате чего зона повышенного давления прогревает воздух той территории, над которой проходит этот антициклон.

На последней стадии развития изобары антициклона прослеживаются во всей тропосфере. После максимального прогрева воздуха начинается процесс охлаждения, в результате чего воздух опускается и сжимается. Из-за расходимости потоков воздуха начинается процесс разрушения.

При движении восточного направления антициклоны отклоняются к экватору, а циклоны – к полюсам. Связано это с осевым вращением Земли, которое возрастает с увеличением широты.

В умеренных широтах могут складываться синоптические условия, благодаря которым блокируется западный перенос. Причиной тому может послужить *блокирующий антициклон*. Такой антициклон стационарен и долгое время может не смещаться, он обладает свойством не пропускать воздушные массы, движущиеся в регион. В большинстве случаев антициклон распространяется на всех уровнях атмосферы и его высота достигает примерно 16 км. Средний срок продолжительности существования блокирующего антициклона варьируется от четырех до семи дней. Однако, известны и более

продолжительные случаи – такие как 1972 и 2010 годы, когда антициклон располагался над регионом более 15 суток.

В зимнее время антициклоны, образующие блок чаще всего формируются в восточной части Атлантического и Тихого океанов, то есть в восточных направлениях от теплых течений. В летний сезон чаще всего формирование происходит над континентом.

2. КЛИМАТ И ЕГО ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Одним из наиболее важных параметров, влияющих на сельское хозяйство, промышленность, транспорт, деятельность человека и окружающую среду является климат. Именно поэтому исследованию климата, изменениям его тенденций уделяется серьезное внимание.

Существует несколько определений понятия климата. Если рассматривать определение в широком смысле слова, то можно сказать, что климат – это сочетание всех воздействий на поверхность Земли. В более узком значении под *климатом* подразумевается многолетний режим погоды, а именно режим излучения солнечной радиации, температуры почвы и воздуха для конкретной местности.

Климатическая система – есть ни что иное как совокупность всех имеющихся оболочек планеты – биосферы, гидросферы, атмосферы, криосферы и литосферы. Все составляющие находятся в постоянном обмене веществами между собой. Состояние этой системы отражает глобальный климат. Глобальный климат – состояние всей климатической системы Земли, которая включает в себя атмосферу, поверхность суши и т.д.

Формирование климата происходит благодаря взаимодействию составляющих климатической системы. Своеобразие климатического режима определяется географическими координатами – широтой и долготой, а так же высотой над уровнем моря, циркуляцией атмосферы и подстилающей поверхностью. Как дополнительный фактор в климатической системе может служить рельеф местности, тип растительности, сооружения.

С помощью метеорологических станций, информационных центров погоды, аэропортов получают данные о климате. Учитывается не только температура воздуха и количество осадков, но и такие характеристики как атмосферное давление, влажность воздуха, направление и скорость ветра, метеорологическая дальность видимости, количество часов солнечного сияния и др. Эти данные проходят обработку и публикуются в специальных справочниках и атласах.

Атмосфера Земли находится под множеством воздействий – распределение моря и суши, тип подстилающей поверхности, лучистая энергия и многое другое. Все эти факторы несомненно сказываются на общей циркуляции атмосферы и вносят коррективы в климат того или иного региона. На основе этого выделяют морской, континентальный, муссонный и умеренный климаты.

Морской тип климата формируется в основном под воздействием океанических течений. Отсюда следует, что такой тип климата преобладает над территорией океана, на территорию континента попадает только благодаря западному переносу.

Континентальный климат формируется благодаря континентальным воздушным массам – то есть образуется над территорией континента и побережий океана.

Муссонный тип климата представляет собой смену постоянных ветров по сезонам года. В средних широтах данный тип климата характерен для Дальнего Востока России. Наиболее ярко муссонный климат выражен в Индокитае и Индостане.

Умеренный климат – климат средних широт, характеризующийся умеренно теплым летом и холодной зимой.

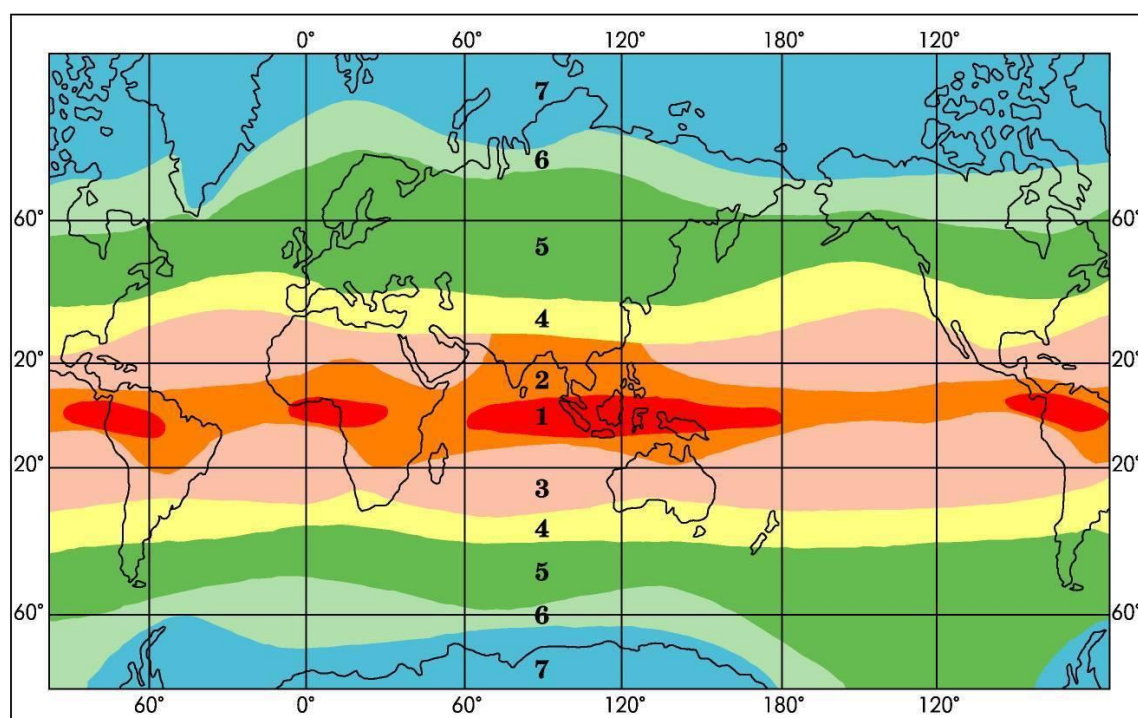
2.1.Классификация климата

В разных точках Земли преобладают свои отличительные черты атмосферных процессов. Для удобства учеными были объединены зоны со схожими климатическими характеристиками. Решением этой задачи занимались Г.Т. Треварт, В. Кёппен, Л.С. Берг, Б.П. Алимов и др.

Классификация Кёппена-Треварта подразделяется на шесть типов климата. Типы климата сортируются по температурному режиму и количеству осадков. На высоте уровня моря при удалении от экватора к полюсам была придумана шкала температур воздуха в порядке убывания – «А, С, D, E, F». Шестой буквой «В» описывался класс по степени увлажнения.

Классификация климатов Л.С. Берга имеет сходство с предыдущей классификацией. Классы подразделяются на ландшафтно-географические зоны. Классификация состоит из двух групп – климат низин: океаны и суши; и климат возвышенностей: нагорий и плато, горные системы и отдельные горы. К климату низин так же относятся климаты следующих ландшафтных зон: климат тундры, умеренной зоны, вечного мороза, тайги, муссонный климат умеренных широт, климат степей, средиземноморский климат и др. К ландшафтным зонам высоких плато относятся высокие степи, тропические плато, пустыни умеренных широт и др.

Классификация климата по Б.П. Алисову (рисунок 2.1) считается самой современной. В 1956 году советский климатолог Борис Алисов выделил климатические зоны и области, основываясь на условиях общей циркуляции атмосферы.



Климатические зоны Земли по Б. П. Алисову: 1 — экваториальная; 2 — субэкваториальная; 3 — тропическая; 4 — субтропическая; 5 — умеренная; 6 — субполярная; 7 — полярная

Рисунок 2.1 – Классификация климата Б.П. Алисова

В качестве фундамента этой классификации взяты типы воздушных масс, их температура содержание влаги и перемещение. Классификация состоит из семи

главных климатических поясов: экваториальный, два тропических, умеренных (в обоих полушариях) и полярных (для Северного полушария – арктический, для Южного – антарктический) и шести переходных: два субэкваториальных, два субтропических, субантарктических и субарктический.

В меридиональном направлении для каждого пояса выделяют материковый климат, климат восточных и западных берегов континента и океанический климат. Климат на берегах континента включает в себя не только сушу, но и прилегающую к региону морскую зону.

Основные пояса отличаются доминированием одной конкретной воздушной массы. В таких поясах располагаются очаги формирования воздушных масс географического типа. В переходных климатических поясах выражена смена воздушных масс от сезона к сезону – летом воздух доносится из низких широт, зимой – из высоких.

В субтропическом, тропическом и умеренном поясах имеются два типа климата – материковый и океанический. Они характеризуются свойствами той или иной подстилающей поверхности. Также выделяются климаты на берегу западного и восточного побережья в силу неравномерных условий атмосферной циркуляции.

Экваториальный пояс характеризуется преобладанием в нем экваториального воздуха, который появляется в результате переноса тропического воздуха пассатами. В этом поясе развивается термическая конвекция благодаря пониженному атмосферному давлению и неустойчивым слабым ветрам. Разница между материковым и океаническим типом климата практически нет. В горных районах экваториального климата температура ниже и количество осадков меньше, так как с высотой уменьшается влагосодержание. Среднемесячная температура равна 24-28°C.

В субэкваториальных поясах наблюдаются перемены воздушных масс – летом преобладают экваториальные, зимой господствуют тропические. Муссоны приносят в летний период экваториальный воздух, а в зимнее время года – тропический. Материковый тип климата выражается сухой зимой, влажным летом и жаркой засушливой весной. Отклоняясь от экватора в сторону

более высоких широт, количество осадков уменьшается. Температура в самом теплом месяце варьируется в районе 24-32°C. На территории гор значения температуры уменьшаются с высотой. Океанический тип прослеживается на территории всех океанов, расположенных в Северном полушарии, а в Южном – только над западной территорией Тихого океана и Индийского. В отличие от материкового типа в океаническом преобладает высокая влажность и менее высокая температура.

В тропических поясах круглогодично формируется тропический воздух. Воздушная масса, сформированная в тропиках, имеет меньшую долю водяного пара в отличие от воздушной массы, расположенной над экватором. Тропический климат над материком характерен для пустынь. Сухой и жаркий воздух с суточными амплитудами температур до 40°C. В летние месяцы среднесуточная температура воздуха составляет 32°C. Над океанами климат имеет сходство с экваториальным, суточные колебания температуры невелики, большая влажность воздуха. На западных побережьях (такие пустыни как Западная Сахара, Намиб, Атакама, Калифорнийская) климат очень уникален. Летом наблюдается относительно низкая температура воздуха – в пределах 20°C, а зимой – 16 °C. Холодные течения и воздух, поступающие с восточных частей субтропических максимумов, усиливают инверсию и не способствуют развитию конвекции. На территории восточных побережий фиксируется более высокая температура воздуха и обильное количество осадков, что достигается путем пассатной инверсии и конвекции.

Субтропический пояс характеризуется в летнее время тропическим воздухом, в зимнее – воздухом умеренных широт. Материковый тип климата проявляется сухим и жарким летом (температура воздуха больше 30°C). В зимнее время сравнительно холодная и неустойчивая погода, выражены резкие перепады температур и осадки в виде снега, однако, постоянный снежный покров не образуется. В океаническом типе климата годовой ход температуры равномерный, среднемесячная температура составляет 20°C. На восточных побережьях преобладает муссонная циркуляция. Зима преимущественно сухая и

холодная, а лето жаркое и влажное. На западном побережье – теплое, сухое лето и относительно дождливая зима.

В умеренных поясах доминирует воздух умеренных широт. Климат в средних широтах характеризуется малым притоком солнечной радиации в сравнении с тропическим и экваториальными поясами. Активно развивающаяся циклоническая деятельность в этих широтах обеспечивает меридиональный перенос воздуха. Материковый тип климата относится к Северному полушарию. Холодные зимы с устойчивым снежным покровом, значения температур ниже -30°C . Летние месяцы теплые, иногда могут быть аномально жаркими. Океанический тип климата присущ Южному полушарию. Радиационный баланс над территорией океанов больше в 1-1,2 раза, чем на материках. В зимний период над океанами теплее, а летом прохладнее. В течение всех сезонов преобладает циклоническая деятельность. Умеренный климат западных побережий зарождается под действием западно-восточного переноса. Отличается нежарким летом и теплой зимой. На восточном побережье летом воздух перемещается с океана на материк, зимой – наоборот. Для такого типа климата характерна дождливое лето и сухая, холодная зима.

Субарктический (субантарктический) пояс – это область, в которой происходит смена воздуха умеренных широт на воздух арктического (антарктического) происхождения. Материковый тип климата присущ только Северному полушарию. Ветры в летнее время года северных направлений, зимой – южных. Отличается коротким летним периодом и высокими амплитудами температур в течение года. В океаническом типе климата, который в особенности выражен на территории Южного полушария, преобладает циклоническая деятельность в течение всего года. Значения температур в летний и зимний период практически одинаковы.

Арктический (антарктический) пояс обусловлен формированием в нем арктического (антарктического) воздуха. Снежный покров остается постоянным на протяжении всего года. Радиационный баланс очень мал из-за большой отражательной способности снега. Характерно преобладание антициклонической деятельности. Океанический полярный климат

располагается в северных районах, формируется над океаном, покрытым льдом. Материковый тип климата ярко выражен в Южном полушарии. Холодная зима и лето с отрицательными температурами.

2.2. Современное изменение климата

Всем известно, что климат не остается постоянным, а меняется с течением времени. Вместе с климатом меняются и определяющие его факторы: температура, количество солнечной радиации, количество атмосферных осадков, влажность, ветер и др. На изменение климата может влиять следующее: изменение солнечного излучения и, как следствие, изменение количества притока солнечной радиации; изменения в составе атмосферы, а именно концентрации метана и оксидов углерода; антропогенное воздействие и др.

Ярким примером изменения климата за последний век является глобальное потепление. Исследования показывают, что за последние сто лет температура воздуха повышается на всех континентах планеты, особые изменения фиксируются на высоких широтах в районе полюсов. По последним данным динамика оценивается в прибавке, равной $0,6^{\circ}\text{C}$ (по другим данным $0,89^{\circ}\text{C}$). Глобальное потепление связывают непосредственно с человеческим фактором, а именно повышение температуры воздуха за счет повышения концентрации парниковых газов (большая доля приходится на диоксид углерода). Средние температуры в арктическом поясе повышаются вдвое быстрее, чем на остальных частях планеты. С повышением температуры в полярных широтах происходит таяние ледников, вследствие чего повышается уровень воды в Мировом океане. Исследования с 1961 года показывают, что площадь ледяного покрова в Северном Ледовитом океане сократилась более чем на 10%, а на территории Баренцева моря – на 30%. Изменения в количестве атмосферных осадков за последние сто лет распределены неравномерно. На континентах чаще всего фиксируется их повышение. На территории Черноморского побережья и берегов Средиземного моря отмечаются аномалии осадков. Уменьшение осадков происходит за счет смещения циклонических систем в более северные широты.

В большей части тропической зоны, количество атмосферных осадков остается практически неизменным. Климатологами прогнозируется рост температуры и рост осадков в умеренных широтах Евразии и Северной Америки.

2.3. Климат Европейской территории России

Европейская часть России (рисунок 2.2) располагается в умеренном климатическом поясе, исключение составляет узкая полоса тундры, которая относится в зимний период к субарктической зоне и в летнее время – к арктической.

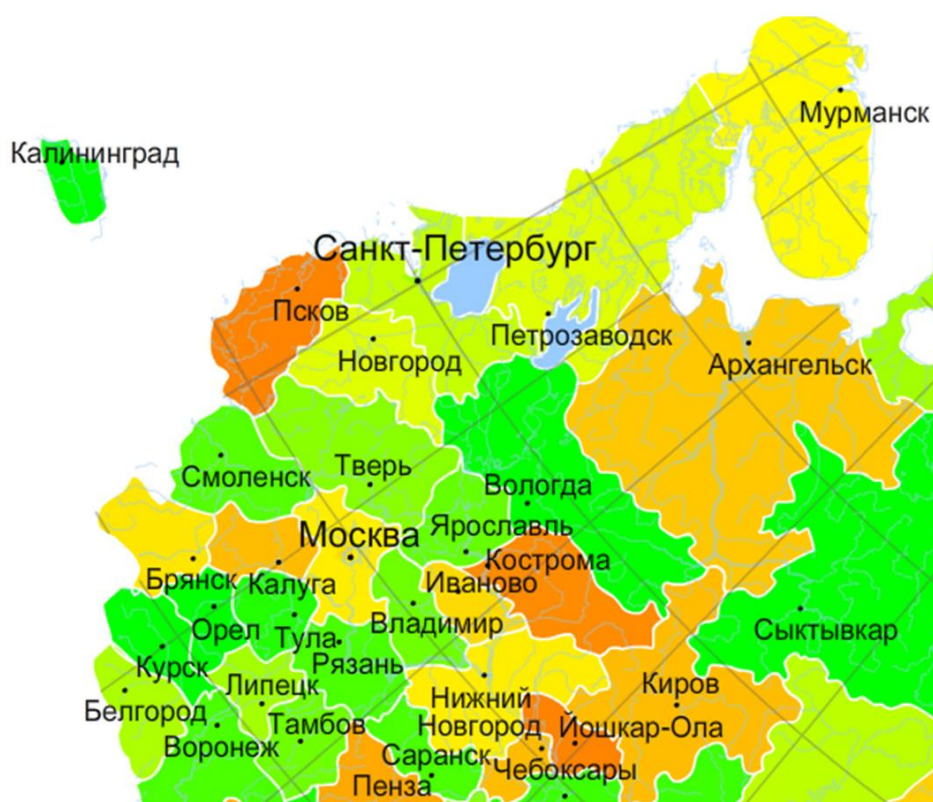


Рисунок 2.2 – Европейская территория России

Одна из главных особенностей климата ЕТР – непрерывное влияние Атлантики на климат региона. За счет Атлантического влияния повышается температура в зимние месяца преимущественно в западной части территории, также увеличивается влажность воздуха. Усиливается развитие циклонической деятельности, что приводит к выпадению атмосферных осадков на значительной части территории.

Циклоническую деятельность можно разделить на три группы – западные, южные и «ныряющие» циклоны. Циклоны, приходящие с запада, в летнее время года обеспечивают относительно холодную погоду с осадками. В зимний период – относительно теплая погода с дождями и снегопадами. Южные циклоны, доносящиеся с берегов Средиземного моря характеризуются большими контрастами температур, и как следствие, большим количеством осадков. «Ныряющие» циклоны движутся с северо-запада на юго-восток, то есть от Скандинавского полуострова в сторону Каспийского моря. Возникают такие циклоны, когда холодный воздух, образовавшийся над Гренландией попадает на поверхность теплого океана. Для «ныряющего» циклона характерны сильные потоки ветра, осадки, в том числе могут образовываться низовые метели.

Далее подробно будут рассмотрены климаты субъектов, располагающихся на северо-западе ЕТР.

Климат Республики Карелия. По классификации климатических поясов Б.П. Алисова, территория Карелии попадает в атлантико-арктическую зону умеренного пояса. Преобладают арктические и атлантические воздушные массы, приносящие в регион циклоническую деятельность. В холодное полугодие циклонический характер погоды усиливается, а в теплое – ослабевает. Циклоны над регионом господствуют практически на протяжении всего года, чем обеспечивают неустойчивую погоду. Область пониженного давления приходит в регион с запада, северо-запада и юго-запада. В зимнее время года циклоны проходят севернее территории Кольского полуострова, вследствие чего, в республике преобладают ветры южных и юго-западных направлений. В летнее время за счет тыловой части циклона арктического фронта и в гребнях антициклона арктический воздух хорошо прогревает сушу. Антициклоны в весенне-летний период в основном приходят с запада, а в осенне-зимний – с северо-запада. В зимнее и летнее время область повышенного давления может перемещаться над регионом с северо-востока. По данным метеорологической станции в городе Петрозаводск – антициклоны образуются над регионом чаще зимой и летом, а осенью и весной их количество примерно одинаково. Грозы и

ливни в летний период в регионе связаны с прохождением холодных и вторичных холодных фронтов.

Климат Вологодской области. Вологодская область характеризуется относительно теплым и коротким летом, продолжительной и холодной зимой с устойчивым снежным покровом. Располагается область в умеренно-континентальном климате. Теплый морской воздух, вторгающийся с Атлантическими циклонами создают неустойчивый характер погоды. В зимнее время года такие вторжения сопровождаются сильными снегопадами и сравнительным потеплением, а летом – похолоданием. Довольно часто снег может переходить в дождь и таким образом, образовываться гололед. В результате преобладания в регионе морского воздуха это сказывается на понижении летних температур и повышении зимних. Как и во всем Северном полушарии самым холодным месяцем является январь, самым теплым – июль. Западные циклоны в весеннее время года приносят умеренно теплую погоду с осадками. Южные циклоны, поступающие со Средиземного и Черных морей приносят в регион теплую погоду. В Вологодской области в течение всего года преобладают ветры западных направлений.

Климат Новгородской области формирует западно-восточный перенос, в частности преобладание циклонической деятельности. Через территорию области перемещаются воздушные массы, сформированные в разных регионах, в силу этого они имеют разные свойства. Только в июле антициклоническая деятельность преобладает над циклонической. Область пониженного давления в регион поступает с западных районов, в зимнее время возможно вторжение с северо-запада, а в другие оставшиеся сезоны – с юго-запада. В течение лета отмечается частое прохождение атмосферных фронтов, в особенности холодного. Прохождение фронтов сопровождается выпадением обложных осадков в зимнее полугодие и фронтальных в летнее. К атмосферным осадкам в летнее время года может присоединиться шквалистый ветер и грозы. Перемещение антициклонов над регионом происходит преимущественно в западном, юго-западном направлениях. Регион обладает чертами морского климата (за счет поступления воздушных масс Арктического происхождения).

На протяжении всего года наблюдается смена воздушных масс континентального, морского и арктического происхождения, что сказывается на колеблющимся характере погоды.

Климат Псковской области. Псковская область расположена на границе зон климата – континентального и морского, что обуславливает неустойчивый тип погоды. Черты морского климата проявляются в сравнительно мягкой зиме, теплом и влажном лете. На территории данного региона, как и в большинстве субъектов северо-запада России, господствует большую часть года циклонический тип погоды. В зимнее время, начиная с ноября месяца формируется снежный покров и остается постоянным до апреля.

Климат Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга. Для данных территорий присуща высокая повторяемость появления воздушных масс Арктического происхождения. Погода в основном определяется областью пониженного давления, только в мае и июле антициклоны могут занять ведущую позицию в формировании погодных условий. Циклоны, как правило, поступают в регион с западных районов. В зимнее время атмосферные процессы, связанные с циклонами набирают обороты, в летнее время их активность уменьшается. Около 80% выпадающих осадков на территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга имеют фронтальное происхождение и лишь оставшиеся 20% выпадают из отдельных воздушных масс. В силу того, что регион находится в морском климате, зимний минимум и летний максимум по температуре воздуха смещен с января на февраль и с июля на август соответственно.

3. АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ДНЕЙ С АНОМАЛЬНО ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА ЗА ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

3.1. Постановка цели и задачи

В последние десятилетия в летний сезон наблюдаются аномально высокие температуры, превышающие значения ранее наблюдавшихся теплых сезонов. Исследование синоптических условий, формирующих такие высокие температуры, и атмосферно-циркуляционных процессов, сопутствующих их становлению является задачей несомненно актуальной и практически значимой.

Целью бакалаврского проекта является анализ синоптических условий формирования аномально высоких температур на северо-западе ЕТР в летний сезон.

Для выполнения поставленной цели следует решить следующие задачи:

1. Выбрать станции на северо-западе ЕТР с длительным рядом наблюдений, которые равномерно покрывали исследуемую территорию. Собрать архив данных по среднесуточной температуре в выбранных пунктах за период с 1 мая 1961 года по 30 сентября 2020 года.
2. Выявить границы для аномально высоких значений температуры.
3. Выделить и проанализировать дни с аномально высокими среднесуточными температурами воздуха на северо-западе России в выделенных пунктах. Дать оценку повторяемости дней за длительной период.
4. Проанализировать синоптические условия формирования дней с аномально жаркой погодой на значительной части выбранной территории. Для этого сопоставить высотные и приземные синоптические карты со случаями аномально жарких дней, наблюдавшихся на трех станциях и более.

Для равномерного покрытия территории были выбраны следующие станции, имеющие длительный ряд наблюдений: Выборг (Ленинградская

область), Великие Луки (Псковская область), Вытерга (Вологодская область), Петрозаводск (Республика Карелия), Псков (Псковская область), Санкт-Петербург, Сортавала (Республика Карелия), Старая Русса (Новгородская область), Тихвин (Ленинградская область). Перечисленные станции представлены на рисунке 3.1.

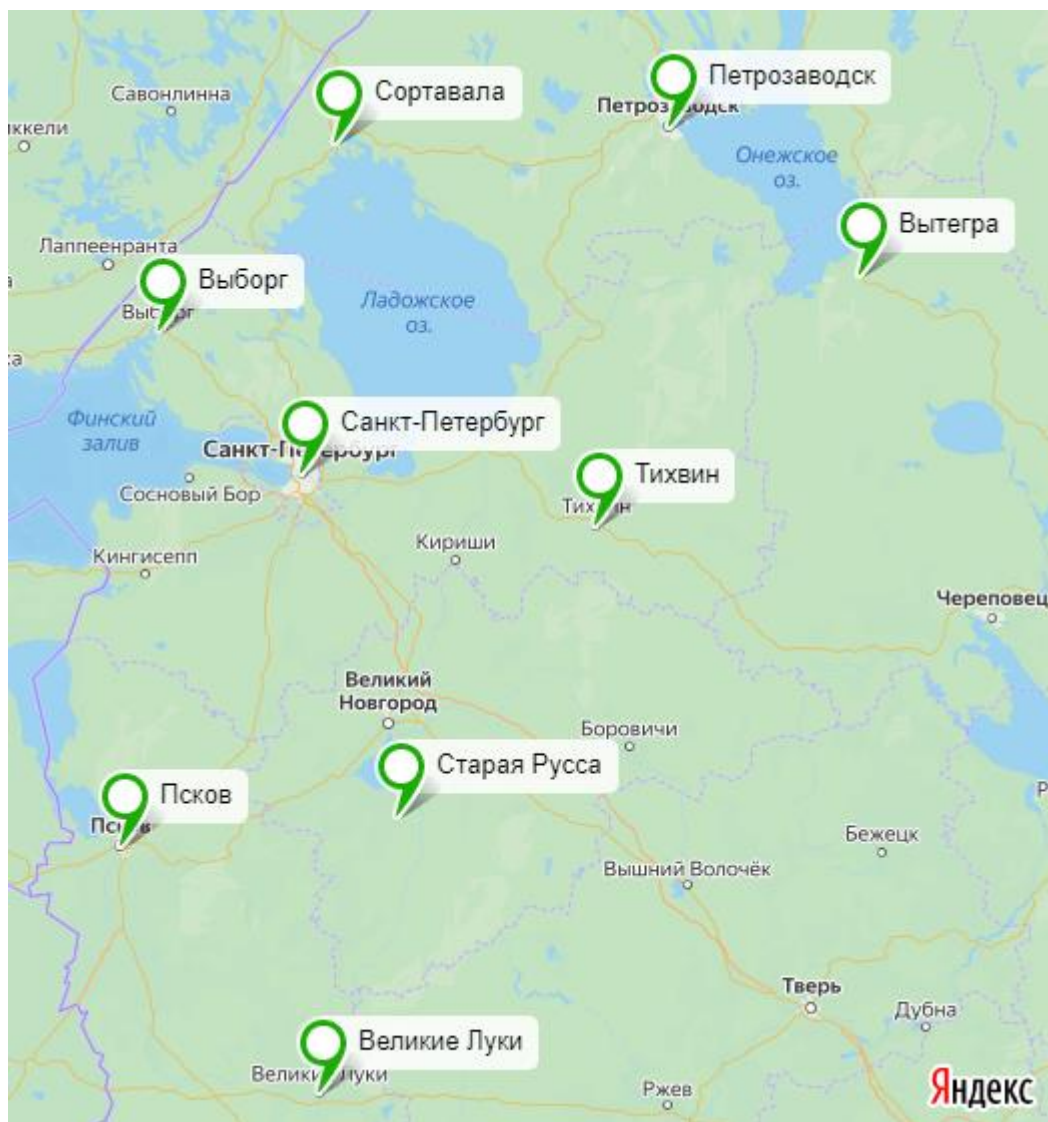


Рисунок 3.1 – Карта исследуемых территорий на северо-западе ЕТР

В бакалаврской работе рассматривается климатический летний сезон с мая по сентябрь, границы которого основаны на датах перехода температуры воздуха через 15°C . Эти переходы наблюдаются в мае (начало лета) и в сентябре (окончание).

Архив данных был получен из базы данных ВНИИГМИ-МЦД (Мировой центр данных в городе Обнинск). Выявленные синоптические

условия формирования жаркой погоды на северо-западе Европейской территории России могут использоваться как неблагоприятный фон при использовании прогностических оперативных моделей погоды.

3.2. Анализ повторяемости дней с аномально высокими температурами воздуха на северо-западе ЕТР

В ходе работы были получены границы квартильных градаций по температуре воздуха для анализируемой области. Границы рассчитывались отдельно по каждому месяцу для каждой исследуемой станции. Архив данных был поделен на два периода по 30 лет – с 1 мая 1961 года по 30 сентября 1990 года и с 1 мая 1991 года по 30 сентября 2020 года. Для вычисления градаций были использованы минимальные и максимальные значения температуры каждого месяца и среднее значение температуры за 30 лет.

В результате расчетов выявлены значения температур воздуха, соответствующих таким градациям как: «ниже среднего», «значительно ниже среднего», «выше среднего» и «значительно выше среднего». Так, например, для Санкт-Петербурга для мая месяца за первые 30 лет границей «ниже среднего» стала температура, равная $7,9^{\circ}\text{C}$ и ниже, но не переходящая значение $2,6^{\circ}\text{C}$, которое является началом отсчета градации «значительно ниже среднего». Градация «выше среднего» начинается с температуры воздуха, равной $13,5^{\circ}\text{C}$, «значительно выше среднего» - с $19,6^{\circ}\text{C}$.

Для более детального исследования бакалаврской работы была рассчитана повторяемость случаев с аномально высокой температурой на северо-западе России. При расчетах учитывались дни, в которые высокие температуры наблюдались на трех станциях и более. Полученные результаты представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Повторяемость случаев со среднесуточной температурой воздуха «значительно выше среднего» для каждого месяца на трех станциях и более

Период	Месяц	Количество случаев
1961-1990	Май	14
	Июнь	14
	Июль	24
	Август	17
	Сентябрь	4
1991-2020	Май	7
	Июнь	17
	Июль	22
	Август	8
	Сентябрь	8

Для наглядности был построен график повторяемости случаев за два периода, который представлен на рисунке 3.2.

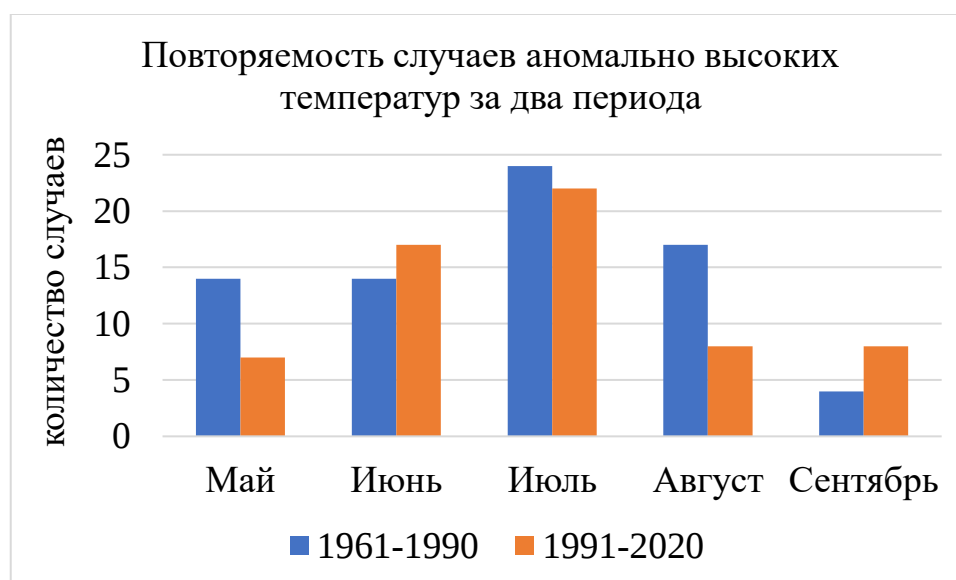


Рисунок 3.2 – Сравнительная оценка двух периодов со случаями высоких аномальных температур по региону исследования

Анализируя график, можно отметить, что количество случаев с высокими температурами воздуха в мае, июле и августе наблюдались в период с 1961 по 1990 год, а в июне и сентябре с 1991 по 2020 год. Однако, проведя анализ по длительным случаям и значениями температур воздуха, было установлено, что во второй период увеличилась продолжительность аномально жаркой погоды, а также увеличилась средняя температура воздуха в эти дни.

Также для каждой выбранной станции на территории северо-запада России, было посчитано общее количество дней с аномально высокими температурами, включая групповые и индивидуальные случаи. Результаты расчетов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – повторяемость дней со среднесуточной температурой воздуха «значительно выше среднего» для каждой выбранной станции в регионе исследования за первый и второй периоды

Название станции	Количество дней «ЗВС» (1961-1990)	Количество дней «ЗВС» (1991-2020)
Великие Луки	176	177
Выборг	120	149
Вытерга	103	81
Петрозаводск	80	68
Псков	177	150
С-Пб	130	131
Сортавала	93	110
Старая Русса	169	144
Тихвин	98	53

В результате анализа повторяемости количества дней с аномально высокими температурами на северо-западе ЕТР можно сделать вывод о том, что на большей части территории наблюдается уменьшение количества аномально

жарких дней. Для более точного анализа была построена гистограмма (рисунок 3.3).

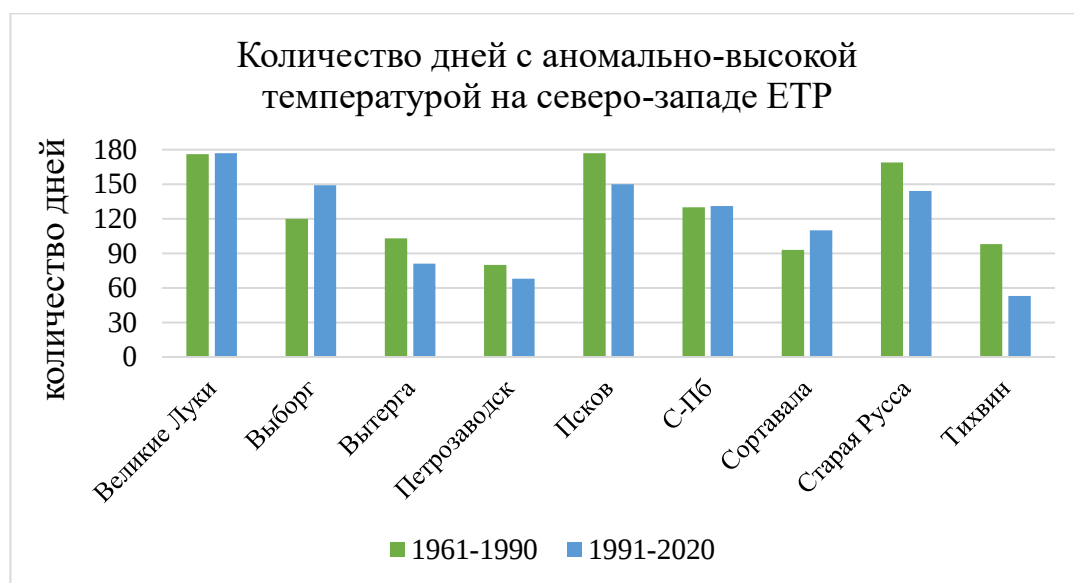


Рисунок 3.3 – Сравнительная оценка количества дней на исследуемых станциях

Следует отметить, что фиксируется неравномерная тенденция по территории региона исследования. В Выборге и Сортавале происходит увеличение количества жарких дней. Возможно это связано с особенностями циркуляции атмосферы, что необходимо в дальнейшем более детально исследовать.

В ходе работы была освоена программа ГИС MapInfo. В результате работы с которой, были построены карты пространственного распределения изменения повторяемости аномально высоких температур (рисунок 3.4). Анализируя карту можно заключить, что больше всего рост повторяемости случаев аномально жарких дней затрагивает западную часть территории, а уменьшение повторяемости наблюдается на восточной части.

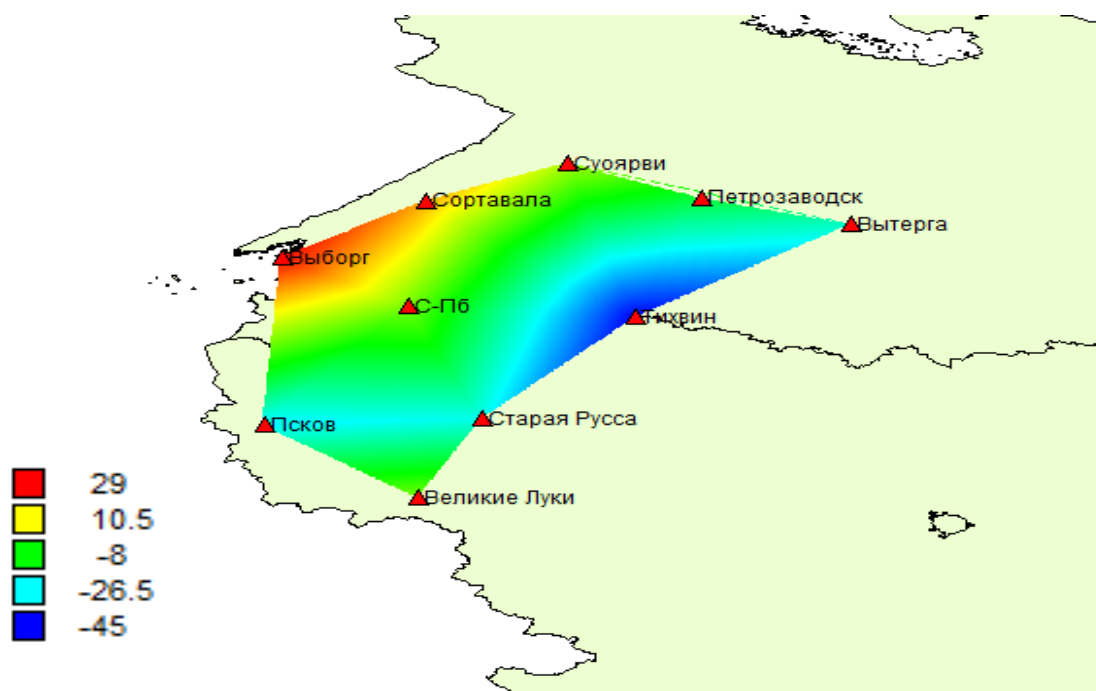


Рисунок 3.4 – Пространственное распределение изменения повторяемости аномально высоких температур воздуха

3.3. Анализ синоптической ситуации для дней с аномально высокой температурой воздуха за летний период на северо-западе России

На данном этапе работы были проанализированы синоптические ситуации для дней летнего климатического периода, среднесуточные температуры которых оказались в градации «значительно выше среднего». Для каждой выбранной станции в каждом месяце было рассчитано значение температуры воздуха, с которого начинается аномалия.

В ходе работы дни с аномально высокими температурами были разделены на две группы. Первая группа включает в себя даты, когда аномалия была зафиксирована на трех станциях и более. Вторая группа содержит в себе индивидуальные случаи. В бакалаврском проекте особое внимание акцентировалось на первой группе.

Летний период включает в себя следующие месяцы: май, июнь, июль, август и сентябрь. Для удобства разделим зафиксированные случаи на три группы, в первой группе проанализируем дни в мае, во второй – в июне, июле и августе, в третьей – в сентябре.

Май. За исследуемый период был выявлен 21 случай с аномально высокими температурами воздуха на северо-западе ЕТР. В научно-исследовательской работе продемонстрированы характерные ситуации.

18 мая 1979 года аномальные температуры наблюдались на всех исследуемых станциях. Проанализируем синоптическую ситуацию используя синоптические карты, представленные на рисунке 3.5.

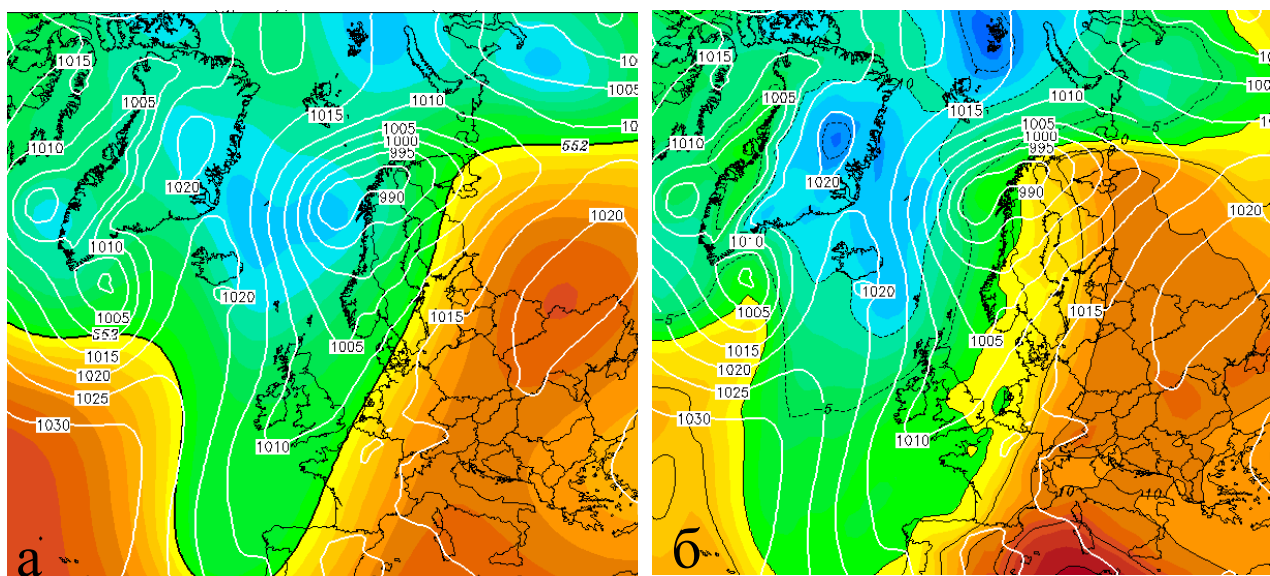


Рисунок 3.5 – Синоптические карты АТ-500 (а) и АТ-850 (б), 18 мая 1979 год, 12 UTC

Погода в регионе исследования определялась – на юге области: северной периферией антициклона с центром над Центральной Россией, на большей части территории: южной частью циклона с центром над Кольским полуостровом. Также заметно, что на высоте 5 км центр антициклона совпадал с приземным (рисунок 3.5, а). Анализируя карту барической топографии, то есть совмещенную приземную карту и карту АТ850 (рисунок 3.5, б) можно сделать вывод о том, что на северо-западе России преобладали южные потоки. Область исследования находилась в зоне между антициклоном и циклоном, наблюдались достаточно высокие градиенты давления. В дополнение следует отметить, что большая часть территории находилась в теплом секторе циклона и это подтверждает карта АТ850 (рисунок 3.5, б), на которой присутствует гребень тепла, направленный в сторону Белого моря. В этом гребне находился теплый воздух, который продвигался в центральную часть циклона с юга Европы и

районов Черного моря. Жаркая воздушная масса, которая сформировалась в малоградиентном поле антициклона начала продвигаться к центральной части циклона. Таким образом наш регион исследования оказывался в зоне аномально высоких температур.

В качестве примера тех случаев, когда в мае месяце аномальные температуры наблюдались на небольшом количестве станций, таких как Псков, Старая Русса и Тихвин, мы приводим ситуацию *18 мая 1983 года*. В данном случае область исследования находилась в малоградиентном поле (рисунок 3.6, а). Анализируя карту АТ850 (рисунок 3.6, б), можно обнаружить очаг тепла, располагавшийся южнее рассматриваемого региона. Чтобы лучше разобраться ситуацию, рассмотрим поле ветра (рисунок 3.7).

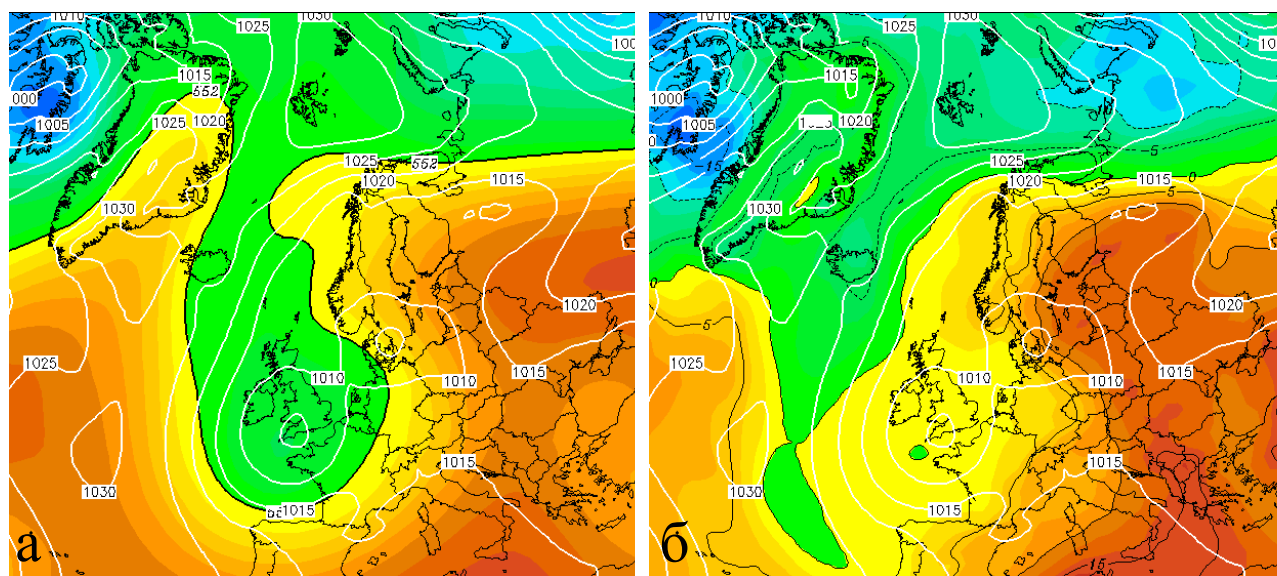


Рисунок 3.6 – Синоптические карты АТ-500 (а) и АТ-850 (б), 18 мая 1983 год, 12 UTC

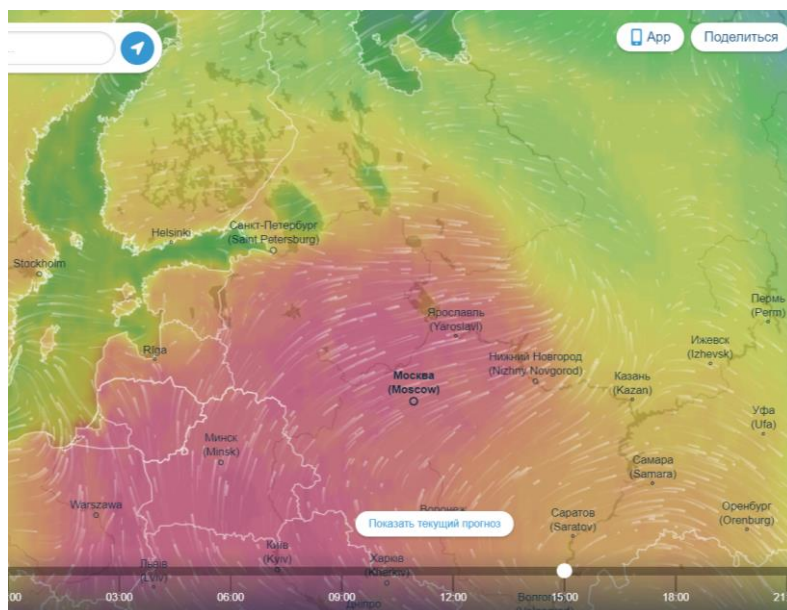


Рисунок 3.7 – Поле ветра реанализа EMCWF, 18 мая 1983 год, 12 UTC

Тепло в регион доносилось южными потоками, однако, доходя до Санкт-Петербурга, потоки сменялись на западные. Таким образом, лишь часть территории получало то тепло, которое создавало аномально высокие температуры на незначительной части северо-запада России. Над восточной частью территории исследования отмечается очаг холода, связанный с малоградиентным гребнем арктического антициклона, центральная часть которого располагается над Баренцевым морем.

Рассмотрим случае в мае 2007 года. В период с 28 по 31 мая 2007 года территория северо-запада России находилась на западной периферии антициклона с центром над Поволжьем. Для подробного анализа рассмотрим ситуацию 29 мая. На карте абсолютной топографии (рисунок 3.8, а) заметно, что высотный центр совпадал с приземным. Используя высотную барическую карту (рисунок 3.8, б) заметно, что очаг тепла также находился на западной периферии антициклона.

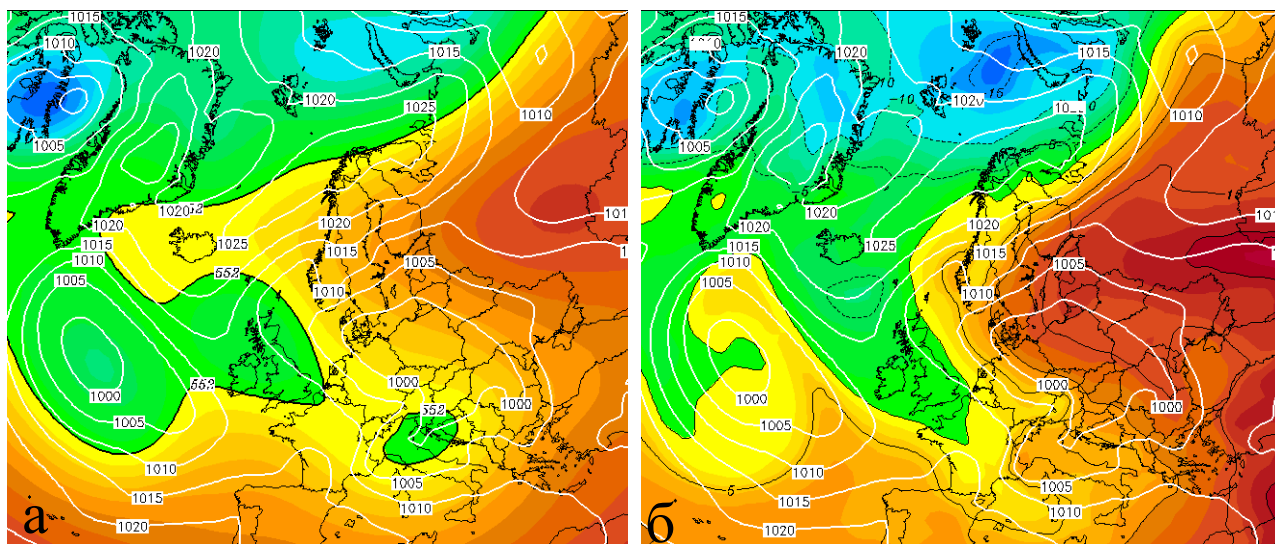


Рисунок 3.8 – Карта AT500 (а) и карта AT850 (б), 29 мая 2007 года, 12 UTC

Однако, за счет поворота ветра, который прослеживается на рисунке 3.9, в районе Санкт-Петербурга, Ладожского и Онежского озера, тепло не дошло до более северных городов, таких как Вытерга, Петрозаводск и Сортавала. Поворот ветра связан с тем, что над Арктическим побережьем и большей частью Северной Атлантики образовался Арктический антициклон с двумя центрами. Ветер на южной периферии данного антициклона имеет северо-восточное направление, а движение по западной периферии антициклона, северо-западная часть которого попадает на юг исследуемой территории, происходит с юго-востока. За счет столкновения двух потоков воздуха наблюдается смена потоков. На приземной карте (рисунок 3.10) изображена нестандартная ситуация: в поле высокого давления проходит фронт – это объясняется сходимостью потоков южного и северо-восточного направления двух антициклонов. То есть фронт не формальный, который часто проводится в зоне высокого давления, где меняется знак, а настоящий, только размытый (без значительных контрастов температуры воздуха, но с наличием фронтальной облачности).

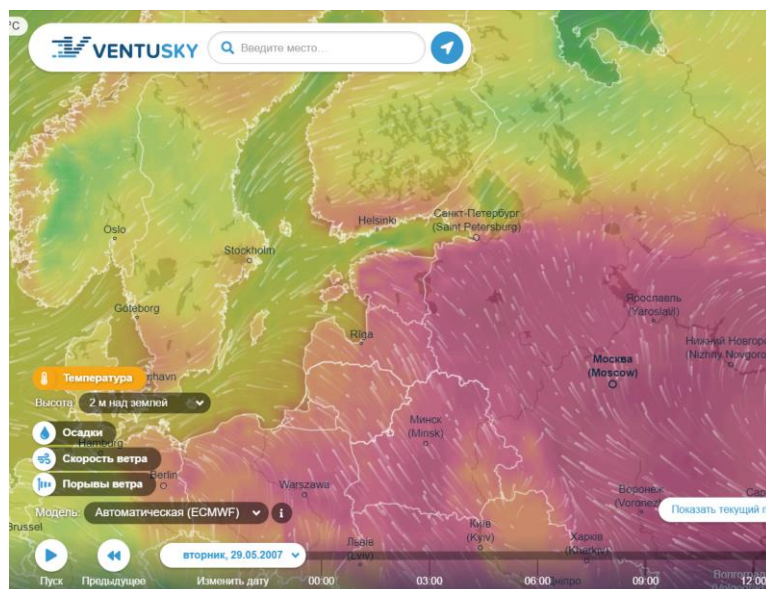


Рисунок 3.9 - Поле ветра реанализа
EMCWF, 29 мая 2007 год, 12 UTC

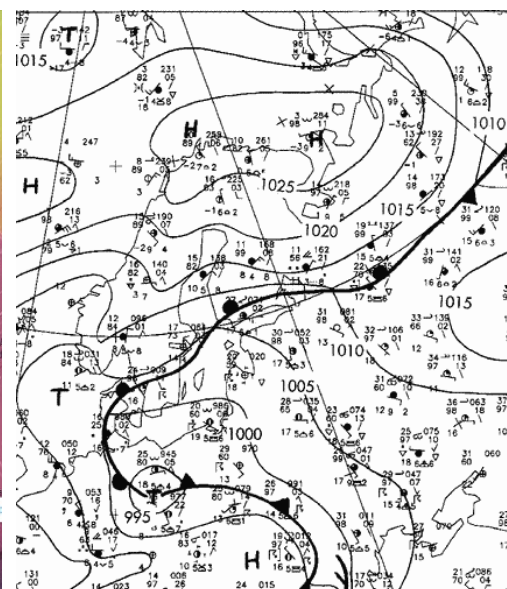


Рисунок 3.10 – Приземная
карта, 29 мая 2007 год, 12 UTC

Наибольший интерес проявляет к себе синоптическая ситуация в период с 19 по 21 мая 2014 года. Над территорией исследования господствовал Азорский антициклон (рисунок 3.11, а), гребень которого начал оказывать свое влияние на погоду северо-запада ЕТР еще 15 мая. В последующие дни в этом гребне сформировалось отдельное антициклоническое ядро, за счет которого воздушная масса при поддержке тропического тепла, потоки которого видны на карте АТ850 (рисунок 3.11, б), прогревала воздух региона исследования до аномально высоких температур.

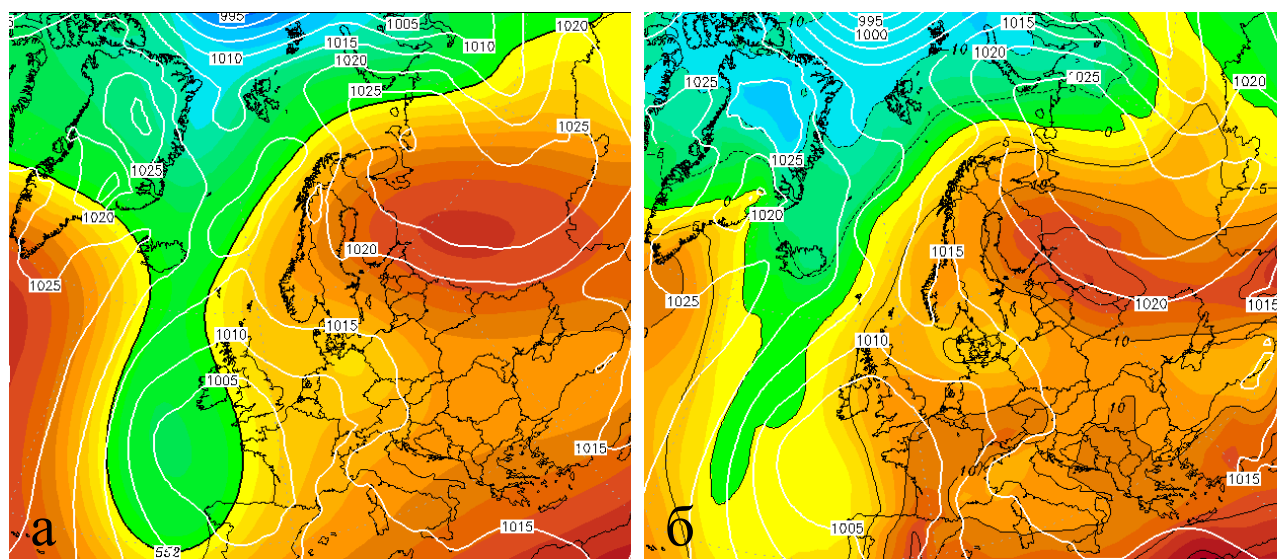


Рисунок 3.11 – Карта АТ500 (а) и карта АТ850 (б), 19 мая 2014 года, 12 UTC

Используя приземную карту, представленную на рисунке 3.12, можно сказать, что теплый сектор циклона на фоне западной периферии антициклона дал возможность прогреться воздуху в городе Санкт-Петербург до 33°C, что стало абсолютным максимумом месяца.

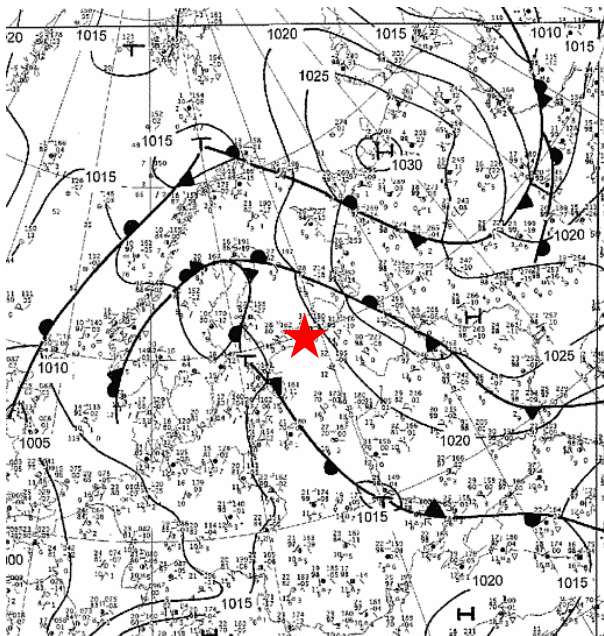


Рисунок 3.12 – Приземная карта погоды, 19 мая 2014 год, 12 UTC

В результате анализа майских случаев аномально высоких температур воздуха на северо-западе ЕТР можно сделать следующий вывод. Наиболее характерная ситуация связана с малоградиентным полем. При этом высотная фронтальная зона Полярного фронта проходит над Кольским полуостровом, на юге от нее располагается западная часть региона. В случае, когда к аномальному теплу приводит продвижение теплого сектора арктического циклона, ВФЗ на высотах сопутствует южной части приземного циклона и очаг тепла, связанный с теплым сектором формируется не только у земли. Но и на высотах до высоты 5 км. В мае месяце наблюдаются дни с аномально высокими значениями температуры воздуха, которые формируются вторжением на континент гребня Азорского антициклона. Вторжение на ЕТР Азорского антициклона по климатическим данными, характерно началу летнего сезона.

Лето. Исходя из данных таблицы 3.1, представленной ранее, за все летние месяца зафиксировано 102 случая аномально высоких температур. В этом пункте будут представлены наиболее интересные синоптические ситуации,

наблюдавшиеся за три месяца – июнь, июль и август. А также описаны редкие и нетривиальные случаи жаркой погоды.

Летние месяцы имеют общие характерные ситуации, поэтому в бакалаврской работе не рассматриваются отдельно установление аномально высоких температур воздуха за июнь, июль и август, а описывается весь летний сезон в целом. Отдельно в нашей работе будет исследован термический режим аномально высоких температур воздуха в 2021 году, так как этот год не входит в два анализируемых временных периода, но синоптическая ситуация в этот год была схожей с 1972 и 2010 годами.

Первым ярким примером является аномально жаркое лето 1972 года. Рассмотрим синоптическую ситуацию, наблюдавшуюся на территории северо-запада России в период с *25 по 30 июня 1972 года*. В эти дни аномально высокие температуры зафиксированы на всех исследуемых станциях. На карте абсолютной топографии (рисунок 3.13, а) наблюдается объединение Арктического и Азорского антициклонов за счет гребня, располагавшегося над Испанией. Александр Иванович Угрюмов считал, что в таких случаях вливание холодного контрастного воздуха в Азорский антициклон позволяет ему распространиться и стационаривать. На высотах также прослеживается объединение двух областей повышенного давления. По границам высотной фронтальной зоны мы можем определить формирование Омега-блокирования над территорией континента. Такой процесс является благоприятным фактором для блокирования антициклона над регионом исследования. Практически над всем континентом, за исключением востока Европы, наблюдается малоградиентное поле. В зонах антициклона формируются теплые воздушные массы, которые прогреваются и формируют аномально высокие температуры. На карте АТ850 (рисунок 3.13, б) в районе северо-запада России и даже над Балтикой наблюдается формирование очага тепла. Вторая воздушная масса формируется в зоне Азорского антициклона.

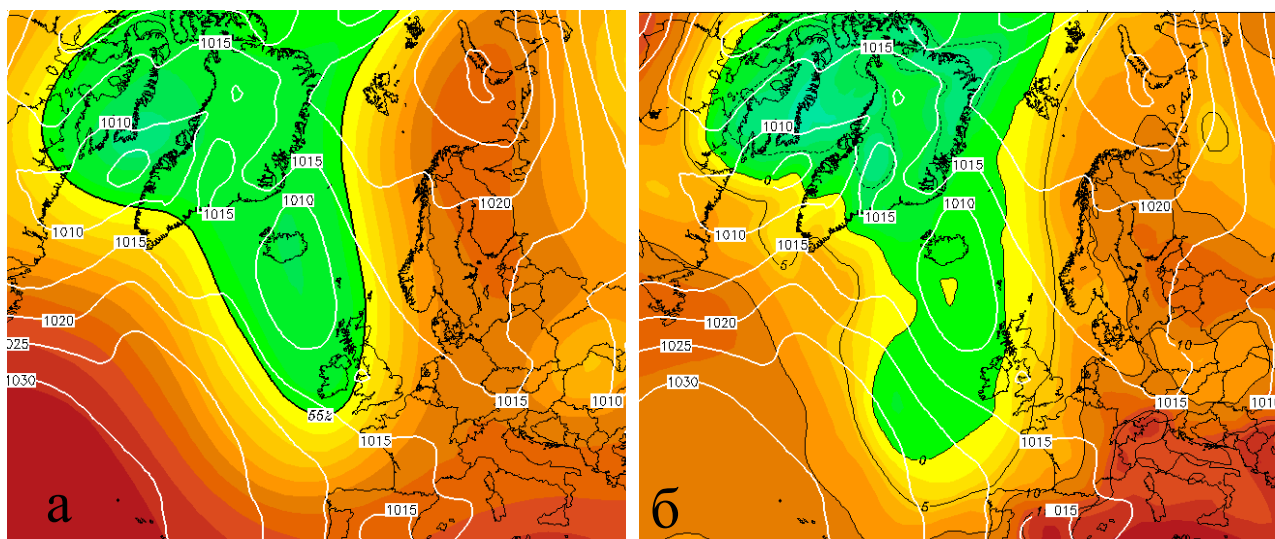


Рисунок 3.13 – Карта абсолютной топографии AT500 (а) и карта барической топографии AT850 (б)

Лето 1972 года считается одним из аномально жарких за последние 100 лет. Годы, в которых было зафиксировано множество случаев аномально высоких температур, чаще всего были связаны с блокированием западного переноса. Такое блокирование происходит в случае, когда над Европейской территорией России и её северо-западом формируется мощный антициклон. На карте AT500 (рисунок 3.13) наблюдается конфигурация изогипс в форме буквы «омега». На приземной карте под линией «омеги» формируется устойчивый антициклон, который длительное время не пускает циклоны с Атлантического океана на континент. Такое блокирование может продолжаться более чем 40 дней, то есть может установиться в июне и продолжаться до конца июля – истинный пример 1972 года. Еще блокирование может начинаться в конце июня и заканчиваться в начале-середине августа, как это было в 2010 году.

Наиболее показательным месяцем в 1972 году является июль. Уже сначала месяца антициклон начал блокироваться на территории северо-запада России. Как и в июне месяце наблюдалось Омега-блокирование (рисунок 3.14). Как правило, такое блокирование наблюдается на высотных картах геопотенциала, но в данном случае и изотермы принимали форму «омеги». На карте абсолютной топографии 13 июля (рисунок 3.15) наблюдается максимум блокирования антициклона над территорией северо-запада России. Также ярко выражен высотный центр над этим регионом. За июль месяц было зафиксировано 13 дней

с аномально высокой температурой. Для Санкт-Петербурга 8 июля был установлен рекорд дня, который по сей день остается действующим, тогда воздух прогрелся до 33,6°C.

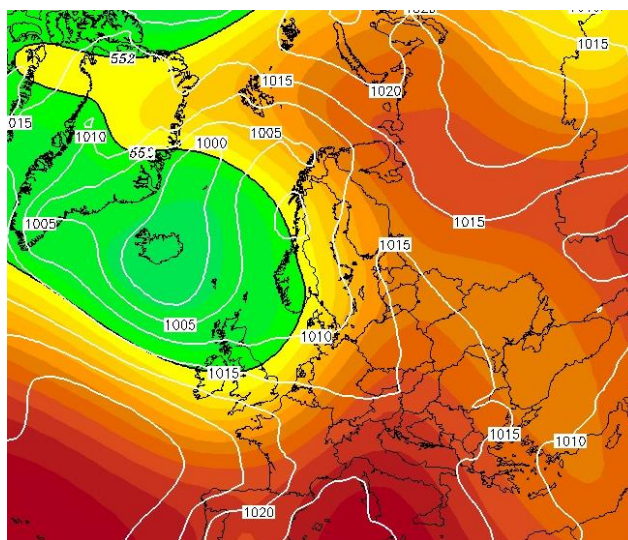


Рисунок 3.14 – АТ500, 9 июля 1972
года, 18 UTC

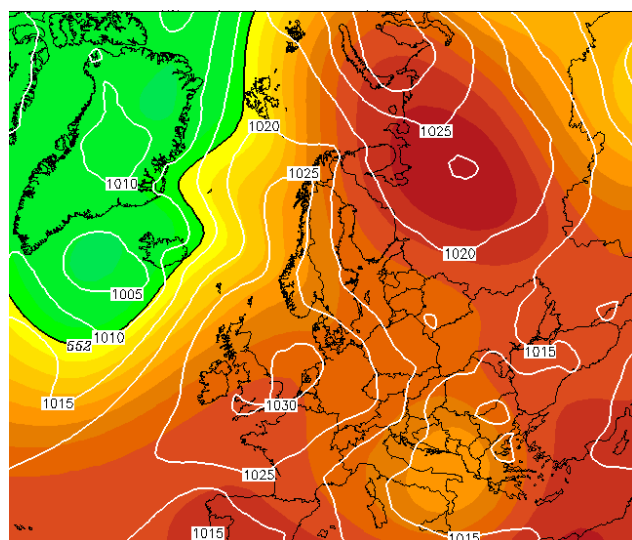


Рисунок 3.15 – АТ500, 13 июля 1972
года, 12 UTC

Блокирующий антициклон продолжал оставаться над территорией северо-запада и в августе. Знойная погода продолжала господствовать в регионе и устанавливать рекорды. По сей день остаются действительными и не перекрытыми значения температур, зафиксированные 9, 21, 22 и 23 августа 1972 года. 9 августа регион исследования находился на юго-западной периферии антициклона, потоки воздуха поступали с южных территорий. На карте абсолютной топографии, как и в предыдущие летние месяца, прослеживалось омега-блокирование. Разрушение антициклона произошло 23 августа.

Не меньший интерес вызывает жаркое *лето 2010 года*. Первая волна аномального тепла в регион исследования пришлась на период с 12 по 16 июля. Территория находилась в теплом секторе циклона, преобладали устойчивые юго-западные потоки, которые доносили тропический воздух со Средиземного моря. Вторая волна тепла наблюдалась с 22 июля, когда тропический воздух стал поступать в регион не только со Средиземного моря, но и с Аравийского полуострова.

В качестве примера рассмотрим одну из самых ярких синоптических ситуаций – *28 июля 2010 года*. Северо-запад России находился в теплом секторе циклона на фоне западной периферии антициклона, что подтверждает приземная карта на рисунке 3.16. Такое сочетание барических образований в совокупности дают возможность прогреваться воздуху до аномально высоких температур. Из имеющегося ряда температур были получены средние значения за летние месяца 1972 и 2010 годов. Сравнивая среднюю температуру воздуха, можно сказать, что 2010 год ($T_{ср}=19,9^{\circ}\text{C}$) уступает совсем немного знойному лету 1972 ($T_{ср}=20,1^{\circ}\text{C}$). Однако, именно 28 июля 2010 года в Санкт-Петербурге был установлен абсолютный температурный максимум июля за всю историю наблюдений – $35,3^{\circ}\text{C}$. Анализируя карту АТ850 (рисунок 3.17), на высоте 1,5 км прослеживаются достаточно высокие температуры воздуха ($+20\dots+22^{\circ}\text{C}$).

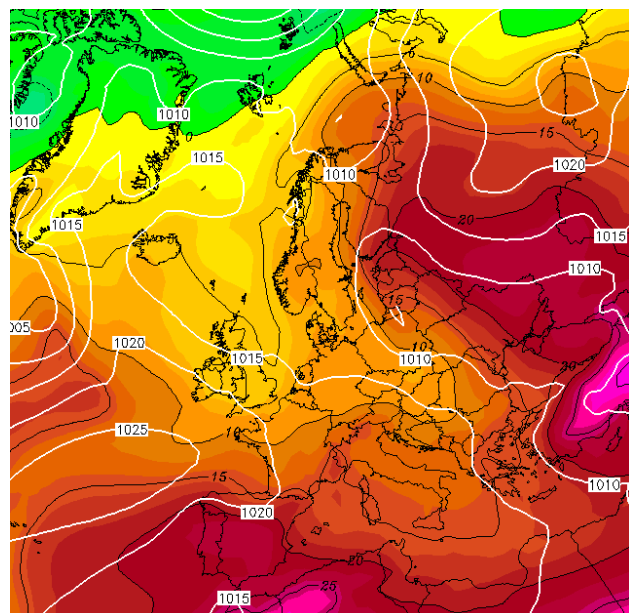
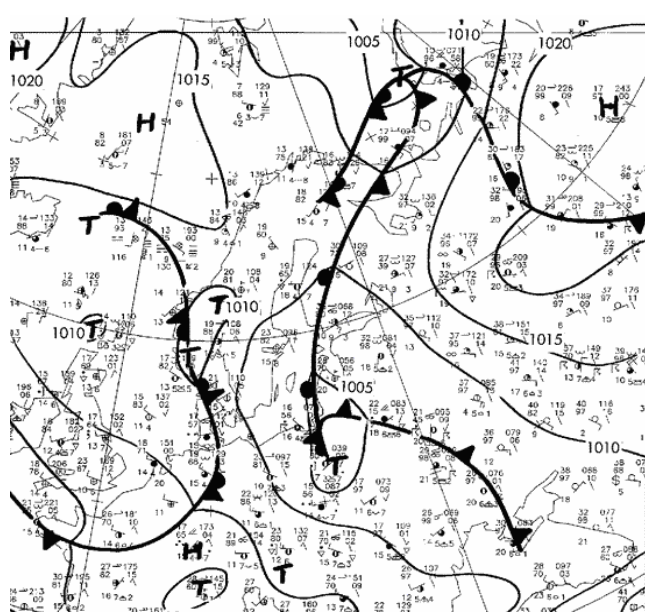


Рисунок 3.16 – Приземная карта, 28 июля 2010, 12 UTC

Рисунок 3.17 – АТ850, 28 июля 2010 года, 12 UTC

В тот день, южный циклон затянул потоки тропического воздуха в регион исследования, что способствовало достижению рекордной температуры. Также, в июле 2010 были обновлены семь суточных рекордов температуры.

После очередного знойного дня, *29 июля* к юго-западным и южным районам Ленинградской области приблизился холодный полярный атмосферный фронт. Движение фронта должно было быть ориентировано на север, но в

течение дня холодный воздух стал поступать в тыл этого фронта, в результате чего его траектория сменилась. Облакообразование было активным, развивались грозы и град. Высота мезомасштабной конвективной системы достигала 15 км и более. Действие фронта распространилось на всю территорию Ленинградской области, а также и на Новгородскую область. Порывы ветра местами достигали 28,5-32,6 м/с и более, по шкале Бофорта такое явление классифицируется как «Жесткий шторм, местами достигающий силы Урагана».

Август 2010 также оставил свой след в истории. Первая половина августа на северо-западе России находилась под влиянием антициклонической системы с преобладанием южных, юго-западных потоков воздуха. 4 августа и 8 августа были обновлены суточные рекорды температур. Самым важным днем для Санкт-Петербурга стало *7 августа 2010 года*. Город находился на юго-западной периферий антициклона (рис. 3.18).

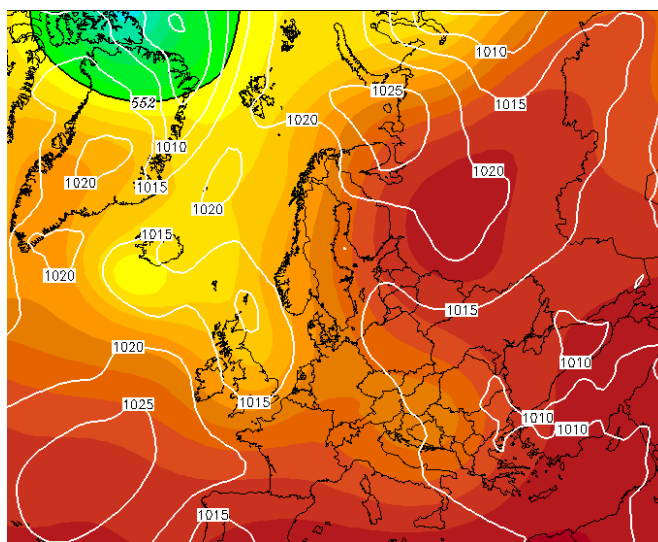


Рисунок 3.18 – Карта AT500,7 августа 2010, 12 UTC

Очаг тепла распространялся на всю территорию северо-запада ЕТР. Теплая воздушная масса прогрелась до рекордных $+37,1^{\circ}\text{C}$ – такое значение стало абсолютным максимумом температуры воздуха за все время инструментальных наблюдений за погодой. Вплоть до 17 августа характер погоды продолжал сохраняться, после чего произошла резкая смена атмосферной циркуляции, в результате чего антициклон был разрушен.

За все лето наиболее стандартной ситуацией является блокирование антициклона, такое блокирование было в 1972, 2010 и 2021 году. Практически

по всех летних случаях в регионе исследования наблюдались малоградиентные поля, что является благоприятным фактором для формирования и прогрева воздушной массы. В некоторых случаях, таких как, например, в *1986 году*, аномальные температуры *19 июня*, были связаны с южной частью циклона, но циклон был не глубоким. Давление в центре барического образования составляло 1000 гПа, южная часть была малоградиентна. Значительно высокие температуры сформировались в теплом секторе такого циклона.

Особенностью для летнего периода при возникновении аномально высоких температур воздуха в седловинах, является малоградиентные поля на юге от седловины, то есть циклоны или антициклоны на юге России и юге Европы, которые формируют седловину, слабовыражены и поля малоградиентны.

В большинстве случаев над территорией региона исследования на высоте 5 км наблюдается высотный центр антициклона. В некоторых случаях над регионом располагается юго-западная часть антициклона. Синоптическая ситуация, приведенная на рисунке 3.19 является примером именно такого случая, а также она является нехарактерной. В период с *15 по 16 июня 1998 года* погоду в регионе исследования определял южный циклон, а именно его передняя и северо-восточная часть. В ходе анализа синоптической ситуации были исследованы карты абсолютной топографии за более ранние сроки, в результате чего была определена траектория движения южного циклона (рисунок 3.20).

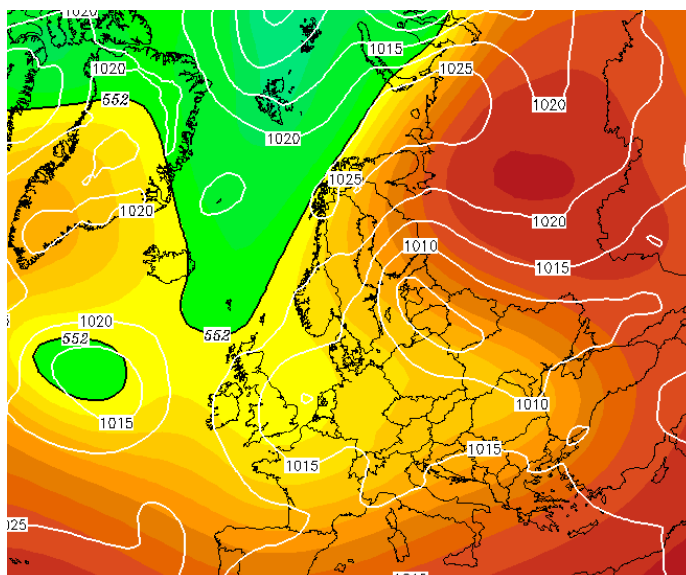


Рисунок 3.19 – Синоптическая ситуация
15 июня 1998 года, 12 UTC

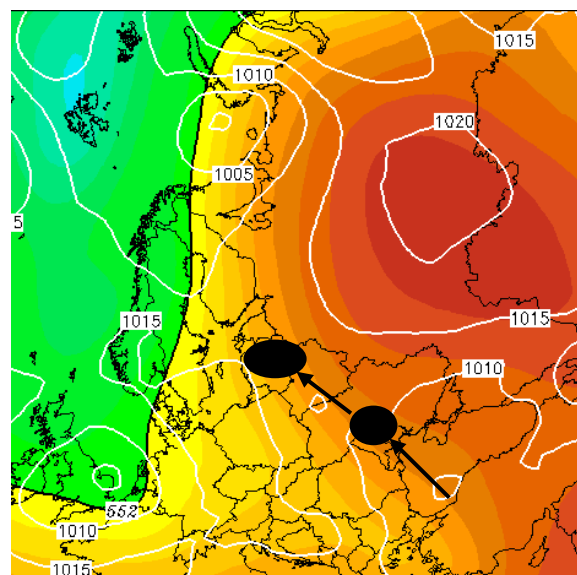


Рисунок 3.20 – Траектория
перемещения южного циклона с 14
по 15 июня 1998 года

Движение в циклоне происходит против часовой стрелки, а значит, что потоки воздуха в регион исследования доносились с районов Черного моря, где в малоградиентном поле находилась хорошо прогретая воздушная масса. Данный вывод можно подтвердить синоптической ситуацией, которая прослеживается на карте поле ветра, представленной на рисунке 3.21.

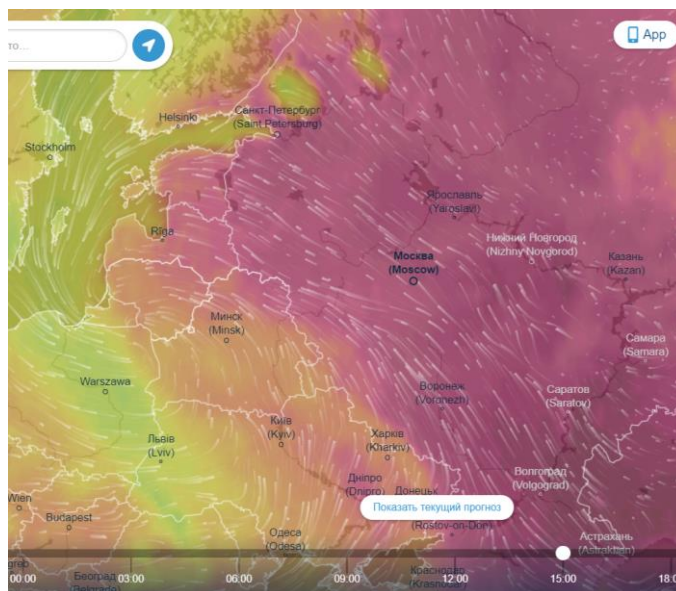


Рисунок 3.21 – Поле ветра реанализа EMCWF, 15 июня 1998 год, 12 UTC

Во всех случаях, которые были рассмотрены за летние месяца, высотная фронтальная зона полярного фронта проходила над территорией Северного

Ледовитого океана. В сочетании с приземным антициклоном, возникает ситуация мощного восходящего нисходящего потока. Так, имеющийся теплый воздух на высоте и прогревающаяся воздушная масса у земли, является дополнительным фактором прогрева воздуха. Синоптическая ситуация в период с 16 по 19 июня 2020 года не стала исключением. На северо-западе России погода определялась западной периферией антициклона с центром над Республикой Коми. Высотный центр барического образования располагался в южной части территории исследования. Потоки южного направления способствовали переносу тепла в исследуемый регион на протяжении нескольких дней. Однако, для Санкт-Петербурга отличительным днем стало именно 18 июня, синоптическая ситуация которого представлена на рисунке 3.22. Вторжение теплой воздушной массы привело к быстрому росту температуры до рекордных значений. В этот день в Северной столице был побит рекорд 1905 года (+31,3°C), новое значение рекордной температуры – 32.4°C.

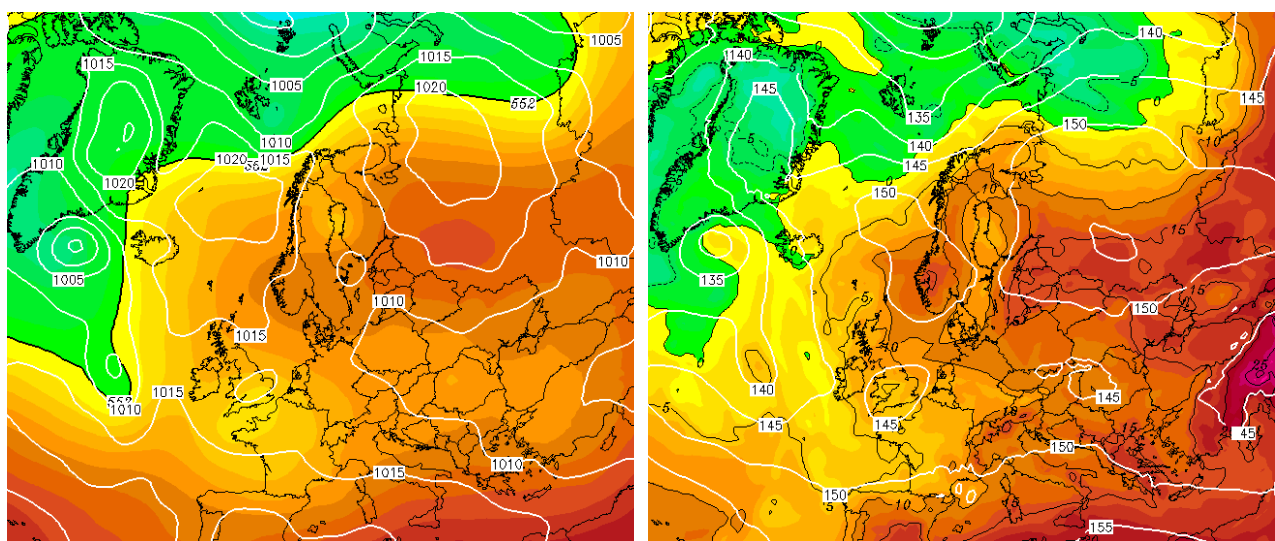


Рисунок 3.22 – Синоптическая ситуация 18 июня 2020 года, 12 UTC

Интересно сравнить ход среднесуточной температуры воздуха в летний период трех рассмотренных аномально жарких летних сезонов на примере г. Санкт-Петербург. На рисунке 3.23 представлен ход среднесуточной температуры воздуха в Санкт-Петербурге для аномально жарких периодов 1972, 2010 и 2021 гг.

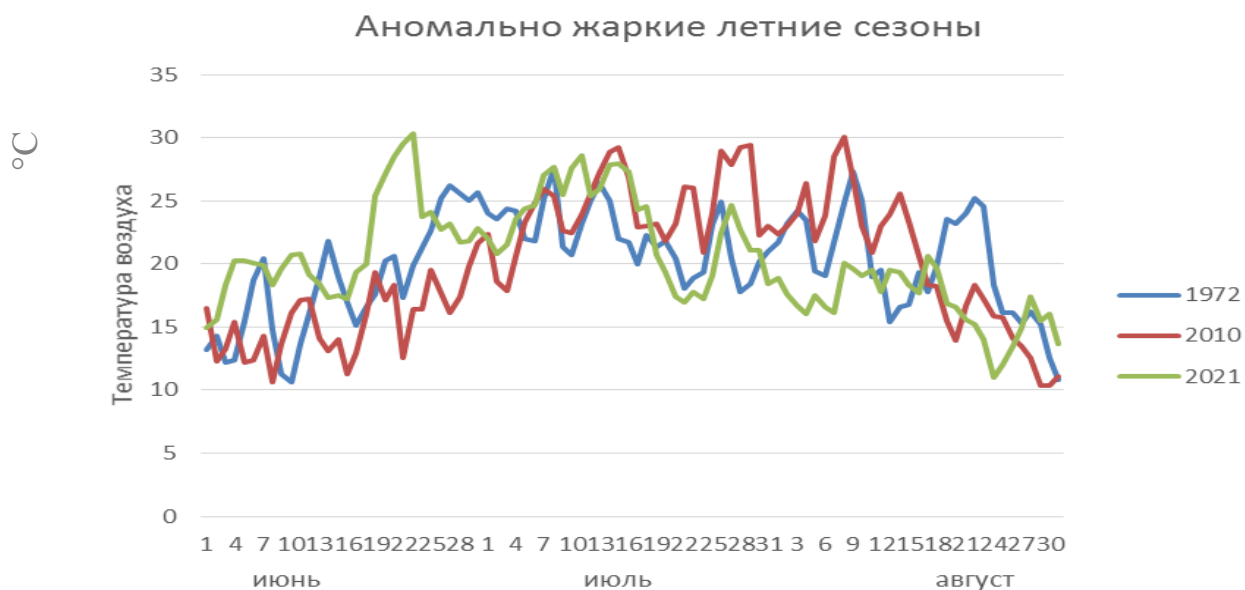


Рисунок 3.23 – Ход среднесуточной температуры воздуха в течение аномально жарких летних сезонов 1972, 2010 и 2021 гг.

В результате анализа графика на рисунке 3.23 можно сделать вывод о том, что волна аномального тепла в 2021 году смещена к началу летнего сезона со значительным похолоданием в конце. Период аномального тепла в 2010 начинается в конце июня и заканчивается в первой декаде августа. Термический режим 1972 года имеет более равномерный ход среднесуточной температуры воздуха.

В таблице 3.3 представлены для сравнения среднемесячные значения температуры воздуха в Санкт-Петербурге для трех самых жарких летних сезонов за последние 100 лет.

Таблица 3.3 – Средние значения температуры воздуха за летние месяца

Месяц	Годы		
	1972	2010	2021
июнь	18,3	15,49	21,3
июль	22,1	24,4	23,1
август	19,9	19,7	16,9
Тср.	20,1	19,9	20,4

Необходимо отметить, что в 2021 году июнь был теплее, чем в другие аномальные годы. Август, наоборот, относился к самым холодным. В 2010 году по термическому режиму самым теплым был июль и аномально холодным июнь.

Норма (за период с 1991 г. по 2020 г.) июня в Санкт-Петербурге составляет 16,1 С, июля 19,1С и августа 17,4 С.

В 1972 г. все среднемесячные температуры находились выше нормы. В 2010 г. температуры июня были ниже нормы. В 2021 г. термический режим августа был ниже нормы. В результате можно сделать вывод о том, что волны тепла в аномально жаркие летние сезоны, могут сменяться аномально холодными периодами, нивелируя таким образом среднее значения температур.

В течение летнего сезона аномально высокие температуры формировались и в других синоптических ситуациях, которые были проанализированы и представлены в приложении А.

Сентябрь. За проанализированные 60 лет, аномально высоких дней в сентябре насчитывается 12. Чаще всего синоптическая ситуация складывается таким образом, что не все выбранные станции оказываются в зоне аномально жарких температур воздуха. Рассмотрев подробно двенадцать случаев, сделан вывод, что в основном причиной аномалии в сентябре является антициклонический характер погоды, и только в редких случаях область пониженного давления прогревает воздух до высоких температур. При циклоническом характере погоды высокие температуры формируются в передних частях циклонов, при продвижении воздушных масс с прогретого юга Европы. На северо-западе РФ в этот период наблюдается достаточно быстрое понижение температуры воздуха. Когда как в южных регионах еще тепло, наступает так называемый, «бархатный сезон» со среднесуточной температурой воздуха от 20 до 15 С.

Показательным примером является период с *1 по 2 сентября 1992 года*, синоптическая ситуация которого представлена на рисунке 3.24.

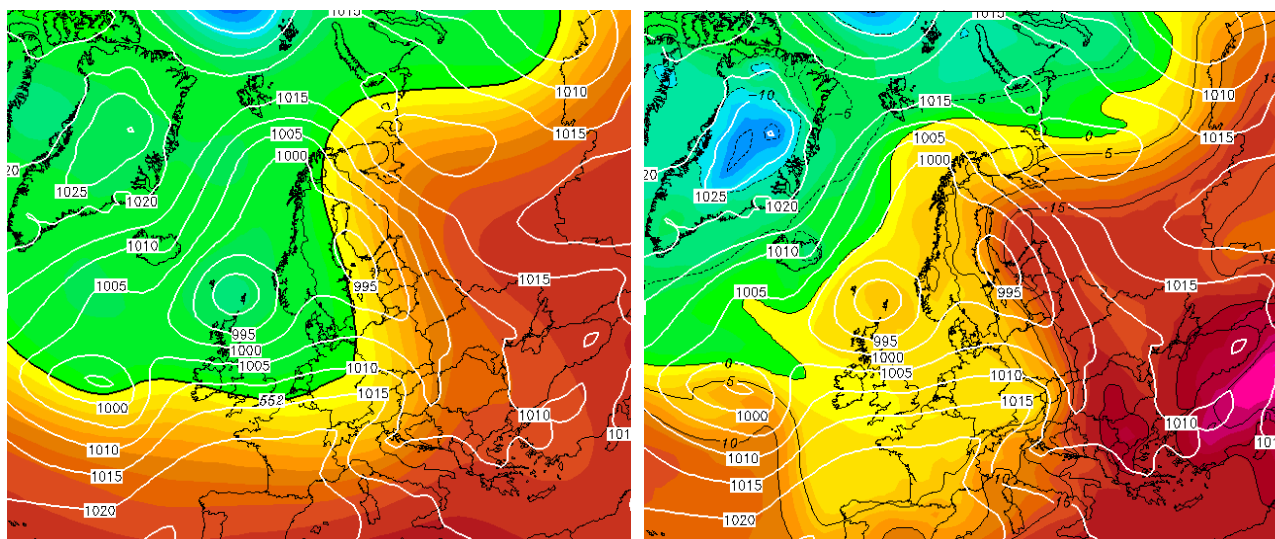


Рисунок 3.24 – Синоптическая ситуация 1 сентября 1992 года, 12 UTC

Северо-запад России находился на западной периферии огромного антициклона с центром над территорией Казахстана. Мощный антициклон смог обеспечить сильные южные потоки, благодаря чему произошел вынос ТВМ по западной периферии. Однако аномальное тепло не смогло дойти только до Петрозаводска. В Санкт-Петербурге был установлен рекорд тепла – $+30,4^{\circ}\text{C}$.

3.4. Анализ синоптических ситуаций для дней с аномально высокой температурой воздуха за лето 2021 года

Лето 2021 года. Наряду с известными жаркими летними сезонами 1972 и 2010 годов теперь славится летний период 2021 года, который стал самым жарким в истории наблюдений. Средняя температура лета в Санкт-Петербурге составила $20,4^{\circ}\text{C}$, сместив 1972 и 2010 на второе и третье место соответственно. В период с 15 июня по 16 июля территория северо-запада России практически все время находилась под влиянием блокирующего антициклона. На высоте 5 км прослеживается Омега-блокирование (рисунок 3.25).

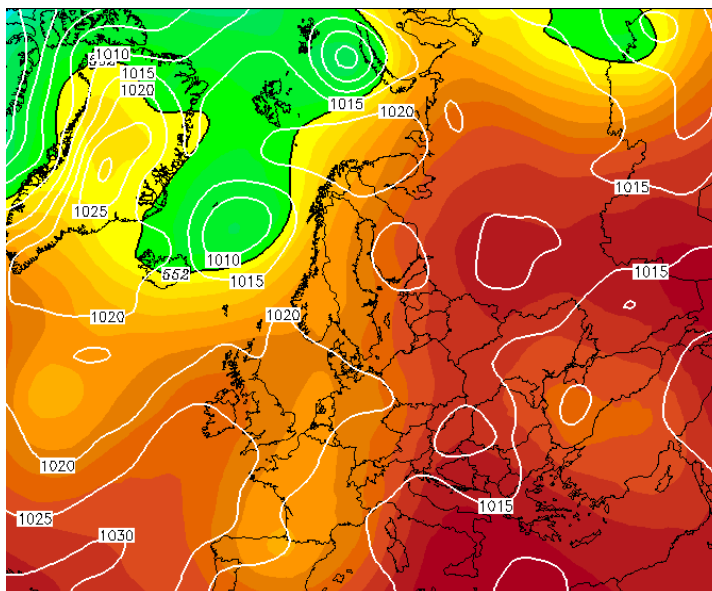


Рисунок 3.25 – карта АТ500, 23 июня 2021, 12 UTC

Такое блокирование сопровождалось дополнительному прогреву территорий и продолжалось длительное время. Рассматривая подробно условия формирования аномально жаркой погоды в регионе, акцентируем внимание на Санкт-Петербурге.

Начиная с *15 июня* погоду на северо-западе ЕТР определял антициклон Азорского происхождения. И хотя в течение двух дней над территорией проходили размытые умеренные фронты, отличительной чертой которых было наличие небольшого количество облачности, воздух прогревался до высоких температур. Ядро Азорского антициклона, соединившись с антициклоном, расположенным над Средиземноморьем образовало блок и заняло позицию мощного континентального антициклона, распространившегося до Скандинавии (рисунок 3.26).

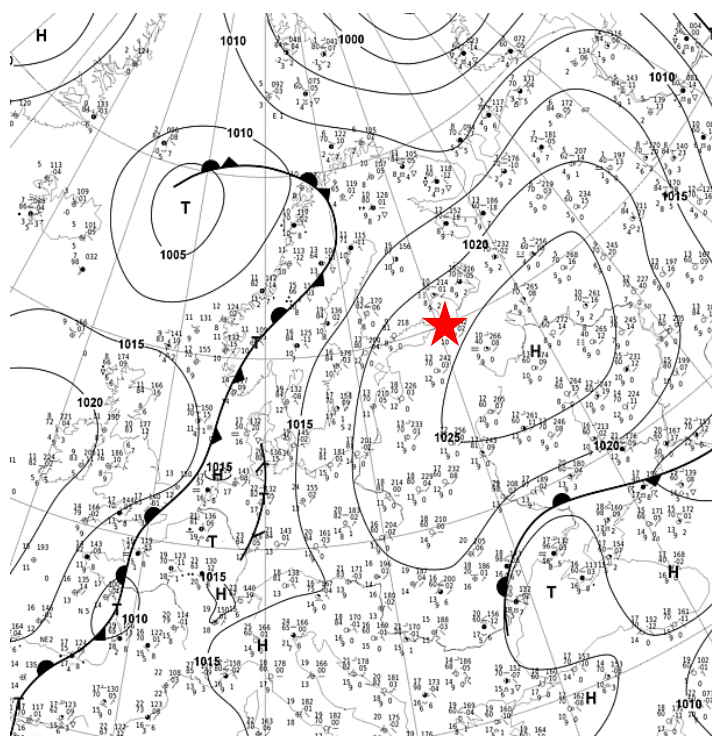


Рисунок 3.26 – Приземная карта, 18 июня 2021, 12 UTC

С каждым днем адвекция тепла по западной периферии антициклона приводила к тому, что каждый следующий день получался жарче предыдущего. Уже *19 июня* в городе на Неве была преодолена отметка $+30^{\circ}\text{C}$, тем самым обновлен суточный рекорд тепла (предыдущий отмечен в 1905 году и равен $+29,8^{\circ}\text{C}$).

Антициклонический характер погоды славится не только хорошей и теплой погодой, но и количеством солнечных часов. За 21 день июня в Санкт-Петербурге по данным «Информационного Центра Погоды» было зафиксировано 267,7 солнечных часов. Отметим, что июньская норма продолжительности солнечного сияния составляет 254 часа, и мы можем сделать вывод о том, что она была перекрыта досрочно всего за три недели месяца.

В течение последующих дней июня погода в регионе исследования определялась северо-западной периферией Азорского антициклона и теплым сектором циклона с центром над Финляндией (рисунок 3.27).

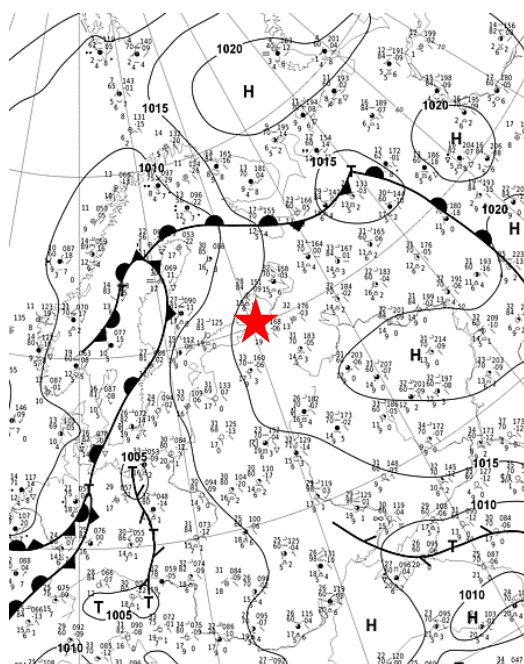


Рисунок 3.27 – Приземная карта, 21 июня 2021, 12 UTC

В течение пяти дней подряд в Северной столице обновлялись рекорды суточных температур. Пятым рекордом и самым знаменательным днем стало *23 июня*, столбики термометров поднялись до рекордных $+35,9^{\circ}\text{C}$. Этот день вошел в историю как самый теплый день июня за всю историю города. Прошлый рекорд был зафиксирован 15 июня 1998, воздух прогрелся до $+34,6^{\circ}\text{C}$.

После пика тепла, когда на картах АТ850 температура достигала $+20^{\circ}\text{C}$, к северу-западу России приближалась линия полярного фронта, за счет чего температура на высотах стала снижаться и ветер поменял свое направление на западное. Полярный фронт принес в город долгожданные осадки, а также сильные грозы. Однако, антициклон, продолжавший оказывать свое влияние на регион, способствовал прогреву воздуха до высоких температур. *24 июня* произошло разрушение антициклона, но северо-запад ЕТР продолжал находится под влиянием тропической воздушной массы. Отсутствие антициклона позволило конвекции активно развиваться, что привело к образованию грозовых ячеек и осадкам. Южный циклон с полярным фронтом заняли место бывшего антициклона, и располагались над регионом до конца месяца. Аномально жарких температур уже не наблюдалось, но теплая погода продолжала господствовать в регионе.

По итогам месяца, июнь 2021 года зафиксирован как самый жаркий за всю историю метеорологических наблюдений.

Жара, установившаяся в июне месяце продолжала доминировать и в июле. В начале июля погоду в регионе исследования определял антициклон Скандинавского происхождения, что прекрасно видно на рисунке 3.28.

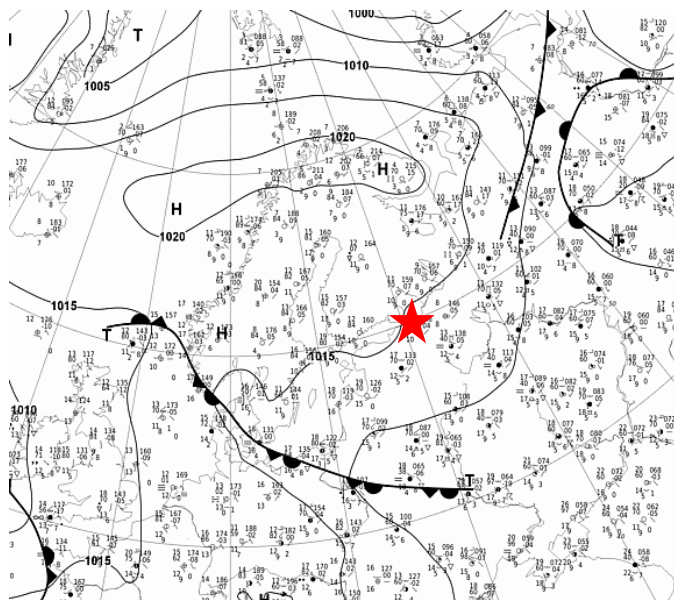


Рисунок 3.28 – приземная карта, 3 июля 2021 года, 00 UTC

Северная умеренная воздушная масса, пришедшая в регион, прогревалась под лучами июльского солнца. Второй эпизод аномально жаркой погоды начался с 5 июля, когда антициклон распространился на всю территорию Европейской России, тем самым заблокировал западно-восточный перенос воздушных масс.

7 июля 2021 года погода в регионе исследования определялась северо-западной периферией антициклона и влиянием полярного фронта. Проходящий полярный фронт разделял две воздушные массы – тропическую и южную умеренную. Большая часть северо-запада России оставалась в зоне ЮУВМ. Приток южного тепла на северо-запад России позволил прогреться воздуху до аномально жарких температур. Так, в Санкт-Петербурге был обновлен суточный рекорд тепла - $+31,7^{\circ}\text{C}$.

10 числа потоки воздуха на теплом участке полярного фронта стали приносить на северо-запад ЕТР тропический зной. В последующие дни погоду на территории исследования определял теплый сектор южного циклона на фоне

северо-западной периферии антициклона. Наблюдалось активное сужение теплого сектора этого циклона. С запада приближался холодный участок полярного фронта, что сказалось на наличии облачного покрова и развороте ветра с южного на западный, а также на увеличении его скорости.

12 июля на рисунке 3.29 отчетливо видно вливание в антициклон скандинавского ядра повышенного давления.

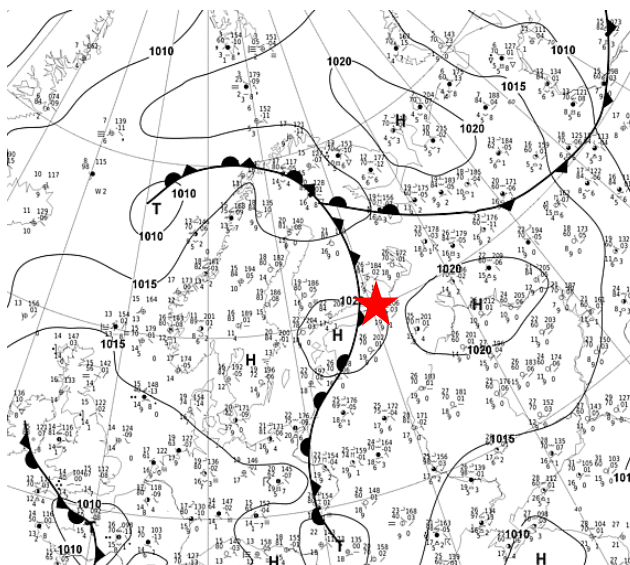


Рисунок 3.29 – Приземная карта, 12 июля 2021, 12 UTC

На этом фоне температурный фон немного ослаб, но оставался аномально высоким. Июльская ситуация стала похожей на 1972 и 2010 годы, на высотных картах прослеживалось Омега-блокирование, к юго-западу и юго-востоку от которого располагались малоподвижные циклоны.

Во второй половине июля блокирующий антициклон начал разрушаться. На территории северо-запада России осталась очень теплая воздушная масса, которая за счет июльского солнца продолжала прогревать территорию. Вопреки всему, размытое поле давления долго не может оставаться само по себе. Находящаяся в Атлантике северная умеренная воздушная масса начинала продвигаться на север ЕТР, но не сумела принести в регион значительной прохлады из-за воздействия хорошо прогретого материка и вод Балтики. 16 июля значительную часть региона исследования, в том числе и Санкт-Петербург, пересек полярный холодный фронт, принес с собой кучево-дождевую облачность. После прохождения фронта, в его тылу, на северо-запад стала

поступать свежая ЮУВМ, потоки ветра сменились на западно-северо-западные и усилились. Вплоть до ночи 18 июля над территорией господствовал гребень Азорского антициклона, позже он оказался смещен фронтальной системой, которая принесла в регион прохладу.

Июль 2021 года занял второе место в списке самых жарких июлей (первое место по-прежнему занимает июль 2010 года).

В августе погодные условия формировались под влиянием процессов циклонического характера. Антициклонический тип погоды не задерживался в регионе долго, поэтому аномально жарких дней в этом месяце не наблюдалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над бакалаврским проектом поставленная цель была достигнута и задачи решены.

В работе были выделены и проанализированы дни с аномально высокой температурой воздуха в летний период. Проанализирована повторяемость случаев жаркой погоды за два периода по 30 лет, как отдельно для каждого месяца, так и для каждой выбранной станции. В результате исследования была выявлена тенденция на уменьшение случаев жаркой погоды, но при этом выявлено увеличение средней температуры воздуха в летний период.

Выделены наиболее интересные и характерные синоптические ситуации, в условиях которых происходило формирование высоких температур на большей части территории.

Можно сделать вывод о том, что в мае дни с аномально высокой температурой формируются под влиянием малоградиентного поля высокого давления и гребня Азорского антициклона. Высотная фронтальная зона Полярного фронта располагается над территорией Кольского полуострова, что является отклонением от ее среднего положения.

Отдельно проведен сравнительный анализ термического режима и проанализированы синоптические ситуации 1972, 2010 и 2021 годов. Характерной ситуацией является Омега-блокирование при распространении на северо-запад гребня Азорского антициклона с формированием над территорией исследования отдельного ядра. В 2021 г. наблюдалось несколько блоков с перерывами, в 2010 и 1972 годах наблюдалось блокирование в течение длительного периода.

В сентябре причиной аномалии температуры воздуха над большей частью территории также является антициклон. Обычно он распространяется над континентом, над Атлантикой при этом наблюдается активная циклоническая деятельность. В некоторых случаях в сентябре высокие температуры формируются в передних частях обширных атлантических циклонов, при продвижении прогретых воздушных масс с южных районов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Вологодской области [Текст] : [Справочник] / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сев. упр. гидрометеорол. службы. Арханг. бюро погоды. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1972. – 185 с.
2. Алисов Б.П. Климат СССР: Учеб. пособие для вузов. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1956. - 127 с.
3. Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1974. – 210 с.
4. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Поляков Д.В. Классификация форм атмосферной циркуляции: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. – 124 с.
5. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. - 48 с.
6. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология, Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
7. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. Часть 1. Владивосток: ДВГУ, 2005.
8. Динамическая метеорология / Под ред. Д.Л. Лайхтмана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 607 с.
9. Зверев А.С. Синоптическая метеорология – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
10. Кислов А.В. Климатология: учебник / А.В. Кислов, Г.В. Суркова. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 324 с.
11. Климат Вологды / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии, Сев. террит. упр. по гидрометеорологии; [Подгот. В. М. Артемовой и др.]; Под ред. Ц. А. Швер, А. С. Егоровой. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 173 с.
12. Климат Ленинграда / [Выполн. Е. В. Алтыкисом, И. М. Белявской, В. Г. Бодриной и др.]; Под ред. Ц. А. Швер и др. – Л. : Гидрометеиздат, 1982. – 252 с.

13. Климат Новгорода / Сев.-Зап. террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды; [Выполн. В. Г. Бодриной и др.; Под ред. Ц. А. Швер и др. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 168 с.
14. Климат Петрозаводска / [Подгот. Л. С. Раковой, Т. А. Пусан, Г. С. Беляниновой и др.]; Под ред. Ц. А. Швер. – Л. : Гидрометеоиздат, 1982. – 212 с.
15. Климат Пскова [Текст] / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды, Северо-западное террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды ; [подгот. Л. А. Малининой и др.] ; под ред. Ц. А. Швер, Л. С. Евтеевой. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. – 158 с.
16. Климат Сортавалы / Сев.-Зап. террит. упр. по гидрометеорологии; [Выполн. Г. С. Беляниновой и др.]; Под ред. Ц. А. Швер, Л. С. Раковой. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 116 с.
17. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы / Э.Н. Лоренц. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 259 с
18. Монин А.С. Введение в теорию климата / А.С. Монин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 246 с.
19. Муравьев А.В. Режим атмосферной циркуляции и долгосрочный метеорологический прогноз / А.В. Муравьев // Автореферат докторской диссертации. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 36 с.
20. Мякишева Н.В. Климатическая система Земли. СПб: изд. РГГМУ, 2008. – 95 с.
21. Переведенцев Ю.П. Теория климата: учебное пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.
22. Переведенцев Ю.П. Теория общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / Ю.П. Переведенцев, И.И. Мохов, А.В. Елисеев и др.; науч. ред. Э.П. Наумов. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 224 с.
23. Пиловец Г.И. Метеорология и климатология: учебное пособие / Г.И. Пиловец. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 399 с.
24. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы, Л., 1972. – 394 с.

- 25.Сидоренков Н.С., Свиренко П.Н. К вопросу о многолетних колебаниях атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. – 1983. – № 11. – С. 20–25.
- 26.Сидорова Л.П. Метеорология и климатология. Часть 1. Метеорология / Н.В. Лутова – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 198 с.
- 27.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.
- 28.Хромов С.П. Метеорология и климатология / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 528 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

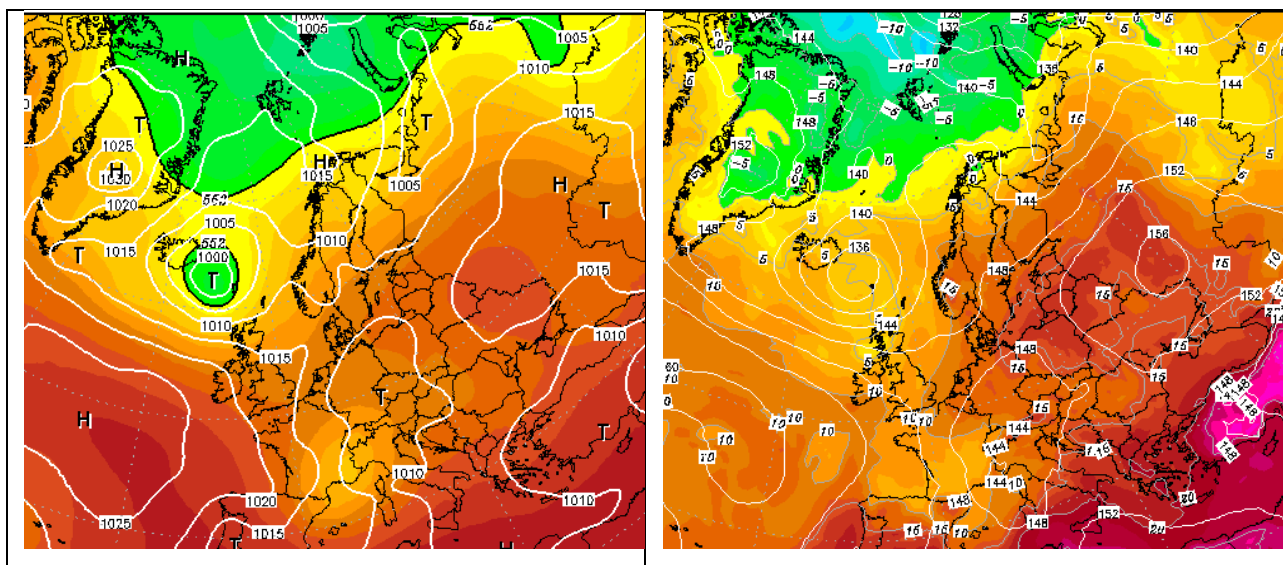


Рисунок 1 – Синоптическая ситуация 29 июля 2014 года, 12 UTC

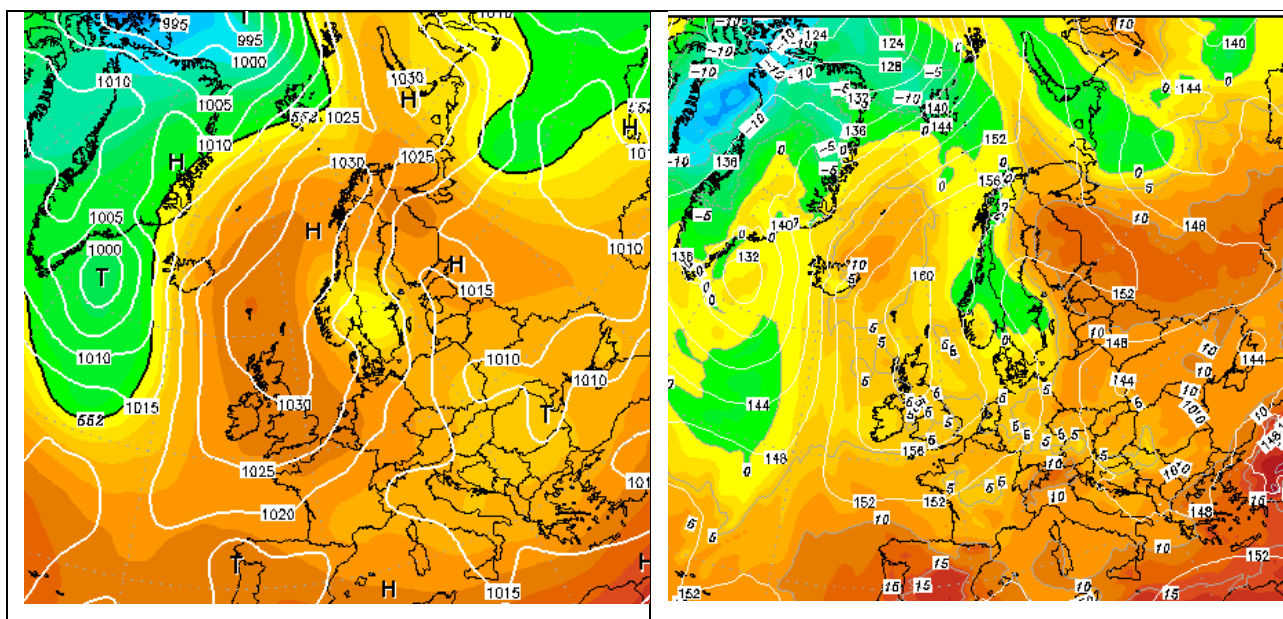


Рисунок 2 – Синоптическая ситуация 4 июня 2013 года, 12 UTC