



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 условия формирования аномального количества осадков в  
городе Анапа»

Исполнитель Смагина Александра Витальевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)  
Ефимова Юлия Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 2 июня » 2021 г.

Санкт-Петербург  
2021

## Содержание

	стр
Введение	3
1 Климатические характеристики южного региона России	5
1.1 Климатические характеристики Краснодарского края	5
1.2 Климатические и географические особенности города Анапа	8
1.3 Основные характеристики барических образований	10
1.3.1 Термическая и географическая классификация воздушных масс	10
1.3.2 Атмосферные фронты и их классификация	11
1.3.3 Особенности формирования и стадии развития циклонов	13
1.3.4 Особенности формирования и стадии развития антициклонов	17
1.4 Особенности погоды в разных частях циклона	20
1.4.1 Погода в передней части циклона (в теплом атмосферном фронте)	20
1.4.2 Погода в теплом секторе циклона	22
1.4.3 Погода в тыловой части циклона ( в холодном фронте)	22
1.4.4 Особенности погоды в циклоне в области фронта окклюзии	24
1.5 Особенности погоды в антициклоне	25
2 Основные характеристики осадков и опасные явления погоды на юге России	27
2.1 Классификация осадков	27
2.2 Прогноз осадков	28

2.2.1	Прогноз осадков обложного характера	30
2.2.2	Прогноз осадков ливневого характера	32
2.3	Опасные явления погоды встречающиеся на юге России	36
3	Анализ условия формирования аномального количества осадков в городе Анапа	40
3.1	Постановка цели и задач научно-исследовательской работы	40
3.2	Годовой и месячный режим осадков	42
3.3	Анализ аномальных и экстремальных осадков	45
3.3.1	Анализ дней выпадения аномальных сумм осадков на территории города Анапа	46
3.3.2	Анализ дней выпадения экстремальных сумм осадков на территории города Анапа	48
	Заключение	56
	Список литературы	57

## Введение

Целью научно-исследовательской работы является анализ синоптических процессов, сопутствующих дням с аномальным количеством осадков на территории города курорта Анапы.

Анапский район и в частности город Анапа, находящиеся на территории Краснодарского края, смело можно назвать популярным туристическим местом в России. Город Анапа получил звание солнечного курорта Краснодарского края, так как здесь наблюдается большое количество солнечных дней в году. Интересно проанализировать режим осадков в городе Анапа и проверить заслужено ли ему присудили данное звание. Я являюсь коренной жительницей города Анапа и неоднократно наблюдаю дни с высокими суммами осадков, которые приводят к неблагоприятным последствиям для экологической, аграрной и рекреационной составляющей региона. Анализ условий формирования аномального количества осадков в г. Анапа является задачей актуальной и практически значимой. Выявление синоптического фона, характерного для выпадения высокий сумм осадков, позволит заблаговременно предупредить службы города и принять все необходимые меры для предотвращения неблагоприятных последствий.

В данной работе предполагается проанализировать синоптические условия, сопутствующие выпадению аномального количества осадков за период с 1960 по 2020 год.

В первой главе будут рассмотрены климатические особенности Краснодарского края, климатическое и географическое описание города-курорта Анапа. Также в первой главе будут рассмотрены средние многолетние особенности погоды Краснодарского края, барические образования приводящие к выпадению аномального количества осадков.

Во второй главе будут рассмотрены осадки, их виды, и методы прогноза осадков, а также опасные явления погоды на юге России.

В третьей главе представлены конечные итоги проведенной научно-исследовательской работы. Предполагается провести анализ всего материала, сделать вывод об аномальном выпадении осадков на территории г.Анапа, выделить причины приводящие к этому.

# 1. Климатические характеристики южного региона России.

## 1.1 Климатические характеристики Краснодарского края

Географическое положение Краснодарского края очень интересно с точки зрения рельефа местности. Край омывается сразу двумя морями, Азовским и Черным, имеет множество лиманов и озер, заповедных лесов, гор и степных зон (рисунок 1.1). Это развитый регион России и его ведущими отраслями является сельское хозяйство, промышленность и ,самое главное, рекреационная составляющая.



Рисунок 1.1 - Карта географического положение Краснодарского края

На климат Краснодарского края действуют сразу три воздушные массы: арктическая, умеренная и тропическая, этим обуславливается различие погодных условий в разных частях региона.

Черное и Азовское море оказывают существенное воздействия на климатическую составляющую региона, так как восполняют тепло и влагу.

Также немаловажную роль в климат региона вкладывают горы Главного Кавказского хребта. Под воздействием данных факторов на территории края сформировались два климатических пояса: субтропический на побережье Черного моря, и умеренный, преобладающий на равнинных территориях. В горах под влиянием высотной поясности сформировался горный климат.

Рассмотрим климат различных частей Краснодарского края (рисунок 1.2).

Климат Кубано-Приазовской низменности, расположенной между рекой Кубань с юга и Азовским морем с запада, является умеренно континентальным. Так как территория низменности открыта с северной стороны, она находится в большей степени, под влиянием арктической воздушной массы. Поэтому в зимнее время, наиболее часто, ветра с севера способствуют вторжению холода и сильным морозам на данной территории, а в летний период эти же ветра приносят с более прогретого материка сухую и жаркую погоду.

Наибольший вклад в формирование климата Краснодарского края вносят местные ветра.

Фён — это сильный, порывистый, теплый, сухой ветер, дующий с гор. С фёнами обычно связаны значительные повышения температуры воздуха. Данный ветер наблюдается на Черноморском побережье, в горной и предгорной частях и на Кубано-Приазовской низменности продолжительностью до двух суток.

Бризы — это ветра береговой линии, которые дуют на побережье Черного и Азовского морей, днем с моря на сушу, ночью с суши на море. Черное море летом охлаждает побережье бризами, а зимой согревает, отдавая накопленное в жаркие дни тепло.

Наиболее известным ветром Черноморского побережья является бора — это холодный, порывистый северо-восточный ветер, дующий с гор с огромной силой. Бора приводит к резкому понижению температуры воздуха.

Количество осадков распределяется по месяцам очень неравномерно, поэтому летом часто случаются засухи. Большая часть годовой суммы осадков выпадает в виде дождя.

Климат Таманского полуострова, расположенного в основном на побережье Азовского моря и, имеющим множество лиманов, является умеренно континентальным. Данная территория является степной зоной где преобладают засухи, сухое жаркое лето и влажная ветреная зима. В годовом ходе осадков максимум приходится на осень и зиму.

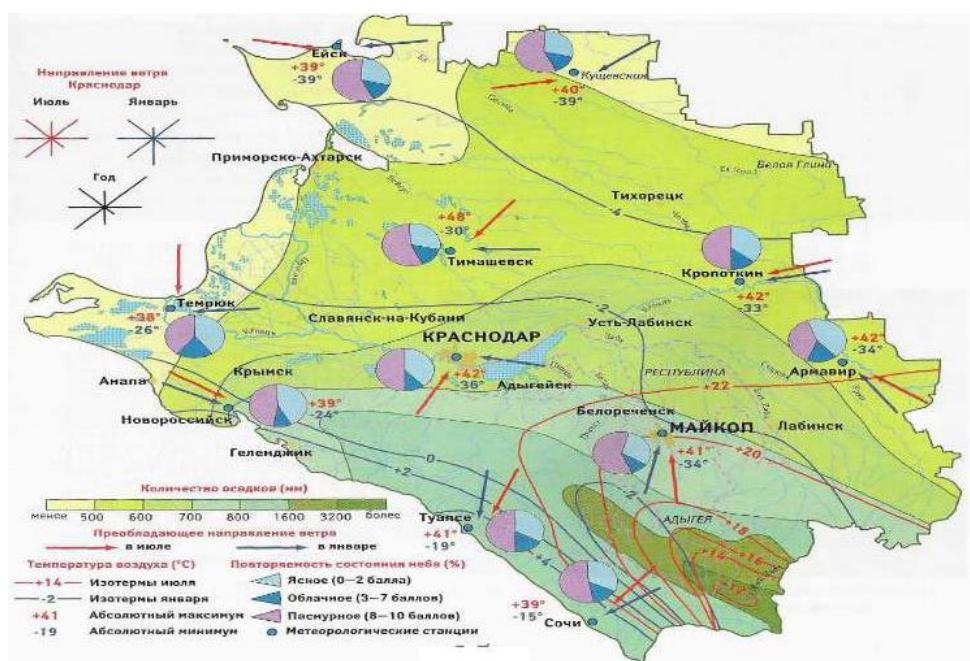


Рисунок 1.2 - Карта основных характеристик климата Краснодарского края

В горной части региона расположен хребет Ачишхо (2451 м высота) — это самое влажное место в нашей стране. Среднее годовое количество осадков здесь достигает 3000 мм. Глубина снежного покрова в отдельные годы достигает 7,5 метра.

Климат Черноморского побережья разделяют на два климатических района: северный и южный. Северный расположен от Анапы до Туапсе,

южный — от Туапсе до границы с Абхазией. В северной части побережья, в районе Анапы, климат умеренно-континентальный. Лето здесь жаркое, но открытая местность, продуваемая ветрами, смягчает дневной зной, поэтому он почти не ощущается. Южный район — это район влажных субтропиков. Главный Кавказский хребет защищает побережье от холодных северных ветров. В то же время теплое море обогревает его. Создаются условия для формирования влажного субтропического климата. Зимы практически не бывает, весна начинается рано примерно в конце февраля.

## 1.2 Климатические и географические особенности города Анапа

Город Анапа расположен на территории Краснодарского края в юго-западной части России, омывается Чёрным морем. Неподалёку находится Керченский пролив, соединяющий Чёрное и Азовское моря. Анапа расположилась между Таманским полуостровом (степная зона) и Новороссийском (горная зона), от города до Таманского полуострова тянутся песчаные пляжи. В районе Анапы Кавказские горы еще не такие крутые и высокие и поэтому морские воздушные массы смешиваются со зноным воздухом степей Тамани. Нет той высокой влажной удушающей жары, так характерной для остальной части побережья Кавказа.

Город Анапа примечателен тем, что расположен на разделе степной, горной и морской частей. С одной стороны города замечательные песчаные пляжи, с другой — скалистые холмы и каменные пляжи и, степные зоны.

В Анапе преобладает средиземноморский климат, который способствует сухой жаркой погоде, стоящей тут почти в течении всего года. Из-за большого количества солнечных дней, Анапу называют солнечным курортом страны, но даже тут присутствуют аномальные ливни и грозы.

В зимний период в Анапе преобладает прохладный сезон, редко сопровождающийся морозами и снегопадами.

Осенний период, а именно сентябрь и октябрь, по праву можно назвать бархатным сезоном курорта, так как, нагретое летом море, начинает отдавать свое тепло суще, что способствует комфортной, приятной, нежаркой погоде в Анапе.

Весна в городе наступает рано, но температура воздуха, из-за более холодной водной поверхности, нарастает медленно. В начале апреля начинают цвести деревья, а местные жители начинают открывать купальный сезон.

Лето в Анапе жаркое, но с предгорий площадь города обдувает прохладный ветер, количество солнечных дней становится больше, но также присутствуют дни с ярко выраженной конвективной деятельностью, которая приносит аномальные дожди.

Огромное влияние на климат региона оказывают ветра, которые относятся к воздушным массам Арктики, умеренных широт и тропиков.

Черноморское побережье в зимний период находится под влиянием северных потоков воздуха, которые активно способствуют развитию циклонической деятельности. К таким ветрам относятся бора, который возникает благодаря неравномерному нагреву земной и морской поверхности. Скорость этого ветра иногда достигает 40 м/с, а его длительность варьируется от 1 до 4 суток.

В весенний и осенний период интенсивность ветров падает. Ветра южных и юго-западных направлений приносят на территорию города Анапа прохладу и повышенную влажность воздуха. Эти ветра также способствуют образованию циклонической деятельности, которая приносит обильные ливни с грозами и смерчами.

### 1.3 Основные характеристики барических образований

#### 1.3.1 Термическая и географическая классификация воздушных масс.

Воздушная масса - это горизонтальный объем воздуха, который обладает одинаковыми свойствами по широте. По объему воздушные массы имеют размеры материков и океанов, а по высоте достигают несколько километров, также воздушные массы могут достигать высоты тропопаузы.

По температуре воздушные массы можно классифицировать на следующие типы:

- Тёплая воздушная масса – это масса, которая перемещается с тёплой подстилающей поверхности на более холодную и приносит потепление.
- Холодная воздушная масса – это масса, которая перемещается с холодной подстилающей поверхности на более тёплую, вызывая похолодание и обильные ливневые осадки.
- Нейтральная воздушная масса – это масса, которая находится в каком-то определенном районе и в течении нескольких дней сохраняет свои свойства. Она одновременно может быть относительно теплой или относительно холодной в зависимости от соотношения ее температуры и температуры соседних воздушных масс.

Также воздушные массы можно разделить на устойчивые и неустойчивые.

Устойчивая воздушная масса - это такая воздушная масса, в толще которой вертикальный градиент температуры меньше влажноадиабатического. Благодаря этому вертикальные конвективные движения не развиваются, следовательно, кучевые облака не образуются.

Неустойчивая воздушная масса – это масса в толще которой вертикальный градиент температуры больше влажноадиабатического. В неустойчивой воздушной массе обычно развиваются мощные кучевые облака [2].

По географической классификации воздушные массы делятся на четыре основных типа, которые представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Виды воздушных масс в зависимости от широтного расположения

Вид воздушной массы	Формирование воздушной массы
арктическая и антарктическая	к полюсам в область низкого давления поступает воздух с умеренных широт
умеренная или полярная	формируется в умеренных широтах
тропическая	формируется по обе стороны от экватора
экваториальная	формируется в области экватора

Каждая из этих воздушных масс, кроме экваториальной, делится на морскую и континентальную в зависимости от характера подстилающей земной поверхности места его формирования.

### 1.3.2 Атмосферные фронты и их классификация

Область между двумя воздушными массами, различающимися по размерам, строению и условиям погоды называется атмосферным фронтом. Атмосферные фронты в зависимости от горизонтальной и вертикальной протяженности делятся на несколько типов:

- высокие (основные) атмосферные фронты, которые находятся на высоте выше тропосфера. Они занимают огромные территории по горизонтали и вертикали, и делят воздушные массы, наиболее сильно различающиеся по своим свойствам;

- приземные (вторичные) атмосферные фронты, имеющие небольшое горизонтальное и вертикальное расстояние, и существующие обычно около двух суток;
- верхние атмосферные фронты, которые образуются на какой-то определенной высоте в тропосфере.

В зависимости от того, насколько сильно различается вертикальное строение, условия погоды и период перемещения атмосферного фронта, можно также выделить следующие виды фронтов, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Виды атмосферных фронтов в зависимости от условий погоды и вертикального строения

Вид фронта	Наименование
простые	теплые, холодные и стационарные атмосферные фронты
сложные	фронты окклюзии по типу теплого и по типу холодного

Области фронта, которые перемещаются в сторону относительно холодной воздушной массы называются теплыми. За теплым фронтом перемещается теплая воздушная масса, а холодная масса воздуха расположена перед фронтом, и постепенно отступает.

Области фронта, которые перемещаются в сторону более теплой воздушной массы, называются холодными. За холодным фронтом перемещается холодная воздушная масса, а теплая масса постепенно отступает [2].

Малоподвижные или стационарные фронты – это фронты, которые в течении нескольких дней не перемещаются, то есть располагаются над одной и той же областью.

Также существуют такие ситуации, когда в области циклона холодный фронт перемещается намного быстрее чем теплый фронт, поэтому со временем происходит их слияние, и образуется фронт окклюзии.

### 1.3.3 Особенности формирования и стадии развития циклонов

Циклон – это обширный атмосферный вихрь, который возникает в результате контраста температур между теплой и холодной воздушной массы. Давление в центре циклона низкое, а ветер дует против часовой стрелки в Северном полушарии, и по часовой стрелке в Южном полушарии.

В зависимости от особенностей возникновения и территориального положения различают следующие виды циклонов, представленные в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Виды циклонов в зависимости от территориального положения

Вид циклона	Наименование
циклоны умеренных широт	формируются в области умеренных широт. это фронтальные и нефронтальные циклоны
тропические циклоны	формируются в тропиках. это ураганные циклоны, имеющие большую мощность и циклоны, формирующиеся в области экватора

Нефронтальные циклоны возникают в основном летом над сушей, а зимой над теплыми морями. Данный вид циклона не связан с атмосферными фронтами, обычно он небольших горизонтальных размеров и слабо развит по вертикали. Возникновение данных циклонов связано с неравномерным нагреванием подстилающей земной поверхности и образованием устойчивых местных восходящих движений воздуха над сравнительно большими

площадями, а также падение давления в данном месте. В области пониженного давления появляется замкнутая циклоническая деятельность. В отдельных случаях нефронтальные циклоны могут иметь большие размеры и очерчиваться несколькими замкнутыми изобарами, к примеру, циклоны, возникающие зимой над Черным морем, которые как раз таки и наблюдались в данной работе при анализе выпадения аномальных сумм осадков на территории города Анапа. При условиях, если в область нефронтального циклона войдет фронт, то циклон начнет дальнейшее развитие и превратиться в обычный фронтальный циклон.

Фронтальные циклоны – это внетропические циклоны, которые возникают и развиваются на стационарных основных фронтах умеренных и полярных широт.

По мере своего развития циклоны имеют ряд каких-либо изменений, поэтому период развития циклонов можно разделить на несколько стадий [2].

Существуют следующие стадии развития циклонов:

- 1) начальная стадия развития циклона, стадия возникновения волны (рисунок 1.3), возникает когда на фронте появляются признаки возникновения волны, на вершине которой давление падает, а за холодным фронтом начинает расти. Циклон, находящийся в начальной стадии, обычно прослеживается на самых низких уровнях, а продолжительность существования циклона в данной стадии примерно одни сутки.

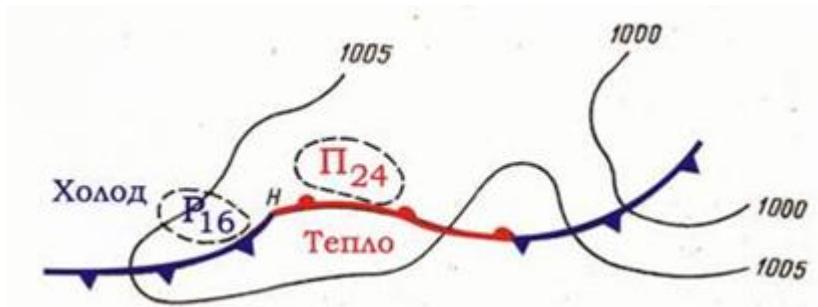


Рисунок 1.3 – Начальная стадия развития циклона. Стадия волны

2) Стадия молодого циклона (рисунок 1.4), возникает, когда уже появляется сформированная замкнутая изобара и циклон начинает углубляться. На данной стадии хорошо выраженный теплый сектор с теплым и холодным фронтами, четко очерчиваются несколько замкнутых изобар. Молодой циклон является средним барическим образованием, а его продолжительность двое суток.

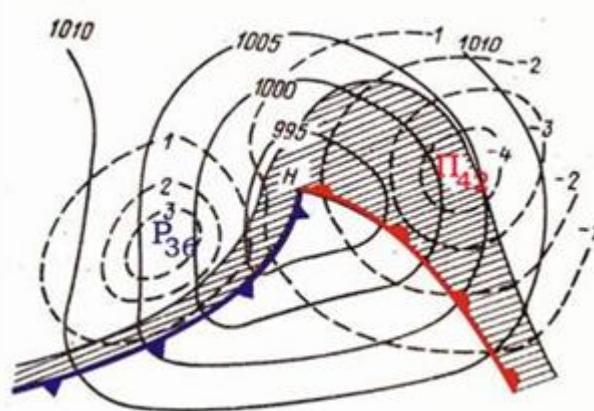


Рисунок 1.4 – Стадия молодого циклона

3) Стадия максимального развития (рисунок 1.5), наступает когда давление в центре циклона обычно изменяется незначительно. На данной стадии увеличивается горизонтальная площадь циклона, а также возрастает число замкнутых изобар. На стадии максимального развития наблюдается приближение и в дальнейшем смыкание холодного фронта с тёплым, т.е. циклон находится в окклюдированном состоянии. Место, где начинается смыкание холодного фронта с тёплым фронтом, называется точкой окклюзии, которая в дальнейшем удаляется от центра циклона к его периферии [2].

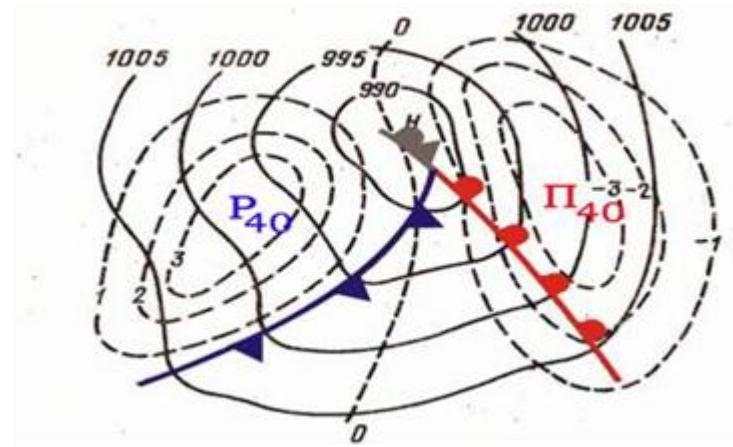


Рисунок 1.5 – Стадия максимального развития циклона

- 4) Стадия заполнения циклона (рисунок 1.6), наступает когда давление в центре циклона интенсивно растет. На этой стадии происходит смыкание холодного и теплого фронтов, начинается процесс окклюзирования циклона. Наблюдается быстрый рост давления в тылу циклона и он заполняется.

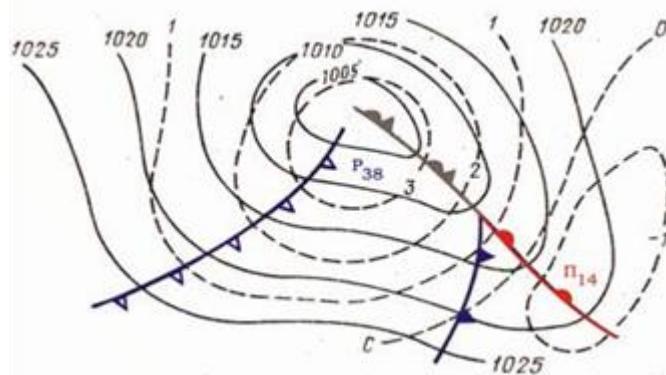


Рисунок 1.6 – Стадия заполнения

#### 1.3.4 Особенности формирования и стадии развития антициклонов

Антициклон – это область повышенного атмосферного давления. Вокруг центра максимального повышенного давления образуется вихрь с потоками воздуха. В северном полушарии воздух в антициклоне движется по часовой стрелке, а в южном — против часовой стрелки.

В зависимости от особенностей возникновения и территориального положения различают следующие виды антициклонов, представленные в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Виды антициклонов в зависимости от территориального положения

Вид антициклона	Наименование
антициклоны умеренных широт	Это промежуточные, которые формируются между циклонами одной системы. Заключительные, формируются в тылу последнего циклона системы. Нефронтальные, связанные с одним местом, и не зависящие от фронтальной системы циклонов.
субтропические антициклоны	Это малоподвижные антициклоны, наблюдавшиеся в основном над океаническими поверхностями.

Нефронтальные антициклоны имеют небольшой размер и возникают над охлажденной подстилающей поверхностью. Над сушей такие антициклонические образования возникают летними ночами, а зимой местные антициклоны над сушей могут существовать достаточно длительно и в последствии нередко перерастают в хорошо развитые антициклоны.

Фронтальный антициклон – это такое барическое образование, которое возникает и развивается из-за высотных фронтальных зон. В антициклонах воздух оттекает во все стороны от центра данного барического образования, что исключает возможность сближения и взаимодействия различных воздушных масс вблизи его центра.

Промежуточные антициклоны – это антициклоны, которые возникают между соседними циклонами одной системы и представляют собой такие барические образования, как гребни, которые вытянуты от нескольких антициклонических систем.

Заключительные антициклоны – это такие барические образования, которые являются основным типом фронтальных антициклонов. Обычно они образуются за холодным фронтом последнего циклона системы.

Существует три стадии развития антициклонов: начальная стадия, стадия наибольшего усиления и стадия разрушения.

Начальная стадия антициклона или стадия молодого антициклона (рисунок 1.7) образуется в холодной воздушной массе в тылу циклона и первоначально имеет вид гребня. По высоте прослеживается до трех километров, на карте очерчен одной или несколькими изобарами. Давление в данной стадии антициклона быстро растет.

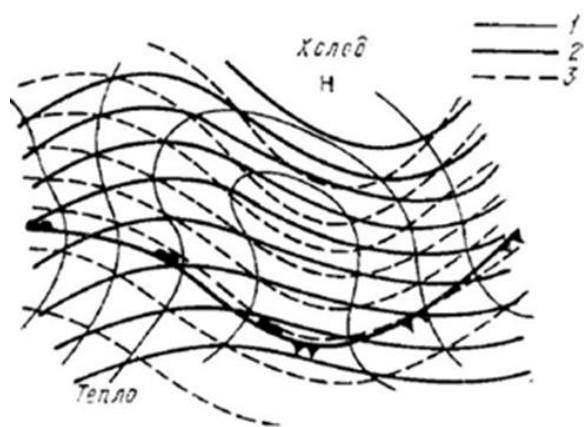


Рисунок 1.7 - Термобарическое поле антициклона, находящегося в стадии возникновения и молодого антициклона. 1 – изобары на приземной карте; 2 – изогипсы АТ<sub>700</sub>; 3 – изогипсы ОТ<sup>500</sup><sub>1000</sub>.

Стадия максимального развития антициклона (рисунок 1.8) прослеживается до высоты четырех километров, но также может прослеживаться и в верхней тропосфере. Достаточно большие горизонтальные размеры таких антициклонов, протяженность иногда составляет несколько тысяч километров. Скорость перемещения заметно убывает по сравнению с молодым антициклоном.

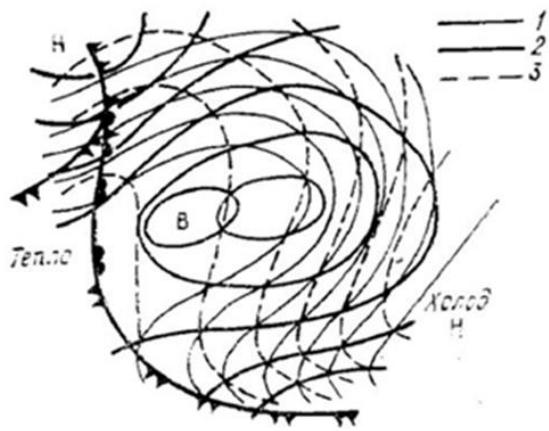


Рисунок 1.8 - Термобарическое поле антициклона, находящегося в стадии максимального развития. 1 – изобары на приземной карте; 2 – изогипсы  $AT_{700}$ ; 3 – изогипсы  $OT_{1000}^{500}$

Когда антициклон становится теплым и высоким барическим образованием, наступает стадия его разрушения (рисунок 1.9). Давление у поверхности земли в центральной и передней частях антициклона по сравнению с предыдущей стадией развития заметно понижается. Количество замкнутых изобар и занимаема антициклоном площадь существенно сокращается [2].

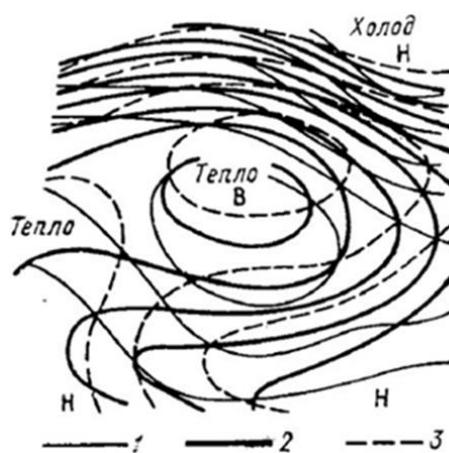


Рисунок 1.9 - Термобарическое поле антициклона, находящегося в стадии разрушения. 1 – изобары на приземной карте; 2 – изогипсы  $AT_{700}$ ; 3 – изогипсы  $OT_{1000}^{500}$

#### 1.4 Особенности погоды в разных частях циклона

Циклоны разделяю на три части, которые имеют различия по погодным условиям:

- Передняя часть циклона,
- Тёплый сектор циклона,
- Тыловая часть циклона.

Погодные характеристики в разных частях циклона на ранних стадиях развития представлены на рисунке 1.10.

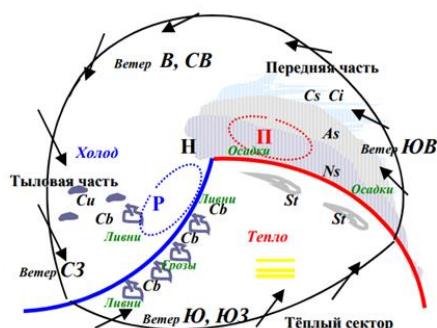


Рисунок 1.10 - Погода в различных частях циклона на начальных стадиях развития

#### 1.4.1 Погода в передней части циклона (в теплом атмосферном фронте)

Особенности погоды в передней части циклона формируются на основании особенностей погоды в теплом атмосферном фронте. Поэтому рассмотрим погоду в теплом фронте.

В зоне теплого фронта образуются две системы облачности: надфронтальная облачность, которая возникает в результате подъема теплого воздуха, и подфронтальная облачность, возникающая под уже сформировавшимися облаками в холодном воздухе из-за турбулентности и

высокой влажности. Основную часть надфронтальных облаков составляют высоко-слоистые и слоисто-дождевые облака, из которых выпадают осадки обложного характера. Их ширина зимой составляет примерно 400 километров, а летом - 300 километров. В нескольких сотнях километрах от теплого фронта наблюдаются продолжительные и очень сильные осадки, способствующие ухудшению видимости и грозам [1].

На рисунке 1.11 наглядно можно увидеть облачную систему теплого фронта.

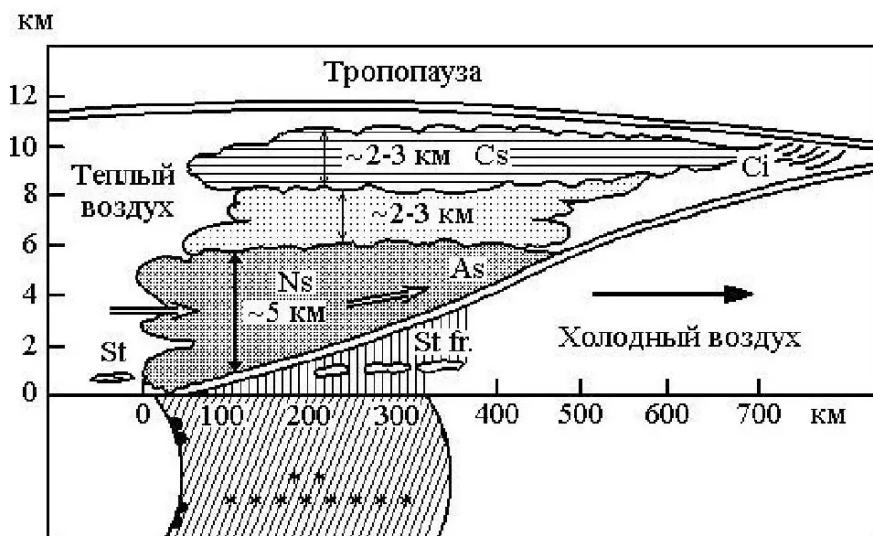


Рисунок 1.11 – Теплый фронт. Облачность и осадки.

Перистые облака на теплом фронте встречаются обычно на высоте от 8 до 10 километров. Также в пределах теплого фронта встречаются высоко-слоистые облака, из которых выпадают осадки зимой, а летом из-за испарения осадки не достигают земной поверхности. Под высоко-слоистыми облаками располагаются плотные слоисто-дождевые облака, из которых выпадают обложные осадки. Обычно слоисто-дождевые облака закрывают все небо без просветов.

В летний сезон на теплом фронте могут наблюдаться облака конвективной деятельности, которые способствуют выпадению ливневых осадков с грозами.

В передней части циклона происходит падение давления. Ветер в передней части циклона имеет в основном юго-восточное направление. Если теплый фронт движется со скоростью около 30 км/ч продолжительность прохождения области обложных осадков составляет около 10 ч [1].

#### 1.4.2 Погода в теплом секторе циклона

Теплый сектор циклона расположен между двумя атмосферными фронтами, с лева находится холодный фронт, а справа теплый. После прохождения теплого фронта в теплом секторе циклона прекращается выпадение обложных осадков из характерной облачности теплого фронта, наблюдается повышение температуры, а ветер меняет свое направление на юго-западное. Давление в области теплого сектора циклона вновь незначительно начинает расти.

В зоне теплого сектора обычно образуются слоистые облака, которые зачастую способствуют возникновению туманов. Самым частым типом тумана, встречающимся в данной зоне является адвективный туман, который часто сопровождается сильным ветром.

Значительных осадков в тёплом секторе обычно не наблюдается, иногда выпадают только моросящие осадки из слоистых облаков, а зимой из слоисто-дождевых выпадает слабый снег [1].

Летом в тёплом секторе циклона обычно малооблачная погода, иногда прослеживаются кучевые облака «хорошей погоды».

#### 1.4.3 Погода в тыловой части циклона ( в холодном фронте)

Тыловая часть циклона – это область после прохождения холодного фронта, поэтому рассмотрим наиболее подробно особенности погоды в холодном фронте.

Холодный фронт разделяют на два типа: холодный фронт первого рода и холодный фронт второго рода. Рассмотрим подробно каждый из них.

Холодный фронт, который перемещается слишком медленно называют холодным фронтом первого рода, в нем образуются слоисто-дождевые и высоко-слоистые облака. Более подробно облачная система холодного фронта первого рода представлена на рисунке 1.12.

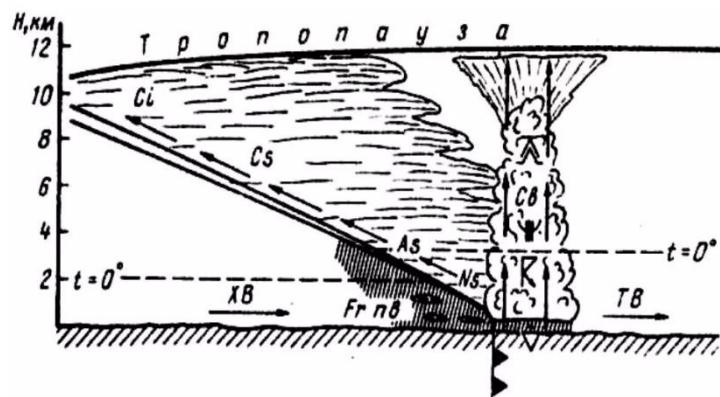


Рисунок 1.12 – Холодный фронт первого рода. Облачность.

Как и в теплом фронте, в холодном фронте первого рода выпадают обложные осадки шириной до двухсот километров. Толщина облачности холодного фронта немногим меньше теплого фронта. В летний период тут образуются мощные кучево-дождевые облака, иногда прослеживающиеся до тропопаузы, которые способствуют выпадению обильных ливневых осадков [1].

Холодным фронтом второго рода называется быстро движущийся холодный атмосферный фронт. В зоне этого фронта облака в основном формируются в передней части фронта, обычно это облака высоко-слоистых и высоко-кучевых форм, из которых иногда выпадают осадки. Облачная система холодного фронта второго рода представлена на рисунке 1.13.

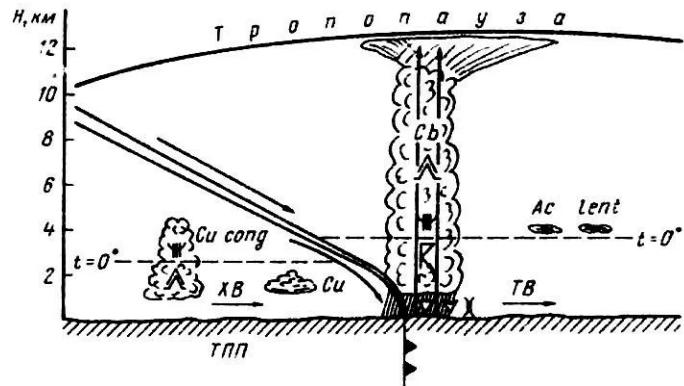


Рисунок 1.13 – Облачная система холодного фронта второго рода

Ширина зоны этих осадков составляет несколько десятков километров, а горизонтальная протяженность облаков вдоль холодного фронта второго рода достигает 2000 километров. Летом в области фронта возникают мощные кучевые облака из-за выраженной конвективной деятельности, которые нередко сопровождаются грозами и сильными ливневыми осадками. Также тут часто образуются смерчи и шквалы.

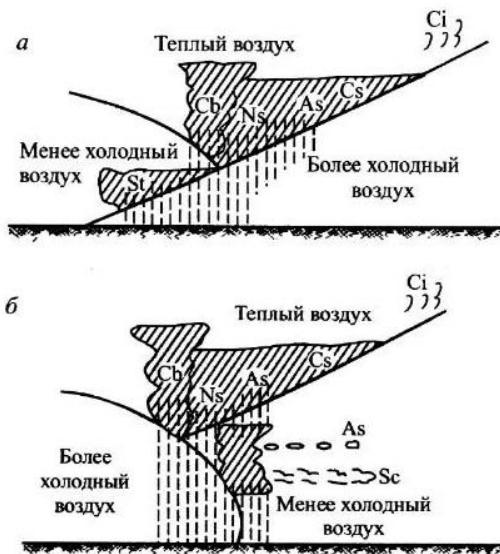
#### 1.4.4 Особенности погоды в области фронта окклюзии

Фронт окклюзии – это фронт, образовавшийся в результате слияния теплого и холодного фронтов. В зависимости от того какая воздушная масса наступает в область тыловой части циклона, различают фронт окклюзии по типу теплого и фронт окклюзии по типу холодного.

Фронт окклюзии по типу теплого в основном наблюдается в холодный период года, в данном фронте в основном наблюдаются низкие слоистые облака, из которых выпадают обложные осадки, ухудшающие видимость.

Фронт окклюзии по типу холодного чаще всего наблюдается в теплый период года, в зоне этого фронта наблюдаются облака кучево-дождевых форм, которые способствуют выпадению интенсивных ливней с градом и

грозами [1]. Облачная система фронта окклюзии по типу теплого и по типу холодного продемонстрирована на рисунке 1.14.



## 1.5 Особенности погоды в антициклоне

Барические образования с высоким давлением в центре (антициклоны) иногда бывают настолько большими, что занимают огромные территории, соизмеримые с материками и океанами. В большинстве случаев, в антициклоне наблюдается ясная погода, но также бывают случаи, когда погода зависит от различных свойств воздушной массы антициклона, рельефа местности и времени года. Так, антициклоны, образовавшиеся в арктической воздушной массе, обычно сопровождаются ясной погодой, а антициклоны с долей полярного воздуха нередко несут за собой моросящие осадки с радиационными и адвективными туманами.

С одной стороны, ясная погода при влиянии антициклона благоприятно сказывается на созревании каких-либо сельскохозяйственных культур, но также бывают случаи малоподвижных, стационарных антициклонов, которые приносят засухи. В весенний период года в районе антициклонов можно наблюдать сильные суховейные ветра, а в зимний период при значительно низких температурах воздуха происходит вымерзание сельскохозяйственных культур. Таким образом, погода в антициклонах не всегда бывает хорошей, поэтому данное барическое образование стоит всегда оценивать более качественно, составляя прогнозы погоды [1].

## 2. Основные характеристики осадков и опасные явления погоды на юге России.

### 2.1 Классификация осадков

Осадки – это какая-то часть воды, выпадающая на земную поверхность, из атмосферы в различных фазовых состояниях. Количество атмосферных осадков характеризуется их суммой и измеряется в миллиметрах на один квадратный метр площади. Интенсивностью осадков – это их количество, которое выпало за единицу времени, она также измеряется в миллиметрах количества воды и проводится по срокам (мм/ч, мм/12 ч, мм/сут).

В зависимости от фазового состояния, атмосферные осадки разделяют на следующие типы, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Различные фазовые состояния атмосферных осадков

Фазовое состояние	Виды осадков
жидкие	дождь и морось
твердые	снег, град или крупа
смешанные	дождь с градом, снег с дождем, мокрый снег

В зависимости от форм облаков, из которых выпадают осадки, их продолжительности, интенсивности, а также на основании размера площади выпадения осадков, можно выделить несколько видов осадков:

- обложные осадки, которые образуются в областях низкого давления. Этот вид осадков в основном выпадает из слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков, имеет значительную продолжительность выпадения и занимает обширные

территории. Это в большинстве случаев осадки средней интенсивности в виде снега, дождя или мокрого снега;

- ливневые осадки, которые выпадают в основном из мощной конвективной облачности и имеют малую продолжительность. Интенсивность данного вида осадков меняется в зависимости от мощности облака, иногда она может достигать больших значений. Из кучево-дождевой облачности осадки выпадают в виде дождя, снега, мокрого снега, крупы и града, часто данный вид осадков сопровождается грозами. Также, в каких-то конкретных областях, ливневые осадки изолированы от общей зоны интенсивных осадков;
- моросящие осадки – это осадки, которые выпадают в виде мороси или ледяных кристаллов. Обычно они выпадают из плотных слоистых и слоисто-дождевых облаков, имея малую интенсивность. Обширные поля моросящих осадков формируются в центральных и тыловых частях антициклонов.

Моросящими осадками являются осадки интенсивностью менее 0,6 мм/ч, обложными — интенсивностью в предела  $x$  0,6—3,0 мм/ч и ливневыми — интенсивностью более 3,0 мм/ч.

Также осадки можно разделять по синоптическим условиям на внутримассовые и фронтальные. Моросящие осадки являются внутримассовыми, обложные фронтальными, а вот ливневые осадки могут быть как внутримассовыми, так и фронтальными [3].

## 2.2 Прогноз осадков

Для прогнозирования атмосферных осадков в сводках погоды, указывается их характеристика и предварительное количество осадков,

которое должно выпасть за двенадцать часов. Для этого используются следующие термины, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Термины использующиеся для прогноза осадков

Термин	Количество осадков , мм
без осадков	0 мм
без существенных осадков	0,2-0,3 мм
небольшой дождь или снег	1-3 мм
дождь или снег	дождь (3-8 мм), снег (1-3 мм)
значительный дождь или снег	дождь (больше 8 мм), снег (больше 3 мм)
кратковременный дождь или снег	продолжительность менее 3 часов, любое количество осадков

Если ожидается град, то он в прогнозе атмосферных осадков указывается отдельным пунктом.

К наиболее опасным атмосферным явлениям относятся следующие:

- Градовые зерна диаметром больше 20 мм, которые пагубно влияют на сельско-хозяйственные культуры, а также наносят значительный ущерб инфраструктуре.
- Дожди, приносимые аномальные количества осадков больше 30 мм за 12 или 24 часа, и экстремальные количества осадков больше 50 мм за 12 или 24 часа, которые наиболее характерны для Черноморского побережья в летний период.
- Ливни интенсивностью 20 мм в час.
- Снегопады, которые приносят 20 мм осадков за сутки и повышают снежный покров на 20 см и более.

Прогноз осадков так или иначе связан с прогнозом облачности, так как облакам различных форм соответствуют различные виды осадков. Например,

если прогнозируются мощные кучево-дождевые облака, то в большинстве случаев стоит ожидать сильный ливень с градом и грозой. Точно также со слоисто-дождовыми облаками, которые, как правило, способствуют выпадению осадков обложного характера, а именно наличие дождя или снега огромной продолжительности. Также характерные осадки способствуют определенным фронтам, теплому фронту соответствуют в основном осадки обложного характера, а на холодном фронте обычно наблюдаются грозы и осадки ливневого характера [3].

Далее в работе наиболее подробно будут рассмотрены методы прогнозирования осадков обложного и ливневого характера.

### 2.2.1 Прогноз осадков обложного характера

Существует множество различных методов для прогноза осадков обложного характера. Для того, чтобы выпали осадки, необходимо, чтобы облачные капли выросли до определенного размера и выпали, достигнув земной поверхности. Рост элементов облака происходит за счет дальнейшей конденсации (или сублимации) водяного пара, а также за счет слияния различных облачных капель (гравитационной коагуляции).

Чтобы понять, как происходит рост облачных элементов в облаке, воспользуемся графиком, представленном на рисунке 2.1.

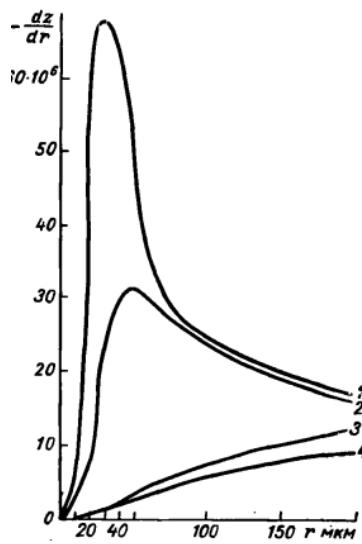


Рисунок 2.1 – Рост капель при разной структуре облака

На данном графике, линии под номером 1 и 2 соответствуют облакам, имеющим водяной характер, у которых рост капель происходит очень медленно из-за маленькой скорости конденсации и практически невозможного их слияния. Линии 3 и 4 характеризуют смешанные по фазе облака, в которых происходит быстрое слияние облачных элементов. Кристаллизация верхней части облака имеет особое значение для укрупнения его частиц и выпадения осадков.

Также для достижения осадками поверхности земли, необходимо определенное соотношение между размерами падающих капель или снежинок, дефицитом точки росы в подоблачном слое воздуха и высотой нижней границы облака. Например, при высоте нижней границы облака более 2000 метров, осадки очень редко достигают земной поверхности, поэтому в прогнозе осадков облажного характера стоит более лучше учитывать характеристики облака и подоблачного слоя [3].

Так В.С. Антонов представил график для определения выпадения осадков с учетом толщины слоя облака, представленным на рисунке 2.2.

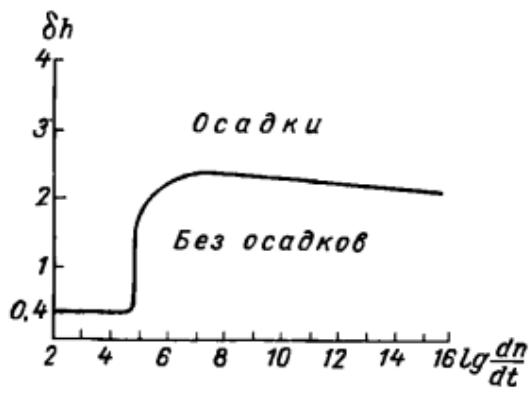


Рисунок 2.2 – График В.С Антонова для определения выпадения осадков

Из графика следует, что если по полученным данным о толщине облака, точка окажется выше кривой линии, то осадки стоит прогнозировать.

Для прогноза выпадения обложных осадков используют следующую схему:

- На карте погоды выделяются зоны обложных осадков и прилегающие к ним зоны сплошной облачности слоистых форм.
- Строятся пространственные вертикальные разрезы через эти области, и на высотах указываются значения температуры и температуры точки росы, положение верхней и нижней границы облаков, значение температуры кристаллизации. По этим данным проводят изолинии.

Если зона облаков расположена выше температуры кристаллизации, то осадки отсутствуют, и наоборот. Также существует еще множество других расчетных методов для прогноза осадков обложного характера.

## 2.2.2 Прогноз осадков ливневого характера

Конвективные движения в атмосфере приводят непосредственно к образованию кучево-дождевых облаков, из которых выпадают осадки ливневого характера, часто сопровождающиеся грозами.

Для того, чтобы из кучево-дождевых облаков выпали ливневые осадки, необходимо выполнение следующих условий, представленных в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Необходимые условия для выпадения ливневых осадков

Необходимые условия
у поверхности земли и на высотах воздух должен быть очень влажным
воздушная масса должна быть неустойчивой
положение изотермы уровня кристаллизации должно быть низким
вертикальная протяженность кучево-дождевых облаков должна быть значительной
подстилающая земная поверхность должна быть неоднородной

По синоптическим условиям, можно выделить внутримассовые и фронтальные ливневые осадки.

Внутримассовые ливни в основном характерны для наиболее влажных и неустойчивых воздушных масс, а именно в циклонах, которые находятся в стадии заполнения или в слабовыраженных циклонах и антициклонах. Осадки в этих массах наблюдаются в основном в летний период года, но также они присутствуют и в течении всего года.

Фронтальные ливневые осадки, исходя из своего названия, встречаются чаще всего в медленно перемещающихся холодных фронтах, а также в размытых фронтах окклюзии и в теплых фронтах. В течении всего года, ливневые осадки часто наблюдаются при прохождении вторичных холодных фронтов в тыловой части циклона, а в летний период они связаны обычно с теплыми фронтами [3].

Из-за неоднократного повторения, появления в различных местах и времени существования, прогноз осадков ливневого характера является задачей невероятно сложной. Поэтому при прогнозе осадков данного типа применяют такие термины, как «временами» и «местами». Для прогнозирования ливневых осадков применяют адиабатические и неадиабатические модели конвекции, поэтому рассмотрим некоторые из них.

Рассмотрим прогноз ливневых осадков на примере метода частицы, который продемонстрировала Н.В. Лебедева.

Так, на аэрологической диаграмме рассматриваются конвективно-неустойчивые слои (КНС), то есть слои, которые либо сухие и неустойчивые, либо влажные и неустойчивые. После этого определяется положение уровня конденсации и верхней границы конвекции, а также толщина конвективно-неустойчивого слоя. Для того, чтобы определить верхнюю границу конвекции, обычно на аэрологической диаграмме проводится кривая состояния от ожидаемого значения максимальной температуры в приземном слое. Для определения толщины конвективно-неустойчивого слоя находится точка пересечения кривой состояния (точка А) с кривой стратификации (точка Б), данный график представлен на рисунке 2.3.

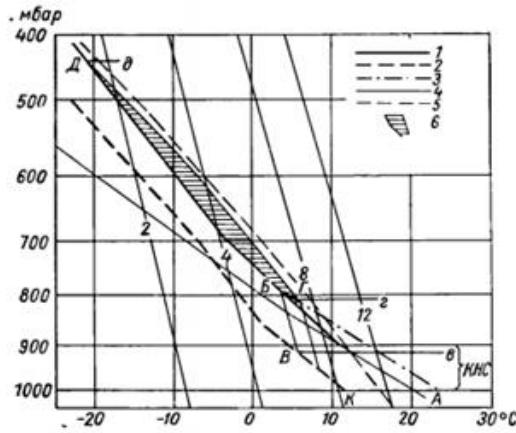


Рисунок 2.3 – Определение толщины конвективно-неустойчивого слоя

1 – кривая стратификации; 2 – кривая влажности; 3 - кривая стратификации после дневного прогрева; 4 – кривая состояния; 5 – влажная адиабата.

Пользуясь данным графиком, можно определить давление на верхней границе слоя КНС. Для этого по точке Б находим точку В на кривой точки росы, давление в этой точке характеризует давление на КНС. Также по графику можно найти среднюю высоту уровня конденсации, то есть высоту нижней границы кучевых и кучево-дождевых облаков, и высоту границы конвекции, то есть высоту самого облака.

Исходя из этого метода, для того, чтобы выпали значительные ливневые осадки необходимо:

- 1) толщина КНС 60—100 мбар и более;
- 2) отклонение вправо кривой состояния от кривой стратификации в слое от уровня конденсации до уровня конвекции;
- 3) положение верхней границы конвекции выше изобарической поверхности 400 мбар;
- 4) относительная влажность в слое 850—500 мбар, равная 60—70% и выше;
- 5) высокое значение температуры точки росы в приземном слое

Для выпадения слабых ливневых осадков необходимо:

- 1) толщина КНС составляет 20—40 мбар, но указанные выше условия сохраняются. При малом отклонении вправо кривой состояния от кривой стратификации.
- 2) толщина КНС составляет 10—30 мбар, относительная влажность в слое 850—500 мбар значительно неизкая, но отмечается очень большое отклонение вправо кривой состояния от кривой стратификации.

По методу частицы ливневые осадки не будут наблюдаться, если толщина КНС будет очень маленькой, отклонение кривой состояния от кривой стратификации вправо также будет незначительным, а температура дефицита точки росы будет больше примерно 25°C.

Существует еще много различных расчетных методов, которые позволяют спрогнозировать наличие ливневых осадков а также гроз [3].

## 2.3 Опасные явления погоды, встречающиеся на юге России

Краснодарский край славится своим климатом и благоприятными погодными условиями, поэтому большинство людей год за годом отправляются в отпуск именно сюда, особенно в последнее время из-за закрытых границ в связи с COVID-19. Но бывают в Краснодарском крае катаклизмы и аномалии, которые наносят непоправимый вред на рекреационную составляющую региона. Поэтому более подробно будут рассмотрены ситуации, которые внесли неблагоприятную долю в историю Краснодарского края.

К примеру, интересная аномалия, связанная с северным сиянием, которая произошла в городе Темрюк Краснодарского края в декабре 1907 года, является очень редким явлением на юге России. Природное явление было видно с вершины горы Миска (самая большая возвышенность в

Темрюке). По словам очевидцев практически вся панорама города была покрыта светлым заревом. Данное явления наблюдалось довольно долго, а потом постепенно начало рассеиваться.

Наиболее опасными явлениями на территории Краснодарского края, являются обильные ливни, которые приносят за собой наводнения, смерчи, грозы и град. Так, в течении нескольких лет на Черноморском и Азовском побережьях было зафиксировано около 30 смерчей, которые, к сожалению, приводили не только к разрушению имущественной кровли, но и к человеческим смертям. На территории поселка Тамань в 1924 году, смерч, образовавшийся в Черноморском заливе, вышел в степную зону, нанес непоправимые последствия и унес жизни трех мальчиков. Подобная ситуация произошла летом 1991 года неподалеку от города-курорта Туапсе. Образовался водяной вихрь высотой около 10 метров, который разрушил множество поселков, привел к обрушению оползней, и унес за собой жизни 30 человек.



Рисунок 2.4 – Смерч на Черноморском побережье Краснодарского края

К сожалению, очень частым явлением является выпадение атмосферных осадков выше полагаемой нормы. Наиболее сильным и трагическим бедствием на территории Краснодарского края, является

обильное выпадение ливневых осадков, которые привели к выходу из своих берегов рек и прорыву Краснодарского водохранилища. Это способствовало наводнению сразу в нескольких населенных пунктах края. Не обошлось без жертв, погибло более 100 человек, несколько сотен остались без крыши над головой.



Рисунок 2.5 – Наводнение в Крымске из-за сильных ливней

Также обильные осадки приводят к экологическим бедствиям, на территории города Анапа из года в год. В следствии сильных ливней происходит подтопление городских территорий и канализаций, вся грязная вода смывается в море, что способствует формированию инфекционных палочек, тины и гибели рыб. Это приводит к инфекционным заболеваниям, которые, к сожалению, очень часто наблюдаются у отдыхающих.



Рисунок 2.6 – Грязное Черное море в городе Анапа из-за смыва канализаций

### 3. Анализ условий формирования аномального количества осадков в г. Анапа.

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

Целью бакалаврского проекта является анализ циркуляционных условий, формирующих аномальные и экстремальные суммы осадков на территории города Анапа за период с 1960 по 2019 год.

Город Анапа является одним из самых популярных туристических мест в России. В последние годы, в особенности после 2010 г., наблюдаются аномальные циркуляционные процессы над югом России, которые приводят к неблагоприятным последствиям для сельскохозяйственной, экологической и рекреационной отраслей региона. Особое внимание следует уделить аномальным и экстремальным осадкам в г. Анапа, которые могут вызвать экологические бедствия. При высоких суммах осадков, выпадающих за короткий срок, не справляются системы ливневой канализации, наблюдается подтопление городских территорий, и вся грязная вода смывается в море. Оценка условий формирования аномальных осадков в г. Анапа является задачей актуальной и практически значимой.

Для выполнения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. проанализировать многолетний и месячный режим осадков в городе Анапа;
2. выделить и проанализировать повторяемость дней с аномальными и экстремальными суммами осадков в г. Анапа;
3. оценить синоптические условия формирования аномального и экстремального количества осадков в городе Анапа в период с 1960-2019 г.

Анапа является курортным городом на юге России, она расположена в Краснодарском крае на Черноморском побережье. Карта Черноморского побережья Краснодарского края с исследуемым пунктом представлены на рисунке 3.1.

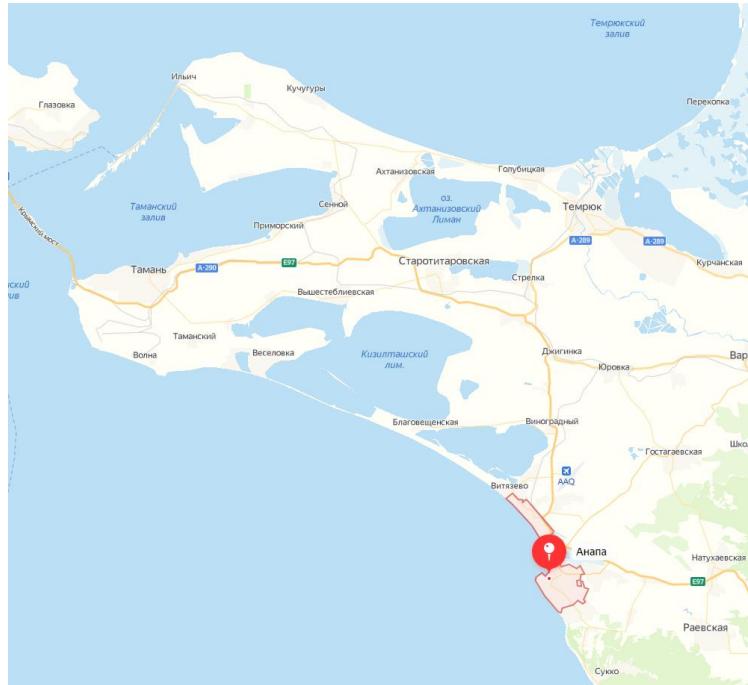


Рисунок 3.1 – Карта исследуемого пункта

Город Анапа находится в природной зоне смешенного типа: Таманские степи, предгорья Кавказа и Черное море. Все перечисленное влияет на погоду и климат данного региона.

В ходе выполнения работы, был создан архив данных по количеству осадков за период с 1960 по 2019 год, на основе архива ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Также в данной работе использовался синоптический метод анализа, который реализуется на картах реанализа модели GFS (Глобальная система прогноза погоды) и MERRA-2 Weather Maps и карты с архива кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ НПК «Оскар».

### 3.2 Годовой и месячный режим осадков

На первом этапе бакалаврского проекта были рассчитаны и проанализированы годовые и месячные суммы осадков за период с 1960 по 2019 год. На графике (рисунок 3.2) представлен осредненный ход годовых сумм осадков с помощью метода скользящего среднего (окно осреднения 30 лет).

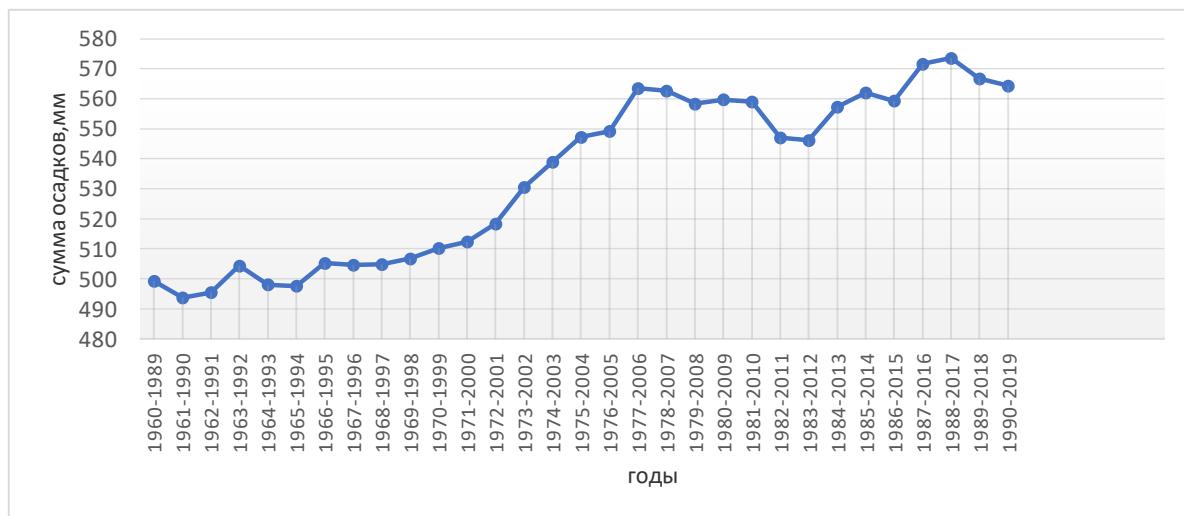


Рисунок 3.2 – Годовое количество осадков в г. Анапа за период с 1960-2019 гг. Скользящее среднее (30 лет)

Наблюдается тенденция к повышению годовых сумм осадков, особенно это заметно в период с 80-х по 2000-е годы. В 2000-х годах и в последние десятилетие наблюдается незначительный спад годовых сумм осадков. За первое тридцатилетие (1960-1989 гг) средняя годовая сумма осадков составила 499,3 мм, за второе тридцатилетие (1990-2019 гг) средняя годовая сумма осадков составила 564,3 мм. За весь исследуемый период среднее годовое количество осадков увеличилось на 65мм, что сопоставимо с нормой одного месяца.

На гистограмме (рисунок 3.3) представлены среднемесячные значения сумм осадков за весь период.

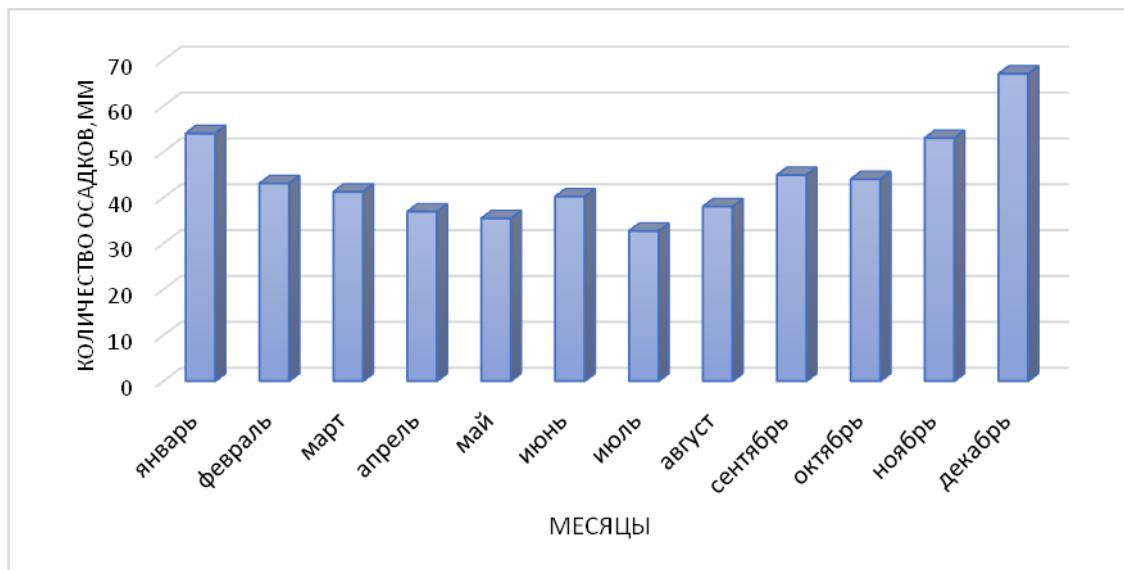


Рисунок 3.3 - Среднемесячное количество осадков за период с 1960 по 2019 г в городе Анапа

Наиболее увлажненными месяцами являются декабрь (67мм), февраль (54мм) и ноябрь (53мм). Самым засушливым месяцем за весь период исследования является июль (33мм). Рассмотрим наиболее подробно самый влажный месяц. Наибольшая месячная сумма осадков в декабре наблюдалась в 2001 году и составляла 157мм, наименьшая месячная сумма осадков в декабре была в 1972 году и составляла 5мм. Самая большая месячная сумма осадков за весь период исследования по всем месяцам наблюдалась в сентябре 1996 года и составляла целых 182 мм.

Было рассмотрено изменение количества осадков по двум тридцатилетиям. Ряд по количеству осадков в городе Анапа за 60 лет был проверен на однородность и стационарность (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Характеристика однородности и стационарности ряда осадков

ряд	среднее	СКО δ	дисперсия δ <sup>2</sup>
1 период (1960-1989)	1,46	4,63	21,47
2 период (1990-2019)	1,55	4,94	24,41
весь период (1960-2019)	1,51	4,79	22,98

Проанализировав таблицу, ряд осадков в городе Анапа является однородным и стационарным. Второе тридцатилетие, исходя из значения среднеквадратического отклонения, является наиболее вариативным, в нем происходят более резкие изменения сумм осадков.

Изменение количества осадков по месяцам за весь период исследования представлено на гистограмме (рисунок 3.4).

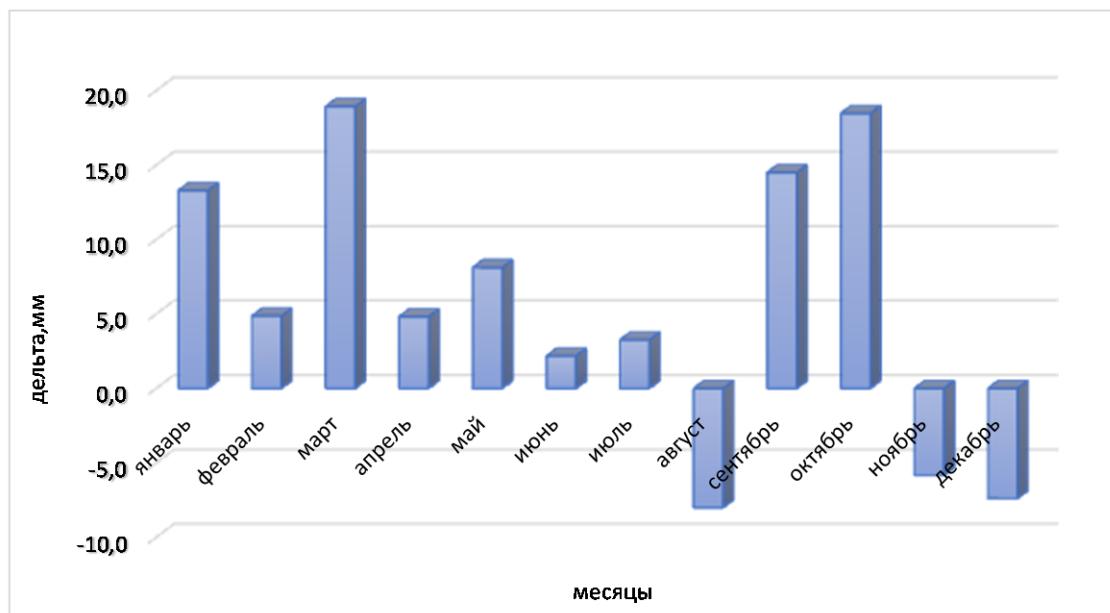


Рисунок 3.4 - Изменение среднемесячного количества осадков за период с 1960-2019 г. Анапа

Наиболее значительный рост месячных сумм осадков в последние тридцать лет произошел в марте (значение сумм осадков увеличилось на 19 мм за последние 30 лет), октябре (увеличилось на 18,5 мм за 30 лет), сентябре (увеличилось на 15 мм) и январе (увеличилось на 13 мм). Уменьшение

месячных сумм осадков наблюдается в августе (уменьшилось на 8 мм) , ноябре (уменьшилось на 6 мм) и декабре (уменьшилось на 7 мм).

В результате анализа годового и месячного режима осадков, можно сделать вывод о том, что отмечается повышение сумм осадков на территории города Анапа начиная с 80-х годов, имея незначительное уменьшение в 2000-х годах и в последние десятилетие. Самым увлажненным месяцем является декабрь, самым засушливым является июль, в большинстве месяцев за последние 30 лет наблюдается увеличение месячных сумм осадков, помимо августа, ноября и декабря. Самые значительные изменения произошли в марте, сентябре и октябре.

### 3.3 Анализ аномальных и экстремальных осадков

Особое внимание в бакалаврском проекте следует уделить аномальным и экстремальным осадкам в г. Анапа за период с 1960 по 2019 год, которые негативно сказываются на экологической и рекреационной составляющей региона.

Для этого отдельно были проанализированы аномальные и экстремальные осадки на территории г. Анапа за последние 60 лет и приведена повторяемость дней за весь период исследования, представленная в таблице 3.2 .

В работе на основании РД 52.88.699-2008 Росгидромета «Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения опасных природных явлений» принято: «аномальное количество осадков» - больше или равно 30мм/сутки, «экстремальное количество осадков» - больше или равно 50мм/сутки.

Таблица 3.2 - Изменение повторяемости дней с аномальными и экстремальными суммами осадков

период	Аномальные суммы осадков											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1960-1989	4	1	-	-	3	8	5	11	7	4	2	3
1990-2019	3	1	1	1	6	9	10	6	13	9	3	1
за 60 лет	7	2	1	1	9	17	15	17	20	13	5	4
период	Экстремальные суммы осадков											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1960-1989	-	-	-	-	-	2	2	6	1	-	-	-
1990-2019	-	-	-	-	1	-	5	5	1	3	-	-
за 60 лет	-	-	-	-	1	2	7	11	2	3	-	-

Был проведен статистический анализ значимости ряда аномальных и экстремальных сумм осадков, в котором был рассчитан критерий Стьюдента. По рассчитанным значениям, критерий показал, что в данном случае ряд аномальных осадков является значимым в июле, августе, сентябре и октябре. Для экстремальных сумм осадков, с точки зрения статистики, изменения не являются значимыми, так как они являются очень редкими явлениями.

Поэтому можно с уверенностью сказать, что август в последние годы является самым благоприятным месяцем для отдыха и туризма, так как в нем наблюдается уменьшение градаций аномальных сумм осадков (уменьшилось на 5 случаев). Самыми неблагоприятными месяцами являются сентябрь (увеличилось на 6 случаев) и октябрь (увеличилось на 5 случаев) - время окончания бархатного сезона.

### 3.3.1 Анализ дней выпадения аномальных сумм осадков на территории города Анапа

В последние тридцать лет наблюдается увеличение числа случаев повторяемости аномальных сумм осадков, которые представлены на графике рисунка 3.5.

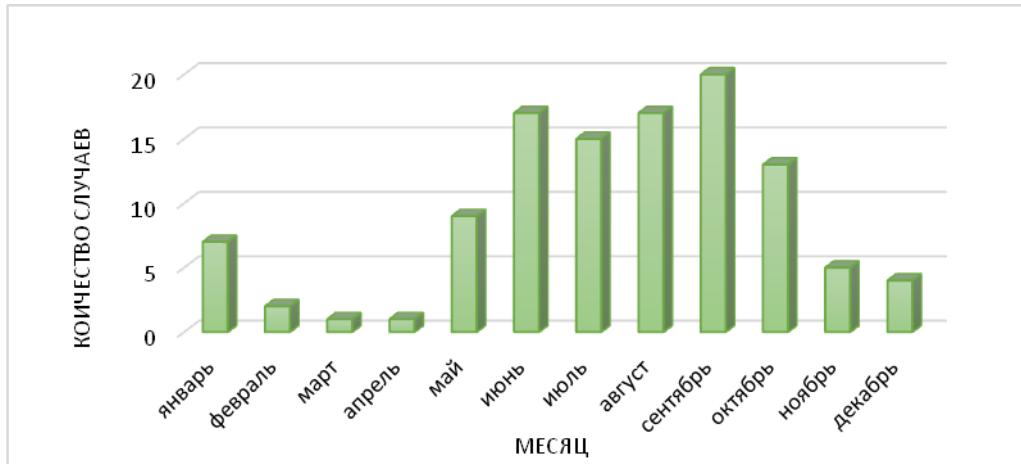


Рисунок 3.5 - Повторяемость дней с аномальным количеством осадков по месяцам за период с 1960 по 2016 г.

Наиболее значительный рост повторяемости случаев аномальных сумм осадков наблюдался с мая по июль и в бархатный сезон: в сентябре и октябре. Самым большим месяцем по изменчивости случаев с аномальными осадками является сентябрь – 20 случаев. Самыми незначительными месяцами являются март и апрель – 1 случай. Аномальные осадки на юге России обычно вызваны циклонической депрессией, частными циклонами, вызванными контрастами температур. За весь исследуемый период с 1960-2019 г. зафиксировано 111 дней с аномальными суммами осадков.

Далее рассмотрим наиболее характерные синоптические ситуации, приводящие к выпадению аномальных сумм осадков. Выпадение аномальных осадков обычно связано с мощными конвективными процессами в атмосфере, которые в большинстве случаев наблюдаются в летний период и также значительно сказываются на экстремальных осадках. Но также мною было зафиксировано, наличие большинства дней с аномальными суммами осадков в зимний период, а именно в январе. Поэтому наиболее интересно рассмотреть что же способствует выпадению аномальных осадков в зимний период на территории города Анапа.

К примеру, ситуация 1 января 2002 года, представленная на рисунке 3.6.

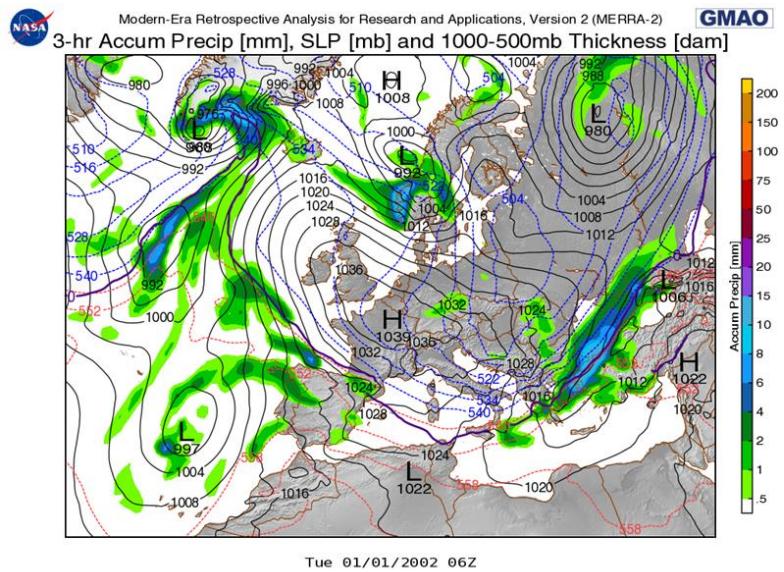


Рисунок 3.6 – Синоптическая карта реанализа Мера за 1 января 2002 года 06 UTC

Образованию частного циклона на Черноморском побережье способствует контраст температур между двумя антициклонами. Первый, расположен на обширной территории и занимает всю Европу, принося более холодный воздух с севера, второй наблюдается над восточной частью Средиземного моря и приносит теплый воздух с юга. В зоне контрастов происходит обострение фронтов, наблюдается огромное количество волн на фронте, которые как раз таки и способствуют образованию данного циклона и выпадению аномальных сумм осадков на исследуемой территории. За сутки в городе Анапа было зафиксировано 43 мм осадков.

Наибольший интерес именно в летнее время вызывают дни с экстремальными осадками.

3.3.2 Анализ дней выпадения экстремальных сумм осадков на территории города Анапа

Экстремальные суммы осадков, за весь исследуемый период в городе Анапа, представлены на рисунке 3.7.

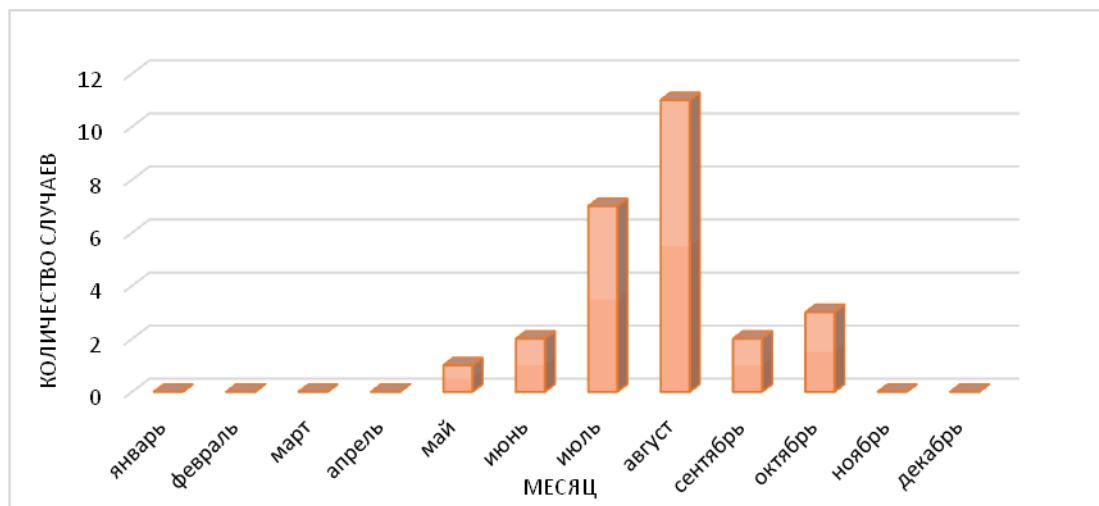


Рисунок 3.7 - Повторяемость дней с экстремальным количеством осадков по месяцам за период с 1960 по 2016 г.

Экстремальные осадки связаны с выраженной конвективной деятельностью и наблюдаются в основном в теплый период года в г. Анапа, с мая по октябрь. Самое большое число случаев с экстремальными осадками наблюдалось в августе (11 случаев), а самое маленькое число случаев наблюдалось в мае (1 случай). За весь период с 1960-2019 г. зафиксировано 26 дней с экстремально высокими суммами осадков.

Рассмотрим теперь наиболее характерные и интересные синоптические ситуации способствующие выпадению в летний период как экстремальных, так и аномальных сумм осадков.

На фрагменте спутникового изображения 20 июля 2017 года (рисунок 3.8), представлен уже сформировавшийся частный циклон, расположенный над Черноморским побережьем Краснодарского края.



Рисунок 3.8 - Частный циклон. Фрагмент спутникового изображения

20.07.2017 12:10

Для более точного анализа образования данного циклона в метеорологическом бюро прогнозов РГГМУ НПК «Оскар» была получена и обработана приземная синоптическая карта, которая подтвердила образование частного циклона на территории Краснодарского края (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 - Приземная карта погоды НПК «Оскар» в день с экстремальными осадками. 20.07.2017 12.00 UTC

Над Черноморским побережьем Краснодарского края прослеживается частный циклон с центром около города Сочи. Он образуется в ложбине от обширного циклона (сезонного Азиатского минимума), который возникает над Аравийским полуостровом в летнее время из-за разности температур Индийского океана и разогретого плоскогорья (рисунок 3.10). Этот циклон начинает распространяться в сторону Черноморского побережья по оси Ереван-Тбилиси.

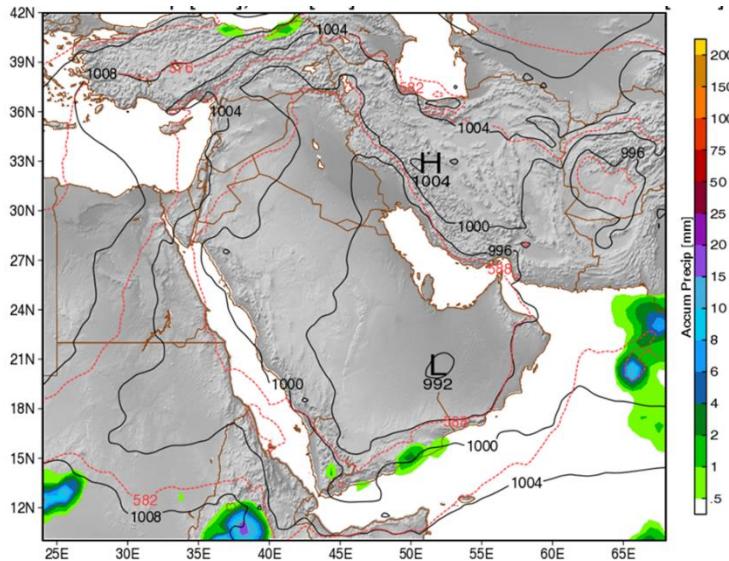


Рисунок 3.10 – Азиатский минимум. Приземная карта реанализа  
MERRA-2 Weather Maps 20.07.2017

Азиатский минимум имеет несколько отдельных центров: над Тбилиси и на границе Черного моря и побережья Краснодарского края. Частный циклон возникает когда над Аравийским полуостровом образуется аномальный очаг тепла, который движется в сторону Черноморского побережья. Контраст между более холодными водами Черного моря и побережьем в зоне этой ложбины (рисунок 3.11) как раз таки и формируют этот частный циклон.

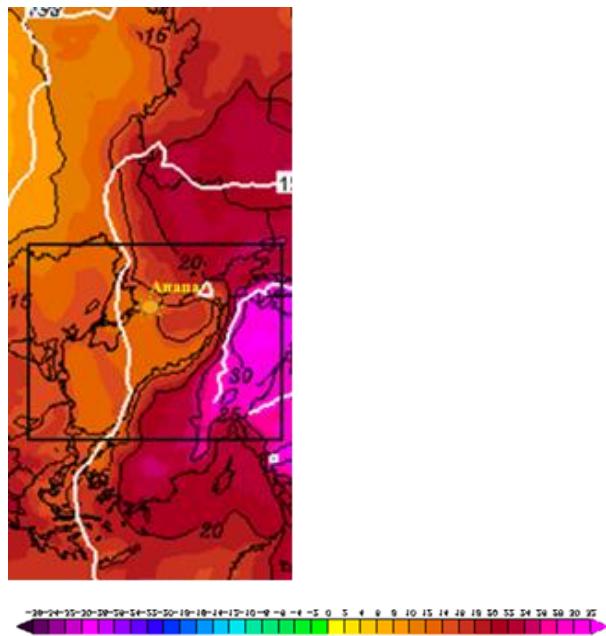


Рисунок 3.11 - Карта AT850 реанализа модели GFS

Также есть предположение, что возможно формированию данного циклона помогают не только контрасты с водами Черного моря, но и влияние горных волн от Главного Кавказского хребта. За 20 июля 2017 года на территории города Анапа выпало 104 миллиметра осадков за сутки (рисунок 3.12).

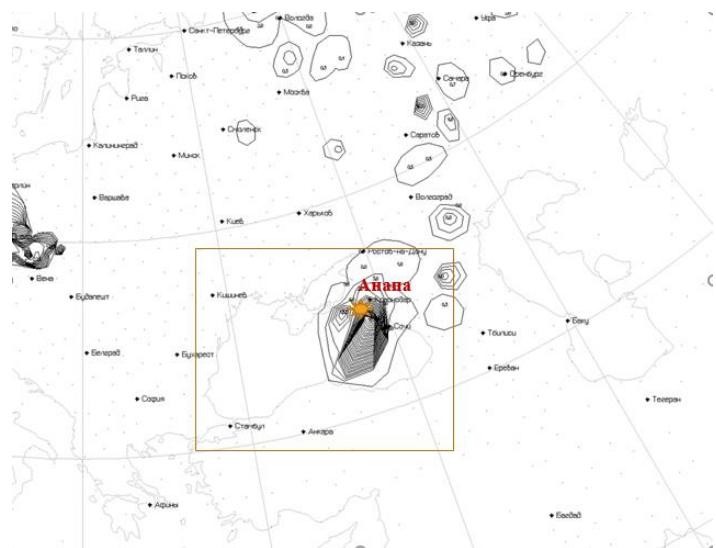


Рисунок 3.12 - Карта изогиет НПК «Оскар»

Также был рассмотрен случай выпадения осадков в осенний период. Характерной синоптической ситуацией является циклон 18 октября 2014 года со сложной траекторией движения, представленной на рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 - Траектория осеннего циклона 18.10.2014

Данный циклон образовался в ложбине обширного европейского циклона, перемещался до западной части Черного моря, далее двигался на восток к Черноморскому побережью Краснодарского края, где и наблюдались экстремальные осадки, представленные на синоптических картах рисунка 3.14.

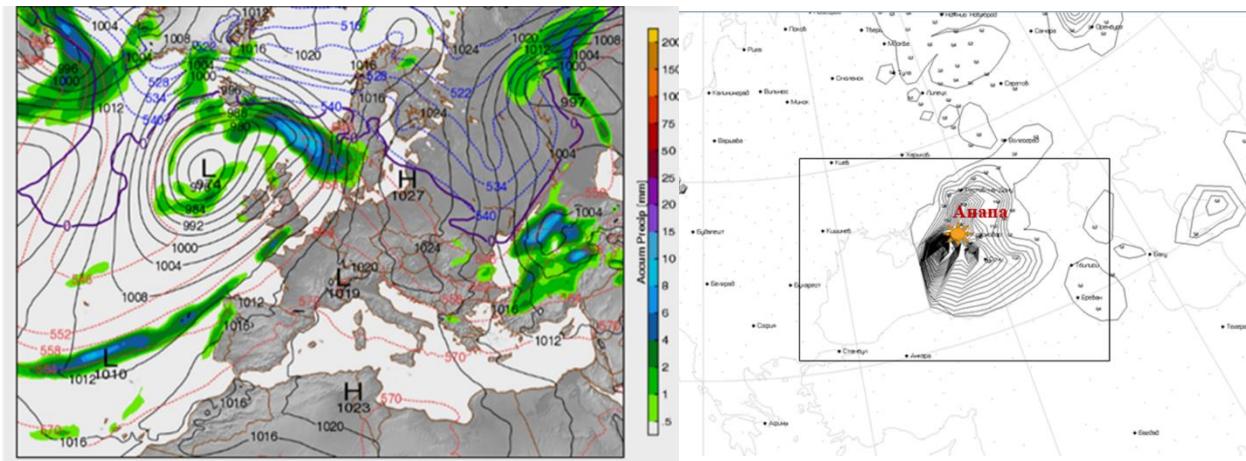


Рисунок 3.14 – Осенний циклон. Данные реанализа MERRA-2 Weather Maps (левая карта) и карта изогиет НПК «Оскар» (правая карта)

Данный циклон в последствие заполнился над Азовским морем. В этот день в городе Анапа выпало 116 мм осадков за сутки, что вызвало неблагоприятные последствия на инфраструктуру города.

В результате анализа синоптической ситуации, формирующей экстремальное количество осадков, можно сделать вывод о том, что наиболее часто данному процессу сопутствует частный циклон.

В летнее время экстремальные суммы осадков приносит частный циклон, образовавшийся над черноморским побережьем из ложбины Азиатского минимума. Частный циклон возникает, когда над Аравийским полуостровом образуется аномальный очаг тепла, который движется в сторону Черноморского побережья. Контраст между более холодными водами Черного моря и побережьем в зоне этой ложбины как раз таки и способствует образованию над границей море-суша частного циклона.

В осенне время частный циклон имеет другую природу возникновения. Он образуется в ложбине европейского циклона, пересекает Черное море с запада на восток и выходит на черноморское побережье в районе Анапы, где и фиксируются экстремально высокие суммы осадков. Интересно отметить, что для случаев выпадения экстремального количества осадков не было обнаружено за период исследования южных циклонов.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы поставленная цель была выполнена и задачи решены.

За весь период исследования с 1960-2019 гг. годовые суммы осадков в городе Анапа Краснодарского края увеличиваются.

В результате исследования месячного режима осадков можно заключить, что август в последние годы является самым благоприятным месяцем для отдыха и туризма, так как в нем наблюдается уменьшение сумм осадков. Самыми неблагоприятными месяцами являются сентябрь и октябрь, так как в последние годы повторяемость аномальных осадков в них значительно увеличивается.

В работе были рассмотрены основные синоптические процессы, приводящие к выпадению аномальных и экстремальных сумм осадков.

Характерной синоптической ситуацией, сопровождающей выпадение высоких сумм осадков, является частный циклон.

В летнее время фактором, влияющим на формирование частного циклона, является ложбина Азиатского минимума. Возникновению частного циклона способствует наличие над Аравийским полуостровом аномального очага тепла, который смещается в сторону района исследования. Частный циклон образуется в ложбине Азиатского термического циклона в зоне контрастов температуры воздуха над Черноморским побережьем.

В осенне время частный циклон имеет другую природу возникновения. Он образуется в ложбине европейского циклона, перемещается через Черное море с запада на восток и выходит на черноморское побережье в районе Анапы, где и фиксируются экстремально высокие суммы осадков.

Интересно отметить, что для случаев выпадения экстремального количества осадков за весь период исследования не было обнаружено южных циклонов.

## Список литературы

1. Богаткин О.Г. «Основы авиационной метеорологии» учебник – СПБ,: изд. РГГМУ, 2009. – 151 С.
2. Зверев А.С. «Синоптическая метеорология» учебник – СПБ,: изд. Гидрометеоиздат Ленинград, 1977. – 177 С.
3. Воробьев В.И. «Синоптическая метеорология» учебник – СПБ,; изд. Гидрометеоиздат Ленинград, 1991. – 570 С.
4. Матвеев Л.Т. «Основы общей метеорологии» учебник – СПБ,; изд. Гидрометеоиздат Ленинград, 1965. – 629 С.
5. Шишкин Н.С. «Облака, осадки и грозовое электричество» учебник – СПБ,: изд. Гидрометеоиздат Ленинград, 1964. – 185 С.
6. Струзер Л.Р. «Атмосферные осадки. Методика измерения и расчетов» труды выпуск 341 – СПБ,: изд. Гидрометеоиздат Ленинград, 1975. – 73 С.
7. Матвеев Л.Т. «Теория общей циркуляции атмосферы и климата земли» учебник –СПБ,: изд. Гидрометеоиздат Ленинград, 1991. – 231 С.