



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 циркуляционных особенностей начала весеннего сезона  
на западе ЕТР»

Исполнитель Хачатрян Азнаур Араикович  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.г.н., 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)

«6» июня 2021 г.

Санкт-Петербург  
2021

## Содержание

Введение.....	3
1. Климатические параметры регионов .....	4
1.1 Климат России.....	4
1.2 Климатические параметры ЕТР .....	6
1.3 Климат и физико-географические параметры города Брянск.....	7
1.4 Климат и физико-географические параметры города Смоленск.....	8
1.5 Климат и физико-географические параметры города Великие Луки.....	8
1.6 Климат и физико-географические параметры города Псков .....	9
1.7 Климат и физико-географические параметры города Старая Русса .....	10
1.8 Климат и физико-географические параметры города Тихвин .....	10
1.9 Климат и физико-географические параметры города Выборг.....	11
1.10 Климат и физико-географические параметры города Санкт-Петербург	12
2. Особенности циркуляционных процессов, свойственных умеренным широтам.....	13
2.1 Воздушные массы и фронты .....	13
2.2 Основные формы циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса .....	22
3. Анализ циркуляционных особенностей начала весеннего сезона на западе ЕТР .....	25
3.1 Постановка цели и задачи научно-исследовательской работы.....	25
3.2 Анализ динамики начала весеннего сезона на западе ЕТР.....	26
3.3 Анализ синоптической ситуации, характерной позднему началу весны.	29
3.4 Анализ синоптической ситуации, характерной раннему началу весны...	33
3.5 Климатические и геофизические характеристики города Брест.....	40
3.6 Анализ аномальной весны 2007 года .....	43
Заключение .....	47
Список литературы .....	49

## Введение

Целью бакалаврской работы является анализ циркуляционных условий формирования весеннего сезона на западе европейской территории России.

В последние годы в Европе и центральной России наблюдается увеличение количества неустойчивых зим. Окончание зимнего периода в разные годы может наступать с большим временным разбросом. Характер погоды после даты начала ранней весны может пагубно сказаться на перезимовке зеленых насаждений. Определение термического режима и синоптических причин, влияющих на период начала весны в западной части Европейской территории России, является задачей несомненно актуальной.

В научно-исследовательской работе предполагается определить синоптические ситуации, сопутствующие датам устойчивого перехода температуры воздуха через 0 градусов и периода после них, их вероятные изменения за временной промежуток с 1960 года по 2019 год.

В первой главе были оценены особенности климата России и на исследуемой территории, проведено физико-географическое и физико-климатическое описание пунктов, которые были выбраны для исследования.

Во второй главе были рассмотрены синоптические особенности процессов, свойственных умеренным широтам, а также описаны такие барические системы, как циклон и антициклон, связанные с ними погодные условия. Отдельное внимание было уделено формам атмосферной циркуляции по Вангенгейму-Гирсу.

В третьей главе приведены итоги проделанной научно-исследовательской работы, создан архив данных по датам начала весны в выбранных станциях. Проанализированы циркуляционные особенности наступления весны по каталогу Вангенгейма-Гирса. Выделены градации разделяющие весны по срокам наступления. Проведен детальный анализ синоптических ситуаций, для весен каждой градации.

## 1. Климатические параметры регионов

### 1.1 Климат России

Отличительной особенностью климата России является его чётко прослеживаемая сезонность. Причина этому — расположение территории в средних и высоких широтах. Западная часть территории испытывает влияние Атлантического океана, поэтому температура здесь выше, чем на востоке. А воздушные арктические массы делают северную часть более холодной.

Основная территория государства расположена в умеренном климатическом поясе. Полярные острова — в арктическом и субарктическом. Черноморское побережье — в субтропическом. Наибольшее влияние на погодные условия оказывают рельеф местности и удалённость от океана.

В арктический пояс входят острова и архипелаги прибрежной зоны Северного Ледовитого океана. В основном это тундра и ледяные пустыни. Из-за влияния воздушных арктических масс зима длится большую часть года, тогда как летний период составляет всего 2-3 недели. Среднесуточная температура воздуха зимой колеблется в пределах от -24 до -32 градусов по Цельсию, летом — от 0 до +5 градусов.

В субарктический пояс входит зона, находящаяся за Полярным кругом, она охватывает Русскую равнину, Западно-Сибирскую равнину и южную часть островов Баренцева моря. Доминирующая часть территории — тундра и лесотундра. В части Сибири — тайга. В летние месяцы находится под влиянием воздушных потоков, приходящих из умеренного пояса. Это делает лето более тёплым, чем в арктической зоне. Средний температурный показатель этого сезона +10 градусов по Цельсию. Зимой доминируют воздушные течения с Арктики, что делает этот период более холодным, чем в умеренной климатической зоне. Температура колеблется от -8 градусов в западных регионах, до -40 градусов в восточных.

Умеренный пояс охватывает подавляющую часть территории России. Таёжные леса являются основной природной зоной. Характеризуется чёткой границей между временами года. Можно выделить четыре участка с разными климатическими условиями:

Умеренно-континентальный — охватывает европейскую часть государства с природными зонами от степей до таёжных лесов. Влияние воздушных масс с Атлантики делает зимы относительно тёплыми с минимальной температурой до -25 градусов по Цельсию. Нередки оттепели. Средняя температура лета +20 градусов.

Резко континентальный — преобладает в Восточной Сибири. Эта территория не подвержена воздействию потокам воздуха с океанов, поэтому зимы малоснежные и холодные (до -40 градусов по Цельсию), а лето влажное и прохладное (до +19 градусов).

Муссонный континентальный - Охватывает южные области Дальнего Востока. В зимний период господствует воздух с континента, что делает этот сезон сухим и холодным с температурой в -30 градусов по Цельсию. Летом приходит воздух с моря и приносит много влаги, температура воздуха достигает отметки в +20 градусов[2].

В субтропический пояс входит малая часть территории России шириной порядка 5-10 км. В этот пояс входят черноморское побережье страны и Крымский полуостров. Летом жарко и сухо, и длится оно достаточно долго. Средняя температура в этот период находится в диапазоне +22-24 градуса по Цельсию. Кавказские горы задерживают восточные потоки воздуха, благодаря чему зимой здесь сохраняются положительные температуры — от +1 до +6 градусов. Зимний период длится непродолжительное время.

## 1.2 Климатические параметры ЕТР

Европейская территория России располагается в 4-х климатических областях — Атлантико-арктической тундровой, Атлантико-арктической лесной, Атлантико-континентальной лесной и Атлантико-континентальной степной. На климат оказывает влияние Атлантика. Климатические условия района могут характеризоваться как умеренно-континентальные, что выражается теплым летом и холодной снежной зимой, однако из-за влияния Атлантики бывают оттепели. В направлении с севера на юг климат становится все более теплым, а с запада на восток, по мере удаления от Атлантического океана, - все более континентальным.

Средняя январская температура изменяется от -4 градусов Цельсия на западе до -25 градусов на востоке, а средняя июльская – от +13 градусов на севере до +24 градусов на юге. В северной части района выпадает до 650 мм осадков в год; к югу и, к юго-востоку количество резко уменьшается, составляя 300 мм за год на побережье Черного моря и 200 мм и менее за год в Прикаспийской низменности. Продолжительность залегания снежного покрова, его мощность и величина запасов воды в снеге сильно зависят от территории. Наиболее мощный снежный покров наблюдается на севере (бассейн Верхней Волги) и особенно на северо-востоке (бассейн Камы); длительность залегания снежного покрова здесь достигает 200 дней. К югу мощность снега резко уменьшается; в причерноморских и прикаспийских степях длительность его залегания составляет около 40 дней [2].

В целом для района характерна смена климатических условий с севера на юг в сторону увеличения сухости климата. Климат лесной зоны, характеризующейся избыточным увлажнением, большим количеством осадков относительно высокой влажностью воздуха, малыми потерями на испарение, сменяется климатом лесостепной зоны, являющейся переходной

областью, а еще южнее - климатом степных зон полупустынных, где осадков мало, воздух сух и относительные потери на испарение очень велики.

### 1.3 Климат и физико-географические параметры города Брянск.

Брянск располагается в западной части Восточно-Европейской равнины. Климат Брянска умеренно-континентальный. Зима отличается неустойчивой погодой, присутствуют как сильные морозы, так и продолжительные оттепели, лето влажное и теплое. Самый теплый месяц в году – июль, со средней температурой воздуха +18,9 градусов Цельсия; самый холодный месяц в году – январь, со средней температурой воздуха -6 градусов.

Холодное время года наступает в ноябре, когда температура воздуха опускается ниже 0 градусов Цельсия. Весна приходит в апреле и является довольно неустойчивой из-за различных воздушных масс, проходящих через территорию Брянска, в мае могут наступить поздние заморозки, при дневной температуре +15 градусов. В конце мая в Брянске начинается лето, средняя температура за летние месяцы составляет +17,8 градусов. Осень приходит в сентябре, средняя температура осенью составляет +1,2 градуса, в октябре появляются заморозки [2,8].

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 623 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в июле и составляет 85 мм. Самым влажным месяцем считается январь со средней влажностью 88%.

#### 1.4 Климат и физико-географические параметры города Смоленск.

Смоленск располагается на территории Смоленской возвышенности. Климат Смоленска умеренно-континентальный, и находится под влиянием Атлантики. Зима довольно затяжная и умеренно-холодная, лето преимущественно прохладное и дождливое. Самый теплый месяц в году – июль со средней температурой воздуха +17,4 градуса, самый холодный месяц в году – январь, со средней температурой воздуха -7,9 градусов.

Холодное время года наступает в ноябре, когда температура воздуха опускается ниже 0 градусов Цельсия, зимой часто бывают оттепели. Во время оттепелей температура днем может достигать 6 - 8 °С. Весна приходит в апреле. В конце мая в Смоленске начинается лето, средняя температура за летние месяцы составляет +15,1 градуса. Осень приходит в сентябре, средняя температура осенью составляет +4,8 градуса, в октябре появляются заморозки.

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 683 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в июле и составляет 91 мм. Самым влажным месяцем считается ноябрь со средней влажностью 89%.

#### 1.5 Климат и физико-географические параметры города Великие Луки

Город Великие Луки расположен в пределах Ловатской низины. Климат города можно охарактеризовать как умеренно-континентальный. Зима снежная и довольно продолжительная, с оттепелями, лето умеренно-теплое и дождливое, преобладают ветры с южной составляющей. Самый теплый месяц в году – июль, со средней температурой воздуха +18 градусов,

самый холодный месяц в году – февраль, со средней температурой воздуха -6 градусов.

Холодное время года наступает в ноябре, когда температура воздуха опускается ниже 0 градусов Цельсия, зимой случаются оттепели. Весна приходит в марте-апреле. Средняя температура в Великих Луках за летние месяцы составляет +17,6 градусов. Осень наступает в сентябре, средняя температура осенью составляет +5,6 градусов.

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 639 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в июне и составляет 86 мм. Самым влажным месяцем считается январь со средней влажностью 87%.

#### 1.6 Климат и физико-географические параметры города Псков

Псков располагается в центре Псковской низменности на месте впадения реки Псков в реку Великую. Климат города переходный от умеренно морского к умеренно континентальному. Зима мягкая, лето преимущественно теплое. Самый теплый месяц в году – июль, со средней температурой воздуха +18,3 градусов, самый холодный месяц в году – февраль, со средней температурой воздуха -5,7 градусов. Территория Псковской области входит в зону повышенной циклонической деятельности атлантических, континентальных и арктических воздушных масс атмосферы. В течение года преобладают южные и юго-западные ветры (16-21% от повторяемости всех других направлений), а также юго-восточные и западные (12-16%).

Холодное время года наступает в ноябре. Весна приходит в марте-апреле. Средняя температура в Великих Луках за летние месяцы составляет +16,8 градусов. Осень наступает в сентябре, средняя температура осенью составляет +2,5 градусов.

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 702 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в августе и составляет 94 мм. Самым влажным месяцем считается ноябрь со средней влажностью 93%. Распространение атмосферных осадков по территории области неравномерное. Однако на возвышенностях в год выпадает до 855 мм осадков, причем в большей степени увлажнены наветренные юго-западные, южные и западные склоны.

### 1.7 Климат и физико-географические параметры города Старая Русса

Старая Русса располагается в южном Приильменье. Климат города умеренно континентальный, ветра преимущественно юго-западные и южные. Зима мягкая, без обильных снегопадов лето жаркое. Самый теплый месяц в году – июль, со средней температурой воздуха +18,4 градусов, самый холодный месяц в году – февраль, со средней температурой воздуха -6,4 градусов.

Холодное время года наступает в первой половине декабря. Весна приходит в конце марта. Средняя температура в городе Старая Русса за летние месяцы составляет +16,9 градусов. Осень наступает в сентябре, средняя температура осенью составляет +5,4 градуса [2].

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 641 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в июле и составляет 76 мм.

### 1.8 Климат и физико-географические параметры города Тихвин

Тихвин располагается на юго-востоке Ленинградской области. Климат города умеренно континентальный, из-за более восточного положения средняя температура января ниже, чем в Санкт-Петербурге, почти на два градуса. Самый теплый месяц в году – июль, со средней температурой

воздуха +17,7 градусов, самый холодный месяц в году – февраль, со средней температурой воздуха -8 градусов.

Холодное время года наступает в первой половине ноября. Весна приходит в марте-апреле. Средняя температура в Тихвине за летние месяцы составляет +16 градусов. Осень наступает в сентябре, средняя температура осенью составляет +4 градуса.

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 764 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в августе и составляет 86 мм.

### 1.9 Климат и физико-географические параметры города Выборг

Город расположен на территории Выборгской низменности. Климат города морской с переходом к умеренно-континентальному. Зима умеренно мягкая, лето умеренно тёплое, что для такой географической широты объясняется влиянием Гольфстрима. Самый тёплый месяц в году – июль, со средней температурой воздуха +18,3 градуса, самый холодный месяц в году – февраль, со средней температурой воздуха -7,2 градусов [2,3].

Холодное время года наступает в ноябре, когда температура воздуха опускается ниже 0 градусов Цельсия. Весна приходит в апреле. Средняя температура в Великих Луках за летние месяцы составляет +16,5 градусов. Осень наступает в сентябре, средняя температура осенью составляет +5,3 градусов.

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 677 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в августе и составляет 82 мм. Самым влажным месяцем считается август со средней влажностью 88%.

## 1.10 Климат и физико-географические параметры города Санкт-Петербург

Город занимает прилегающее к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и многочисленные острова Невской дельты. Климат умеренный, переходный от умеренно континентального к умеренно морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией, характерной для Ленинградской области. Характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью. Летом преобладают западные и северо-западные ветры, зимой — западные и юго-западные. Самый теплый месяц в году – июль, со средней температурой воздуха +18,8 градуса, Самый холодный месяц в городе — февраль со средней температурой воздуха –5,8 градусов [3,4].

Холодное время года наступает в декабре, когда температура воздуха опускается ниже 0 градусов Цельсия. Весна приходит в апреле. Средняя температура Санкт-Петербурге за летние месяцы составляет +17,1 градуса. Осень наступает в сентябре, средняя температура осенью составляет +5,9 градуса.

Общее количество среднегодовых осадков в норме не превышает 662 мм, наибольшее количество выпавших осадков фиксируется в августе и составляет 83 мм. Влажность воздуха в Петербурге всегда высокая. В среднем за год составляет около 75 %, летом — 60-70 %, а зимой — 80-96 %. Большая часть атмосферных осадков выпадает с апреля по октябрь, максимум их приходится на август, а минимум — на март. Первый снег выпадает обычно в начале ноября и сохраняется до середины апреля.

Устойчивый снежный покров лежит от 110 до 145 дней, в среднем от начала декабря до конца марта. К концу февраля высота снежного покрова достигает максимальной величины около 30–32 см. В условиях высокой влажности характерна и значительная облачность

2. Особенности циркуляционных процессов, свойственных умеренным широтам.

### 2.1 Воздушные массы и фронты.

Темой бакалаврской работы является анализ синоптических процессов, формирующих начало весеннего сезона. Важными параметрами, входящими в область исследования, которые требуют изучения, являются воздушные массы.

Именно воздушные массы определяют основные погодные условия над регионом исследования, смена воздушных масс, поступающих к пунктам исследования ведет изменению погодных условий .

Воздушная масса (ВМ) — это объем тропосферного воздуха, соразмерный с материками и океанами. Обладает однородной погодой во всех своих частях. Перемещается как единое целое в системе общей циркуляции атмосферы.

Горизонтальные размеры - тысячи км. Вертикальные - от нескольких км до тропопаузы (9-11 км).

Район, в котором воздух приобретает свойства единой воздушной массы, называют очагом формирования ВМ.

Трансформация ВМ. При перемещении из очага формирования воздушная масса попадает в другие условия, ее свойства начинают изменяться, ВМ трансформируется. Трансформация в первые сутки после

вторжения ВМ в новый географический район происходит быстрее, чем в последующие дни, т. е. скорость трансформации тем больше, чем больше отклонение метеорологической величины от условий равновесия. Период трансформации, т. е. число дней, за которое будут достигнуты условия равновесия, составляет 5—7 дней.

Режим погоды над территорией в значительной степени определяется свойствами воздушной массы, которая располагается над ней. (В)

К свойствам определенной воздушной массы относят однородность температуры воздуха, влагосодержания, дальности видимости и облачности. Абсолютно однородных воздушных масс в атмосфере не существует.

В синоптике выделяют консервативные характеристики воздушных масс, которые практически не меняются в суточном ходе или при вертикальных перемещениях воздушных частиц. К консервативным характеристикам воздушных масс относят псевдопотенциальную температуру и массовую долю водяного пара. Их используют для оценки эволюции и сопоставления свойств в соседних ВМ. Температура и относительная влажность в приземном слое малоконсервативны. Так как они имеют выраженный суточный ход.

При сближении теплой и холодной воздушных масс между ними образуется узкий переходной слой с большими горизонтальными градиентами температуры, который называют фронтальным слоем или, коротко, фронтом.

Классификация ВМ:

Географическая классификация ВМ основана на определении географического очага формирования воздушных масс. По этому принципу можно выделить основные типы: арктическая воздушная масса (АВМ), умеренная (УВМ), тропическая (ТВМ) и экваториальная (ЭВМ). С учетом характера подстилающей поверхности они могут быть отнесены к континентальным и морским. Более детальная классификация воздушных

масс, которую наиболее часто используют в синоптических обзорах: арктическая ВМ, умеренная ВМ (северная умеренная ВМ, южная умеренная ВМ), тропическая (тропическая и южная тропическая -экваториальная).

В таблице 2.1 представлены особенности метеорологических характеристик и циркуляции атмосферы для каждой ВМ.

Таблица 2.1. Основные свойства воздушных масс.

Тип воздушной массы, свойства	Направление потоков воздуха	Атмосферное давление	Кол-во осадков	Особенности циркуляции
АВМ, холодная, сухая	Нисходящие	Высокое	Мало	Летние и зимние циклоны, развивающиеся на арктическом фронте
УВМ, теплая, влажная	Восходящие	Низкое	Много	Западный перенос
ТВМ, жаркая, сухая	Нисходящие	Высокое	Мало	Пассаты и пояс субтропических антициклонов
ЭВМ, жаркая, влажная	Восходящие	Низкое	Очень много	ВЗК

Для анализа таблицы 2.1 необходимы дополнительные сведения об особенностях циркуляции атмосферы, в частности о первом планетарном кольце циркуляции, которое возникает под действием силы барического градиента из-за контрастов температуры воздуха между полюсом и

экватором. Контраст температур возникает из-за различающихся углов наклона прихода солнечной радиации к полюсу и экватору.

Первое планетарное кольцо ослабляется циркуляционными ячейками, самой известной из которых является ячейка Гадлея. Западный перенос возникает в следствии равенства силы барического градиента и силы Кориолиса именно в умеренных широтах.

Основываясь на том, что фронт – это узкая переходная зона между двумя соседними воздушными массами в атмосфере, можно выделить основные или главные климатические фронты. Главные фронты разделяют воздушные массы основных географических типов.

Арктический фронт отделяет арктический воздух от воздуха умеренных широт.

Умеренный (или полярный) фронт отделяет воздух умеренных широт от тропического воздуха.

В тропической и экваториальной зоне принято вместо фронтов выделять внутритропическую зону конвергенции (ВЗК). ВЗК – это переходная зона между пассатами Северного и Южного полушарий или между пассатом и муссоном, либо между пассатом и экваториальными западными ветрами. Характеризуется значительной сходимостью воздушных потоков

Высотная фронтальная зона (ВФЗ) – зона сгущения изогипс (изотерм) на картах барической топографии.

ВФЗ является переходной зоной в средней или верхней тропосфере между высоким теплым антициклоном и высоким холодным циклоном.

Высотные фронтальные зоны в тропосфере связаны с главными фронтами и струйными течениями.

При слиянии соседних ВФЗ образуется единая Планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ), которая опоясывает полушарие. ПВФЗ чаще

всего располагается в районе широты 40 градусов и в зависимости от сезона перемещается летом в северные широты, а зимой – в южные.

На рисунке 2.2 представлено поле геопотенциальных высот поверхности 500 гПа и поле ветра на высоте 5 км.

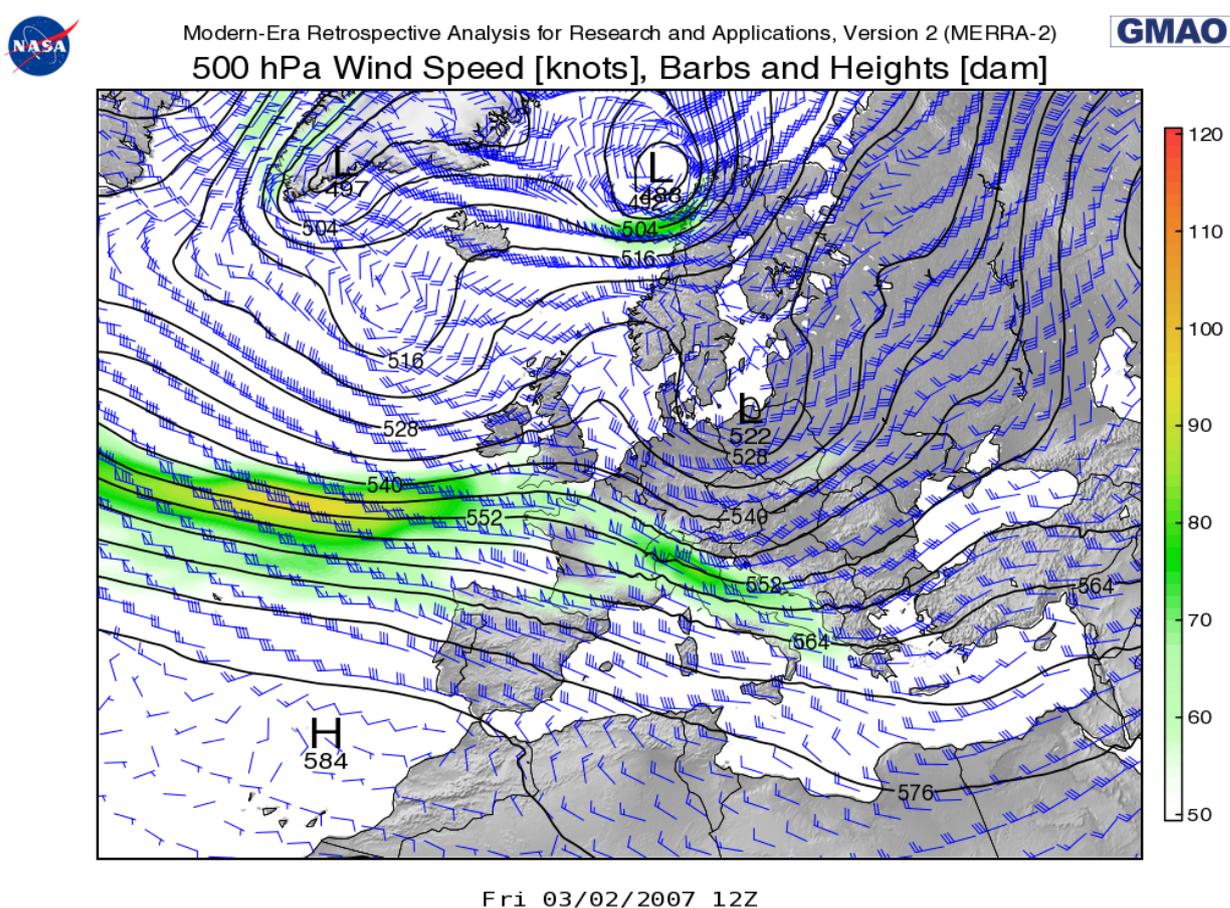


Рисунок 2.1 Поле геопотенциальных высот поверхности 500 гПа и поле ветра на высоте 5 км. Реанализ MERRA.

На данном рисунке прослеживается зона сгущения изогипс с выделенной областью максимальных ветров в узлах. На АТ300 (уровень 9 км) над этой же территорией проходит струйное течение.

В высотной фронтальной зоне выделяют вход и дельту (часть ВФЗ, в которой изогипсы расходятся). Часто в районе дельты ВФЗ можно обнаружить циклоны в начальной стадии развития.

Сгущение изогипс в центральной области ВФЗ соответствует значительным горизонтальным градиентам давления и зоне сильных ветров, скорость которых постепенно убывает в направлении периферий ВФЗ. Поэтому поле ветра в области ВФЗ имеет вид струи — воздушного потока большой скорости, который получил название струйного течения [10,11].

Струйное течение – это сильный узкий воздушный поток с почти горизонтальной осью в верхней тропосфере и стратосфере, характеризующийся большими горизонтальными и вертикальными сдвигами (градиентами) ветра. Нижний предел скорости ветра 30 м/с.

Как было сказано ранее, струйные течения связаны с высотными фронтальными зонами и главными климатическими фронтами. В тропосфере выделяют субтропические струйные течения, арктические и полярно-фронтальные. Арктические и полярные связаны с главными атмосферными фронтами – полярным и арктическим. На рисунке 3. представлено поле ветра на высоте 11 км.

На рисунке 2.3 можно выделить два струйных течения, связанных с полярным и арктическим фронтом. Скорость в них (фиолетовый цвет) достигает 50 м/с.

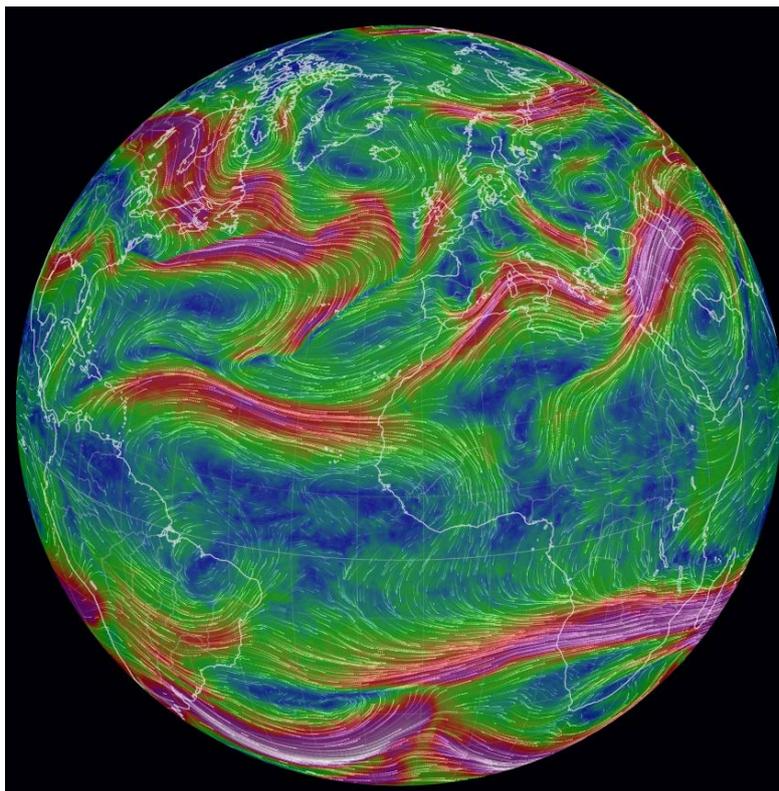


Рисунок 2.2 Глобальная карта ветров.

Географическую классификацию воздушных масс используют для составления синоптических обзоров, при исследовании условий формирования аномальных погодных явлений.

Для синоптического анализа и составления краткосрочных условий погоды используют синоптическую классификацию воздушных масс.

Она основана на сравнении температуры и температурной стратификации в соседних друг с другом воздушных массах [10,11].

Для понимания термических характеристик воздушных масс необходимо различать термодинамическую и синоптическую классификацию. В термодинамической классификации теплой называется такая воздушная масса, которая в данном районе постепенно охлаждается, поскольку ее температура выше температуры равновесия, т. е. не соответствует условиям

теплового и радиационного баланса. Холодной называется такая воздушная масса, которая в данном районе постепенно прогревается.

Синоптическая классификация все воздушные массы делит на относительно теплые и относительно холодные.

Относительно теплая – теплее соседних, может продолжать прогреваться.

Относительно холодная – холоднее соседних, может продолжать охлаждаться)

В дальнейшем будем использовать синоптическую классификацию воздушных масс.

С учетом температурной стратификации различают следующие типы воздушных масс:

- 1) относительно теплые воздушные массы — устойчивые и неустойчивые;
- 2) относительно холодные воздушные массы — устойчивые и неустойчивые;
- 3) нейтральные (местные) воздушные массы — устойчивые и неустойчивые.

Каждому типу воздушных масс по этой классификации присущи особые сезонные погодные условия

Относительно теплые – приходят на холодную подстилающую поверхность, охлаждаются, становятся вертикально устойчивыми (потенциальная температура  $\theta$  повышается с высотой).

Относительно холодные – приходят на теплую подстилающую поверхность, нагреваются, становятся вертикально неустойчивыми (потенциальная температура  $\theta$  понижается с высотой).

Устойчивость или неустойчивость воздушных масс приводит к развитию различных погодных условий. Для неустойчивых воздушных масс характерно образование конвективной облачности. В устойчивой воздушной

массе наблюдаются задерживающие слои и возможно образование слоистых форм облачности. Задерживающие слои в атмосфере – это слои с температурной инверсией, изотермией. Например, относительно теплая океаническая воздушная масса зимой приходит на континент. Нижняя часть ВМ охлаждается и становится устойчивой. Возникает приподнятая инверсия температуры (ведь верхняя часть ВМ еще не охладилась). Под приподнятой инверсией за счет вертикального турбулентного обмена образуются слоистые облака или адвективный туман.

В летнее время та же океаническая воздушная масса при продвижении на разогретый континент будет относительно холодной. Нижняя ее часть прогреется от подстилающей поверхности. Стратификация такой ВМ станет неустойчивой, что приведет к образованию конвективных явлений (грозы, шквалы и град)

Циклоническим вихрям свойственна конвергенция воздушных потоков в приземном слое. К центру барического образования затягивается воздух с различными температурными характеристиками и в результате образуются зоны раздела воздушных масс – фронтальные зоны. По особенностям перемещения, вертикальной структуре и погодным особенностям различают фронты: простые – теплые, холодные и стационарные (малоподвижные) и сложные (сомкнутые) – фронты окклюзии. Процесс смыкания атмосферных фронтов называется окклюдированием, а сомкнутый фронт называется фронтом окклюзии. Существуют еще верхние фронты, которые разделяют воздушные массы с различными свойствами в свободной атмосфере и у земной поверхности не прослеживаются [10,11].

По особенностям перемещения, вертикальной структуре и погодным особенностям различают фронты: простые – теплые, холодные и стационарные (малоподвижные) и сложные (сомкнутые) – фронты окклюзии. Процесс смыкания атмосферных фронтов называется окклюдированием, а сомкнутый фронт называется фронтом окклюзии. Существуют еще верхние

фронты, которые разделяют воздушные массы с различными свойствами в свободной атмосфере и у земной поверхности не прослеживаются.

Под теплым фронтом мы понимаем линию раздела между ВМ – теплая воздушная масса движется в сторону более холодной. Для холодного фронта – наоборот, холодная ВМ движется в сторону теплой. Следовательно, холодный фронт всегда будет обнаруживаться в тыловой части циклона (северо-западные или северные потоки движутся в сторону теплого сектора циклона), теплый – в передней (южные потоки теплого сектора циклона смещаются в сторону более холодных восточных ветров).

В процессе сближения холодной и теплой воздушных масс фронтальный слой приобретает наклон в сторону холодной воздушной массы.

Это связано с возникновением горизонтального градиента давления на высотах. Барическая ступень в теплом воздухе больше, чем в холодном воздухе. Поэтому, по мере поднятия вверх, давление в теплом воздухе становится выше, чем в холодном, т.е. возникает горизонтальный градиент давления. Теплый воздух начинает перемещаться в направлении силы барического градиента, то есть, в сторону холодного воздуха.

Таким образом холодный воздух движется клином, а теплый натекает на клин холодного. Это во многом определяет положение фронтальной зоны осадков и виды облачности, образующейся на фронтах .

На вертикальных разрезах атмосферных фронтов угол их наклона сильно преувеличен. Это связано с различием вертикального и горизонтального масштабов синоптических процессов.

Характер погоды на холодном фронте различается в зависимости от скорости смещения фронта, свойств тёплого воздуха перед фронтом, характера восходящих движений тёплого воздуха над клином холодного. В результате действия сил трения приземная часть холодного фронта тормозится о подстилающую поверхность, активно вытесняя теплый воздух

вверх и создавая конвективные движения теплого воздуха. Перед линией фронта в теплое полугодие наблюдаются кучево-дождевые облака.

В холодное полугодие кучево-дождевая облачность отсутствует или приходит с прибрежных районов сильно деформированная. В большинстве случаев в зимний период для холодных фронтов наиболее характерна мощная слоисто-дождевая облачность.

## 2.2 Основные формы циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса.

Изменение в датах наступления весны несомненно имеет циркуляционную природу, поэтому для анализа циркуляционных процессов, сопутствующих границе весеннего сезона, применяется каталог по формам циркуляции Вангенгейма-Гирса.

Для диагноза особенностей атмосферных процессов создан ряд классификаций атмосферных процессов, в основу которых положен принцип аналогичности. Предполагается инерционная природа данных процессов. При сопоставлении полной каталогизации атмосферных процессов, и синоптического архива данных, подбор аналогичных случаев из прошлого возможно применять для прогноза оперативной ситуации. Типизация Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса, позволяет анализировать атмосферные процессы с учетом их развития при разделении на стадии. Разделение форм атмосферной циркуляции сделано с учетом параметров атмосферы и гидросферы. Используются такие параметры, как характер длинных термобарических волн в тропосфере и нижней стратосфере, распределение аномалий атмосферного давления, температуры воздуха и осадков у поверхности Земли, уровень и температура воды в океанах и морях [10,11].

Рассмотрим классификацию Вангенгейма. В ней все виды атмосферных движений разделены на три формы атмосферной циркуляции: западная (W), восточная (E) и меридиональная (C).

Западная (W) форма – в тропосфере усиливается западный перенос, фиксируется зональное смещение циклонов с акватории Атлантики, зимой – перенос теплых воздушных масс сформировавшихся над океаном. Градиенты давления и температуры при W направлены с юга на север и значительно превышают многолетние значения, что свидетельствует об усилении циркуляции атмосферы и ослаблении межширотного обмена воздушными массами .

Меридиональной (С) форме циркуляции характерно расположение высокого теплого антициклона над восточной частью Атлантики и Западной Европы. На западной периферии высокого теплого антициклона наблюдается движение теплого воздуха в высокие широты.

Для восточной (Е) формы циркуляции наиболее известным примером может послужить распространение в зимнее время сибирского антициклона, для этой формы характерно наличие в тропосфере ведущего потока восточного направления. Еще одним примером являются смещающиеся на европейскую территорию с северо-востока антициклоны чаще всего, с Карского моря. Положение полей приземного давления при формах Е и W различаются лишь тем, что при Е центры циклонов и антициклонов смещены на запад .

### 3. Анализ циркуляционных особенностей начала весеннего сезона на западе ЕТР

#### 3.1 Постановка цели и задачи научно-исследовательской работы

Целью бакалаврского проекта ставится анализ циркуляционных условий формирования весеннего сезона на европейской территории России.

Для того, чтобы проанализировать начало весны в области исследования необходимо выполнить следующие задачи:

1) Создать архив данных по датам начала весны в выбранных станциях.

В процессе работы, для описания запада европейской территории России, были выбраны следующие станции: Брянск, Смоленск, Великие Луки, Псков, Старая Русса, Тихвин, Выборг, Санкт-Петербург. Предполагается собрать архив данных по среднесуточной температуре воздуха за период с 1960 по 2019 годы, и провести расчет даты начал весны методом Хаустова.

2) Проанализировать циркуляционные особенности наступления весны по каталогу Вангенгейма-Гирса.

3) В работе предполагается весну разделить на квартильные градации и проанализировать синоптические условия, формирующие начало весеннего климатического сезона характерные для каждой градации.

Источник данных для работы – среднесуточные наблюдения температуры воздуха с ВНИИГМИ-МЦД.

### 3.2 Анализ динамики начала весеннего сезона на западе ЕТР.

Первым этапом работы было рассчитать и проанализировать переходы температуры воздуха через 0 градусов на выбранных станциях. В результате расчетов, получены даты начала весны во всех пунктах. Для каждого пункта было проведено скользящее осреднение с окном осреднения 30 лет и построены графики начала весны, представленные на графике рисунка 3.3

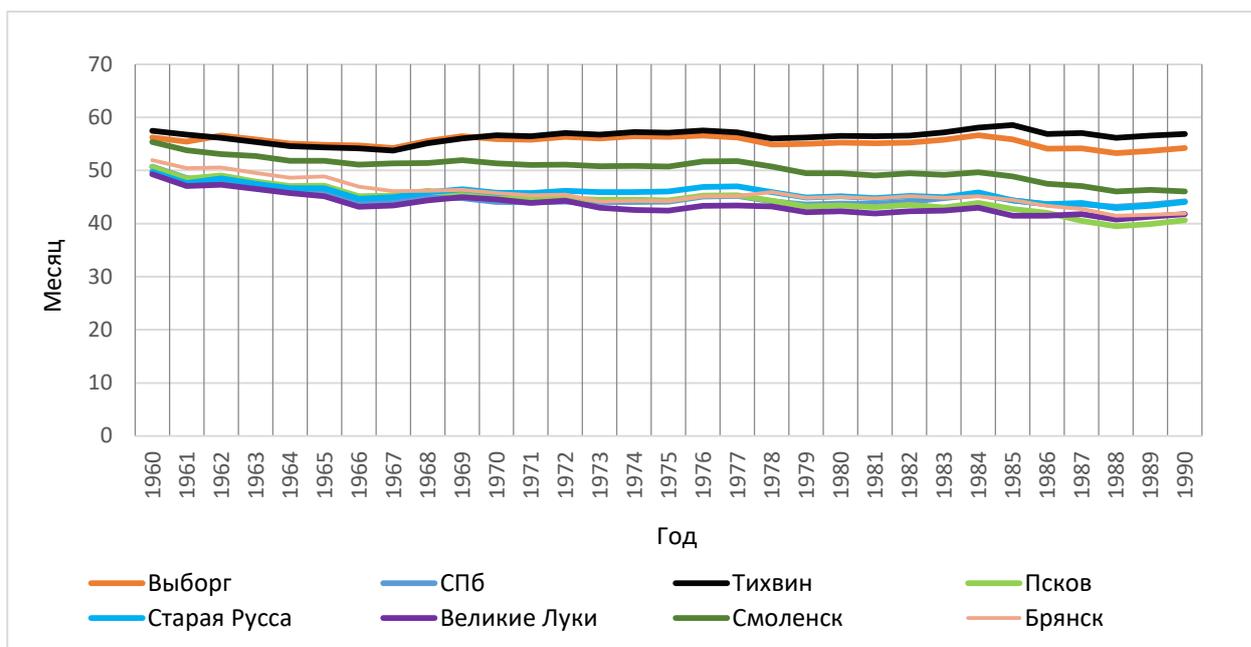


Рис 3.3 Скользящее осреднение начала весен

В результате сопоставления осредненных графиков начала весен, на всех выбранных станциях, можно сделать вывод о том, что прослеживается общий ход дат наступления весен на всех станциях. Исходя из этого, можно

заключить, что все станции относятся к одной циркуляционной группе, то есть теплый устойчивый период вызывает один и тот же синоптический процесс. Незначительная разница в датах наступления весны на станциях связана с их географическим положением и траекториями барических образований. В дальнейшей работе данный вывод получит подтверждение на основе анализа синоптических ситуаций.

Для более детального анализа, на основании сделанных выводов, центральным пунктом области исследования был выбран город Великие Луки.

На графике рисунка (рис 3.4) представлен неосредненный ход дат начала весны за период с 1960 года по 2019 год в Великих Луках.

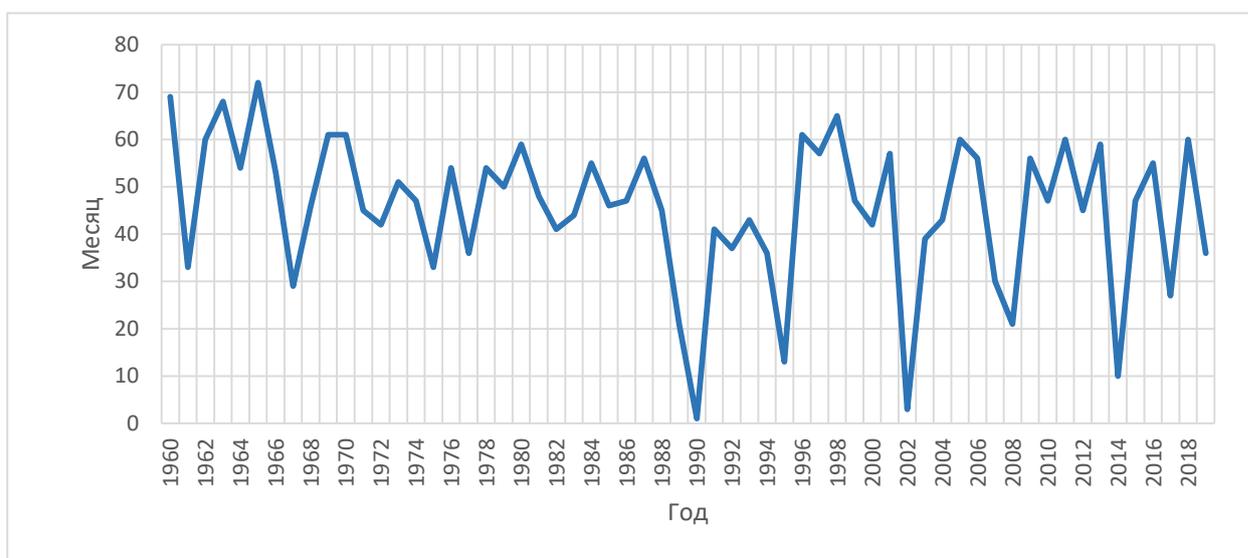
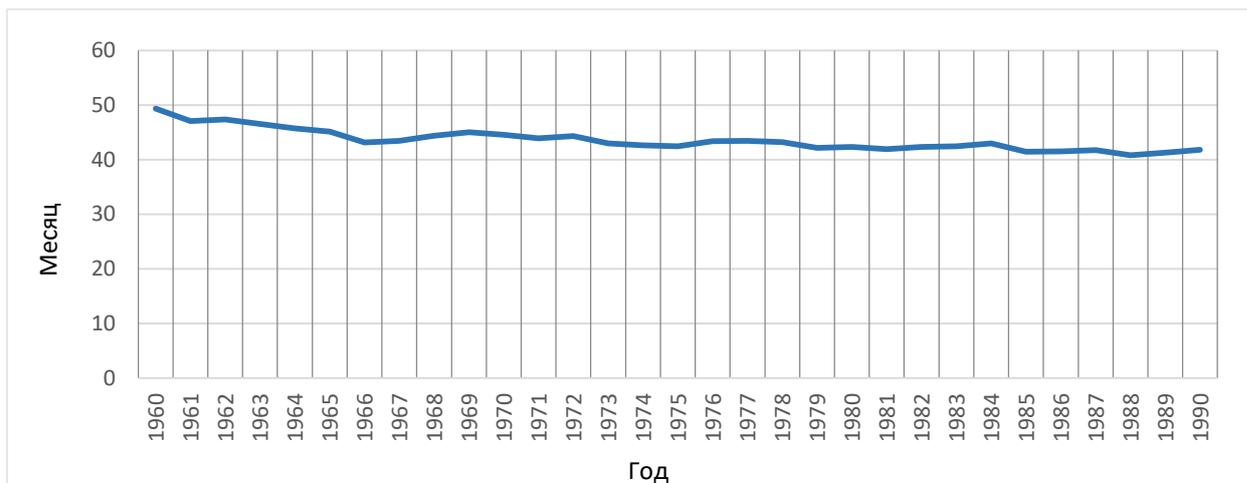


Рис. 3.4 Неосредненный ход дат начала весны за период с 1960 года по 2019.

В результате анализа графика на рисунка 3.2.3 можно отметить, что начиная с середины 80-х годов увеличивается амплитуда ранних и поздних дат наступления весны. Впервые за исследуемый период фиксируется переход через 0 градусов в сторону повышения в начале февраля (1 февраля 1990 года и 3 февраля 2002 года). По данному графику сложно оценить

тенденцию начала весны. Даты устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел были осреднены методом скользящего среднего с



окном осреднения в 30 лет и представлены на графике рисунка 3.5

Рисунок 3.5 Осредненные даты перехода температуры воздуха через 0 градусов методом скользящего среднего

В районе города Великие Луки за весь исследуемый период наблюдается сдвиг границы начала весны в сторону холодного полугодия на 6 дней. Необходимо отметить, что это происходит в результате возникновения аномально ранних февральских весен (рисунок 3.2.3).

Таблица 3.2 – Границы квартильных градаций для дат начала весны за период с 1960 года по 2019 год

Сокращение	Градации	Число
ЗРС	Значительно раньше среднего	До 12 февраля
РС	Раньше среднего	с 13 февраля - 6 марта
СВ	Средняя весна	с 7 марта - 25 марта
ПС	Позже среднего	с 26 марта - 8 апреля
ЗПС	Значительно позже среднего	Позже 8 апреля

Для дальнейшего исследования даты начала весны были разделены на квартильные градации. Дата каждой весны была сопоставлена с каталогом форм атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса. Результаты представлены в таблице. Формы циркуляции в данной работе приняты: ФЦ1 – западная; ФЦ2 – восточная, начало весны по меридиональной форме циркуляции не фиксировалось.

Таблица 3.3 – Число случаев западной и восточной форм циркуляций (ФЦ 1, ФЦ 2 )

	Число случаев ФЦ 1	Число случаев ФЦ 2
с 1960 - 1989	10	20
с 1989 - 2019	21	9

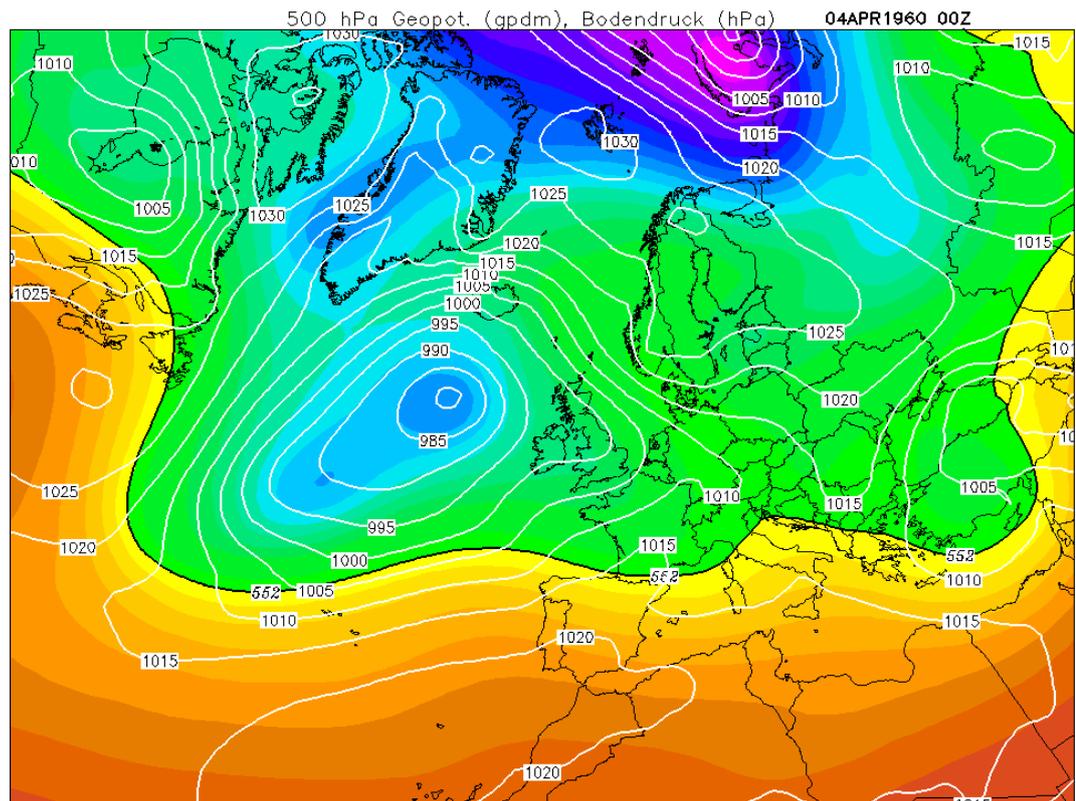
Анализируя таблицу (3.2.5), можно сделать вывод, что в первые 30 лет преобладала восточная форма циркуляции, а во второе 30 лет западная. Наибольший интерес представляет градация начала весны "Раньше среднего". При анализе данной градации был получен вывод о преобладании западной формы циркуляции атмосферы по каталогу Вангенгейма-Гирса, что составило 75% от всех случаев градации "Раньше среднего".

### 3.3 Анализ синоптической ситуации, характерной позднему началу весны.

На первом этапе работы рассмотрим характерные синоптические ситуации встречающиеся при начале весны для разных градаций. В работе

используется понятие “дружная весна”. Под “дружной весной” понимается период от 7-и дней, когда сохраняются положительные температуры, 7 дней – естественный синоптический период по Б.П Мультановскому. Приведем пример начала весны для градации “Позже среднего”. На рисунке 3.6 представлена карта погоды за 4-е апреля 1960.

Рисунок 3.6 Поздняя весна. Синоптические условия до наступления весны.

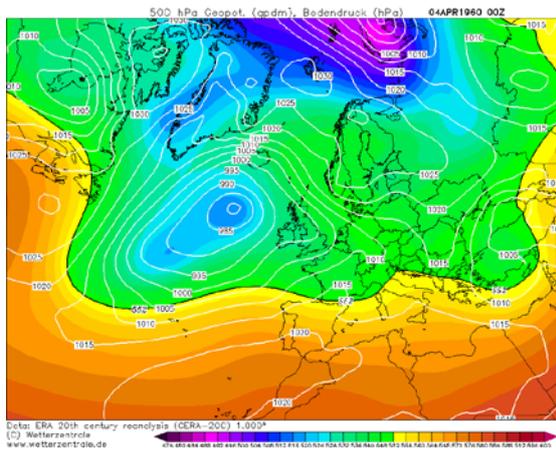


## Арктический антициклон.

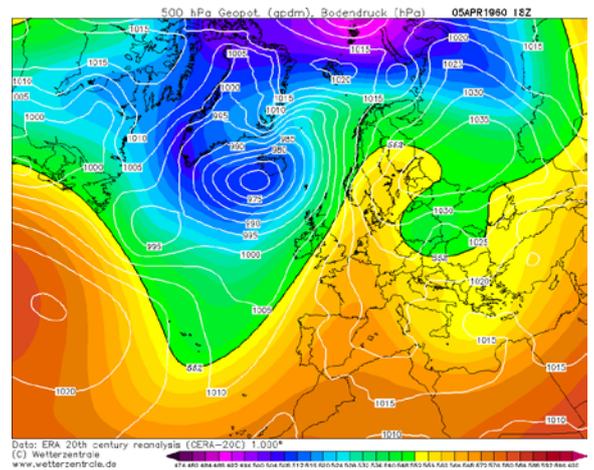
Весна в данном году началась 10 апреля, что попадает в градацию “Позже среднего”, на данной карте представлена синоптическая ситуация до начала весны, на ней видно, что длительное время над европейской территорией РФ, над северо-западным регионом, располагался мощный арктический антициклон, область исследования попадает в область мало-градиентного поля центральной части арктического антициклона, высотная фронтальная зона (ВФЗ), разделяющая умеренную воздушную массу и тропическую воздушную массу располагается намного ниже своих зимних климатических значений, это свидетельствует об активизации арктических и северных умеренных воздушных масс. Область исследования располагается в зоне низких температур, что свидетельствует о блокировке теплых воздушных масс.

Рассмотрим динамику начала весны, соответствующую данному году. На рисунке 3.7 показано последовательное изменение конфигурации высотной фронтальной зоны до даты устойчивого перехода температуры воздуха, за несколько дней до начала весны.

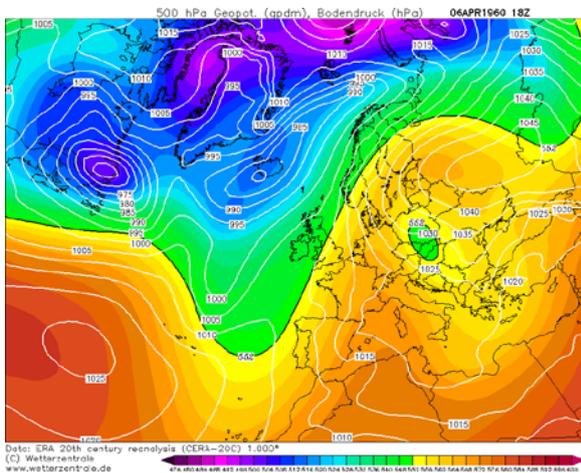
Арктическое вторжение, которое, сформировало длительные низкие температуры (рис. 3.7 а)) заканчивается. Над центром и западом ЕТР формируется отдельное ядро антициклона. В средней тропосфере высотная фронтальная зона меняет свою конфигурацию, наблюдается волна ВФЗ с гребнем в районе Балтийского моря (рис. 3.7 б)), которое соответствует западной периферии антициклона. В дальнейшем ВФЗ сдвигается в сторону арктического побережья, над территорией запада ЕТР, центральной России, северо-западной части России, на высоте 5км циркулирует тропическая воздушная масса.



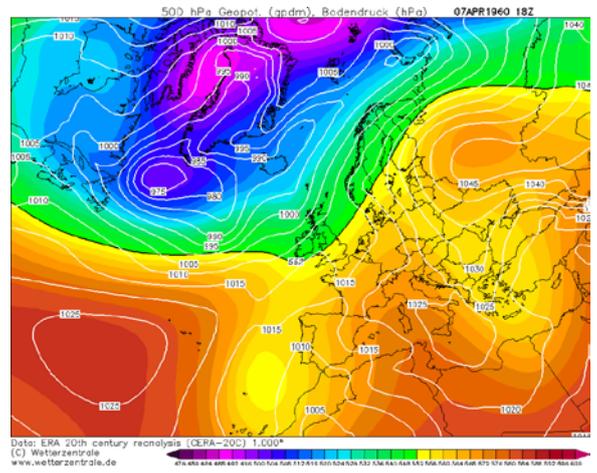
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.7 Изменение положения высотной фронтальной зоны. Динамика начала весны а) – 4 апреля, б) 5 – апреля, в) 6 – апреля, г) 7 – апреля.

Исследуемый регион находится на западной периферии антициклона, дневные температуры отмечаются выше 0 градусов, однако устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0 отмечается 10 апреля, что иллюстрирует график на рисунке 3.8 уже, 7, 8, 9 апреля среднесуточная температура находится около 0 градусов. Антициклон является

малоподвижным барическим образованием, область исследования находится под длительным влиянием его западной периферии.

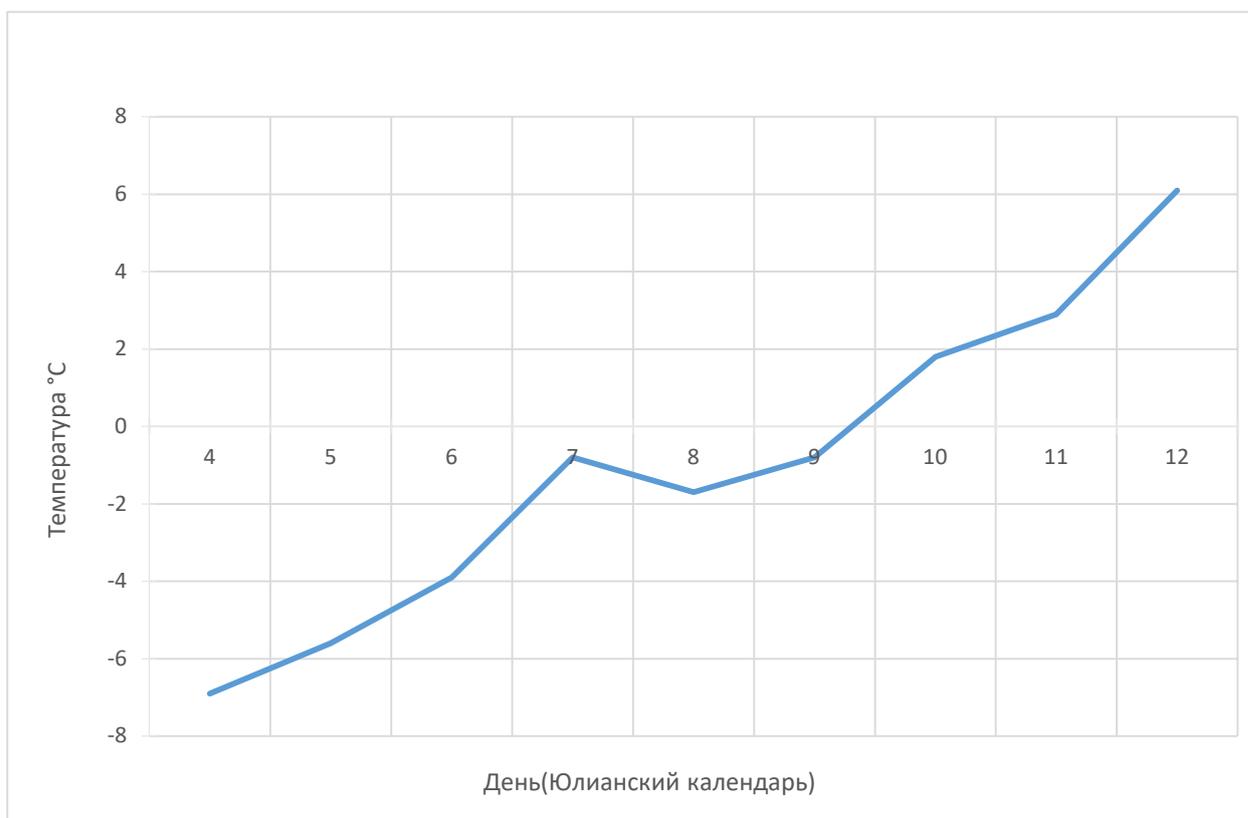


Рисунок 3.8 Ход среднесуточной температуры воздуха с 4 по 12 апреля

В результате анализа поздних весен можно сделать вывод о том, что длительный период до начала весны, попадающей в градацию “Позже среднего” над европейской территории России в западной ее части, характеризовался арктическими вторжениями. Синоптическая ситуация начала поздней весны наиболее часто обуславливается областью малоградиентного поля центральной части антициклона. В конце марта и начале апреля данная ситуация способствует притоку тепла.

### 3.4 Анализ синоптической ситуации, характерной раннему началу весны.

Наибольший интерес представляют ранние даты начала весны. За весь исследуемый период в градацию “Раньше среднего” попало 11 лет. В последние 30 лет повторяемость градации “Раньше среднего” с 4-х случаев до 7 случаев, почти в 2 раза. Рассмотрим синоптические процессы, которые формируют условия возникновения ранних весен. Для каждой выделенной весны был построен детализированный график хода среднесуточных температур. Термический режим был проанализирован за 10 дней до начала весны, и в течение месяца после. Все ранние переходы были разделены на 2 группы: 1 группа – уверенный переход с длительным периодом положительных среднесуточных температур; 2 группа – переход с кратковременными возвратами холода.

Рассмотрим случаи начала весны, попавшие в первую группу. В качестве примера проанализируем весну 1989 года. Ход среднесуточных температур для этого года представлен на графике рисунка 3.9, за период с 10 февраля по 1 апреля.

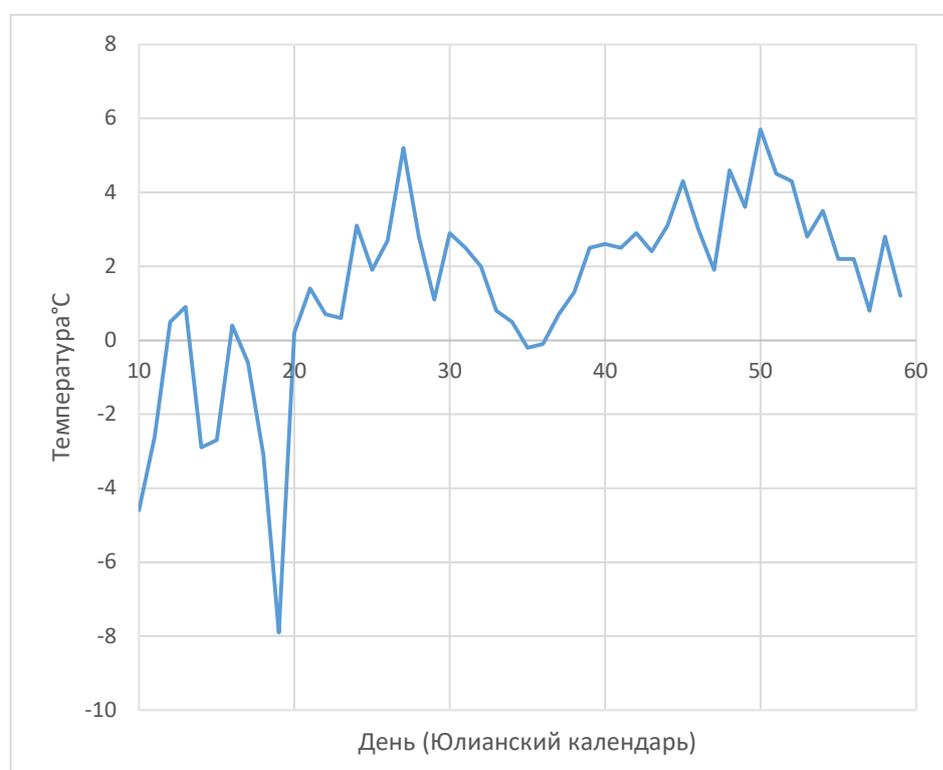


Рисунок 3.9 Ход среднесуточной температуры воздуха при наступлении “дружной” весны.

В результате анализа хода среднесуточных температур в феврале 1989 года необходимо отметить, что началу соответствовало значительная амплитуда температуры воздуха, от  $-7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , последующий период характеризовался положительными температурами, которые не опускались ниже  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течении 15 дней. Проанализируем синоптическую ситуацию, соответствующую этому периоду.

На совмещенной карте погоды (AT850 и приземная карта, модель реанализа ERA), над областью исследования располагается центральная часть обширного антициклона с давлением в центре 1035 гПа, наблюдается малоградиентное барическое поле. На высоте 1,5 км над арктическим побережьем, над архипелагом Новая Земля прослеживается очаг холода.

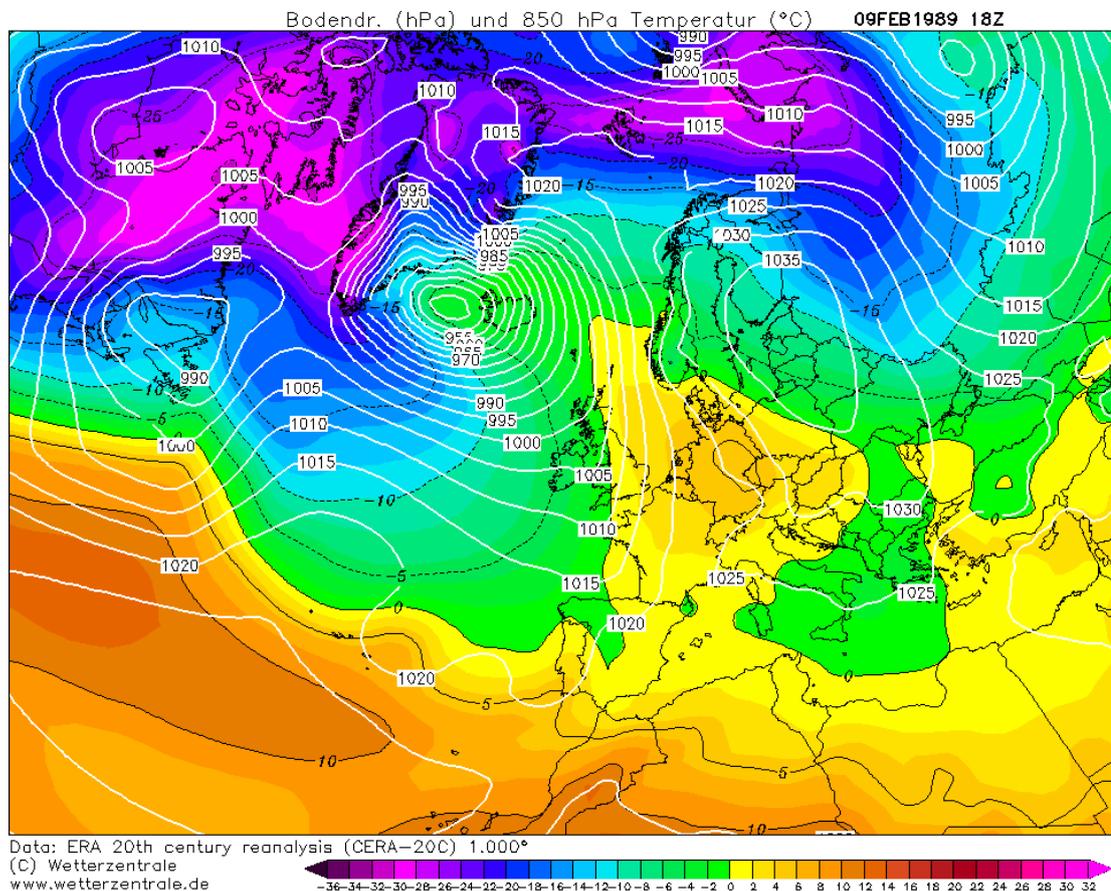


Рисунок 3.10 Ранняя весна. Синоптические условия до наступления весны.

Западная часть ЕТР располагается в юго-западной периферии очага холода. На юге Европы и в районе западного побережья Скандинавии отмечается гребень тепла, связанный с теплым сектором глубокого циклона с центром районе Исландии. До 19 февраля отрицательные температуры были связаны с малоградиентным полем антициклона, незначительные повышения температуры были связаны с теплым сектором Атлантического циклона. Ситуация перехода температуры воздуха через нулевой предел представлена на рисунке 3.11

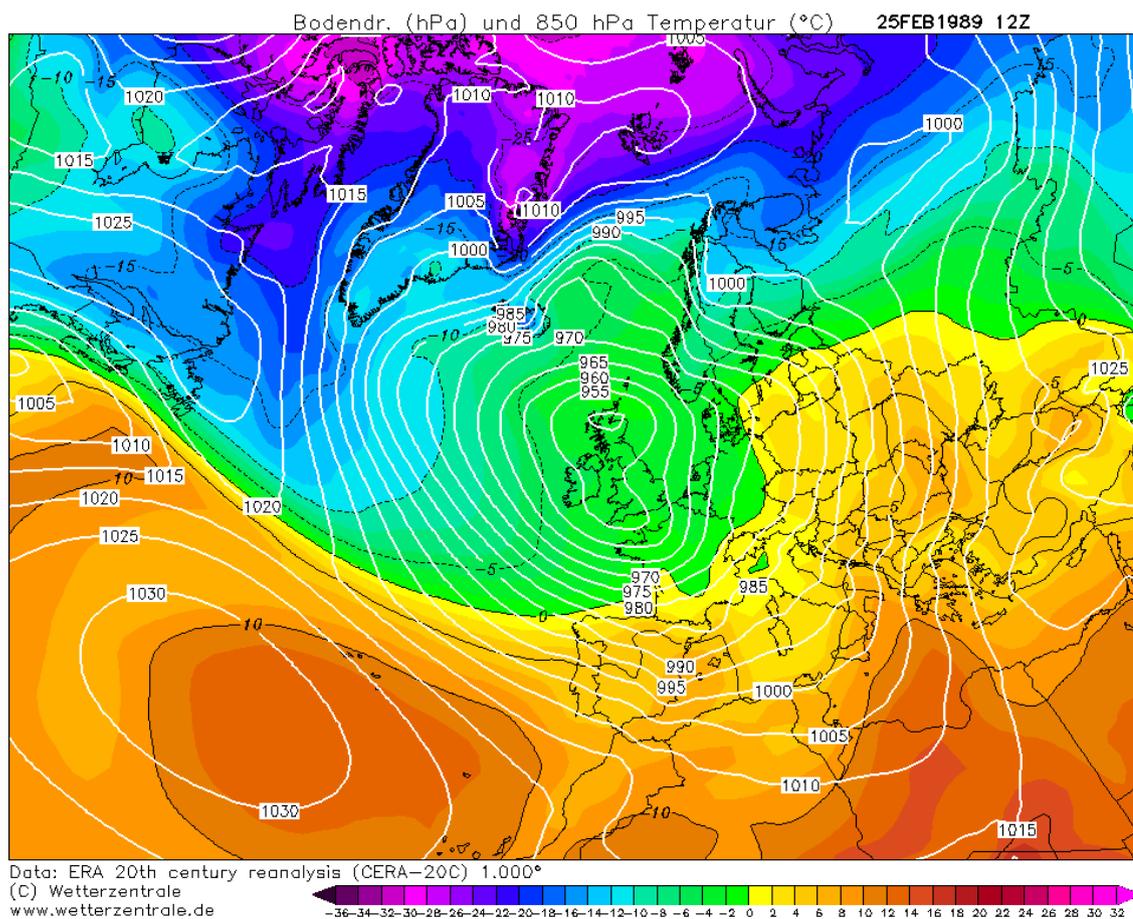
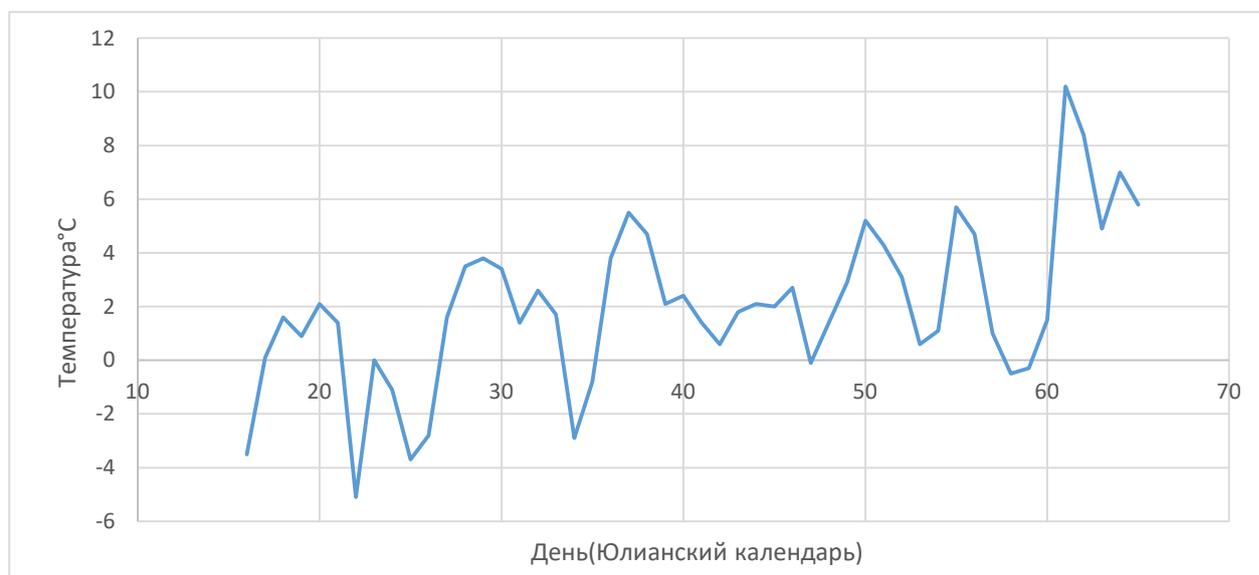


Рисунок 3.11 Ранняя весна. Период с устойчивыми положительными температурами.

Длительный период после даты устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел связан с сериями циклонов, центры которых двигаются из района Великобритании через Скандинавский полуостров в сторону Карского моря. На рисунке 3.11 представлена синоптическая ситуация в один из самых теплых дней периода с устойчивыми положительными температурами воздуха. Над Великобританией наблюдается глубокий циклон, северная Атлантика и часть Европы располагается в зоне высоких барических градиентов. Область исследования оказывается под воздействием теплого сектора Атлантического циклона. На высоте 1,5 км (AT850) прослеживается гребень тепла с положительными температурами. Окончание теплого периода связано с конфигурацией высотной фронтальной зоны. Над Балтийским регионом наблюдается омега-блокирование, над областью исследования прослеживается узкая высотная барическая ложбина, что способствует последующему арктическому вторжению.

В результате анализа типового случая “дружной” весны 1989 года, можно сделать вывод о том, что длительному периоду положительной температуры воздуха сопутствовали серии циклонов, теплые сектора которых находились над областью исследования. Циклоны двигались по траектории Великобритания – Карское море.

Рассмотрим вторую группу которой соответствует период с



кратковременными возвратами холода. Изменение среднесуточной

Рисунок 3.12 Ход температуры воздуха для весны с возвратами холода.

температуры воздуха за период от начала весны (28 февраля) до первых чисел апреля. В результате анализа термического режима после наступления климатической весны следует отметить большое количество волн холода, характер такой весны является неустойчивым. На рисунке 3.13 представлены синоптические ситуации соответствующим волнам холода и возвратам тепла в этот период.

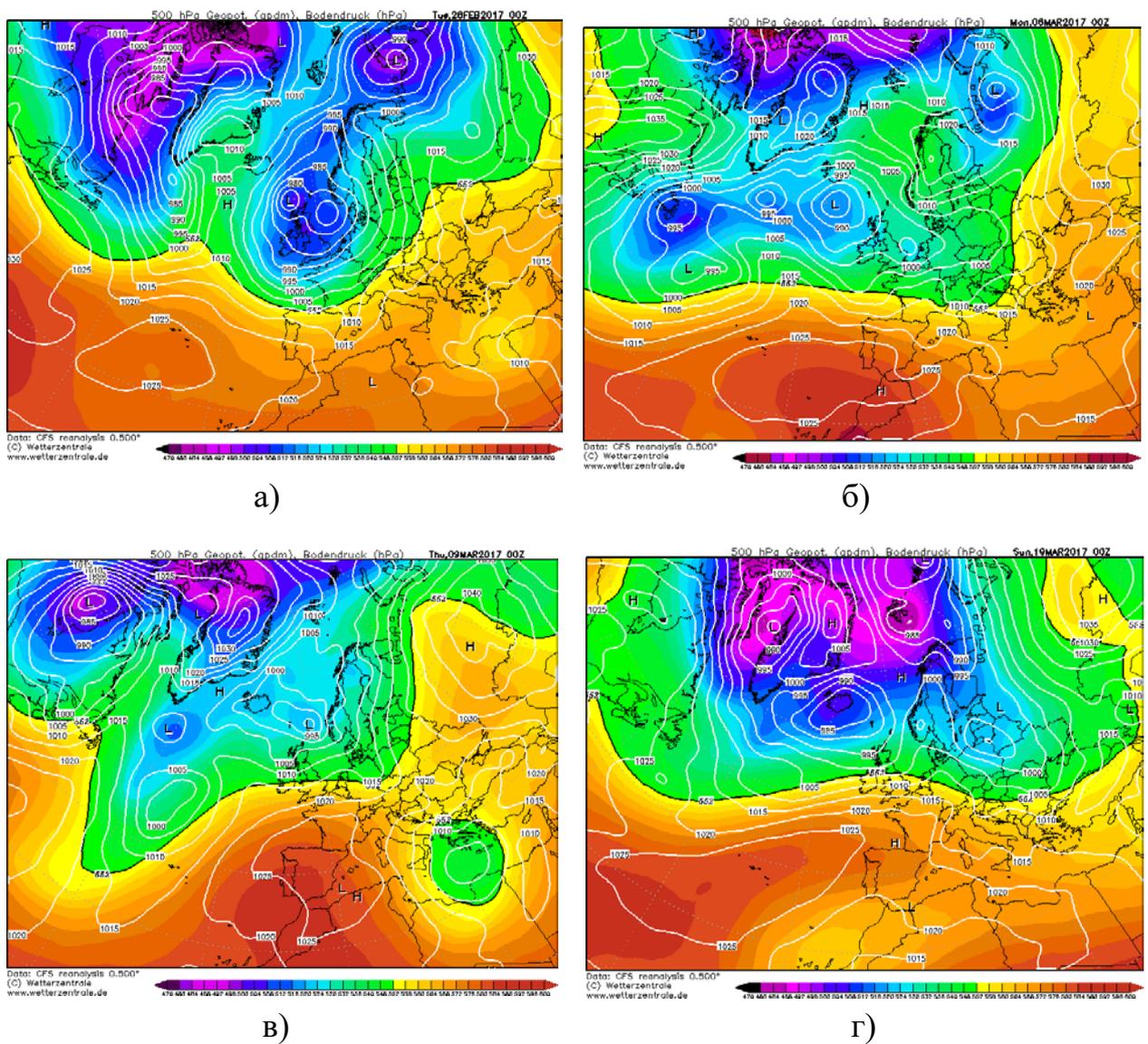


Рисунок 3.13 Синоптические ситуации волн холода и возвратов тепла; а) – начало весны; б), г) – волна холода; в) – возврат тепла.

Данная ситуация является типичной для второй группы весен. В качестве примера приведена весна 2017 года, 28 февраля наблюдался устойчивый переход температуры воздуха через нулевой предел. Устойчивому повышению температуры соответствовала передняя часть циклона с центром в районе Шотландии. Область исследования (запад ЕТР) находится под воздействием теплых воздушных масс с Восточной Европы. Над частью северной Атлантики и районом от Шпицбергена до архипелага Новая Земля наблюдается активный циклогенез – многоцентровые депрессии. Высотная фронтальная зона располагается выше своих климатических значений и пересекает север Украины.

Первый значительный возврат холода произошел 6 марта и был сформирован арктическим антициклоном, запад ЕТР находился в его юго-восточной периферии (рисунок 3.13 б)) холодный воздух поступал с области Белого моря, похолодание было незначительным, от -1 до -2 градусов.

Существенному потеплению 9 марта сопутствовал волнообразный изгиб ВФЗ (омега-блокирование с вершиной волны над севером Центральной России), в приземном поле под волной ВФЗ, на высоте 5 километров расположился малоподвижный антициклон, область исследования находится в его западной периферии.

Последнее значительное похолодание этой весной фиксировалось 19 марта и было вызвано арктическим вторжением. Запад ЕТР находится в малоградиентном поле ложбины от арктического циклона, на область исследования оказывает влияние частный циклон, который сформировался в этой ложбине. Похолодание в этом случае так же было незначительным и обуславливалось малоградиентным полем, ночным выхолаживанием и дневным прогревом за счет ясного неба.

В результате анализа синоптической ситуации, характерной для 2-ой группы весен можно сделать вывод, о том, что при неустойчивом начале

весны возвратам холода соответствуют арктические вторжения как циклонического, так и антициклонического характера.

Следствием анализа условий формирования начала ранних весен является разделение ранних весен на две группы по ходу среднесуточных температур после даты устойчивого перехода температур через 0 градусов. Были выделены две группы весен: 1 группа – уверенный переход с длительным периодом положительных среднесуточных температур (“дружная весна”); 2 группа – переход с кратковременными возвратами холода (“неустойчивая весна”). Типовая ситуация для начала весны первой группы определяется траекториями серий циклонов, центры которых смещаются из района Британских островов через Балтийский регион в сторону Карского моря. Типовой ситуацией для начала весны второй группы так же является южная часть северо-атлантического циклона последующая неустойчивая погода связана с арктическими вторжениями, однако область исследования располагается в тех частях барических образований которые не способствуют наступлению значительных похолоданий.

### 3.5 Характерная синоптическая ситуация для весны градации “Средняя весна”

В процессе работы над бакалаврским проектом были рассмотрены все даты начала весны, которые попадают в градацию “Средняя весна” за период с 1960 года по 2019 год. Даты были сопоставлены с приземными и высотными синоптическими картами, полученными по данным реанализа. За весь период исследования наиболее характерным ситуацией для начала весны был циклон, область исследования находилась в его южной части (рисунок 3.14)

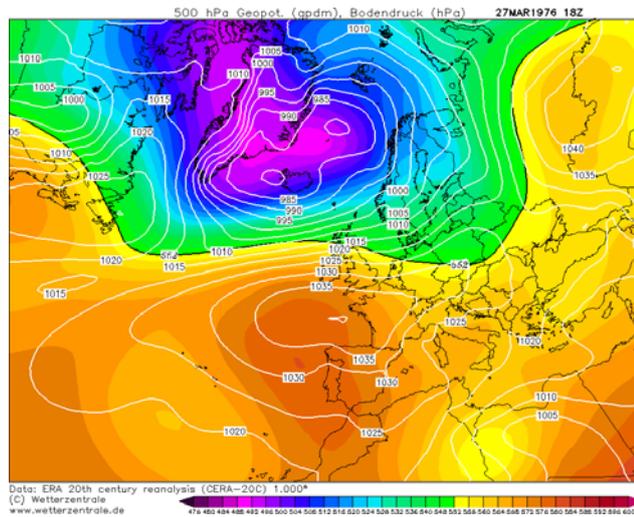
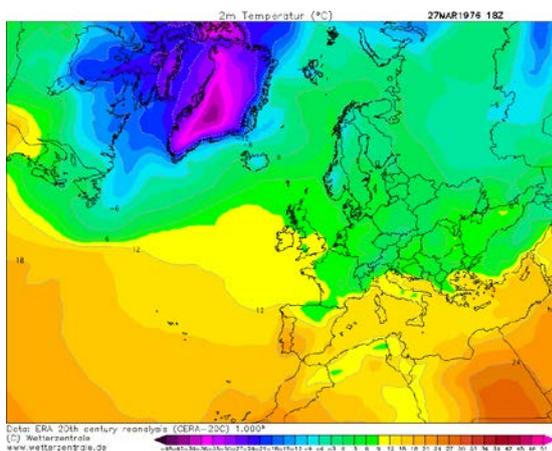
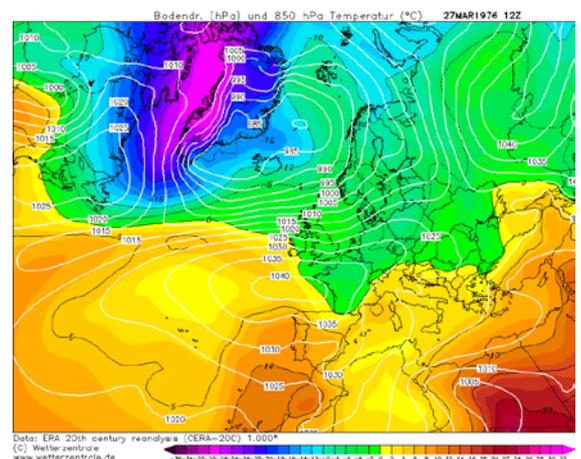


Рис. 3.14 Характерная синоптическая ситуация для весны (градация СВ).

Область исследования находится под влиянием северо-атлантического циклона. Циклон имеет 2 центра: 1 – над Исландией, 2 – над Гренландским морем. Севернее города Великие Луки пролегает ложбина. Рассматривая поле температуры воздуха на высотной карте АТ850 (рис б)) можно предположить,



а)



б)

Рис. 3.15 Поле температуры на высоте 1,5 км (АТ850), (а) и в приземном слое для весны (б)) (градация СВ).

что в вышеописанной ложбине располагается фронт окклюзии с точкой окклюзии в районе Ладожского озера. Великие Луки и область исследования

находятся в теплом секторе циклона, на приведенной карте отмечается гребень тепла, а на карте а) рисунка 3.15. Наблюдается очаг тепла с положительными температурами. Весна являлась “дружной”, температуры выше 0 градусов фиксировались в течении 9-и дней. Синоптический процесс определялся сменой малоградиентных гребней от антициклона расположенного над юго-западом Европы и передней и южной частями атлантических циклонов с центрами южнее Исландии. Так как исследование проводилось за длительный период времени в 60 лет, то это позволило провести оценку возможных современных изменений синоптических процессов для начала весны на западе ЕТР.

На рисунке 3.16 представлены наиболее типичные ситуации начала весны на западе ЕТР. Начиная с 2000-х годов увеличивается доля случаев с высокоградиентными полями в зоне исследования, при сохранении общей типовой синоптической ситуации. Над северным Атлантическим океаном, в последние десятилетия фиксируется активная многоцентровая депрессия, представленная на рисунке 3.16

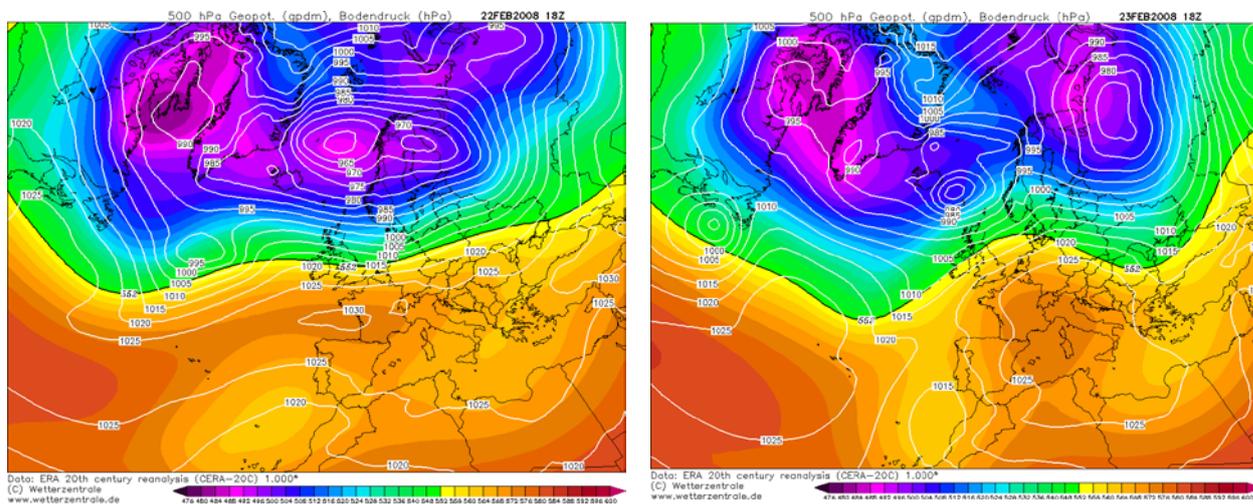


Рисунок 3.16 Современная синоптическая ситуация для начала весны.

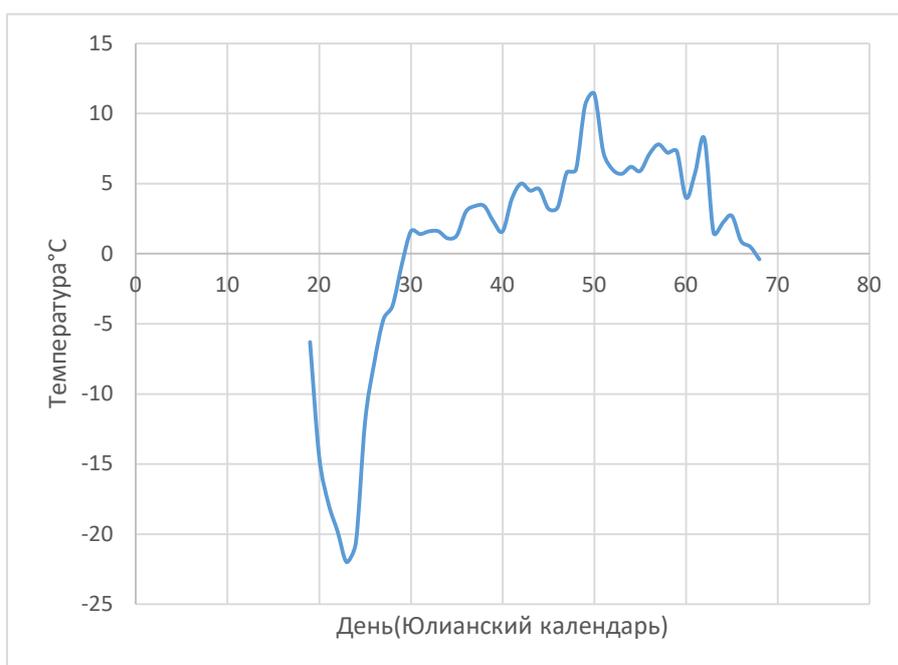
В подобных случаях, которые наиболее часто стали встречаться после 2010 года над западной Европой, западной частью ЕТР и в некоторых случаях центральной Россией наблюдаются высокоградиентные барические

поля. В районе Норвежского моря, Северной Атлантики и западной частью Северного Ледовитого океана отмечается активный циклогенез. Высотная фронтальная зона находится выше своих климатических значений для холодного полугодия, что способствует усилению контрастов температуры и давления в зоне исследования. Сама обширная область многоцентровой депрессии малоподвижна, однако во внутренней зоне наблюдается возникновение новых барических центров и регенерация старых.

В конечном итоге можно сделать вывод о том, что с течением времени синоптические условия наступления весны градации СВ не изменились. Началу весны в этот период соответствует передняя или южная часть циклона, в последние годы увеличивается доля случаев с высокоградиентными полями на западе европейской территории России.

### 3.6 Анализ аномальной весны 2007 года.

В ходе анализа синоптических ситуаций характерных началу весны был выявлен аномальный по ходу графика температуры воздуха год (рисунок 3.17), в котором весна началась 2 марта, и имела длительный



период

Рисунок 3.17 График хода среднесуточных температур воздуха для аномальной весны 2007 года.

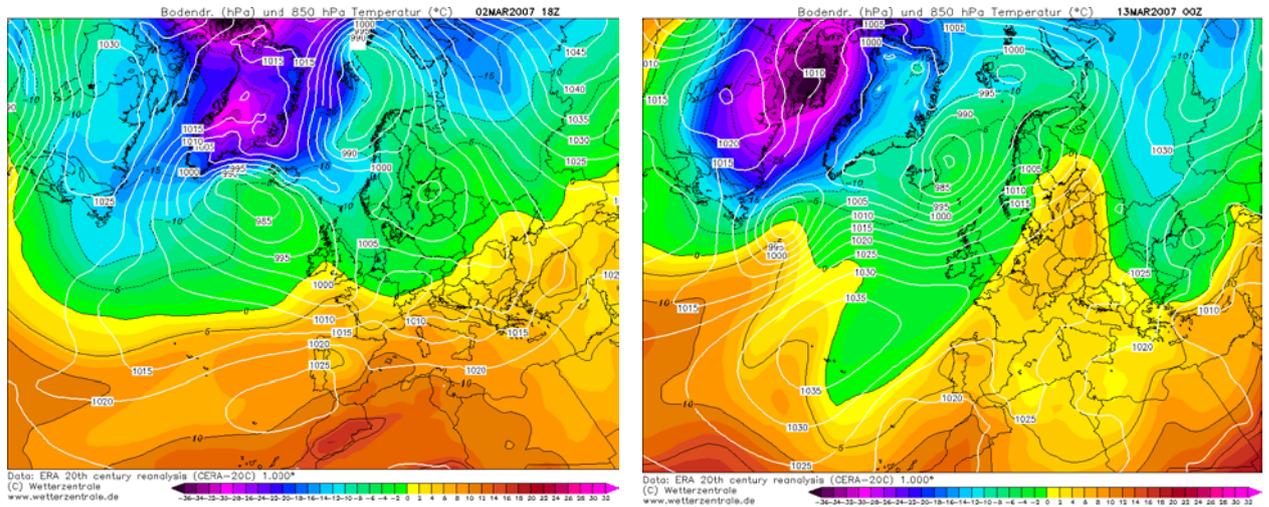
в 37 дней, без возвратов холода. Температура воздуха не опускалась ниже +3 градусов, в некоторые дни, например 22 марта фиксировалась среднесуточная температура воздуха +11,4 градуса. Возврат холода произошел 9 апреля с температурой -0,4 градуса и был кратковременным, на следующий день вернулся устойчивый положительный фон.

Рассмотрим синоптическую ситуацию в день начала весны и в период после. Весна в 2007 году началась 2 марта, в этот день над территорией запада ЕТР располагалась передняя часть двухцентрового циклона. Первый центр обнаруживается над Баренцевым морем и частью Норвежского моря. Второй центр, влияющий на погоду в области исследования располагается над Прибалтикой (рисунок 3.18 а)). Общие изобары двухцентровой депрессии имеют меридиональную конфигурацию и способствуют продвижению теплых воздушных масс с юга Украины. Карта погоды на рисунке 3.18 б) является совмещенной: приземной и АТ850. На АТ850 можно обнаружить гребень тепла, соответствующий теплomu сектору циклона. Наблюдается нестандартное движение воздушных масс с юга в сторону центра над арктическим регионом в его теплый сектор. Часть теплых воздушных захватывается теплым сектором циклона с центром над Прибалтикой.

В течении всего теплого периода (37 дней) преобладала циклоническая циркуляция, область исследования попадала в теплые сектора циклонов, данное утверждение иллюстрирует синоптическая ситуация 13 марта, где наблюдается очаг тепла в районе теплого сектора над западом ЕТР.

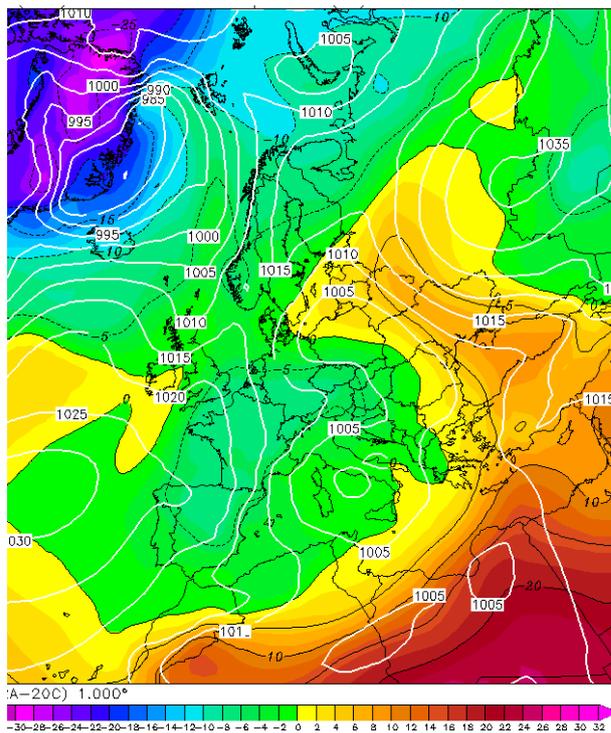
Особенно интересен случай 22 марта с аномально высокой для этого месяца температурой воздуха +11,4 градуса. 18 марта в районе Исландии образовался атлантический циклон, который в процессе своего развития

двигался в сторону Скандинавского полуострова, 19 марта давление в центре циклона составило 965 гПа. Над Северной Италией начала формироваться ложбина от этого циклона, в этот момент область исследования находилась в его теплом секторе. 20 марта в ложбине над Северной Италией образовался

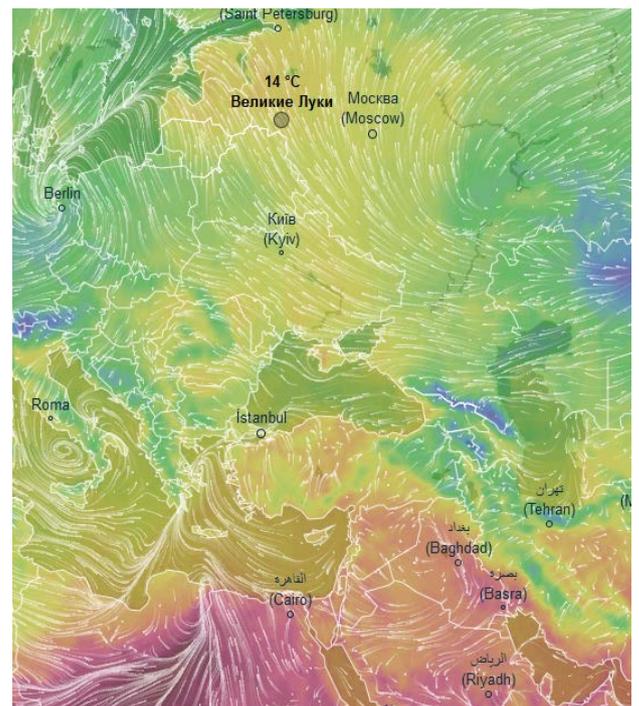


а)

б)



в)



г)

Рисунок 3.18 а) – двухцентровый циклон, б) – омега блокирование, в) гребень тепла, г) визуальная карта воздушных потоков и температуры

частный циклон, который в период с 20 марта активно развивался и эволюционировал в двухцентровую депрессию. Циклон активно захватывал воздушные массы с севера Африки, что вызывало аномально жаркую погоду в Восточной Европе, в процессе развития циклон занял территорию Италии, Балкан, Черного моря, Беларуси и Польши. Следствием его эволюции явились потоки теплого воздуха в район исследования с территории Кавказа, данное утверждение иллюстрирует визуальная карта воздушных потоков и температуры на рисунке 3.18 г). После периода положительных температур в 37 дней, было единственное кратковременное похолодание до  $-0,4$  градусов, связанное с малоградиентной тыловой частью циклона с центром над Арктикой. На следующий день положительный фон температуры восстановился, это было связано с малоградиентным полем высокого давления.

## Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы можно сделать следующие выводы.

За весь период исследования наблюдается изменение в дате наступления весны на всей территории, весна наступает раньше на 7 дней. С 1989 года отмечается увеличение числа случаев наступления аномально ранних и поздних весен.

Анализируя поздние весны, можно сделать вывод о том, что длительный период до начала весны характеризуется арктическими вторжениями. Наиболее часто синоптическая ситуация начала поздней весны обуславливается областью антициклонического малоградиентного поля или центральной части антициклона. В конце марта и начале апреля данная ситуация способствует притоку тепла.

Для весны попадающей в градацию “Ранняя” были выделены две группы весен: 1 группа – уверенный переход с длительным периодом положительных среднесуточных температур (“дружная весна”); 2 группа – переход с кратковременными возвратами холода (“неустойчивая весна”). Типовая ситуация для начала весны первой группы определяется сериями циклонов, центры которых смещаются из района Великобритании через Скандинавию в сторону архипелага Новая Земля. Типовой ситуацией для начала весны второй группы так же является южная часть северо-атлантического циклона. Последующая неустойчивая погода связана с арктическими вторжениями, однако область исследования располагается в

тех частях барических образований, которые не способствуют наступлению значительных похолоданий.

Характерная ситуация для наступления весны градации “Средняя весна” – передняя или южная часть циклона, в большинстве случаев область исследования оказывалась в теплом секторе циклона.

В результате для всех рассмотренных случаев можно сделать вывод о том, что с течением времени синоптические условия наступления весны не меняются. В последние годы увеличивается доля случаев с высокоградиентными полями на западе европейской территории России.

Аномально теплая весна 2007 года связана с нестандартной синоптической ситуацией. Влияющий на погоду на западе ЕТР циклон находился на юге Европы и наблюдались движения теплых воздушных масс с территории Кавказа.

## Список литературы

1. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Куроплина В.И. Дешифрирование «невидимых» орографических волн по данным спутниковой съемки в каналах водяного пара. В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции, 2019, 173-174 с.
2. Сайт Большой российской энциклопедии:  
<https://bigenc.ru>
3. Агроклиматические ресурсы Ленинградской области [Текст] : [справочник] / [подгот. Г. И. Бугинова, Р. М. Коронатова, А. Д. Ложкомоева и др.]. - Ленинград : Гидрометеоздат, 1971. - 119 с.
4. Климат Санкт-Петербурга и его изменения : [монография] / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гос. учреждение "Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова" ; под ред. В. П. Мелешко, А. В. Мещерской, Е. И. Хлебниковой. - Санкт-Петербург : Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, 2010. - 254, [1] с
5. В.Н. Серова, А.А. Барышева, В.С. Жекулин. География Новгородской области. - Л. Лениздат 1988 г.
6. А.И. Слинчак, А.В. Исаченков, И.С. Кулаков, А.Г. Манаков, Л.Я. Костючук, З.В. Жуковская, Т.И. Немцева, С.С. Людовиченко, Н.К.

- Вещель. География Псковской области / под ред. А.Г.Манакова. – Псков: ПОИПКРО, 2000
7. Климат Смоленской области / ред. Т.Г. Недошивина. - [Москва] : Гос. науч.-техн. гидрометеорол. изд-во, 1963.
  8. Ахромеев Л.М., Демихов В.Т., Чучин Д.И. Динамика климатических условий в г.Брянске с 1947 по 2011 годы// Материалы международной научной конференции (г. Воронеж 26-27 июня 2012 г.). Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2012. С. 114-117.
  9. Малая энциклопедия Забайкалья: Природное наследие / гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. – Новосибирск: Наука, 2009. – 698 с.
  10. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 - 48 с.
  11. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.
  12. Недвижаева А.В., Алексеева Д.С., Ефимова Ю.В. Оценка изменения циркуляционных условий, формирующих волны холода в Санкт-Петербурге. В сборнике: Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата. Доклады Третьей международной научной конференции с элементами научной школы. Министерство науки и высшего образования российской федерации, Северо-Кавказский федеральный университет. 2018. С. 163-167.