



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

На тему «Анализ синоптических условий формирования волн холода  
в зимний период в районе Санкт-Петербурга»

Исполнитель Недвижаева Анастасия Владимировна

Руководитель кандидат географических наук

Ефимова Юлия Викторовна

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент

Дробжева Яна Викторовна

«15» июня 2018 г.

Санкт-Петербург  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 Изменение климата	6
1.1 Общие сведения об изменении климата	6
1.2 Изменение метеорологических параметров в последнее десятилетие	11
1.3 Гипотезы причин изменения природной среды	13
2 Синоптические процессы, характерные для Европейского сектора Атлантического океана	18
2.1 Закономерности атмосферной циркуляции	18
2.2 Области максимальной повторяемости барических минимумов и максимумов	26
2.3 Циклоны и антициклоны. Циклон умеренных широт	30
3 Климатические особенности Санкт-Петербурга	36
3.1 Основные характеристики климата Санкт-Петербурга	36
3.2 Физико-географические особенности Санкт-Петербурга	37
4 Анализ синоптических условий формирования волн холода	39
4.1 Постановка цели и задач	39
4.2 Анализ экстремально низких зимних температур в Санкт-Петербурге	40
4.3 Анализ основных форм циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса	44
4.4 Анализ циркуляционных условий возникновения аномально низких температур	46
4.4.1 Характерная синоптическая ситуация для всех случаев	46
4.4.2 Анализ волн холода	51
4.4.3 Оценка положения Высотной Фронтальной Зоны	53

	Стр.
4.4.4 Анализ синоптических условий, формирующих минимальные зимние температуры за период с 2000 года по 2017	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	

## ВВЕДЕНИЕ

Магистерская диссертация на тему «Анализ синоптических условий формирования волн холода в зимний период в районе Санкт-Петербурга» является частью научно-исследовательской работы кафедры метеопрогнозов, направленной на исследования изменения сезонных климатических характеристик в различных точках Российской Федерации в течение второй половины 20 – начале 21 века.

Целью магистерского проекта является анализ фоновых циркуляционных условий, характерных для формирования низких зимних температур в районе Санкт-Петербурга за период с 1916 по 2017 год.

Так как в последнее время все великие умы планеты разбились на 2 лагеря: одни говорят о всемирном глобальном потеплении, другие же о похолодании, то актуальность работы говорит сама за себя, ведь проанализировав минимальные низкие температуры за сто лет мы сможем получить информацию о том, что из вышесказанного больше соответствует району Санкт-Петербурга.

Новизна магистерского проекта заключается в исследовании волн холода и условий их формирования за зимний период с 1916 по 2017 год, сравнительной характеристики двух базовых климатических периодов предложенных Всемирной Метеорологической Организацией в качестве климатической нормы. Последний базовый период (с 1981 по 2010 гг.) введен в 2015 году, как «текущая климатическая норма», «старый» базовый период (с 1961 по 1990 гг.) оставлен для оценки долгосрочного изменения климата. Дополнительно был создан архив вторжений Сибирского и Азиатского антициклона с 2000 года.

Зимним периодом на протяжении всей работы считалась только календарная зима: то есть декабрь, январь и февраль.

Для достижения поставленной цели предполагалось разбить все значения на градации, выделить градацию «значительно ниже среднего», сравнить 2 базовых периода, предложенных Всемирной Метеорологической Организацией, проанализировать основные формы циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса и проанализировать синоптические условия формирования низких температур.

В первой главе рассматриваются общие сведения об изменении климата, а также в общих чертах исследуются тенденции природных условий в последнее десятилетие.

Во второй главе магистерского проекта приведены сведения о циркуляционных условиях, характерных для Европейской территории России (и для Санкт-Петербурга, в частности).

В третьей главе рассмотрены климатические особенности исследуемого района – города Санкт-Петербурга, дано полное описание физико-географического положения города.

В четвертой главе магистерской работы непосредственно дан анализ аномально низких зимних температур в районе города Санкт-Петербурга в период с 1916 по 2017 год, проанализированы характерные синоптические ситуации для дней с температурами «значительно ниже среднего», а также для минимальных температур каждого зимнего периода, начиная с 2000 года, что позволило сделать вывод о смещении оси вторжения Сибирского и Азиатского антициклона.

## 1 Изменение климата

### 1.1 Общие сведения об изменении климата

Благодаря многочисленным научным исследованиям, к концу двадцатого века мы имеем предостаточно свидетельств перемен климата глобального и регионального масштаба.

Поэтому совсем неудивительно, что именно в последние годы, проблема климата, связанная с антропогенной составляющей стала интересовать нас в большей степени. Был совершен огромный скачок в изучении перемен климата, в том числе в выявлении факторов, влияющих на эти перемены, а также в принятии мер по предотвращению дальнейшего скорого изменения климата.

Всемирная Метеорологическая Организация наряду с Организацией Объединенных Наций ведет активную работу над исследованием проблемы изменения климата, а также принимает все возможные меры для предостережения и устранения последствий этой беды. Ведь по-другому назвать это нельзя. Глобальные изменения в климате являются одной из самых распространенных и угрожающих проблем нашего времени, с далеко идущими последствиями в 21 веке.

Ожидается, что изменение климата будет иметь беспрецедентные последствия для того, где люди могут поселиться, выращивать продукты питания, строить города и полагаться на функционирующие экосистемы для предоставляемых ими услуг. Во многих местах изменения температуры и повышение уровня моря уже ставят экосистемы в стресс и влияют на благосостояние людей.

Лишь малая часть работы вышеприведенных организаций, а также многих других, заключается в помощи странам проводить разработку с

низким уровнем выбросов и наращивать их способность адаптироваться и быть устойчивыми к изменению климата; предоставлении стран возможности воспользоваться новыми инвестиционными возможностями, которые сокращают выбросы парниковых газов в результате обезлесения и деградации лесов; а также поддержании разработки новых финансовых моделей для ускорения перехода к «зеленой» экономике.

Активно ведутся работы над осуществлением Парижского соглашения, дорожной карты мира по борьбе с изменением климата. Их вклад включает в себя привлечение науки к разработчикам политики, играющую ведущую роль в трансформационных глобальных партнерствах, а также помощь десяткам стран в разработке национальных планов по сокращению выбросов парниковых газов.

Может показаться, что проблеме изменения климата уделяется слишком большая роль, но это не так. Заметные изменения в климате, такие как глобальное потепление температуры от 0.5 до 0.7 °C, были установлены уже с конца девятнадцатого века. Такие же изменения в области температуры были отмечены и для морской поверхности. В следствие потепления средний уровень моря поднялся на 10 – 20 сантиметров, что превышает практически в 10 раз среднее значение за прошедшие три тысячи лет. Также из-за потепления протяженность морского льда в северном полушарии снизилась от 10 до 15 % с 1950 года. За минувшие десять лет уменьшилась продолжительность существования ледяного покрова на озерах и реках приблизительно на две недели. Неоднократно ученые «били в набат» из-за уменьшения ледяного покрова в Арктике. За последние 50 лет почти на 40 % сократилась толщина льда в Северном Ледовитом океане, наблюдалась также обширное отступление горных ледников в неполярных регионах в течение последних ста пятидесяти лет. [1]

Такое изменение климата не является постоянным ни в временном, ни в пространственном промежутке. В центральных частях континентов

наблюдается более сильное потепление, нежели чем среднее по всему земному шару. Разнонаправленные тенденции изменения, неустойчивые по времени, отмечается в высоких и умеренных широтах. С постоянной регулярностью мы видим в средствах массовой информации в течение последних тридцати лет свидетельства необычайно экстремальных погодных и климатических явлений. Это бывают и паводки, и тропические циклоны, и засухи, которые наблюдались в различных частях нашей необъятной планеты, некоторые, что удивительно, даже не свойственные для тех мест, в которых они произошли. В глобальном масштабе за последние десять лет число гидрометеорологических бедствий увеличилось в два раза. По всей планете непрекращающиеся засухи и опустынивание серьезно угрожали жизням не одного миллиарда человек. В первую очередь это связано с тем, что их жизнь в какой-то степени зависит именно от землепользования, из-за чего могли быть «ущемлены» многие отрасли хозяйства, экономики, стоит ли говорить о материальной составляющей.

Изменение флоры и фауны также может служить наиболее ярким доказательством глобального потепления. Например, растения стали встречаться в Альпах на большей высоте, птицы начали откладывать яйца в более ранний весенний период, из-за чего число особей этих птиц сократилось в двое по сравнению с данными 1980 года, тогда как число водоплавающих птиц значительно увеличилось, а бабочки улетают дальше на север. В некоторых частях северного полушария, например, увеличился вегетационный период примерно на 11 дней с начала 1960 года. Данные изменения в вегетационном периоде связаны с более мягкими зимами, которые явились частью общего режима глобального потепления. [1]

Это сведения и факты, говорящее о глобальном потеплении, но есть группа людей, которая настаивает на глобальном похолодании, приводя следующие доводы: периодичность природно-климатических изменений обусловлена совместными вариациями интенсивности потока космических



лучей и солнечной активности; прослеживается цепочка климатических событий, которая чередуется потеплениями и таянием шапок полюсов и дальнейшим охлаждением океанических вод, глобальным похолоданием и оледенением; поступление большого количества пресной холодной воды с шапок ледников в океанический конвейер, приводит к замедлению движения последнего, что неминуемо ведет к похолоданию.

Конечно вопросы изменения климата волнуют многие страны. В Соединенных Штатах Америки, например, существует стратегия урегулирования, где подчеркивается важность исследований и мониторинга для восполнения пробелов в знаниях, вытекающих из неопределенностей в прогнозах изменения климата. В текущее планирование, которое в основном использует стационарные методы, необходимо добавлять соответствующие нестационарные методы. Усилия также требуют сотрудничества между и внутри учреждений для разработки существующих моделей и стимулирования дальнейших новых мыслей о создании новых методов и моделей. На государственном уровне есть несколько государств, которые имеют свои собственные стратегии адаптации.

В данной работе, проанализировав аномально низкие зимние температуры Санкт-Петербурга за столетний период, мы больше склоняемся к первому случаю – глобальному потеплению.

Поэтому абсолютно логичным считается создание Всемирной Метеорологической организацией сетей наблюдений за климатом. Они бывают национальные, региональные и глобальные, причем каждая должна успешно справляться со своей ролью.

Приведем только некоторые факты, говорящие об изменении климата:

- а) с 1880 по 2012 год средняя глобальная температура увеличилась на  $0.85^{\circ}\text{C}$ ;
- б) океаны согрелись, количество снега и льда уменьшилось, и уровень моря поднялся. С 1901 по 2010 год глобальный средний уровень моря вырос

на 19 сантиметров по мере расширения океанов. Арктическая протяженность морского льда сократилась в каждом последующем десятилетии с 1979 года;

в) глобальные выбросы углекислого газа увеличились почти на 50 процентов с 1990 года;

г) в период с 2000 по 2010 год выбросы росли быстрее, чем в каждом из трех предыдущих десятилетий.

В связи с этим было принято множество целей и задач по урегулированию и «сдерживанию» изменений климата: укрепление устойчивости и адаптивного потенциала для связанных с климатом опасностей и стихийных бедствий во всех странах; интегрирование мер в области изменения климата в национальные стратегии, стратегии и планирование; совершенствование просвещения, повышения осведомленности и человеческого и институционального потенциала по смягчению последствий изменения климата, адаптации, снижению воздействия и раннему предупреждению; осуществление приверженности сторон, являющихся развитыми странами, целям мобилизации к 2020 году из всех источников в полной мере задействовать зеленый климатический фонд; содействие механизмам укрепления потенциала для эффективного планирования и управления, связанного с изменением климата, в наименее развитых и малых островных развивающихся государствах, в том числе с упором на женщин, молодежь и местные и маргинальные общины.

Чтобы получить единообразную перспективу наблюдаемых изменений экстремальных погодных и климатических условий, совместная группа экспертов по обнаружению и индексу изменения климата определила основной набор описательных показателей экстремумов. Индексы описывают конкретные характеристики экстремумов, включая частоту, амплитуду и настойчивость. Основной набор включает в себя 27 экстремальных явлениях индексов для температуры и осадков.

## 1.2 Изменение метеорологических параметров в последнее десятилетие

В июне 1993 года сорок пятая сессия Исполнительного совета Всемирной Метеорологической Организации постановила, что необходимы более активные усилия для содействия её роли в качестве поставщика достоверной научной информации о климате и его изменчивости и просил принять меры для регулярного широкого распространения заявлений Организации о состоянии глобального климата.

Климат всегда был и есть одним из наиболее подверженных изменениям «параметров» нашей атмосферы. За последнее десятилетие многие средние месячные климатические характеристики ряда метеорологических величин существенно изменились.

Поэтому на своей пятнадцатой сессии, состоявшейся в Анталье, Турция, в феврале 2010 года Комиссия по климатологии постановила, что в будущем деятельность по мониторингу климата будет включать, в частности, сбор информации и анализ экстремальных погодных и климатических явлений, которые могут считаться особенно актуальными в терминах основных социальных воздействий. В этой связи Комиссия согласилась с новым подходом к тому, чтобы облегчить, когда это возможно, надлежащее научное описание причин и последствий, конкретно связанных с этими ключевыми событиями, в дополнение к более общим заявлениям о статусе глобального климата, которые ВМО регулярно публикуется на ежегодной основе в сотрудничестве со своими членами.

Если говорить об изменении климата касательно территории Российской Федерации, то на подавляющей части территории имеет место уменьшение годовых сумм суммарной и прямой радиации: суммарной в среднем от 1 до 2 %, а прямой от 6 до 10 % за десять лет. В европейской части России наблюдается максимальное снижение годовых сумм радиации, достигающее 7 % на отдельных станциях.

Наибольший рост годовых сумм суммарной радиации произошел на побережье и островах Северного Ледовитого океана, главным образом в районе Восточно-Сибирского и Чукотского морей, где он составил 5 % за 10 лет.

Кроме Кольского полуострова, северного побережья европейской части России, где в январе и декабре отмечается понижение среднемесячной температуры от 1.0 до 1.5 °С, рассматриваемый период характеризуется потеплением в зимние месяцы во всех районах России. В азиатской части России выделяется Владивосток, где отмечается понижение температуры воздуха в течение всего года и особенно летом.

Месячное количество осадков на большей части территории, как уменьшилось, так и увеличилось не более чем на 10 %. Очаги уменьшения месячного количества осадков более чем на 10 % в отдельные месяцы, чаще в октябре, апреле, мае и феврале, расположены на Северо-Западе и северном побережье европейской части России и на территории Красноярского края.

Меньшим изменениям подвергалась влажность воздуха. Изменение парциального давления водяного пара нигде на территории России не превышало 10 % от самих значений. Наблюдались как положительные, так и небольшие отрицательные разности средних месячных значений парциального давления как на одной и той же станции в разные месяцы, так и на разных станциях в одном и том же месяце.

Еще меньше менялось атмосферное давление. Разность среднего месячного давления нигде не превысила 0.5 % от самого значения за последнее десятилетие по сравнению с предыдущим периодом.

Скорость ветра в период с 1981 по 1990 гг. по сравнению со скоростью ветра в предшествующий период повсеместно уменьшилась. В некоторых случаях это уменьшение достигает 40 % и даже больше. Однако при сравнительно небольшой средней месячной скорости уменьшение скорости ветра в абсолютных единицах не выглядит таким большим. В центральной

полосе европейской части России уменьшение скорости ветра было в летние месяцы несколько больше, а зимой скорость уменьшилась несколько меньше. На юге европейской части России скорость ветра особенно сильно уменьшилась в зимние месяцы

В континентальных районах азиатской части России скорость ветра вообще уменьшилась ненамного, за исключением отдельных летних месяцев. В прибрежных районах, на Камчатке, где скорость ветра значительно больше, чем внутри континента, ее уменьшение также больше, во многих местах в холодную половину года превышает даже 1.5 м/с, приближаясь к 2 м/с. Например, в июне в Омске разность скорости ветра в последнее десятилетие и за весь период составила 0.8 м/с. Летом значения скорости уменьшились, как правило, не более чем на 1 м/с. [2]

### 1.3 Гипотезы причин изменения природной среды

Современное потепление у поверхности земли многие ученые считают антропогенными и связывают его с увеличением содержания парниковых газов в атмосфере в результате деятельности человека. Не стоит забывать, что содержание в атмосфере водяного пара, и таких газов как углекислый и метан, приводит к формированию общеизвестного парникового эффекта. При отсутствии водяного пара температура на нашей планете была бы почти на 25 °С ниже, а при отсутствии углекислого газа на 6 °С. Таким образом, становится понятно, что именно этим двум газам принадлежит формирующая роль в создании климата Земли. [3]

Фабричные трубы, выхлопы машин и прочие антропогенные источники загрязнения все вместе выбрасывают в нашу атмосферу около 22 миллиардов тонн в год углекислого и других парниковых газов, еще 250 миллионов выбрасываются в атмосферу от применения удобрений, животноводства, сжигание угля и прочих источников. Больше половины всего этого остается в

атмосфере, из-за активной деятельности человека, в то время как каждая 9 смерть в мире происходит из-за загрязненной окружающей среды, эти данные просто пугающие.

Загрязнение воздуха, которое ежегодно убивает более 6 миллионов человек, является самым большим риском для здоровья окружающей среды нашего времени. Однако, борьба с загрязнением воздуха может принести значительные выгоды для экономики, здоровья человека и климата. Именно поэтому в Организации Объединенных Наций работают по всему миру для борьбы с загрязнением воздуха — путем поддержки более чистых видов топлива и транспортных средств, вдохновляя отдельных лиц и руководителей городов действовать, укреплять законы и институты и разрабатывать доступные технологии для мониторинга качества воздуха.

С тех пор, как в 18 веке, человек начал активно развивать свою деятельность, концентрация углекислого газа и метана увеличились на 34 % и 160 % соответственно. Эти ужасающие цифры самые высокие показатели за последние 420000 лет. За последние 20 лет три четверти всех антропогенных выбросов парниковых газов вызваны чрезмерным использованием и переработкой нефти, угля и природного газа.

Изменение состава атмосферы на данном уровне развития промышленности является наиболее сильным фактором глобального потепления. Более подробно этот фактор изучен для углекислоты. Влияние концентрации углекислого газа обуславливается соответствующими свойствами: перехватом длинноволнового излучения, идущего с Земли, и уменьшением количества эффективного излучения у земной поверхности. Повышение концентрации углекислоты приводит к разогреву нижних слоев атмосферы и поверхности земли. Этот эффект достигается еще быстрее с помощью двух обстоятельств:

а) возрастания количества водяного пара в атмосфере при потеплениях, также перекрывающее длинноволновую радиацию;

б) отступления полярных льдов при потеплениях, из-за чего уменьшается альбедо Земли в относительно высоких широтах. [4]

Первым о роли углеводородного топлива в изменении климата высказался Аррениус еще в начале нашего столетия. Он посчитал, углекислый газ, образуемый в результате хозяйственной деятельности поглощается океаном не полностью, именно поэтому происходит повышение его концентрации в атмосфере. Согласно его суждениям, которые не так сильно расходятся от современной оценки концентрации углекислого газа, удвоение его концентрации приведет к повышению средней температуры нижнего слоя воздуха на 4 °С. [5]

Другая часть исследователей не согласна с предыдущей версией и считает, что изменение температуры скорее всего вызвано естественными климатообразующими факторами, которые можно разделить на две категории:

- а) внешние для климатической системы;
- б) внутренние для климатической системы.

Внешними факторами являются те, которые вызывают изменения климатической системы, но возникают вне системы океан-атмосфера. Среди внешних факторов, которые оказывают воздействие на современные изменения температуры, следует выделить:

- а) вулканическую деятельность;
- б) изменения солнечной постоянной.

Во время наиболее крупных вулканических извержений в атмосферу выбрасывается большое количество газообразного диоксида, который, попадая в атмосферу, превращается в сернокислый аэрозоль, оказывающий существенное влияние на радиационный баланс Земли. Колебания количества солнечной энергии, приходящей к земле, также могут влиять на приземную температуру воздуха. Учеными предполагалось, что солнечная постоянная существенно и периодически менялась на протяжении геологического

времени, то есть что Солнце вело себя, как переменная звезда. Но проверить такую гипотезу невозможно, это всего лишь слова и предположения. [6] [7]

Эксперты Межправительственной группы по изменению климата Организации Объединенных Наций уверяют, что небольшую часть изменений в температуре могут объяснить солнечная и вулканическая активность.

К внутренним факторам, вызывающим климатические вариации системы атмосфера-океан, относится такое известное явление, как Эль-Ниньо -южное колебание (колебание в системе океан-атмосфера, центр которого находится в экваториальной части Тихого океана). Вызываемые здесь изменения атмосферной и океанической циркуляции влияют на циркуляцию во многих других частях света.

Ряд ученых (М.И. Будыко, К.Я.Винников) считают, что примерно до 1980 года изменения климата происходили главным образом за счет естественных факторов и лишь начиная с этого времени эффект влияния углекислого газа становится наиболее определенным.

Рядом ученых выдвигаются совсем неоднозначные теории. Например, что наблюдаемое нами потепление – это совершенно естественная норма, которой не нужно бояться и не нужно исследовать, так как это вполне закономерный процесс, тем более ими утверждается, что процесс этот не длительный, поэтому с абсолютной уверенностью говорить об этом никак нельзя.

Но при всех расхождениях в теориях все эксперты признают, что у климатической системы, в ее основополагающем понимании, существуют пределы предсказуемости, некоторые из них являются неотъемлемыми (нелинейные процессы и внутренние изменчивости), а некоторые из них функциональные (будущие выбросы вулканического пепла, изменение землепользования, вулканические потоки энергии, воды, углерода и других связанных с климатом соединений) играют ключевую роль в понимании изменчивости климата.



Однако нельзя забывать, что климат Земли – это не нечто обособленное и не зависящее от космического пространства. Наблюдается вполне закономерная связь между Землей, Солнцем и Космосом, и процессами происходящими внутри и около каждой из этих систем.

Ученые условно выделяют несколько группы циклов, (все они связаны с взаимодействием между собой Солнца, Космоса и Земли), – это сверхдлинные, длинные, короткие и ультракороткие. Они связаны с изменениями в экологической обстановке, с вулканической деятельностью, изменениями параметров орбиты Земли и, конечно же, с солнечными ритмами. Давно доказанными являются циклы – 2400 лет, 200, 90, 11 лет. Не исключено, что именно данные ритмы являются определяющими в наблюдаемом потеплении на планете, по крайней мере ученые рассматривают эту версию как одну из основополагающих.

Человек пока что не в состоянии хоть как-то влиять на эти процессы. Впрочем, ни одна из альтернативных теорий не имеет в настоящее время большее число сторонников среди ученых. Существует предположение, что, по крайней мере, часть глобального потепления обусловлено локальными эффектами урбанизации, поэтому необходимо предпринимать меры по адаптации и смягчению воздействия на климат. Это поможет уменьшить риски, связанные с его изменением. [8]

В заключении первой главы, можно сделать вывод о том, что к концу 20 века благодаря многочисленным исследованиям мы имеем предостаточно доказательств перемен климата глобального и регионального масштаба. Сейчас, когда вопросы изменения климата, связанные с человеческой деятельностью, интересуют мир как никогда, стоит ожидать еще большего прорыва в выявлении причин этих изменений.

## 2. Синоптические процессы, характерные для Европейского сектора Атлантического океана

### 2.1 Закономерности атмосферной циркуляции

Атмосфера – воздушная оболочка Земли. Циркуляция атмосферы – важнейший фактор формирования климата. Общей циркуляцией атмосферы называют замкнутые течения воздушных масс в масштабах полушария или всего Земного шара, приводящие к широтному и меридиональному переносу энергии в атмосфере. [9]

По мере увеличения мощности компьютера проблема общей циркуляции все чаще решается сложным численным моделированием. Однако попытки при моделировании отдельно взятых метеорологических величин редко дают хотя бы удовлетворительный результат. Задача для теоретиков в будущем будет заключаться в объединении идеализированных моделей и сложного, более реалистичного моделирования таким образом, чтобы обеспечить более глубокое понимание атмосферной циркуляции.

Воздушные массы, в метеорологии, большой объем воздуха, имеющий почти однородные условия температуры и влажности на любом заданном уровне высоты. Такие массы имеют четкие границы и может простираться на сотни или тысячи километров по горизонтали, а иногда и до вершины тропосферы. Воздушная масса образуется всякий раз, когда атмосфера остается в контакте с большой, относительно однородной поверхностью земли или моря в течение достаточно длительного времени, чтобы получить температурные и влажные свойства этой поверхности.

Крупные воздушные массы Земли происходят в полярных или субтропических широтах. Средние широты составляют по существу, зону

модификации, взаимодействия и смешивания полярных и тропических воздушных масс.

В зависимости от того с какой территории прибыла воздушная масса будет определяться погода, так как воздушные массы долго сохраняют свои свойства.

Различают два типа воздушных масс: морские и континентальные. Морские образуются над мировым океаном, континентальные, соответственно, над сушей.

Воздушные массы обычно классифицируются в соответствии с четырьмя основными регионами источника по отношению к широте. Это умеренные (холодные), арктические (очень холодные), экваториальные (теплые и очень влажные) и тропические (теплые).

Экваториальные воздушные массы формируются в экваториальной зоне. Отличительные особенности: высокая температура и влажность в течение всего года, независимо от места формирования. Как видно экваториальный воздух не делится на морской и континентальный.

Тропические воздушные массы образуются в тропических и субтропических широтах. За исключением летнего периода, когда возможно формирование в континентальных районах на юге умеренных широт. Общей чертой тропического воздуха является высокая температура. Тропические воздушные массы делят на два вида: континентальные и морские. Континентальные обладают сухостью, а морские — высокой влажностью.

Континентальные тропические воздушные массы происходят в засушливых или пустынных районах в средней или нижней широтах, главным образом в летний период. Они сильно нагревается в целом, но его влажность настолько мала, что интенсивная сухая конвекция обычно не достигает уровня конденсации. Из всех воздушных масс, эти массы являются самыми засушливыми.

Морские тропические массы приносят самую дождливую погоду в течение года. Зимой они перемещаются в сторону и охлаждаются поверхностью земли. Следовательно, они характеризуются туманом или слоисто-кучевыми облаками, со слабым дождем и плохой видимостью. Крутой градиент в областях циклонической активности обеспечивает появление обложных дождей. Летом характеристики данной массы над океанами и в зонах циклонической активности в основном такие же, как и зимой. Тем не менее, в теплых континентальных районах масса воздуха сильно нагревается, так что вместо тумана и облаков широко встречаются грозы.

Умеренный воздух — это воздух умеренных широт. Континентальные умеренные воздушные массы зимой приносят ясную морозную погоду. Летом — теплую дождливую с грозами. Морские умеренные воздушные массы на материке переносятся западными ветрами, отличаясь повышенной влажностью и умеренной температурой. Зимой морские умеренные воздушные массы приносят пасмурную погоду с сильными осадками и оттепелями. Летом — высокую облачность, дожди и пониженную температуру.

Умеренный воздух обычно образуется в холодный период года на обширных земельных участках, таких как Центральная Азия и Северная Канада. Он, скорее всего, будет стабильным и характеризуется отсутствием форм конденсации. При нагревании или увлажнении с земли с сильной турбулентностью этот тип воздушной массы развивает слоисто-кучевые облачные формы со слабым, либо ливневым дождем. Летом, когда воздух перемещается в более низкие широты, он быстро изменяет прохладу и сухость воздушной массы.

Морские умеренные воздушные массы развиваются по полярным областям как Северного, так и Южного полушарий. Они обычно содержат значительно больше влаги, чем те же континентальные. Когда они перемещаются внутри страны в средних и высоких широтах, могут возникать

сильные осадки, когда воздух вынужден подниматься по горным склонам или увязывается в циклонической активности.

Над Северным Ледовитым океаном формируются Арктические воздушные массы. Они обладают низкой температурой и повышенной прозрачностью воздуха. При вторжении арктических воздушных масс в умеренные широты, способствуют резкому похолоданию. Устанавливается ясная и малооблачная погода. Когда Арктическая воздушная масса движется вглубь материка на юг. Она трансформируется в сухой континентальный воздух умеренных широт.

Антарктические воздушные массы и Арктические воздушные массы идентичны друг другу.

Исследования общей циркуляции сосредоточены на крупномасштабных процессах атмосферы. К ним относятся сезонное переменное среднее состояние и статистика вихрей, различные пространственные и временные масштабы, влияющие на это среднее состояние. Обследования существующих метеорологических данные довольно хорошо определяют большинство этих крупномасштабных структур.

Причины возникновения Общей Циркуляции Атмосферы:

- а) уменьшение притока солнечного тепла от экватора к полюсам;
- б) особенности поглощения солнечной радиации атмосферой и поверхностью Земли;
- в) действие силы Кориолиса;
- г) напряжение трения на границе подстилающая поверхность-атмосфера;
- д) пространственное распределение океанов и континентов.

Главным фактором, приводящим к возникновению атмосферных движений, является неоднородность нагревания разных участков земной поверхности и атмосферы.

Механизмы, формирующие Общую Циркуляцию Атмосферы:

- а) макротурбулентный обмен (циклоны, антициклоны);
- б) вертикальный турбулентный и конвективный обмен;
- в) лучистый теплообмен;
- г) влагооборот (процессы конденсации и испарения).

Главным источником возникновения и поддержания атмосферных движений является солнечная радиация.

Из всего потока солнечной радиации поступающей на верхнюю границу атмосферы часть отражается и рассеивается, часть поглощается подстилающей поверхностью и атмосферой, но только 3.5% от общего количества, после всех преобразований, превращаются в кинетическую энергию атмосферных движений.

В пределах тропосферы, приток тепла к атмосфере в основном осуществляется посредством турбулентного переноса тепла от земной поверхности и влагооборота.

В стратосфере приток тепла осуществляется путем непосредственного поглощения ультрафиолетовой части солнечной радиации озоновым слоем, а так же нагревом слоев воздуха длинноволновым излучением.

Так как температура подстилающей поверхности, которая является основным источником тепла для тропосферы, уменьшается от экватора к полюсу, то и горизонтальный градиент температуры в тропосфере направлен от экватора к полюсу.

Изменение температуры в тропосфере происходит неравномерно, вследствие неравномерности распределения суши и океанов. В тропосфере наблюдаются узкие зоны больших градиентов температуры, связанные с нарушениями зональности распределения температуры на границах суши и океанов.

Особенности циркуляции стратосферы определяются распределением в ней таких поглощающих компонентов как озон, углекислый газ, водяной пар.

Под влиянием солнечной радиации, неоднородности подстилающей поверхности и неоднородности распределения поглощающих компонентов в атмосфере формируются основные черты термобарического режима атмосферы. Термобарический режим в свою очередь в значительной мере определяет характер Общей Циркуляции Атмосферы.

В атмосфере можно обнаружить два типа режима циркуляции – «режим Гадлея» и «режим Россби».

Наличие в западно-восточном переносе крупномасштабных волн давления и температуры, которые вызывают появление меридиональных составляющих движения воздушных масс, их перенос с юга на север и с севера на юг, является характерной чертой тропосферной циркуляции. [10]

Волны Россби в свободной атмосфере вместе с постоянно образующимися циклонами и антициклонами, создают условия для меридионального переноса воздушных масс.

Меридиональные потоки у поверхности Земли направлены от высокого давления к низкому. Восходящие движения воздуха возникают в областях конвергенции, а нисходящие – дивергенции.

Поверхностное распределение давления находится в приблизительном геострофическом балансе с ветрами, с субтропическими максимумами и субполярными минимумами. Однако зональный баланс сил будет представлять для нас больший интерес, чем баланс меридиональной силы. Зональная составляющая градиента давления в среднем равна. Поэтому доминирующие члены в зональной компоненте баланса сил вблизи поверхности - это сила Кориолиса, возникающая в результате движения с севера на юг и фрикционные моменты, замедляющие зональные ветры. Таким образом, наличие крутящего момента на восток в тропической области требует в стационарном состоянии зонально усредненного экваториального потока, чтобы сила Кориолиса на этом потоке уравновешивала фрикционные моменты. Обратный поток происходит вблизи тропопаузы. Эта тропическая

циркуляция называется ячейкой Хэдли. Можно сказать, что обратная ей ячейка называется ячейкой Ферреля. Слабая полярная ячейка над полярными областями дополняет трехмерную модель вокруг земного шара.

Таким образом, в тропосфере формируются три кольца меридиональной циркуляции. Первое кольцо - тропическое, называется Ячейкой Гадлея или по-другому Ячейка Хэдли и включает в себя пассаты в нижних слоях, антипассаты в верхней тропосфере, внутритропическую зону конвергенции на экваторе с мощными восходящими движениями, а также область нисходящих движений в центрах субтропических антициклонов. [10]

Ячейка Хэдли, модель Земной атмосферной циркуляции, которая была предложена Джорджем Хэдли в 1735 году. Она состоит из единой ветровой системы в каждом полушарии, с западным и экваториальным течением около поверхности, а на восток и по полю - на более высоких высотах. Тропические области получают больше тепла от солнечной радиации, чем они излучают обратно в космос, а полярные области излучают больше, чем они получают; потому что обе области имеют почти постоянные температуры, Хэдли предположил, что теплый воздух должен подниматься вблизи экватора, двигаться по полю на больших высотах и терять тепло до холодного воздуха, присутствующего вблизи полюсов. Затем этот более холодный и более плотный воздух опускается и течет на экваториальном уровне на низких уровнях, пока не приблизится к экватору, где он нагревается и снова поднимается.

Хэдли придумал эту модель, пытаясь объяснить ветры на западе и экваториальном течении, но он проигнорировал влияние силы Кориолиса на вращения Земли, которая отклоняет движущиеся объекты (в том числе воздух) сбоку и исключает простую циркуляцию с севера на юг от экватора к полюсам. Ячейка Хэдли остается прекрасным объяснением циркуляции атмосферы Земли, происходящей в обоих полушариях, на экваториальном расстоянии около  $30^\circ$ .



Второе кольцо меридиональной циркуляции называется Ячейкой Ферреля и включает в себя сильные восходящие движения в циклонах умеренных широт и нисходящие движения в субтропических антициклонах. Это модель со статистически усредненной циркуляцией, противоположной ячейке Хэдли, была впоследствии предложена для объяснения среднеширотных западных ветров в 1856 году. [10]

В ячейке Ферреля воздух течет по полю и на восток вблизи поверхности и на экваторе и на запад на больших высотах; это движение противоположно воздушному потоку в ячейке Хэдли. Модель Ферреля впервые описала западные ветры между широтами  $35^{\circ}$  и  $60^{\circ}$  в обоих полушариях. Однако ячейка Ферреля по-прежнему не является хорошим представлением о реальности, поскольку она требует, чтобы ветры среднего уровня с широкими широтами протекали на запад; на самом деле потоки на восточном направлении растут с высотой.

Третье, Арктическое Кольцо, возникает лишь в тот период, когда ярко выражен арктический антициклон, в тропосфере выше восьмидесяти градусов северной широты. Оно включает нисходящие движения на полюсе и восходящие в циклонах умеренных широт. Некоторые ученые до сих пор считают, что ее интенсивность слишком слабая, чтобы ее можно было сравнить с полноценной ячейкой. Исследования арктической ячейки зависят от наблюдательных наборов данных и моделирования климатических моделей. Таким образом, нужно больше анализов по различным данным, чтобы до конца убедиться в ее существовании.

Первые два кольца меридиональной циркуляции достаточно устойчивы во времени и обнаруживаются практически на всех ежедневных синоптических картах. [11]

## 2.2. Области максимальной повторяемости барических минимумов и максимумов

Продолжительные аномалии погоды чаще всего являются следствием отклонения от среднего климатического режима циркуляции. Крупномасштабные отклонения в Общей Циркуляции Атмосферы вызывают к жизни объекты общей циркуляции атмосферы, которые испытывают значительные межгодовые изменения в своем положении или интенсивности.

В тропосфере к таким объектам относятся Центры Действия Атмосферы. Это понятие было выдвинуто Тейсераном Де Бором еще в конце 19 века. Но, естественно, что в то время никто не уделял им должного внимания. Только после шестидесятых годов стали появляться работы, которые стали описывать центры действия атмосферы, как объекты, характеризующиеся мощностью и географическим положением в центре.

Зональные закономерности распределения давления близ поверхности Земли нарушаются из-за неравномерного распределения суши и моря. В результате этого, в каждой широтной зоне барическое поле распадается на отдельные ячейки - отдельные области повышенного или пониженного давления. Эти области получили название Центров Действия Атмосферы. Они подразделяются на перманентные (действующие в течение всего года) и сезонные (существующие в отдельные сезоны года). [11]

Центры Действия Атмосферы - это постоянные области высокого и низкого давления, сосредоточенные по определенным частям земного шара. Как впервые представил Россби (1939), эти широкие системы могут быть четко видны в среднемесячных картах давления.

В северном полушарии насчитывается шесть центров действия атмосферы, а именно: Исландский минимум, Алеутский минимум, Индийский минимум, Монгольский максимум, Северный Тихоокеанский максимум и

Североатлантический максимум. Индийский минимум существует только летом.

Однако, хотя сезонные центры перемещаются и колеблются от месяца к месяцу и из года в год, эта изменчивость может оказать значительное влияние на региональный климат. Например, изменение положения или интенсивности может повлиять на сезонные осадки, изменив среднюю адвекцию влаги и следы тропических циклонов. Было также показано, что Азорские острова над Северной Атлантикой сильно воздействуют на северную сторону Гольфстрима.

Поэтому важно количественно оценить эту изменчивость, которая начинается с определения объективного набора показателей, представляющих положение и интенсивность этих центров.

Используя 160 лет (с 1850 по 2009 год) среднемесячных данных о давлении на уровне моря проводится всестороннее исследование пяти бореальных зимних атмосферных центров действия. Вычисляются индексы ареала, интенсивности и положения центра действия для каждого из этих пяти центров. Благодаря углубленному анализу этих показателей и их взаимосвязей с климатическими переменными оцениваются индексы, описываются и объясняются аномалии климата в целом, особенно аномалии осадков и температуры. Доказано, что Центры Действия Атмосферы существенно влияют на климатические аномалии окружающих областей.

В январе наиболее четко выражен экваториальный минимум с давлением ниже 1015 гектопаскалей. Он распадается на три отдельные области над Южной Африкой и Австралией, Южной Америкой и Индонезией. Причем, эти районы с наиболее низким давлением лежат не на самом экваторе, а над прогретыми участками материков южного полушария, под 15 градусом южной широты. [11]

По обе стороны от экваториальной депрессии обнаруживаются субтропические области высокого давления. В южном полушарии они

распадаются на отдельные субтропические антициклоны с давлением выше 1020 гектопаскалей и центрами под 30 и 35 градусом южной широты над океанами. Над материками, более теплыми, чем океаны, они заменяются областями с пониженным давлением. Над Азией, в субтропических и тропических широтах, давление также повышено, но здесь господствует несамостоятельный тропический антициклон, а отроги зимнего Азиатского антициклона с максимумом в центре Монголии. В Северном полушарии обнаруживаются субтропические антициклоны над северными частями Атлантического (Азорский максимум) и Тихого океанов (Гонолульский максимум).

В умеренных и субполярных районах Южного полушария, к югу от субтропических антициклонов, располагается сплошная зона низкого давления. В соответствующих широтах северного полушария низкое давление обнаруживается только над океанами в форме двух минимумов приземного давления – Исландская и Алеутская депрессии с давлением менее 1000 гектопаскалей.

В полярных широтах давление повышено. Особенно хорошо выражена область высокого давления над Антарктидой – антарктический антициклон. В северном полушарии область повышенного давления наблюдается только над Гренландией. [11]

Сезонные Центры Действия Атмосферы существуют над материками только в течение определенного сезона, а затем заменяются сезонными центрами противоположного знака. Их существование связано с резким изменением в течение года температуры поверхности суши по отношению к температуре поверхности океанов. Летний перегрев суши создаёт благоприятные условия для формирования здесь областей пониженного давления, зимнее переохлаждение – для областей повышенного давления. В Северном полушарии, к зимним областям повышенного давления относятся

Азиатский и Канадский максимумы, в Южном — Австралийский, Южно-Американский и Южно-Африканский.

Летние области пониженного давления в Северном полушарии—Южно-Азиатский и Северо-Американский минимумы, в Южном—Австралийский, Южно-Американский и Южно-Африканский минимумы.

В июле экваториальная депрессия смещается к северу, и самое низкое давление наблюдается уже в Северном полушарии, причем над материками Азией и Северной Америкой центры низкого давления наиболее далеко сместились к северу – почти под тридцатую параллель. Эти части экваториальной депрессии, вышедшие за пределы тропиков, называют Южно-Азиатской и Мексиканской депрессиями. [11] [12]

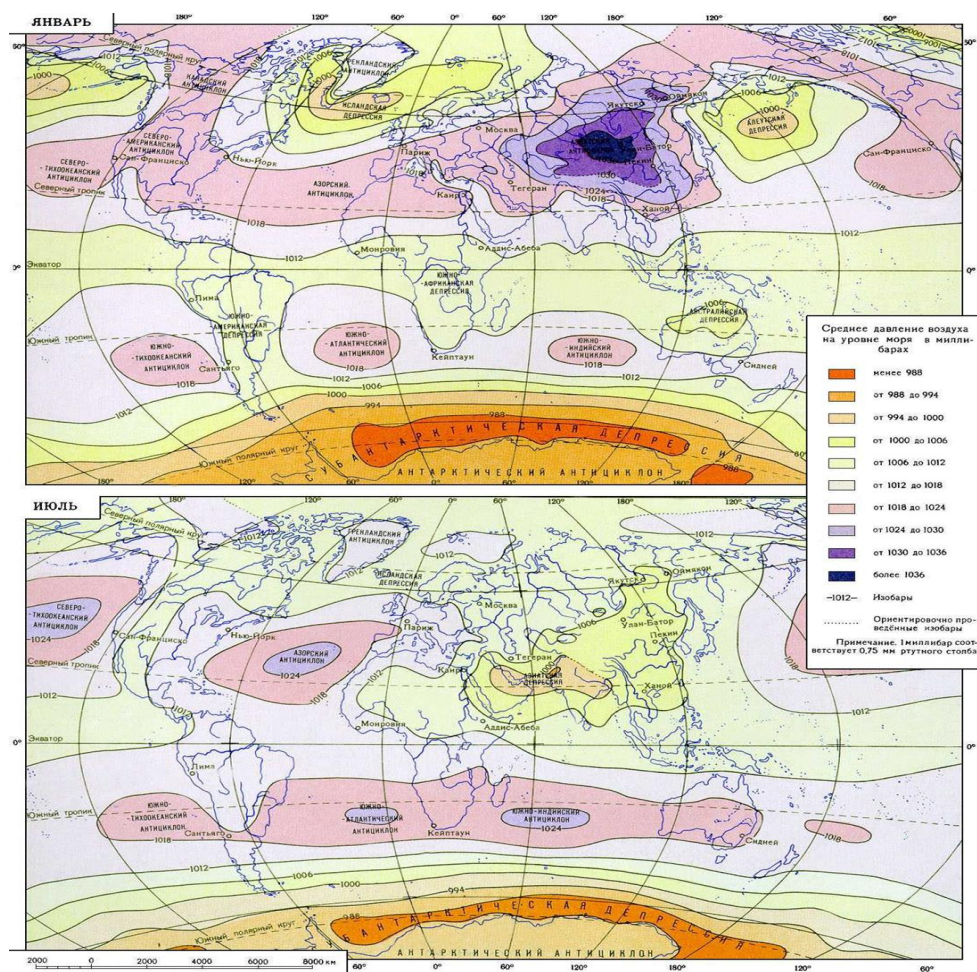


Рисунок 2.2 – Распределение давления по земному шару

### 2.3. Циклоны и антициклоны. Циклоны умеренных широт

Циклоны и антициклоны — это трехмерные атмосферные вихри синоптического масштаба. Они имеют особые, только им присущие, структуры метеорологических полей, сочетание которых формирует погодные условия в различных частях этих атмосферных вихрей.

Циклон представляет собой вихрь, в центре которого пониженного давления с замкнутыми изобарами(изогипсами). Точка с наиболее низким давлением называется центром циклона. Изобары, очерчивающие циклон на приземной синоптической карте, чаще всего имеют форму, близкую к кругу или овалу.

Антициклон – это поле с центром повышенного давления с замкнутыми изобарами (изогипсами). Точка с наиболее высоким давлением называется центром антициклона. Изобары, очерчивающие антициклон, чаще всего имеют эллипсовидную форму. Антициклон в стадии максимального развития обычно больше циклона.

Стадии развития этих атмосферных вихрей можно разделить на 4: возникновения, молодого циклона (антициклона), когда циклон углубляется, а антициклон усиливается, максимального развития (давление в центральной части барического образования меняется незначительно) и исчезновения (для циклона используют термин «заполнение», а для антициклона — «разрушение»).

В зависимости от условий возникновения, антициклоны и циклоны делятся на внутримассовые и фронтальные. К внутримассовым относятся тропические циклоны и субтропические антициклоны, а также внутримассовые термические циклоны и антициклоны внетропических широт.

В высоких и умеренных широтах наибольшее влияние на формирование и изменение погодных условий оказывают фронтальные циклоны и антициклоны. Их возникновение и весь жизненный цикл связан с высотными

фронтальными зонами, энергетические запасы которых при определенных условиях расходуются на создание других синоптических объектов, имеющих вихревую структуру – фронтальных циклонов и антициклонов.

Первая стадия образования циклона продолжается от возникновения волны на фронте до появления у поверхности земли первой замкнутой изобары, кратной пяти. В передней, правой части циклона, начинается движение ранее стационарного фронта в сторону холодного воздуха, а в тыловой, левой, части в сторону теплого воздуха. Таким образом, в этой стадии развития циклона возникают теплый и холодный фронты, начинается формирование заключенного между ними теплого сектора. Стадия волны весьма скоротечна и продолжается обычно около полусуток.

Далее происходит активное углубление циклона – вторая стадия или стадия молодого циклона, увеличивается число замкнутых изобар, вместе с тем растет скорость ветра. За счет сходимости воздушных течений возникают упорядоченные восходящие движения, что приводит к образованию облачности, особенно мощной на атмосферных фронтах. В этой стадии развития циклон становится средним по степени вертикального развития барическим образованием. Время стадии молодого циклона обычно не превышает от полутора до двух суток.

Третья, последняя стадия развития фронтального циклона – стадия окклюдированного циклона, начинается с момента начала процесса смыкания холодного и теплого фронтов (окклюдирования) и заканчивается его заполнением, исчезновением на приземной синоптической карте последней замкнутой изобары. Время существования циклона в этой стадии развития обычно составляет от трех до четырех суток и зависит от особенностей структуры полей давления и температуры над его центральной частью. При благоприятных условиях, несмотря на начавшееся и продолжающееся окклюдирование, циклон еще некоторое время будет продолжать углубляться.

Наоборот, при неблагоприятных условиях заполнение циклона начнется с момента начала окклюдирования.

В циклоне, находящемся в стадии окклюдирования, можно выделить несколько зон с различными погодными условиями. Первые две зоны разделяются фронтом окклюзии. В их частях, непосредственно прилегающих к этому фронту, погода определяется типом фронта окклюзии (по типу теплого и холодного фронта он образовался), характеристиками теплого воздуха, находящегося выше земной поверхности, и степенью окклюдирования. На некотором удалении от фронта, где не сказывается его влияние, характер погоды будет соответствовать типам холодных воздушных масс, разделяемых фронтом окклюзии. На периферии окклюдирующегося циклона, где еще раздельно существуют холодный и теплый фронты, сохраняются три типа погоды, характерные для молодого циклона.

Рассмотрим подробнее погоду в тыловой части циклона, так как этот случай встречался в наших исследованиях наиболее часто.

Погода в тыловой части циклона (за холодным фронтом) типична для неустойчивой холодной воздушной массы. Здесь отмечаются кучевая, кучево-дождевая облачность, ливневые осадки, часто многократно повторяющиеся, иногда днем грозы, шквалы, ночью над материками наблюдаются радиационные туманы. Суточный ход метеорологических элементов особенно велик. После прохождения холодного фронта отмечаются резкий поворот ветра от южного, юго-западного к северо-западному, увеличение скорости ветра, рост давления, понижение температуры воздуха (холодный воздух при ясной погоде летом быстро прогревается). Область наибольшего роста давления отмечается непосредственно за холодным фронтом. Обычно с прохождением холодного фронта осадки прекращаются.

В первых двух стадиях на приземных картах антициклон представляет собой гребень за холодным фронтом. В центре появляются замкнутые



изобары. В тыловой части возникает адвекция тепла, а в передней части адвекция холода.

В связи с существованием в тропосфере высотных фронтальных зон и атмосферных фронтов возникают у земной поверхности не только области падения давления, превращающиеся в циклонические вихри (циклоны), но и области роста давления, в пределах которых возникают барические гребни и антициклоны. Поэтому эти барические образования относят к категории фронтальных.

Различают два типа фронтальных антициклонов. Первым типом являются промежуточные антициклоны в виде барических гребней. Они сформированы в холодном воздухе, располагаются между двумя циклонами серии и перемещаются вместе с ними.

Второй тип – заключительные антициклоны. Они заключают циклонические серии. Эти антициклоны сформированы в холодном воздухе, быстро перемещаются с северной меридиональной составляющей. С ними связаны значительные похолодания. Они могут проникать далеко на юг, сливаясь с субтропическими антициклонами, поддерживая их существование.

Антициклоны могут занимать огромные площади, сравнимые с размерами материков и океанов или их значительных частей. Зимние циркуляционные и термические условия благоприятствуют развитию антициклонов над материками, летние – над обширными океаническими поверхностями. Обычно с антициклонами связывают спокойную ясную или малооблачную погоду, но это очень общее представление, поскольку условия погоды в антициклоне различаются в зависимости от происхождения и свойств воздушных масс собственно антициклона и соседних с ним, влагосодержания и температуры воздушных масс, особенностей подстилающей поверхности, рельефа местности, а также от стадии развития антициклонического возмущения, интенсивности нисходящих движений в его центральной части, времени года. Например, антициклоны в арктическом

воздухе характеризуются преимущественно с ясной погодой, антициклоны с морским полярным воздухом нередко имеют пасмурную погоду с морозящими осадками и адвективными туманами.

В центре антициклона в связи с нисходящими движениями воздуха преобладает малооблачная погода. В любое время года в центральной части антициклона могут наблюдаться радиационные туманы. На периферии антициклона по условиям погоды можно выделить 4 зоны: северную, южную, западную и восточную окраины.

Северная окраина антициклона непосредственно связана с тёплым сектором циклона. В холодное время года здесь наблюдаются сплошная и значительная облачность слоистых и слоисто-кучевых облаков, слабые осадки, туманы. Иногда здесь наблюдаются осадки из системы слоистообразных облаков, связанных с тёплым фронтом примыкающего циклона. Летом могут развиваться кучевые облака.

Южная окраина антициклона примыкает к северной части циклона. Здесь нередко облака верхнего яруса, иногда – среднего, причём, зимой из высоко-слоистых облаков осадки в виде снега достигают Земли. При значительных градиентах давления отмечаются сильные ветры (например, типа новороссийской боры), метели.

Западная периферия антициклона, примыкающая к передней окраине циклона, отличается сильными ветрами, особенно, когда антициклон малоподвижен (блокирующий антициклон) и на его периферии создаются значительные градиенты температуры и давления. Здесь характерны облака верхнего яруса, являющиеся признаками тёплого фронта. В холодное полугодие нередко отмечаются слоистые и слоисто-кучевые облака, достигающие значительной вертикальной мощности, выпадают осадки. Летом при высоких температурах воздуха и значительной его влажности появляются облака вертикального развития, сопровождающиеся грозовой деятельностью.

Восточная окраина антициклона граничит с тыловой частью циклона. В неустойчивой воздушной массе летом и днем развиваются все виды кучевых облаков, с кучево-дождевыми облаками связаны ливневые осадки, грозы. Зимой преобладает безоблачная или малооблачная погода.

Циклоны и антициклоны являются основным механизмом междуширотного теплообмена. Если бы не было такого теплообмена между низкими и высокими широтами, то на экваторе и в тропиках температура воздуха была бы на 10-20 °С выше, а в умеренных широтах ниже, чем наблюдающаяся в действительности. Именно циклоны и антициклоны обеспечивают перенос тёплых и влажных воздушных масс воздуха с юга на север, а холодных и сухих – с севера на юг.

В зимний период в северном полушарии циклоны чаще развиваются у восточных берегов Азии и Северной Америки. Тут наблюдаются почти всегда большие горизонтальные контрасты температур между холодными материками и теплыми океанами. Над Атлантикой они перемещаются в сторону Исландии и севера Европы, а над Тихим океаном они перемещаются к Алеутским островам и Аляске. Зимой иногда циклоны возникают и над Средиземным морем.

Летом нахождение атмосферных вихрей меняется. Повторяемость циклонов над океанами уменьшается, а над материками увеличивается. В районе Средиземного моря летом циклоны возникают редко.

У антициклонов зимой наибольшая повторяемость в северных районах Азии и Америки. В районах наибольшей повторяемости циклонов антициклоны встречаются достаточно редко. [13] [14]

### 3 Климатические особенности Санкт-Петербурга

#### 3.1 Основные характеристики климата Санкт-Петербурга

Город Санкт-Петербург по части погоды является, пожалуй, одним из самых «капризных» городов России. Нас не балует своим посещением надолго лето, оставляя лишь надежду на теплую весну и осень, да и те обычно являются больше продолжением зимы, поэтому иностранцы или приезжие зачастую думают, что в Санкт-Петербурге всего 2 времени года: зима и что-то среднее между летом и осенью, из-за почти не прекращающихся дождей.

Несмотря на это, Солнце все же может порадовать нас своими лучами, пускай и недолго, так как они тут же могут смениться пасмурным небом, сильным ветром и ливнем. Именно эта постоянная изменчивость является одной из самых характерных особенной этого города.

Умеренный климат, переходящий к континентальному – так характеризуется климат нашего города.

Главной отличительной чертой климата Санкт-Петербурга является наличие и частая смена трех воздушных масс– морской, континентальной и арктической (зависят от условий формирования). Морские воздушные массы приходят вместе с атлантическими циклонами с запада, юго-запада или северо-запада. Вместе с такими циклонами к нам приходит «любимая», пасмурная и ветреная, с осадками, погода петербуржцев. Благодаря им летом у нас прохладно, а зимой тепло.

С востока, юга или юго-востока пробирается сухой континентальный воздух. Он-то и радует нас жарким летом, с малой облачностью и сухой погодой, а вот зимой от него не скрыться- она будет холодная.

Но холоднее всего будет, когда с севера придет сухой и всегда очень холодный арктический воздух, формирующийся надо льдом. Логично понять,

что именно эти воздушные массы принесут резкое понижение температуры, также они характеризуются ясной погодой. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой - наиболее сильные морозы.

Разобрав, какие воздушные массы влияют на погоду в Санкт-Петербурге и области, становится понятно почему наш район так тяжело поддается прогнозированию, ведь частая смена воздушных масс делает свою работу. К тому же не стоит забывать про размеры Ленинградской области, разнообразие ландшафта и близость воды.

К опасным явлениям, встречающимся на нашей территории можно отнести: снегопады, метели, сильные ветры, туманы, сильные морозы, грозы и ливни, наводнения, а также лесные пожары. [15]

### 3.2 Физико-географическое расположение Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург располагается в северо-западной части России, на берегах Балтийского моря.

Город расположен на 60 градусах северной широты и на 31 градусе восточной долготы и не имеет аналогов в природном отношении. Летом в распределении атмосферного давления на земном шаре наступают изменения по сравнению с зимой. Так как северное полушарие больше нагревается, чем южное, то приэкваториальная полоса низкого давления несколько смещается к северу, вместе с тем смещается к северу и субтропическая полоса повышенного давления. Летом, центры повышенного давления, расположенные над океанами, в том числе азорский максимум, усиливаются, океанические центры пониженного давления ослабевают (исландский минимум). Над континентами атмосферное давление сильно уменьшается по сравнению с зимой. Большое развитие азорского максимума может вызвать наступление засух на Европейской территории России.

Большие изменения погоды, типичные для Санкт–Петербурга, объясняются частым прохождением циклонов и антициклонов и связанных с ними атмосферных фронтов.

Для Ленинградской области важно учитывать влияние таких центров действия, как исландский минимум и азорский максимум. В зимнее время имеет значение отрог азиатского максимума, протягивающийся по югу Европы. Важна также полярная область повышенного давления – источник арктических масс воздуха. Пониженное давление воздуха в области исландского минимума и повышенное в области азорского максимума (а зимой и в отроге азиатского максимума) объясняют преобладание западных и юго-западных ветров в районе Санкт-Петербурга, а вместе с тем и сравнительно мягкий климат для такой географической широты. Если исландский минимум углубляется, а давление в области азовского максимума усиливается, то усиливаются и юго-западные ветры. На северо-запад России тогда поступает теплый океанический воздух, зимы в таких случаях бывают мягкими. Если же исландский минимум ослаблен и сдвинут к западу, к берегам Америки, то перевес над Атлантикой берет Арктика, юго-западные ветры уступают место северным и северо-восточным, что обуславливает суровую морозную зиму.

Летом в Петербурге температура на 3 градуса выше, чем средняя температура для 60-той широты. Но далее к востоку, почти до Тихого океана, температура летом еще более превышает среднюю широтную. В районе Якутска температура июля на 6 градусов выше средней температуры для широты 60 градусов. Это показывает, что в районе Петербурга и летом климат сохраняет некоторые черты морского благодаря ветрам с Атлантики и северных морей и соседству Финского залива.

Отличительной особенностью, привлекающей миллионы туристов в Санкт-Петербург, являются белые ночи. Они наступают примерно в конце мая и длятся до середины июля практически 50 дней. [15]

## 4 Анализ синоптических условий формирования волн холода

### 4.1 Постановка цели и задач

В ходе работы над магистерской диссертации были проанализированы фоновые циркуляционные условия, характерные формированию низких зимних температур в районе Санкт-Петербурга.

Основные задачи работы – выделить и проанализировать экстремально низкие температуры холодного полугодия за период с 1917 года по 2016 год, и проанализировать циркуляционные условия возникновения экстремально низких температур в этом же районе.

В работе для сравнения использовались два базовых периода, предложенных Всемирной Метеорологической Организацией. Последний базовый период (с 1981 по 2010 гг.) введен в 2015 году, как «текущая климатическая норма», «старый» базовый период (с 1961 по 1990 гг.) оставлен для оценки долгосрочного изменения климата.

В качестве исходных данных были взяты значения среднесуточной температуры воздуха за период с 1917 года по 2016 год. Стоит отметить, что целью работы является анализ экстремально низких зимних температур, поэтому в последствии, при расчетах, учитывались лишь значения температур за декабрь, январь и февраль.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

а) выделить в исследуемый период экстремально низкие температуры зимних месяцев, для этого имеющийся ряд среднесуточных температур за исследуемый период разбить на градации;

б) разделить значения на единичные случаи и "волны холода", оценить характерные синоптические условия;

в) проанализировать режим аномально низких температур и дать сравнительную характеристику для двух базовых периодов ("нового" и "старого");

г) отдельно проанализировать основные формы циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса;

д) оценить циркуляционные условия возникновения аномально низких зимних температур.

#### 4.2 Анализ экстремально низких зимних температур в Санкт-Петербурге

В ходе работы над диссертацией среднесуточные температуры зимних месяцев за период с 1917 по 2016 год были разделены на градации: «среднее» (от -2.7 до -10.8 °С), «ниже среднего» (от -10.9 до -24.3 °С), «значительно ниже среднего» (от -24.4 до -33.6 °С). Под низкими температурами в данной работе понимаются среднесуточные температуры, попадающие в градацию «значительно ниже среднего».

Также все случаи таких температур были поделены на единичные случаи и, так называемые, волны холода (случаи, с повторяющимися температурами «значительно ниже среднего» более одного дня).

Рассмотрим повторяемость среднесуточных температур, попадающих в градацию «значительно ниже среднего». За весь исследуемый период (100 лет) было зафиксировано 72 случая с вышеназванными температурами. Причем, единичные случаи температур ЗНС наблюдались всего в 20 годах из 100 (обратим внимание, что в 1942 году было 4 случая экстремально низких температур, в 1966 году два случая, в 1968 году два случая и в 1985 году тоже два случая, но волнами холода они не являются, так как дни шли не подряд), то есть всего было 25 единичных случаев интересующих нас температур. Волны холода наблюдались в 11 годах из наблюдаемых 100. Причем в 1929 году было 2 волны холода, как и в 1956, то есть всего 13 волн холода.



Количество anomalно низких зимних температур за исследуемый период максимально концентрировалось в январе (48 случаев), затем феврале (17 случаев) и меньше всего в декабре – всего 7 случаев. (рис.3.2)

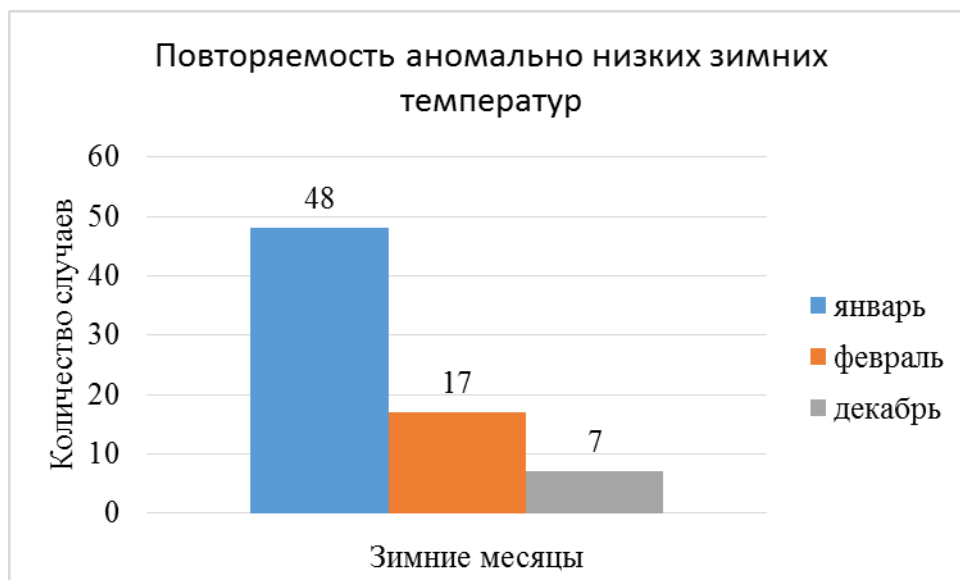


Рисунок 4.2 – Повторяемость anomalно низких температур за 100 лет

В результате анализа данных в таблице 3.2 можно сделать вывод о том, что самая высокая повторяемость экстремально низких температур наблюдается в январе в обоих базовых периодах. Однако, стоит отметить, что количество случаев температур «значительно ниже среднего» уменьшается, что связано с тем, что после 1987 года таких значений было очень мало(2002,2006гг.)

При сравнении двух базовых периодов можно заключить, что в первом наблюдались случаи экстремально низких температур в феврале, а во втором базовом периоде они отсутствуют. Количество январских случаев значительно уменьшилось.

Таблица 4.2 – Повторяемость среднесуточных зимних температур попадающих в градацию "значительно ниже среднего" по базовым периодам

Года	Декабрь	Январь	Февраль
1961–1990	3	22	6
1981–2010	1	14	0

В таблице 4.3 представлены все единичные случаи с температурами значительно ниже среднего, которые наблюдались за весь рассматриваемый период, всего их было 25.

Таблица 4.3 – Случаи единичных температур «значительно ниже среднего»

№	Год	Месяц	День	T, °C	№	Год	Месяц	День	T, °C
1	1918	1	10	-24.5	14	1956	1	26	-26.6
2	1919	12	21	-24.4	15	1966	1	15	-25.1
3	1924	1	26	-27.6	16	1966	2	9	-24.5
4	1933	1	21	-24.9	17	1967	1	30	-25.5
5	1940	2	9	-24.8	18	1968	1	8	-25.4
6	1941	1	25	-25.2	19	1968	1	11	-25.0
7	1942	1	11	-25.0	20	1982	1	9	-25.6
8	1942	1	14	-25.5	21	1985	1	21	-26.5
9	1942	1	21	-25.8	22	1985	1	26	-24.8
10	1942	1	27	-27.6	23	1987	1	29	-25.7
11	1945	12	25	-25.7	24	2002	12	31	-24.5
12	1946	2	8	-27.2	25	2006	1	19	-26.0
13	1955	12	11	-24.6					

Из таблицы 4.3 можно сделать вывод, что самая низкое значение соответствует температуре  $-27.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которая наблюдалась 2 раза 27.01.1942 и 26.01.1924 года. Также видно, что самые холодные температуры почти всегда соответствуют концу января.

В таблице 4.4 представлены все случаи «волн холода» с температурами значительно ниже среднего, которые наблюдались за весь рассматриваемый период. Всего было зафиксировано 13 волн холода, общей продолжительностью 47 дней.

Таблица 4.4 – Случаи «волн холода»

Год	Месяц	День	Продолжительность	Минимальная температура, $^{\circ}\text{C}$	День с минимальной температурой
1926	1	11	2	-24.6	11.01
1929	2	5	3	-28.1	07.02
1929	2	9	2	-26.7	10.02
1940	1	15	4	-32.5	17.07
1942	1	24	2	-29.5	24.01
1950	1	5	7	-27.1	05.01
1956	1	30	2	-29.2	31.01
1956	2	5	5	-30.4	06.02
1966	2	3	2	-28.9	04.02
1968	1	13	3	-28.0	13.01
1978	12	29	3	-31.3	30.12
1979	2	14	2	-26.2	14.02
1987	1	5	9	-33.6	10.01

Из таблицы 4.4, можно заключить что самая длительная волна холода была в 1987 году с началом 5 января и продолжительностью 9 дней, причем самое низкое отрицательное значение было на 6 день волны – 10.01.1987 и соответствовало  $-33.6$  °С. Это же значение является самым холодным случаем наблюдения температур «значительно ниже среднего» среди волн холода, а также среди всех наблюдаемых случаев аномально низких температур. Стоит отметить, что в январе наблюдалось наибольшее количество волн холода (7), в феврале пять, а в декабре была всего одна волна холода.

#### 4.3 Анализ основных форм циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса

Для дальнейшего анализа циркуляционных условий сопутствующих низким температурам был привлечен каталог Вангенгейма-Гирса.

В классификации Вангенгейма все виды атмосферных процессов сгруппированы в три формы атмосферной циркуляции: западная (W), восточная (E) и меридиональная (C).

Для восточной (E) формы циркуляции характерно наличие в тропосфере ведущего потока восточного направления и развитие у поверхности земли антициклонов, смещающихся на европейскую территорию с северо-востока. Положение полей приземного давления при формах восточной и западной циркуляций различаются лишь тем, что при восточной циркуляции центры циклонов и антициклонов смещены на запад.

При западной (W) форме циркуляции во всей толще атмосферы усиливается западный перенос, отмечается зональное смещение циклонов из Атлантического океана на восток, а в холодное время года – вынос теплых воздушных масс океанического происхождения.

При меридиональной (C) форме циркуляции над восточной частью Атлантики и Западной Европы формируется высокий теплый антициклон, по

западной периферии которого происходит вынос теплого воздуха в северные широты.

Преобразование процессов западной формы циркуляции в восточную или меридиональную связано с возникновением в тропосфере стационарных волн большой амплитуды. При меридиональной форме циркуляции активизируется циклоническая деятельность. В этом случае циклоны, расположенные западнее гребней движутся с юго-запада на север-восток, а восточнее гребней – с северо-запада на юго-восток. Для меридиональной формы циркуляции характерны более значительные меридиональные переносы воздушных масс и барических образований, чем для восточной формы.

В результате анализа графика на рисунке 4.3, можно заключить, что в основном аномально низкие температуры наблюдаются, при восточной форме циркуляции, что соответствует обычному распространению сибирского антициклона климатически наиболее часто приводящего к аномально низким зимним температурам.

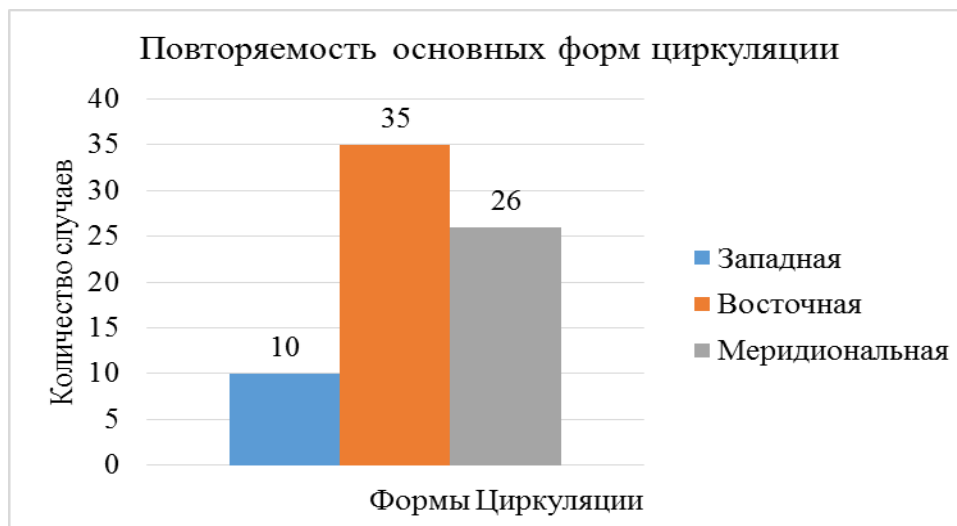


Рисунок 4.3 — Повторяемость основных форм циркуляции атмосферы по каталогу Вангенгейма -Гирса с 1917-2016 год

## 4.4 Анализ циркуляционных условий возникновения аномально низких температур

### 4.4.1. Характерная синоптическая ситуация для всех случаев

В ходе работы представляется целесообразным оценить синоптическую ситуацию, которая характерна для низких температур (среднесуточные температуры, которой принадлежат градации «значительно ниже среднего»).

К анализу синоптической ситуации, сопутствующей дням со среднесуточной температурой «значительно ниже среднего» был привлечен архив приземных и высотных барических карт за период с 1917 по 2018 гг. кафедры метеопрогнозов Российского Государственного Гидрометеорологического Университета и архив приземных и высотных барических карт реанализа за период с 1917 по 2018 гг., которые являются фактическими. Они построены с помощью глобальной гидродинамической модели атмосферы GFS. Модель погоды GFS расшифровывается как Global Forecast System (Глобальная Система Прогнозирования). Она оперируется NCEP (National Centers for Environmental Prediction, Национальные Центры для Предсказания Окружающей Среды), которые являются подразделением NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, Национальная Администрация Океании и Атмосферы), NWS (National Weather Service, Национальная Служба Погоды), США.

В ходе выполнения магистерской диссертации была рассмотрена синоптическая ситуация для каждого дня с аномально низкой температурой и для единичных случаев и для волн холода.

Для этого использовались совмещенные высотные (AT-500) и приземные поля, также были привлечены карты AT-850 с изотермами.

В ходе исследования были выявлены наиболее характерные синоптические ситуации для случаев температур «значительно ниже среднего». Их можно разделить на 3 основные группы:

а) Санкт-Петербург попадает в тыл обширного циклона и затоки шли с арктического побережья с районов Новой Земли (рис. 4.4.1);

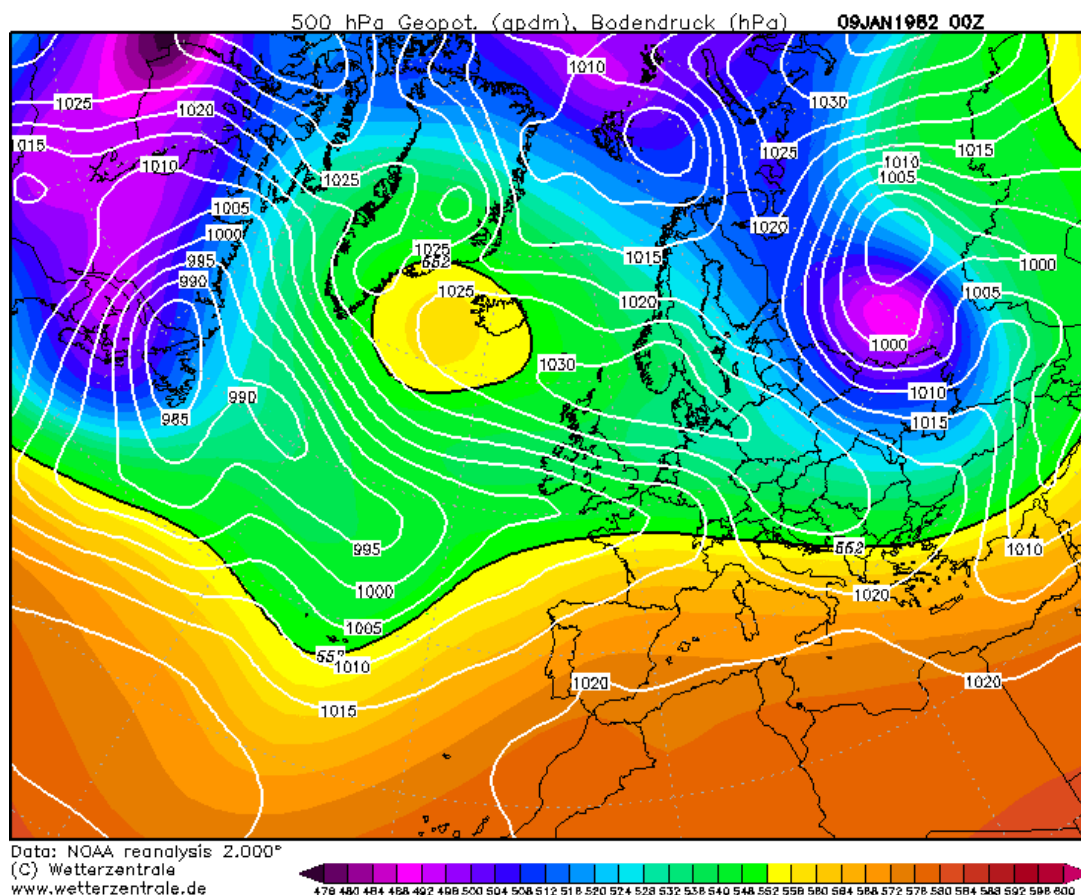


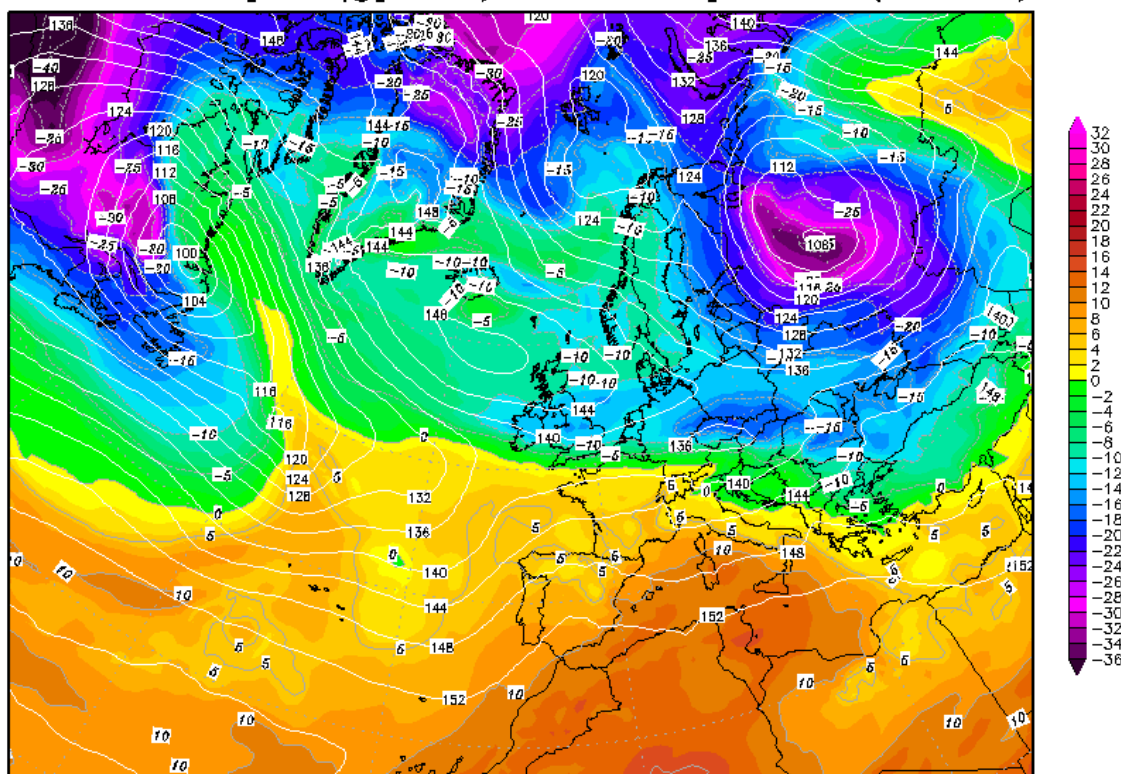
Рисунок 4.4.1 – Карта погоды за 09.01.1982

На рисунке 4.4.1 представлена карта реанализа единичного случая 9 января 1982 года, низкий температурный режим которого был обусловлен тыловой частью циклона и затоками холодного арктического воздуха. Среднесуточная температура в этот день равнялась  $-25.6^{\circ}\text{C}$ .

Синоптическую ситуацию над Санкт-Петербургом 9 января определяла тыловая часть циклона. Наблюдались затоки арктического воздуха с северо-востока. В течение данных суток фиксировался меридиональный перенос. На высотной карте АТ-850(рисунок 4.4.2) хорошо прослеживается заток холодного воздуха с района Новой Земли.

09.JAN1982 18Z

*850 hPa Geopot. (gpdam) und Temperatur (Grad C)*



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

Рисунок 4.4.2 – Карта АТ-850 за 09.01.1982

б) Санкт-Петербург находится под влиянием распространения гребня высокого давления, причем распространения могло быть не только со стороны Сибири и Новой Земли, но также бывали случаи ныряющих антициклонов с района Шпицбергена. При их распространении чаще всего были гребни Сибирского антициклона или по анализу процесса предшествующего из гребня возникал отдельное ядро, которое стояло над Санкт-Петербургом (рис.4.4.3);



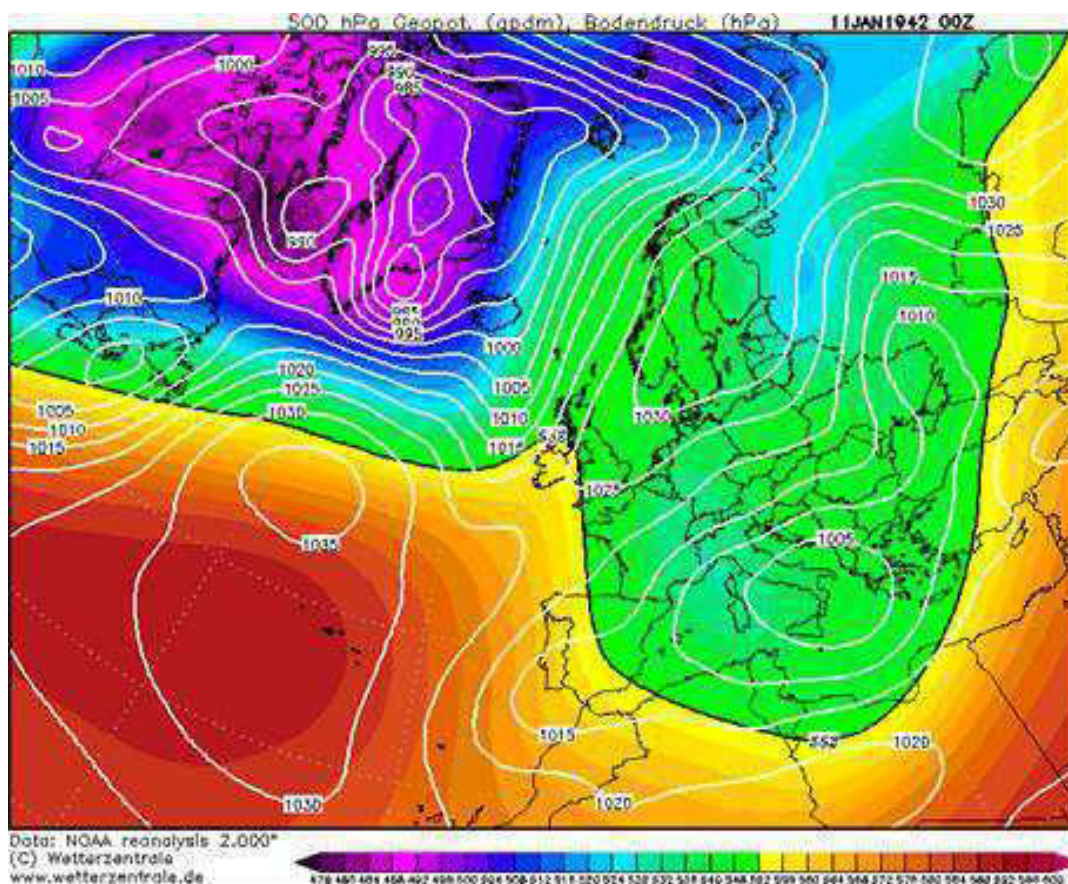


Рисунок 4.4.3 – Карта погоды за 11.01.1942

На рисунке 4.4.3 представлена карта реанализа единичного случая 11 января 1942 года, низкий температурный режим которого был обусловлен прохождением над Санкт-Петербургом гребня антициклона. Среднесуточная температура в этот день равнялась  $-25.0^{\circ}\text{C}$ .

в) малоградиентное поле, в большинстве случаев седловина по типу антициклона (рис.4.4.4);

На рисунке 4.4.4 представлена карта реанализа за срок 11 декабря 1955 года, низкий температурный режим которого был обусловлен прохождением над Санкт-Петербургом малоградиентного поля по типу седловины. Среднесуточная температура в этот день равнялась  $-24.6^{\circ}\text{C}$ .

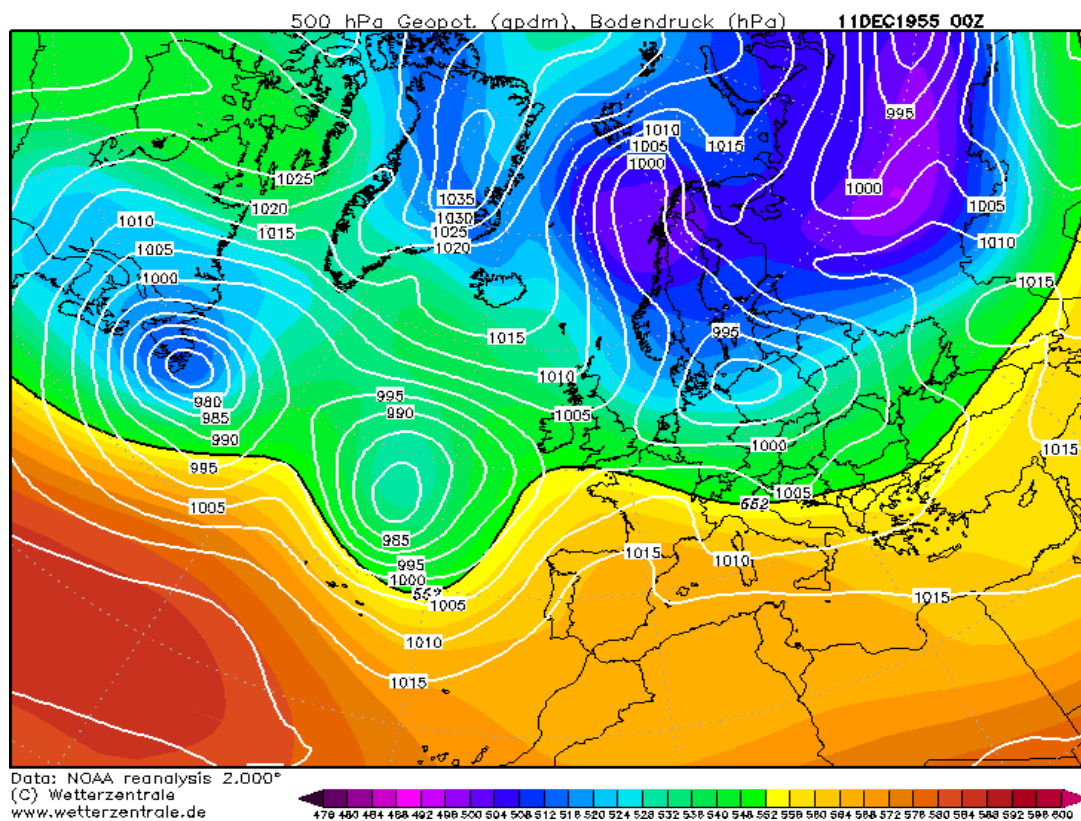


Рисунок 4.4.4 – Карта погоды за 11.12.1955

Как видно из диаграммы на рисунке 4.4.5, в большинстве случаев (58%, что равняется 22 случаям) аномально низким температурам соответствовало распространение гребня антициклона, распространение же малоградиентного поля и тыла циклона в процентном соотношении равны – 21%, что соответствует 8 случаям.



Рисунок 4.4.5 – Повторяемость характерных синоптических ситуаций

#### 4.4.2. Анализ волн холода

Для анализа волн холода рассмотрим один из наиболее интересных случаев 1987 года, когда волна холода длилась целых девять дней. Начало волны было 5 января, Санкт-Петербург в этот день находился в седловине по типу антициклона. На Северо-востоке от города наблюдался отрог Сибирского антициклона. Карты погоды за 6 января, 10 января и 12 января 1987 года представлены на рисунке 3.4.6 и 3.4.7, соответственно.

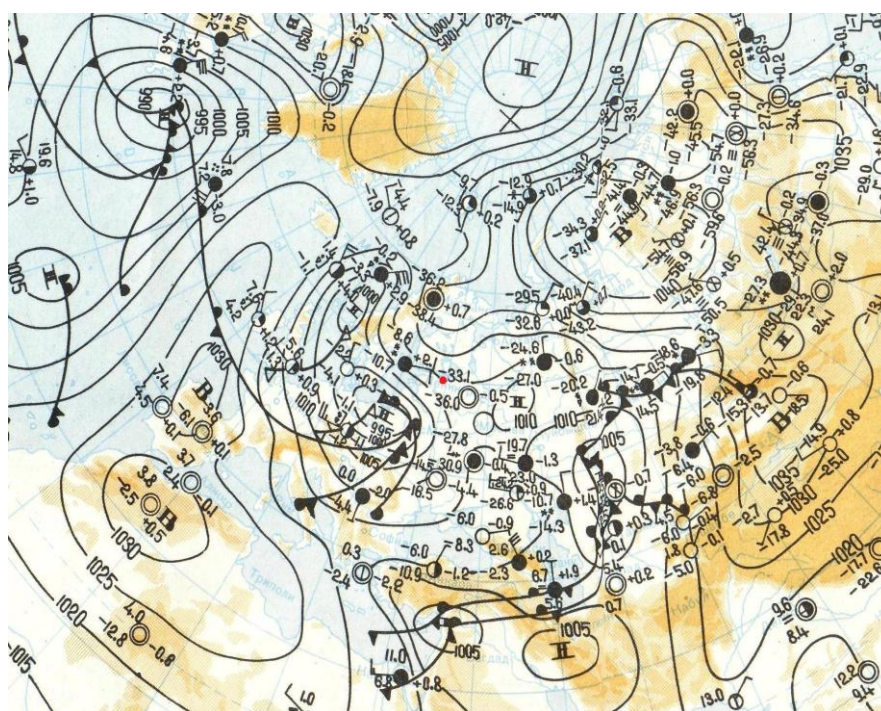


Рисунок 4.4.6 – Карта погоды за 06.01.1987, срок «09» часов



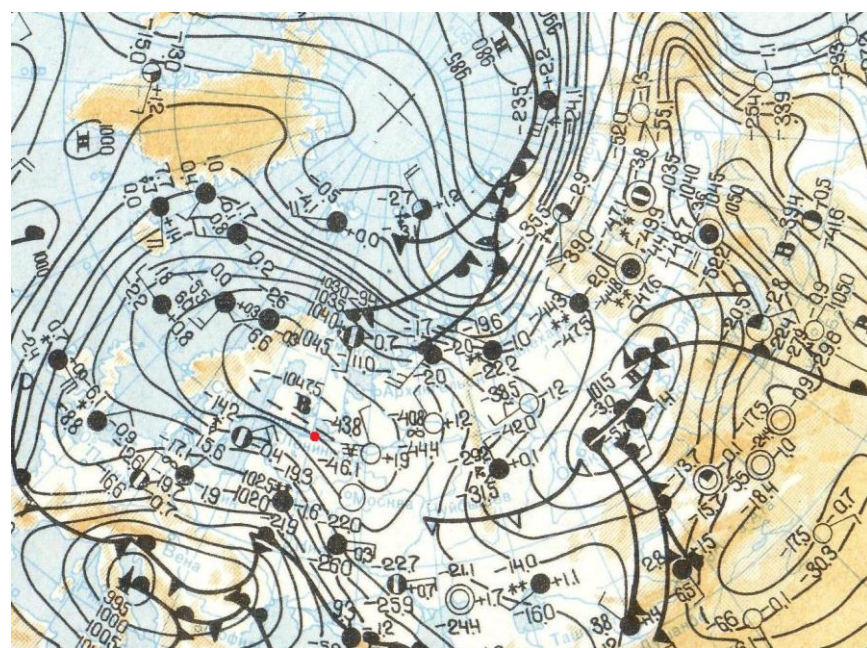
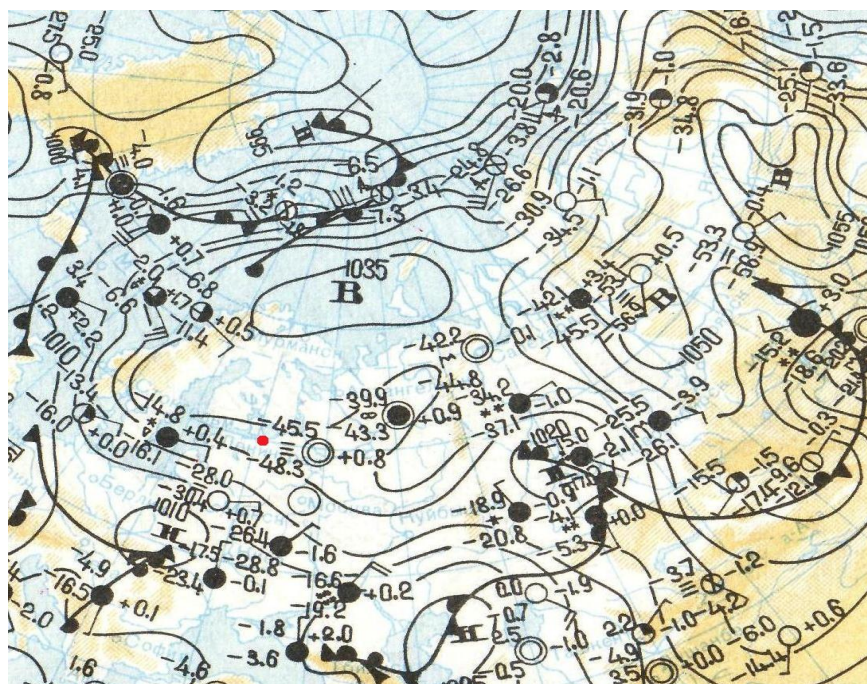


Рисунок 4.4.7 – Карта погоды за 11.01.1987 и 12.01.1987, срок «09» часов

Погоду в Санкт-Петербурге определяется южной периферией обширнейшего антициклона, распространяющегося на восточную часть Атлантики, Северный Ледовитый океан, страны Скандинавии, Урал и Сибирь. Уже 12 января среднесуточная температура воздуха в районе Санкт-Петербурга  $-33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Погодные условия определяются затоками холодного

воздуха с Северо-востока, давление растет и 13 января Санкт-Петербург оказывается в центральной части антициклона.

Обычно формированию волн холода сопутствует развитие Сибирского антициклона, выход его на Север-запад Европейской части России. В некоторых случаях Санкт-Петербург оказывается под влиянием высотного гребня Сибирского антициклона.

В результате анализа синоптических условий формирования среднесуточных температур воздуха в градации «ниже среднего» в районе Санкт-Петербург можно заключить, что в период с 1916 по 1960гг. единичным случаям наиболее часто сопутствует восточная форма циркуляции и распространение на Север Европейской Территории России Сибирского антициклона. В период с 1961 по 2018гг. погоду дня со среднесуточной температуры определяет тыловая часть циклона. Наблюдаются затоки арктического воздуха с Северо-востока. В данный интервал времени дням с температурой ЗНС впервые сопутствует помимо восточной и меридиональной западная форма циркуляции.

Волны холода формирует распространение обширного Сибирского антициклона и его на Арктическое побережье, и основную часть Европейской части России. После 1987 года не наблюдалось ни одного случая волны холода со среднесуточной температурой «значительно ниже среднего».

#### 4.4.3. Оценка положения Высотной Фронтальной Зоны

Дополнительным условием формирования низких зимних температур может быть положение Высотной Фронтальной Зоны. В ходе выполнения магистерской диссертации была проанализирована Высотная Фронтальная Зона на картах АТ-500, т.е. на высоте 5 километров, были оценены ее конфигурация и широтное положение.



В случаях волн холода и единичных случаев аномально низких температур, Высотную Фронтальную Зону можно разделить на 2 группы по положению:

а) идет практически равномерно вдоль широт 40-50 градусов, выше не поднимается нигде (рис. 4.4.8);

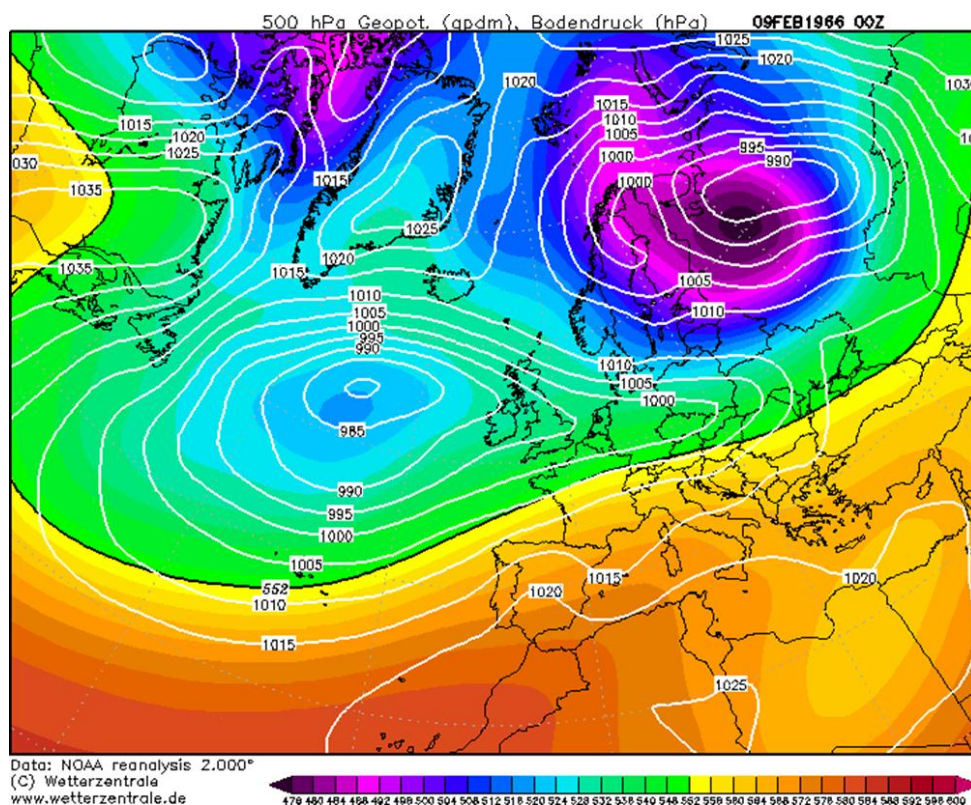


Рисунок 4.4.8 – Карта погоды за 09.02.1966

б) имеет неравномерную конфигурацию, были замечены волны, с вершинами над Атлантикой или Великобританией, но Европейская часть России находилась в районе низа волны, таких случаев около 30% (рис. 4.4.9);

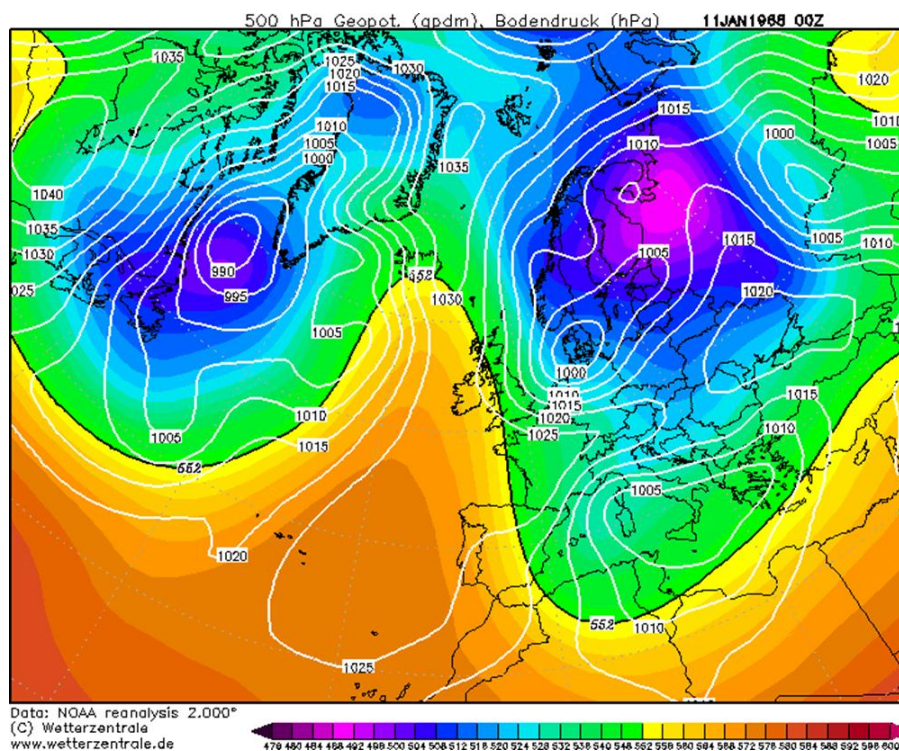


Рисунок 4.4.9 – Карта погоды за 11.01.1968

Высотная Фронтальная Зона была проанализирована только для зимних температур, попадающих в градации «значительно ниже среднего». В настоящее время на кафедре Метеопргнозов ведется анализ среднего положения Высотной Фронтальной Зоны при нормальных температурах в зимний период в районе Санкт-Петербурга.

#### 4.4.4 Анализ синоптических условий, формирующих минимальные зимние температуры за период с 2000 года по 2017

Заметив, что последняя волна холода была в далеком уже 1987, но единичные случаи еще встречались в 2002 и 2006гг. было принято решение исследовать минимальны зимние температуры с точки зрения особенностей циркуляционных условий.

После 2006 не было ни одной температуры, четко попадающей в градацию «значительно ниже среднего», ни одной подобной прошедшему почти столетнему периоду.

В ходе работы было решено проанализировать чем определяются минимальные зимние температуры и почему они не могут достигать таких низких значений как было в прошлые годы.

Для этого были проанализированы все минимальные температуры за каждую зиму с 2000 по 2018гг. и сопоставлены с их синоптической ситуацией. Стоит обратить внимание, что здесь мы работали не с аномально низкими температурами, так как их не встречалось с 2006 года, а просто с минимальными температурами календарной зимы (январь, декабрь и февраль), так как нам было важно увидеть различия между ними и проанализировать.

За 18 лет с 2000 года, 2 случая попали под градацию «значительно ниже среднего» (от -24.4 до -33.6 °С), остальные же попадают под градацию «ниже среднего» (от -10.9 до -24.3 °С).

Проанализировав минимальные температуры было выделено 2 характерные синоптические ситуации:

а) вторжение Сибирского или Азиатского антициклона, но ось гребня проходит через Ботнический залив в сторону Швеции, то есть нах в ее Юго-Западной периферии и потоки холодного воздуха идут не с Арктического побережья, а с центра России (рис. 4.4.10);



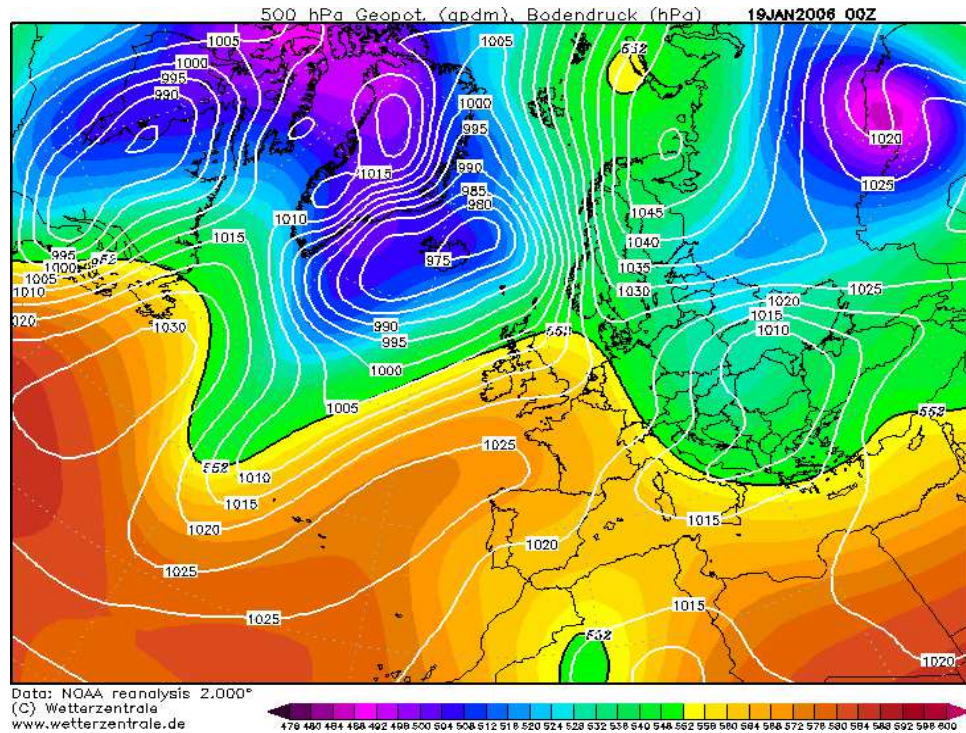


Рисунок 4.4.10 – Карта погоды за 19.01.2006

На рисунке 4.4.10 представлена карта реанализа за срок 19 января 2006 года, низкий температурный режим которого был обусловлен прохождением над Санкт-Петербургом гребня антициклона. Среднесуточная температура в этот день равнялась  $-26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

б) седловина по типу антициклона, но ось вторжения гребня идет по оси Ботнического залива в сторону Аландских островов, изобары Сибирского антициклона не доходят до Санкт-Петербурга, поэтому он находится в малоградиентном поле), соответственно повышение зимних температур, по сравнению с предшествующими столетними более низкими зимними температурами, связано с этим (рис.4.4.11);

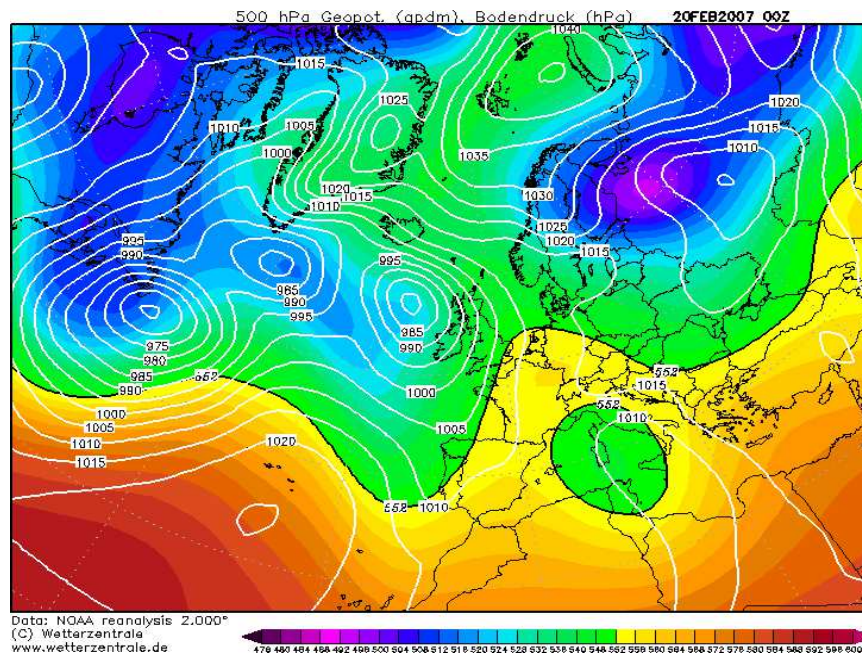


Рисунок 4.4.11 – Карта погоды за 20.02.1997

На рисунке 4.4.11 представлена карта реанализа за срок 20 февраля 2007 года, температурный режим которого был обусловлен нахождением Санкт-Петербурга в малоградиентном поле по типу высокого давления. Среднесуточная температура в этот день равнялась  $-26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Интересно, что минимальным зимним температурам за период с 2000 по 2018гг. больше не соответствует прохождение тыла циклона, что тоже дает вывод о более мягких зимних современных температурах.

Было замечено, что ось вторжения изменилась, раньше она проходила меридионально, а теперь Сибирский антициклон распространен к Ботническому заливу, а не к Санкт-Петербургу. Тогда было решено в данный период с 2000 по 2018гг. посмотреть каждый день зимы по картам (больше 1500 дней) и из них выбрать случаи, когда вторгался либо Сибирский, либо Азиатский максимум.

Проанализировав все карты, стало ясно, что действительно Сибирский антициклон стал проходить выше, а к нам чаще распространяется Азиатский антициклон, и Санкт-Петербург оказывался в той его части, которая давала

другие направление ветра и такого холода у нас не было. Это позволяет сделать вывод о том, что на зимний температурный режим стал больше влиять Азиатский антициклон а, Сибирский почти нет.

В ходе работы было принято решение рассмотреть вторжения Азиатского и Сибирского антициклона и создать базу их вторжений. Всего было 55 вторжений, больше всего встречались Азиатские их было 41 и Сибирских 14.

Если говорить об Азиатском максимуме, то некоторые выделяют в нем Сибирский антициклон и Азиатский, а некоторые склоняются к выделению Сибирского, Монгольского и Центрально-Азиатского.

В ходе выполнения работы были классифицированы характерные синоптические ситуации для данных вторжений, также появилось достоверное доказательство почему Сибирский антициклон перестал «приносить» с собой аномально низкие температуры.

В результате анализа карты на рисунке 4.4.12 можно заключить, что при современном вторжении Сибирского антициклона Санкт–Петербург находится ниже оси вторжения, а южнее Санкт-Петербурга находится циклон. Такая ситуация наблюдается достаточно часто и это позволяет сделать вывод о том, что именно облачные массы циклонов, проходящих южнее Санкт-Петербурга, влияют на «смягчение» зимних температур.

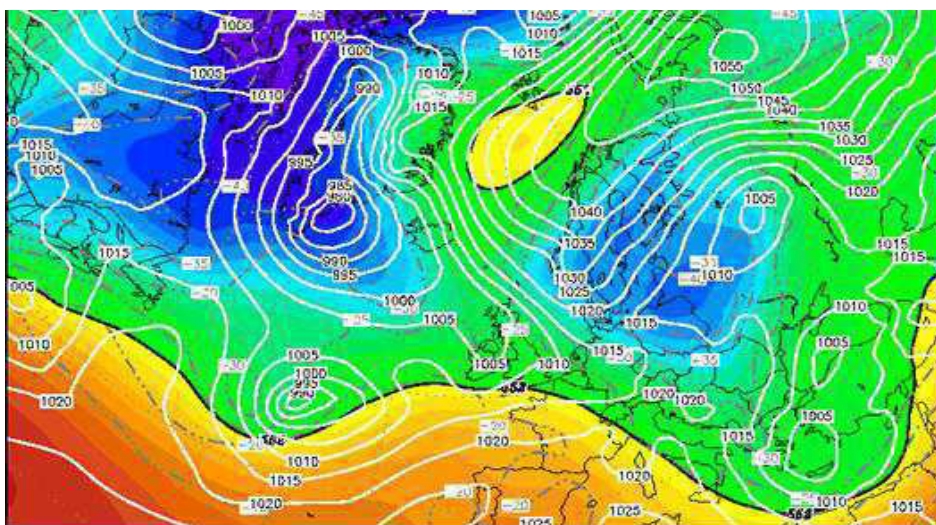


Рисунок 4.4.12 – Распространение Сибирского антициклона



В результате анализа карты на рисунке 4.4.13, можно сказать, что гребень Азиатского антициклона распространяется на Центральную и Европейскую часть России. Санкт-Петербург находится северной периферии гребня. Так как циркуляция воздушных масс по часовой стрелке, то затоки воздуха юго-западные, следовательно, приносят тепло.

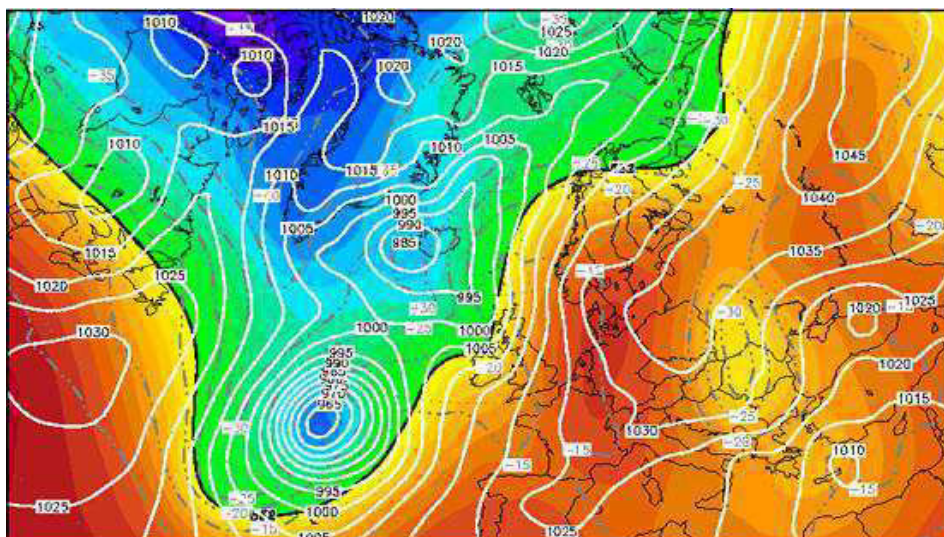


Рисунок 4.4.13 – Распространение Азиатского антициклона

Для того, чтобы лучше понять различие в характеристиках вторжений была рассмотрена комбинированная карта (рис. 4.4.14) 1982 года, когда наблюдалась аномально низкая температура.

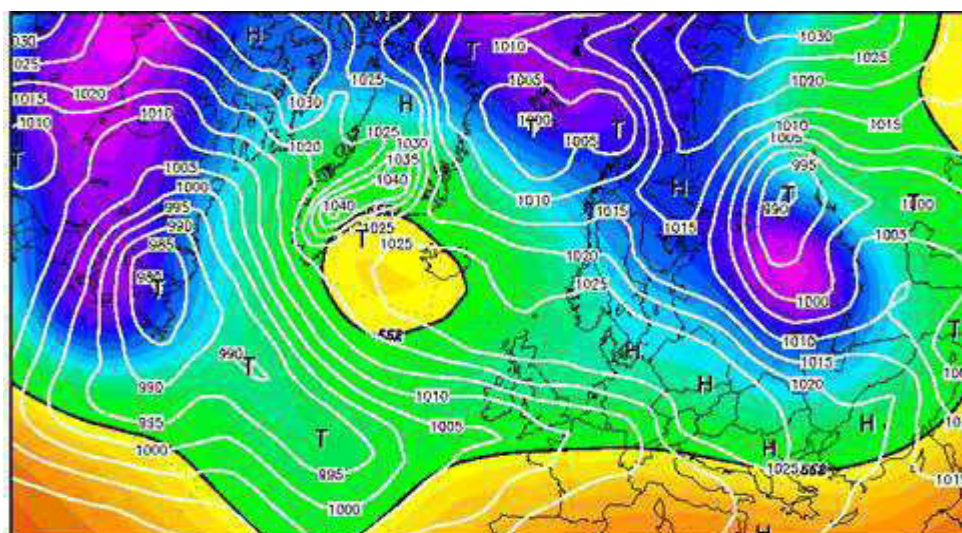


Рисунок 4.4.14 — Комбинированная (приземная и абсолютной топографии поверхности 500 гПа) карта вторжения Сибирского антициклона

Из анализа карты на рисунке 4.4.14 можно заключить, что ось гребня направлена так, что Санкт–Петербург находится в малоградиентной зоне высокого давления, а ось гребня ориентирована меридионально.

Было выявлено, что при распространении Сибирского антициклона после 2000 года ось обычно ориентирована широтно и проходит выше Санкт–Петербурга – над Кольским полуостровом, Белым морем и югом Баренцева моря. Распространение оси Азиатского антициклона происходит аналогично, только ось смещается южнее Санкт–Петербурга, а именно над Среднерусской и Приволжской возвышенностями.

В результате анализа можно заключить, что в последние годы Сибирский антициклон, который обычно приносил аномально низкие температуры, поменял ориентацию гребня, который теперь проходит значительно выше Санкт-Петербурга. Соответственно, изменились и затоки холодного воздуха, теперь они наблюдаются севернее Санкт-Петербурга.

В последние годы на температурный режим Санкт–Петербурга стал больше влиять гребень Азиатского антициклона. Санкт–Петербург находится на его северной периферии, наблюдаются затоки более теплого воздуха с Юга, Юга-запада.

Логично предположить, что именно смена ориентации и положения оси гребня Сибирского антициклона приводит к уменьшению повторяемости после 2000 года аномально низких зимних температур над территорией Санкт-Петербурга.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате магистерской работы все поставленные цели и задачи были выполнены.

Выделены и проанализированы экстремально низкие температуры холодного полугодия за период с 1917 года по 2016 год, проанализированы циркуляционные условия возникновения экстремально низких температур в этом же районе, для этого сначала были выделены экстремально низкие температуры (попадающие в градацию «значительно ниже среднего, то есть меньше -24.4 градусов Цельсия»), затем все случаи таких температур были разделены на единичные случаи и «волны холода». Всего за исследуемый период было 72 случая аномально низких температур, из них 25 единичных случаев и 13 волн холода(47дней).

Характерной синоптической ситуацией для «волн холода» являются: гребень(58%случаев), тыл циклона(21%случаев), малоградиентное поле(21%случаев).

Два базовых периода, предложенных Всемирной Метеорологической Организацией, проанализированы и сравнены между собой.

Отдельно проанализированы основные форму циркуляции по каталогу Вангенгейма-Гирса, чаще всего наблюдалась Восточная форма циркуляции.

Положение и конфигурация Высотной Фронтальной Зоны была оценена как дополнительное условие формирования низких зимних температур.

Проанализированы минимальные зимние температуры с 2000 по 2018 год и характерные для них синоптические ситуации: прохождение гребня над районом Санкт-Петербурга и седловина по типу антициклона. Сделан вывод о изменении оси вторжения Сибирского и Азиатского антициклона.

Создана база вторжений Сибирского и Азиатского антициклона. Можно заключить, что ось Сибирского антициклона стала проходить выше Санкт-Петербурга, а Азиатского ниже.

Таким образом, за последние 18 лет минимальным температурам не соответствовало распространение тыла циклона. Гребень Сибирского антициклона стал проходить выше Санкт-Петербурга, то есть его изобары не доходят до Санкт-Петербурга, либо доходят реже. При распространении гребня часто южнее Санкт-Петербурга находился циклон, облачные массы которого влияют на «смягчение» зимних температур. К тому же, затоки холодного воздуха стали приходить не с Арктического побережья, а с центра России, следовательно не приносят сильных холодов.

К Санкт-Петербургу стал чаще распространяться Азиатский антициклон, и Санкт-Петербург оказывался в той его части, которая давала другие направление ветра и не вызывала таких сильных холодов, как в предшествующий почти столетний период. Все эти факторы можно отнести к причинам более «мягких» зим за последние восемнадцать лет, а также отсутствию в эти годы аномально низких температур.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Берг Л. С. Географические зоны Советского Союза [текст] /Том II. – М.: Государственное издательство географической литературы, 1952. – 512 с.
- 2 Анисимов О.Ф. Глобальное потепление и вечная мерзлота в северном полушарии [текст] / Тез. Докл.науч.конф, по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. – М.: 1996. – 197 с.
- 3 Атмосфера [текст] / под ред. Ю.С. Седунов. – Л.: Гидрометеиздат,1991. – 512 с.
- 4 Дроздов О.А. Климатология [текст] / О.А. Дроздов – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568с.
- 5 Будыко М.И. Состояние исследований антропогенных изменений климата [текст] / М.И. Будыко – Вып.2 1986. – 158 с.
- 6 Предстоящее изменение климата [текст] / Под редакцией Будыко М. И., Израэля Ю. А., Маккракена М. С. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 272 с.
- 7 Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола / отв. ред. Ю. А. Израэль. – М. : Наука, 2006. – 408 с.
- 8 Жеребцов Г. А. Роль солнечной и геомагнитной активности в изменении климата Земли / Г. А. Жеребцов, В. А. Коваленко, С. И. Молодых / Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 1. – 59 с.
- 9 Хайруллина Г.Р. Элементы общей циркуляции и распределение влагозапаса атмосферы Земли [текст] / под ред. Е.А. Лупян. – М.: ИКИ РАН, 2008. – 60 с.
- 10 Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы [текст] – Спб.:изд. РГГМУ, 2006. – 84 с.



11 Михеев В.А. Климатология и метеорология [текст] – Ульяновск.: УлГТУ, 2009. – 114 с.

12 Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата / В.Н. Боков, В.Н. Воробьев – Учёные записки – СПб.:Изд.РГГМУ, 2010. – 88 с.

13 Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии [текст] – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 48 с.

14 Воробьев В.И. Синоптическая метеорология [текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 604 с.

15 Кобышева Н. В., Акентьева Е. М., Богданова Э. Г. и др. Климат России [текст] – СПб.:Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.