



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 «Условия формирования грозовой деятельности на территории  
Республики Башкортостан»

Исполнитель Иванова Елена Сергеевна ГМ-Б17-1

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Волбуева Ольга Васильевна

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«30» мая 2021 г.

Санкт-Петербург  
2021

## Содержание

	Стр.
Сокращения	3
Введение	4
1 Грозная деятельность. Образование, особенности и классификация гроз	5
1.1 Гроза как опасное явление погоды	5
1.2 Классификация гроз	6
2 Методы прогнозирования гроз	11
2.1 Прогноз гроз по методу Вайтинга	11
2.2 Индексы неустойчивости	12
3 Анализ условий формирования грозовой деятельности на территории Республики Башкортостан	14
3.1 Физико-географическое положение Республики Башкортостан	14
3.2 Климатическая характеристика Республики Башкортостан	14
3.3 Анализ случаев грозовой деятельности на территории Республики Башкортостан в период за 2018-2020 гг.	15
3.4 Типовые синоптические ситуации образования гроз на территории Республики Башкортостан	19
3.5 Прогноз гроз на территории Республики Башкортостан	30
Заключение	36
Список использованных источников	37

## Сокращения

РБ	-	Республика Башкортостан
м/с	-	Метеорологическая станция
ВМ	-	Воздушная масса
ХФ	-	Холодный фронт

## Введение

На территории Республики Башкортостан частым явлением бывает возникновение грозовой деятельности. Она является опасной для многих отраслей экономики. Так же своим возникновением, интенсивностью и продолжительностью гроза может неблагоприятно влиять и представлять угрозу безопасности.

В данной работе будет рассматриваться одно из опасных явлений погоды – гроза. Обычно при грозе наблюдаются обильные осадки в виде дождя, града и в редких случаях в виде снега. Считается необходимым прогнозирование грозовой деятельности, так как опасность представляют мощные восходящие и нисходящие потоки воздуха внутри кучево-дождевых облаков и в непосредственной близости к ним, а также возможный разряд молнии.

Местом исследования выбрана республика Башкортостан.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование и анализ условий формирования грозовой деятельности на территории Республики Башкортостан.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Сбор и обработка данных за период 2018-2020 гг. в различных регионах республики (север, юг, запад, восток, центральная часть) по данным метеостанций (м/с) Аскино, Янаул, Туймазы, Бакалы, Кумертау, Акъяр, Дуван, Учалы, Зилаир, Уфа и Чишмы.

2. Определение и анализ синоптических ситуаций, наблюдавшихся на территории республики.

3. Расчет и анализ метода Вайтинга и других индексов неустойчивости для прогноза образования гроз.

# 1. Грозовая деятельность. Образование, особенности и классификация гроз.

## 1.1 Гроза как опасное явление погоды

Гроза - атмосферное явление, в связи с которым в облаках появляются многократные электрические разряды в виде молний, влекущих за собой гром [1]. Грозовая деятельность является результатом развития мощных кучево-дождевых облаков.

Под необходимым условием для грозовой деятельности подразумевается наличие влагонестойчивого состояния воздушной массы (ВМ). Кучево-дождевые облака появляются в результате интенсивных восходящих потоков влажного воздуха. Эти потоки образуются путем термической конвекции, которая в свою очередь является вынужденным поднятием воздуха и вытеснением вверх теплого воздуха на атмосферные фронты [1].

Грозовые облака проходят три стадии развития (Рисунок 1.1.1):

1 стадия - начальное развитие, представленное кучевыми и мощно-кучевыми облаками;

2 стадия - максимального развития, представлена кучево-дождевыми облаками с вертикальным развитием 9-12 километров и выше, из которых выпадают осадки в виде града и ливней;

3 стадия - разрушения, размывание кучево-дождевых облаков начинается снизу, преобладают нисходящие потоки.

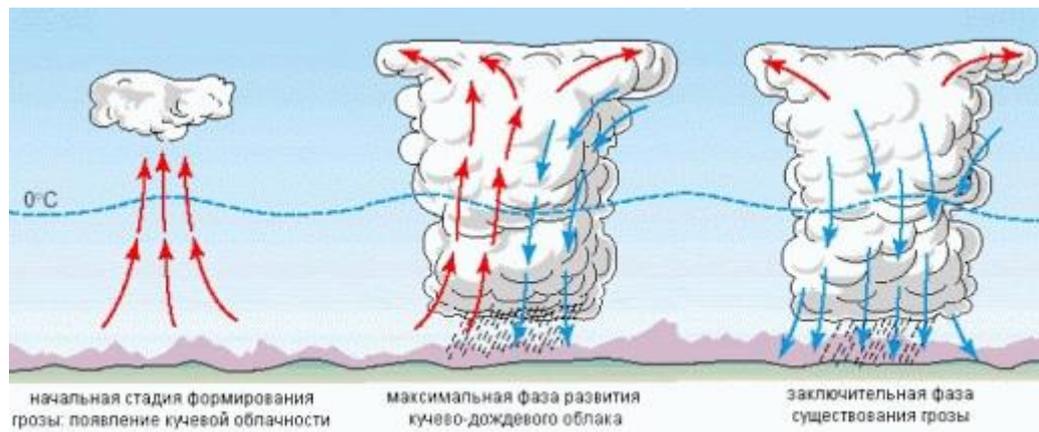


Рисунок 1.1.1 - Стадии развития грозового облака

Гроза является одним из наиболее опасных явлением погоды. Стоит заметить, что из всех метеорологических факторов, связанных с грозовой деятельностью, самым опасным для авиации является атмосферная турбулентность внутри кучево-дождевых облаков и вблизи них. Интенсивные вертикальные токи зачастую сочетаются с резкими порывами ветра, обуславливающими штормовую болтанку самолетов, сильное обледенение на высотах, град, интенсивные ливневые осадки, шквалы, смерчи, сдвиги ветра, а также возможность поражения самолета молниями [2].

## 1.2 Классификация гроз

Грозы подразделяются на внутримассовые и фронтальные.

*Внутримассовые грозы* - кратковременные, в основном возникающие примерно в 15-19 часов, имеют очаговый характер. Перемещаются со скоростью 5-25 км/час в направлении ведущего потока на высотах 3-5 км [1].

Внутримассовые грозы подразделяются на конвективные, адвективные и орографические (Рисунок 1.2.1).

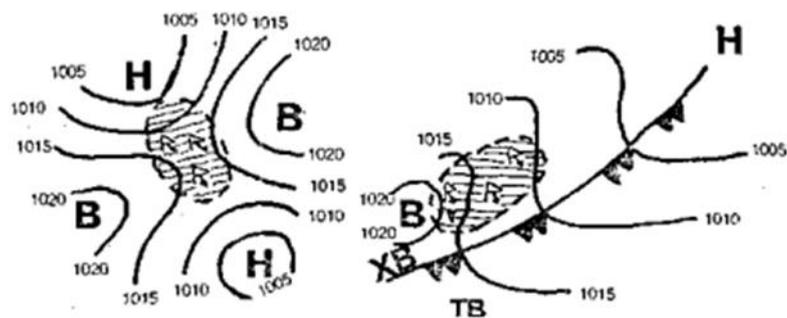


Рисунок 1.2.1 - Барическое поле при формировании конвективных и адвективных гроз

Типичными синоптическими процессами для формирования гроз являются: тыловая часть циклона, седловина, восточная периферия антициклона, размытые барические системы, заполняющиеся циклоны. Предвестниками гроз являются башенкообразные и хлопьевидные высококучевые облака, большая величина абсолютной влажности  $12-15 \text{ г/м}^3$  и более высокая температура  $20-25^\circ$  в утренние часы [3].

*Фронтальные грозы* - наиболее активны, большой горизонтальной протяженности, на радиолокаторе вытянутые засветки вдоль фронта. Обойти их трудно. Если на экране локатора отмечаются пальцеобразные засветки - это характерно для града [2].

Грозовая деятельность на атмосферном фронте тем интенсивнее, чем больше разность температур между ВМ и чем больше влагосодержание теплой ВМ. Грозовые облака бывают сосредоточены вдоль линии фронта шириной от 30 до 50 км, протяженность может достигать 1000 км. Перемещаются эти грозы вместе с фронтом.

Фронтальные грозы подразделяются на грозы холодного фронта, теплого фронта и фронтов окклюзии.

Грозы на холодном фронте возникают над поверхностью холодного фронта. Эти грозы растянуты вдоль линии фронта и имеют ширину 50-70 км. Средняя скорость смещения грозовых зон составляет 30-40 км/ч, но иногда

они могут смещаться и со скоростью 100 км/ч. Грозы на ХФ усиливаются во второй половине дня и ослабевают ночью [4]. Грозы на холодном фронте можно увидеть на Рисунке 1.2.2.

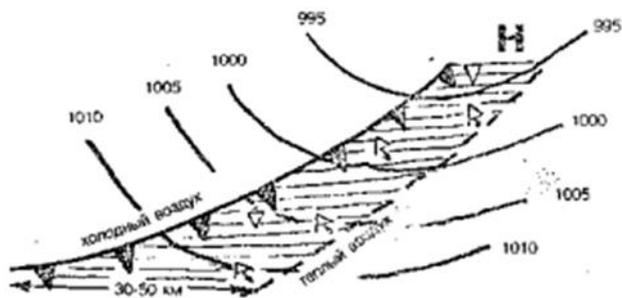


Рисунок 1.2.2 - Расположение гроз на холодном фронте

Холодные фронты подразделяются на два рода: холодные фронты первого рода и холодные фронты второго рода.

Холодный фронт первого рода (Рисунок 1.2.3) - это медленно движущийся фронт. Вдоль всей поверхности фронта наблюдаются восходящие движения теплого воздуха, приводящие к формированию слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков, которые непосредственно примыкают к фронтальной поверхности [2].

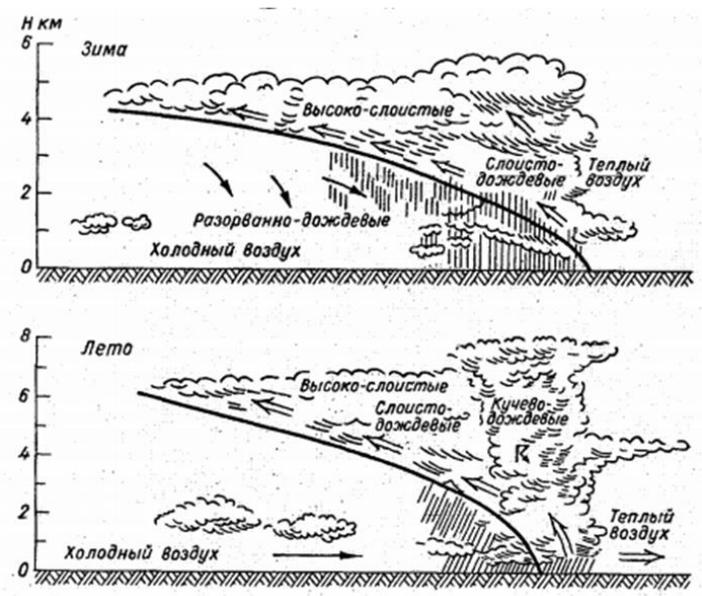


Рисунок 1.2.3 - Схема облачной системы холодного фронта первого рода

Холодный фронт второго рода (Рисунок 1.2.4) - быстро движущийся фронт. В зоне этого фронта во всей верхней части фронтальной поверхности происходит нисходящее движение воздуха, теплый воздух интенсивно вытесняется валом надвигающегося холодного воздуха [2].

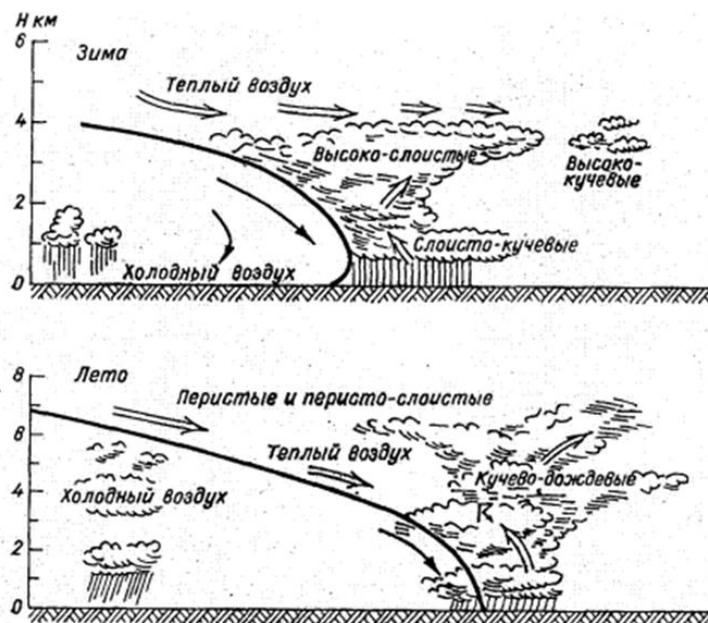


Рисунок 1.2.4 - Схема облачной системы холодного фронта второго рода

Грозы на теплом фронте (Рисунок 1.2.5) наблюдаются редко. Они возникают при подъеме теплого и влажного воздуха.

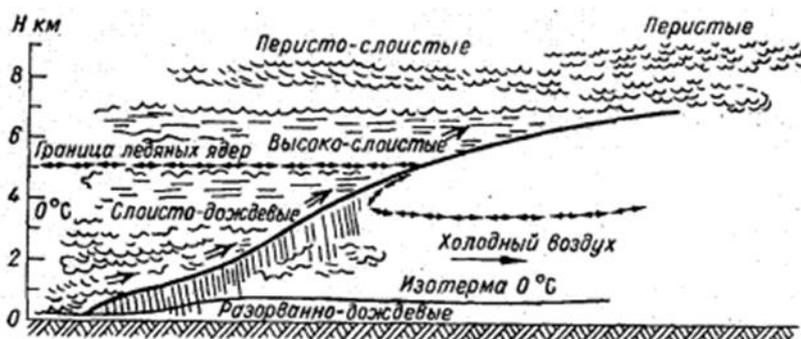


Рисунок 1.2.5 - Схема облачной системы теплого фронта

Грозы на теплом фронте усиливаются ночью и ослабевают в дневное время. Это можно объяснить тем, что в ночное время верхняя граница

облачности перестает «нагреваться» и начинает излучать тепло. В результате температура верхней границы облачности понижается, что приводит к увеличению вертикального градиента температуры в облаке, появлению неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности вместо слоисто-дождевой [3].

Грозы на фронтах окклюзии могут наблюдаться в любое время суток, но чаще они возникают на холодных фронтах окклюзии, а следовательно, во второй половине дня. Схема фронта окклюзии изображена на Рисунке 1.2.6.

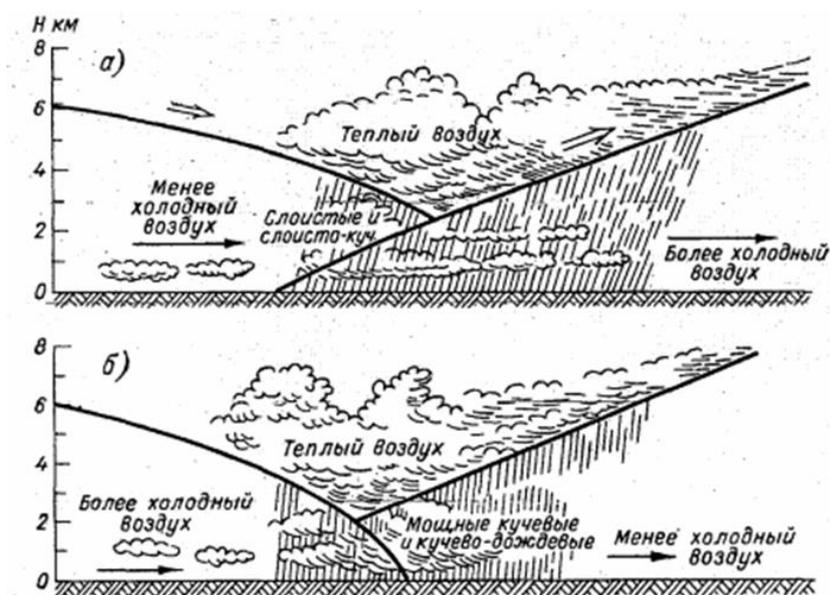


Рисунок 1.2.6 - Схема облачной системы фронтов окклюзии по типу теплого (а) и типу холодного (б)

## 2. Методы прогнозирования гроз

### 2.1 Прогноз гроз по методу Вайтинга

Предикторами для метода Вайтинга являются показатели зондирования за утренний срок. Возможность образования гроз рассчитывается по формуле 2.1.1:

$$K = 2T_{850} - T_{500} - D_{850} - D_{700}, \quad (2.1.1)$$

- Где К - коэффициент метода Вайтинга  
Т - температура на изобарической поверхности  
D - дефицит температуры точки росы  
на изобарической поверхности

В соответствии со значением коэффициента К можно определить вероятность образования гроз (Таблица 2.1.1).

Таблица 2.1.1 – Оценка вероятности образования гроз методом Вайтинга

К	Оценка
< 20	Гроз не ожидается
20-25	Следует ожидать изолированные грозы
25-30	Следует указывать отдельные грозы
> 30	Грозы повсеместно

Иногда в рассчитанные значения коэффициента К вводится поправка на кривизну приземных изобар [5]. Величину поправки можно взять из Таблицы 2.1.2

Таблица 2.1.2 – Поправка на кривизну изобар

R, км	> 1000	1000-500	500-250	< 250
Циклон	0	1.0	1.4	2.0
Антициклон	0	-1.0	-1.4	-2.0

## 2.2 Индексы неустойчивости

VT - Vertical Totals индекс рассчитывается по формуле 2.2.1

$$VT = T_{850} - T_{500}, \quad (2.2.1)$$

Где  $T_{850}$  - Температура на изобарической поверхности AT<sub>850</sub>

$T_{500}$  - Температура на изобарической поверхности AT<sub>500</sub>

Если  $VT > 28$ , то тропосфера обладает высоким потенциалом конвективной неустойчивости, достаточным для образования гроз[5].

CT - Cross Totals индекс рассчитывается по формуле 2.2.2

$$CT = Td_{850} - T_{500}, \quad (2.2.2)$$

Где  $Td_{850}$  - температура точки росы на изобарической поверхности AT<sub>850</sub>

Результаты расчета данного метода можно оценить по приведенной ниже Таблице 2.1.1

Таблица 2.2.1 – Оценка вероятности образования гроз индексом СТ

СТ	Оценка
< 18	Тропосфера обладает низким потенциалом конвективной неустойчивости, который недостаточен для грозовой деятельности
18 - 19	Умеренная неустойчивость. Слабая грозовая деятельность
20 - 21	Высокая неустойчивость. Грозы
22 - 23	Энергия неустойчивости, при которой возможны сильные грозы
24 - 25	Высокая энергия неустойчивости. Сильные грозы
> 25	Очень высокая энергия неустойчивости. Очень сильные грозы

ТТ — Total Totals индекс рассчитывается по формуле 2.2.3

$$TT = VT + CT \quad (2.2.3)$$

Результаты расчета данного метода можно оценить по приведенной ниже таблице (Таблица 2.1.2)

Таблица 2.2.2 – Результаты расчетов ТТ

ТТ	Оценка
< 44	Грозовая деятельность невозможна
44 - 45	Отдельная гроза или несколько гроз
46 - 47	Рассеянные грозовые очаги
48 - 49	Значительные количество гроз, отдельные из которых сильные
50 - 51	Рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем
52 - 55	Значительное количество очагов сильных гроз, отдельные очаги со смерчем
> 55	Многочисленные сильные грозы с сильными смерчами

### 3. Анализ условий формирования грозовой деятельности на территории Республики Башкортостан

#### 3.1 Физико-географическое положение Республики Башкортостан

Республика Башкортостан находится на востоке Европы в южной части Уральских гор. Занимает восточную часть Восточно-Европейской равнины, горной полосы Южного Урала, возвышенно-равнинного Зауралья. Граничит с Пермским краем, Свердловской, Челябинской, Оренбургской областями, Республикой Татарстан и Удмуртской Республикой. Координатами расположения являются  $54^{\circ}28'$  северной широты и  $56^{\circ}16'$  восточной долготы.

Северная точка Республики располагается на  $56^{\circ}31'$  северной широты и  $54^{\circ}31'$  восточной долготы, южная точка на  $51^{\circ}34'$  северной широты и  $57^{\circ}12'$  восточной долготы, западная точка на  $55^{\circ}07'$  северной широты и  $53^{\circ}08'$  восточной долготы, а восточная на  $54^{\circ}52'$  северной широты и  $60^{\circ}00'$  восточной долготы.

В связи с географическим положением, геологическим и тектоническим строением территории, территория республики имеет разнообразный рельеф, отличающийся равнинами и возвышенностями, а также хребтами и горами. Рельеф разнообразен различными мезоформами, такими как: увалы, холмы, пещеры и так далее. Самой высокой точкой Башкортостана является гора Ямантау, имеющая высоту 1640 метров.

#### 3.2 Климатическая характеристика Республики Башкортостан

Республику Башкортостан можно отнести к умеренной климатической зоне с атлантико-континентальным климатом. Республика располагается в

глубине материка, где наблюдается наиболее частая смена воздушных масс умеренных и субтропических широт с арктическими широтами.

На территории Башкирии дуют арктические, тропические и умеренные воздушные массы. Воздушные массы, приходящие с Атлантики, прибывают на территорию республики в виде сухой, континентальной массы. Зимой часто наблюдается Сибирский антициклон.

Климат в достаточной мере влажный, зима холодная, лето жаркое или умеренно теплое. Разнообразный рельеф имеет немаловажное значение в температурном режиме и увлажнении, а также создает сильное отличие климатических условий на восточных и западных склонах.

В среднем количество осадков в год варьируется от 400 до 550 мм, а в горных районах от 500 до 600 мм. Сравнивая годовой ход осадков, можно заметить, что большее их количество приходится на лето. Нельзя не сказать, что в летний период времени на территории характерны ливни и грозовая деятельность.

### 3.3 Анализ случаев грозовой деятельности на территории Республики Башкортостан в период за 2018-2020 гг.

Для исследования были выбраны метеостанции, имеющие различное расположение на выбранной территории. Это связано с большим разнообразием погодных и климатических условий на территории республики.

Были выбраны метеостанции: на севере - Аскино и Янаул, на западе - Туймазы и Бакалы, на юге - Кумертау и Акъяр, на востоке - Учалы и Дуван, в горной местности - Зилаир, а также Уфа и Чишмы, которые расположены в центральной части республики (Рисунок 3.3.1).

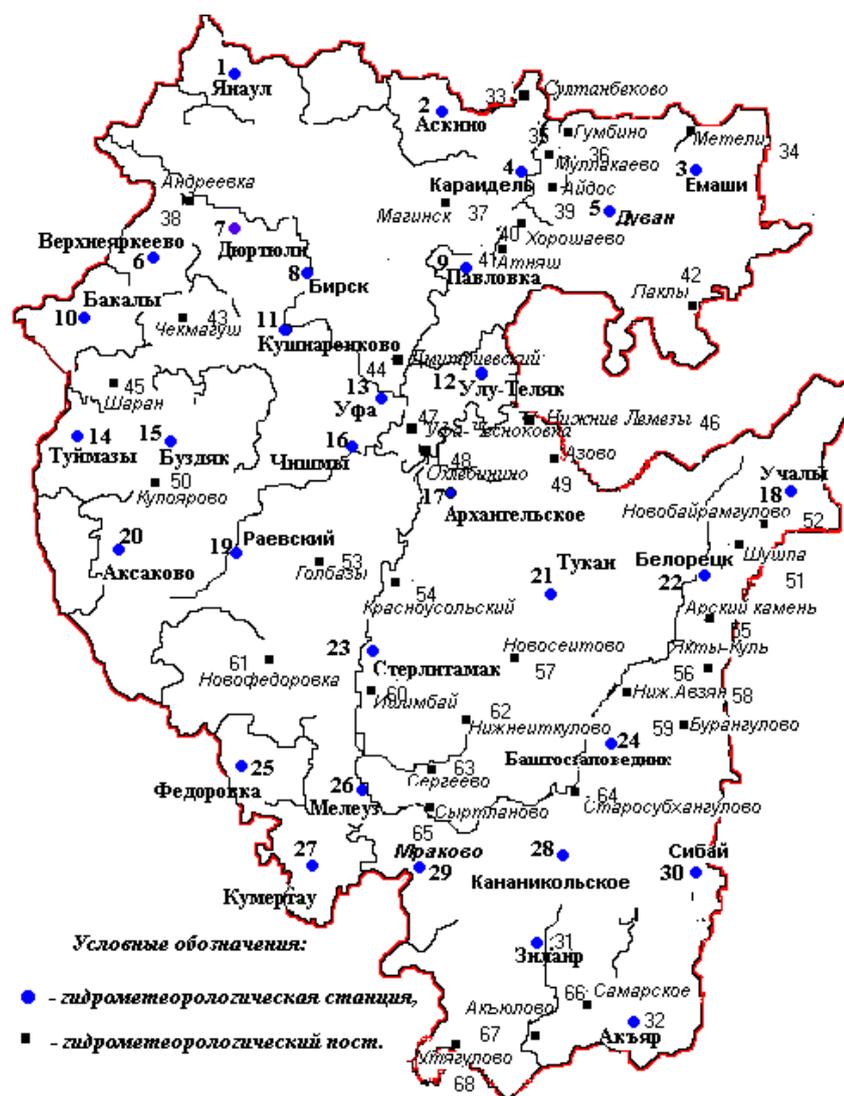


Рисунок 3.3.1 – Сеть метеорологических станций и постов Башкирского УГМС

Далее мной был обработан архив данных, представляющий собой телеграммы в формате WAREP об опасных метеорологических явлениях за период 2018-2020 гг.

Из архива были выбраны случаи грозовой деятельности на вышеперечисленных станциях с указанием даты и времени явления.

Пример проделанной работы можно увидеть в таблице 3.3.1

Таблица 3.3.1 – Обработка данных архива сообщений WAREP

станция	дата	время	
		Начало явления	Окончание явления
Акъяр	06.07.2020	9:21	
Туймазы	05.07.2020	14:09	16:04
Учалы	05.07.2020	12:31	13:40
Учалы	05.07.2020	8:26	
Учалы	05.07.2020	8:43	10:22
Дуван	05.07.2020	7:52	
Бакалы	05.07.2020	7:25	8:15
Аскино	05.07.2020	6:57	8:44
Янаул	05.07.2020	6:30	7:25
Аскино	05.07.2020	6:21	
Янаул	05.07.2020	5:24	6:05
Туймазы	04.07.2020	13:51	15:12

Изучив все случаи, мной было принято решение более подробно рассмотреть 2018 год. Это связано с тем, что за 2020 год архив данных был неполным, а 2019 и 2018 годы содержали примерно равное количество случаев, но в 2018 году зафиксирована грозовая деятельность в октябре, на что стоило бы обратить внимание.

Изучив данные 2018 года, был произведен анализ годового распределения случаев гроз на метеостанциях республики (Таблица 3.3.2, Рисунок 3.3.2).

Таблица 3.3.2 – Годовое распределение гроз на метеостанциях  
за 2018 год

месяц	Количество случаев
апрель	1
май	10
июнь	18
июль	26
август	20
сентябрь	3
октябрь	3

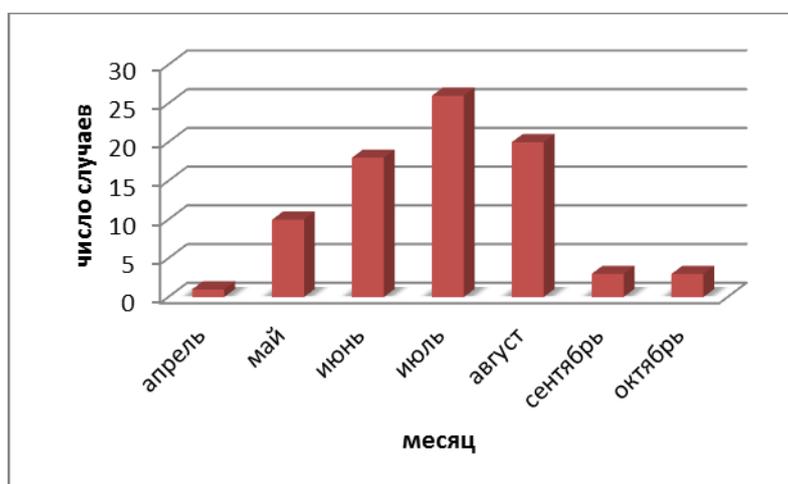


Рисунок 3.3.2 – Годовое распределение гроз на метеостанциях  
за 2018 год

На гистограмме можно увидеть, что основной период грозовой деятельности приходится на летний период времени. Это обуславливается тем, что летом выполняются необходимые условия для создания восходящих потоков запаса влаги, достаточных для образования осадков и наличия структуры, что является условием образования гроз. Самое большое число наблюдавшихся случаев приходится на июль (26 случаев), а самое наименьшее на апрель (1 случай).

За весь рассматриваемый период (2018 год) на выбранных станциях наблюдался 81 случай грозовой деятельности.

### 3.4 Типовые синоптические ситуации образования гроз на территории Республики Башкортостан

Далее мной был изучен архив синоптических ситуаций за выбранный период времени. Рассмотрев все случаи, были выбраны типовые синоптические ситуации при возникновении гроз (Таблица 3.4.1, Рисунок 3.4.1).

Таблица 3.4.1 – Типовые синоптические ситуации при возникновении гроз за 2018 год

синоптические ситуации	Количество случаев	Повторяемость, %
теплый фронт	15	19
холодный фронт	15	19
фронт окклюзии	6	7
ось гребня	25	30
периферия антициклона	3	4
ось ложбины	5	6
малоградиентное поле повышенного давления	12	15

Из Таблицы 3.4.1 можно увидеть, что из 81 случая грозовой деятельности фронтальные грозы наблюдались на теплом (15 случаев) и холодном (15 случаев) фронтах, а также фронте окклюзии (6 случаев).

Внутримассовые грозы наблюдались в таких синоптических ситуациях, как ось гребня (25 случаев), периферия антициклона (3 случая), ось ложбины (5 случаев) и малоградиентное поле повышенного давления (12 случаев).

Ниже на Рисунке 3.4.1 представлено их процентное соотношение.

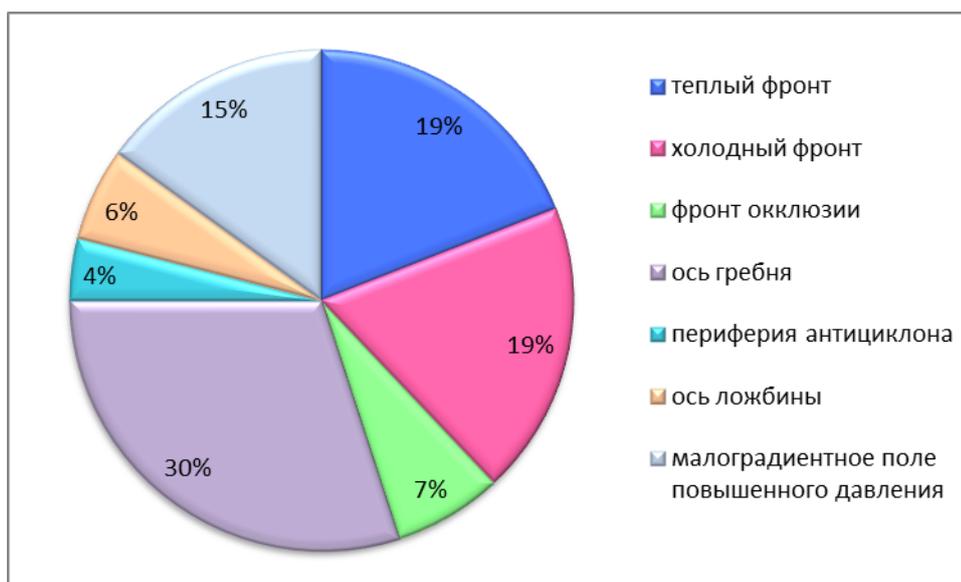


Рисунок 3.4.1 - Повторяемость гроз в различных синоптических ситуациях за 2018 год

На Рисунке 3.4.1 можно наблюдать процентное соотношение случаев в различных синоптических ситуациях. Видно, что наибольшую часть диаграммы, а, следовательно, и большую повторяемость случаев имеет синоптическая ситуация - ось гребня (30%). Второе место по повторяемости занимают фронтальные грозы теплого и холодного фронта (19%).

Рассмотрим соотношение фронтальных и внутримассовых гроз за 2018 год. Для этого, вычислив суммарное количество обоих типов гроз, была составлена диаграмма, представленная на Рисунке 3.4.2.

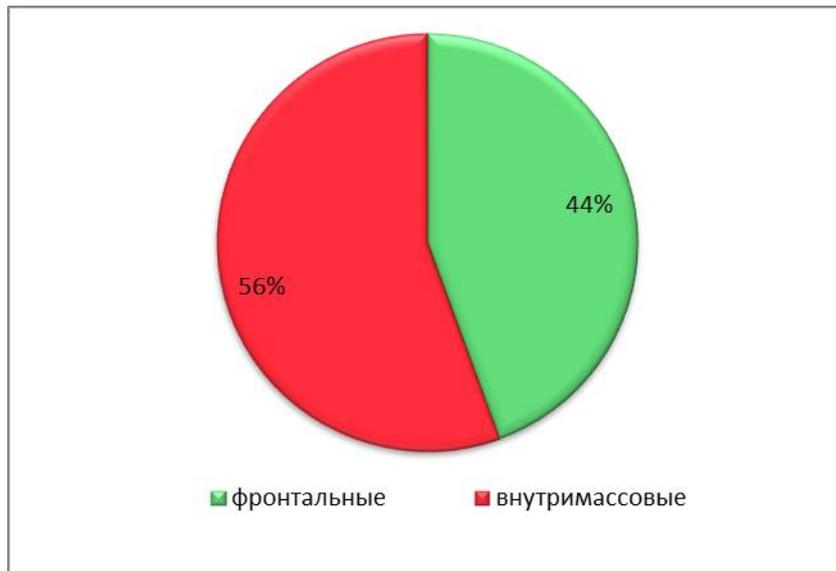


Рисунок 3.4.2 – Соотношение фронтальных и внутримассовых гроз за 2018 год

Из диаграммы явно видно, что процент внутримассовых гроз является наибольшим, он составляет 56%. Это является наиболее часто встречающейся ситуацией, обусловленной особенностями местных воздушных масс.

Далее рассмотрим синоптические карты с наиболее часто повторяющимися синоптическими ситуациями, при которых образовывались внутримассовые грозы, а конкретней, ось гребня (Рисунок 3.4.3) и малоградиентное поле повышенного давления (Рисунок 3.4.4).

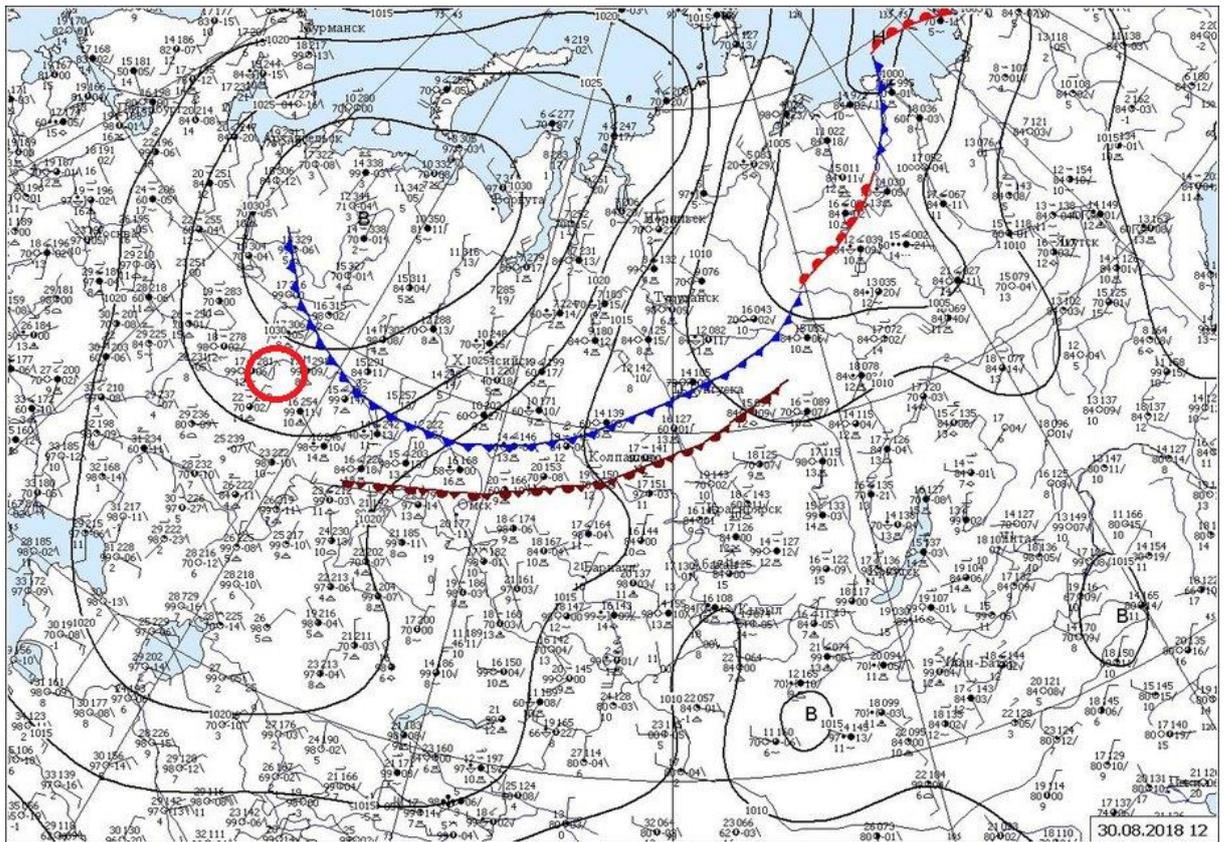


Рисунок 3.4.3 – Приземная карта за 30.08.2018 г. 12 UTC

(Ось гребня)

Представленная синоптическая ситуация на Рисунке 3.4.3 показывает, что 30.08.2018 г. территория республики находилась в зоне повышенного давления, а конкретнее оси гребня. В течение дня наблюдались внутримассовые грозы.

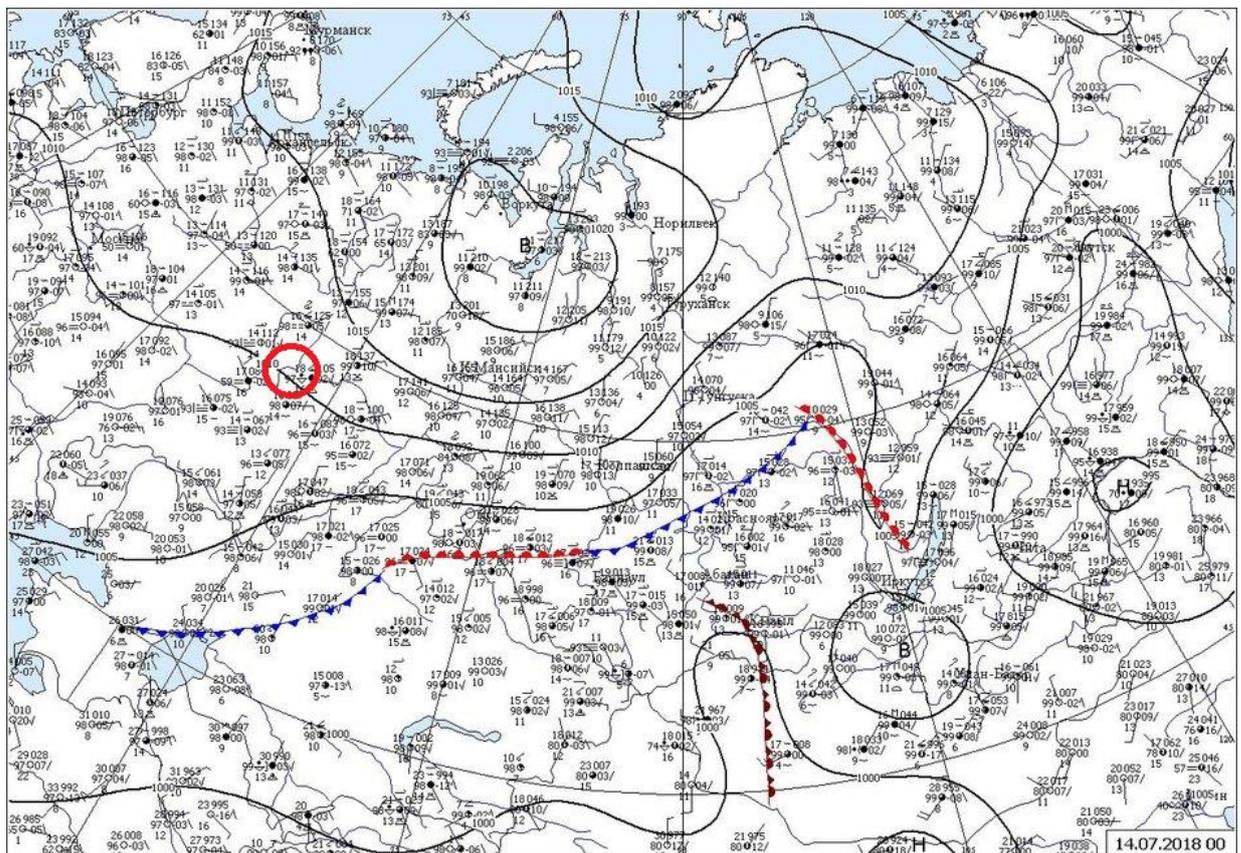


Рисунок 3.4.4 – Приземная карта за 14.07.2018 г. 00 UTC  
(малоградиентное поле повышенного давления)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 14.07.2018 г. территория республики находилась в зоне малоградиентного поля повышенного давления. В течение дня над территорией республики наблюдались внутримассовые грозы.

Также хотелось бы более подробно рассмотреть повторяемость гроз на различных фронтах. Для этого были составлены Таблица 3.4.2 и Рисунок 3.4.5.

Таблица 3.4.2 – Повторяемость гроз на различных фронтах

Фронт	Количество случаев	Повторяемость, %
теплый фронт	15	42
холодный фронт	15	42
фронт окклюзии	6	16

Из таблицы 3.4.2 можно увидеть, что число случаев грозовой деятельности на территории Республики Башкортостан за 2018 год на теплом и холодном фронтах имело одинаковое значение и составило по 15 случаев (по 42%). Фронт окклюзии же наблюдался гораздо реже и составил всего 6 случаев (16%).

Более наглядно процентное соотношение повторяемости гроз можно рассмотреть на Рисунке 3.4.5.

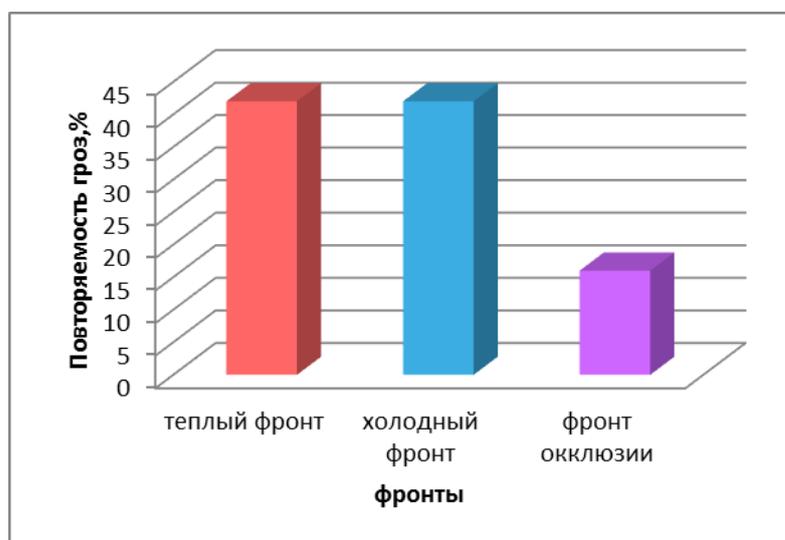


Рисунок 3.4.5 – Повторяемость гроз на различных фронтах

Рассмотрим приземные карты погоды с повторяющимися синоптическими ситуациями, при которых образовывались фронтальные грозы, а конкретней теплый фронт (Рисунок 3.4.6), холодный фронт (Рисунок 3.4.7) и фронт окклюзии (Рисунок 3.4.8).

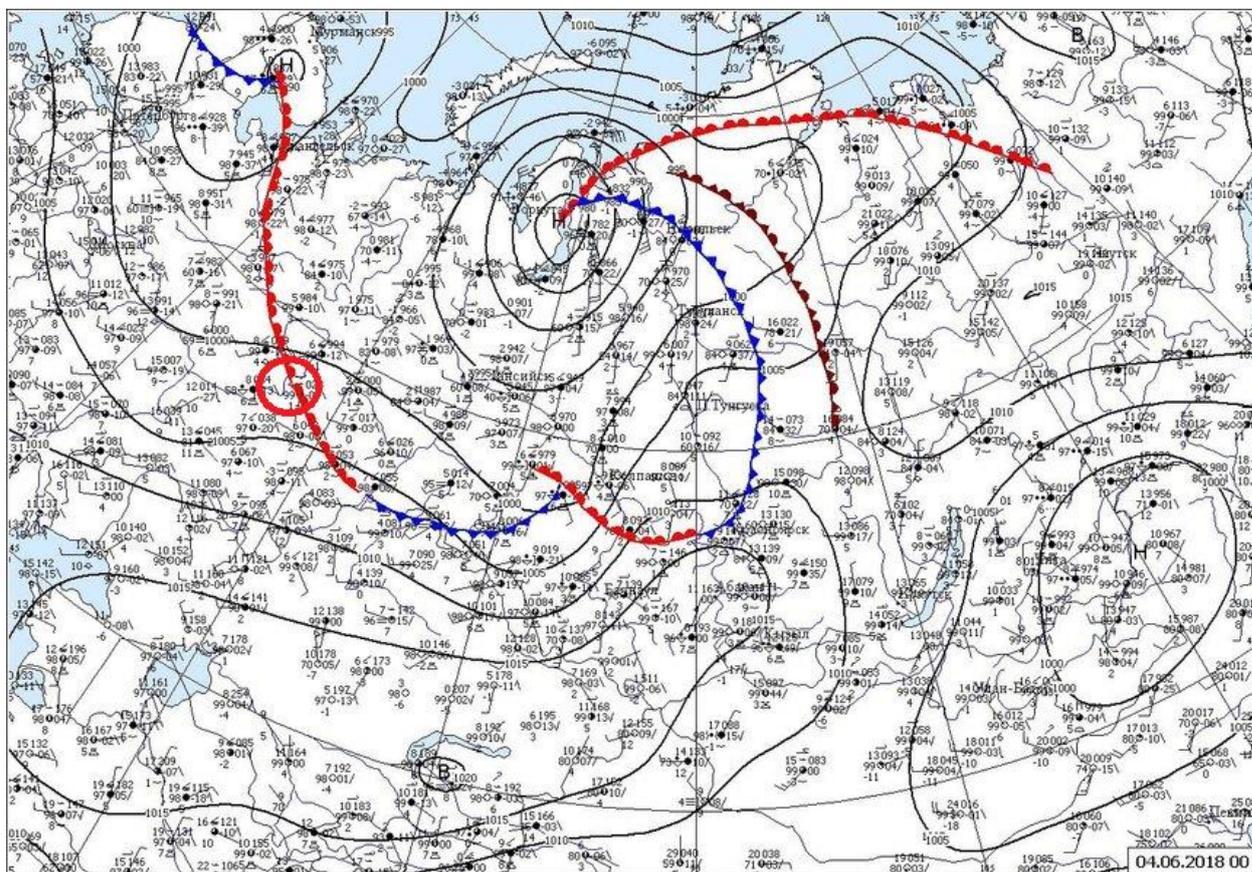


Рисунок 3.4.6 – Приземная карта за 04.06.2018 г. 00 UTC  
(Теплый фронт)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 04.06.2018 г. над территорией Башкирии наблюдалось прохождение теплого фронта. Эта картина весьма выражена. Исходя из этого, можно сказать, что над Республикой наблюдались фронтальные грозы.

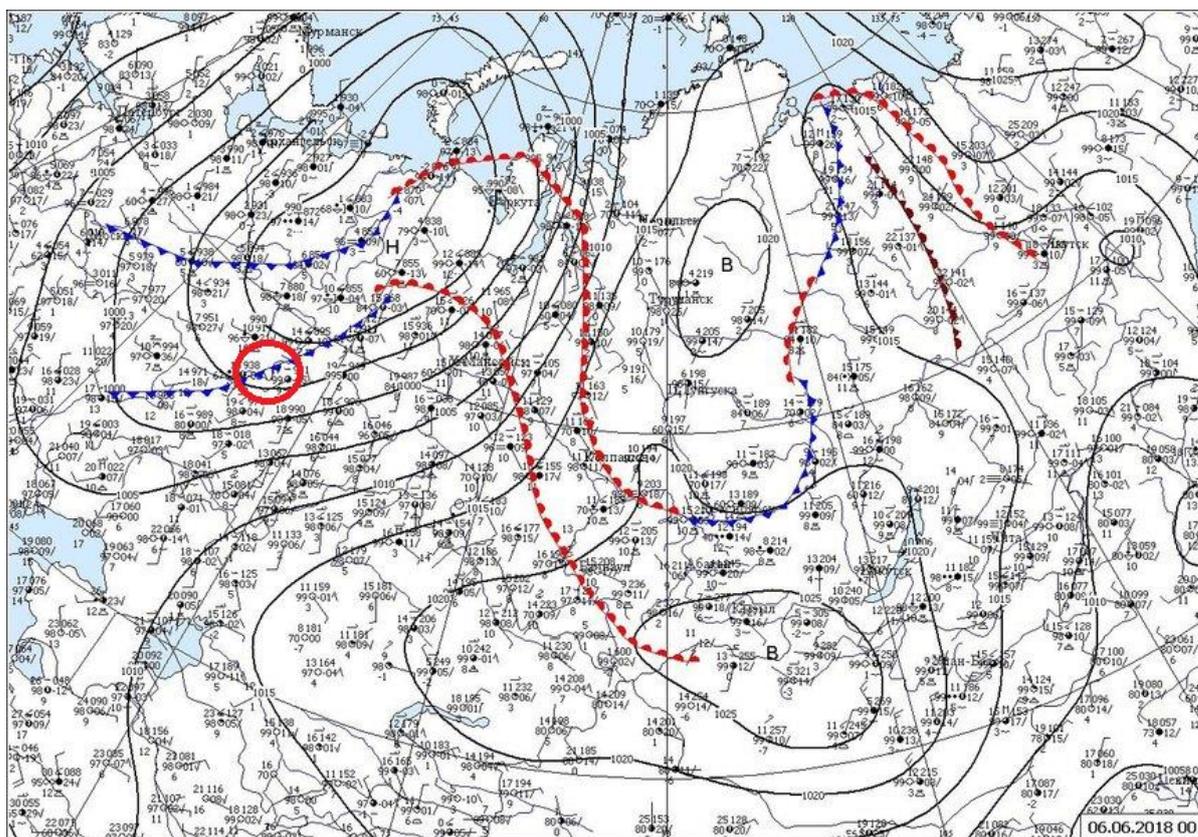


Рисунок 3.4.7 – Приземная карта за 06.06.2018 г. 00 UTC  
(Холодный фронт)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 06.06.2018 г. над территорией Башкирии наблюдалось прохождение холодного фронта. Эта картина весьма выражена. Исходя из этого, можно сказать, что над Республикой наблюдались фронтальные грозы.

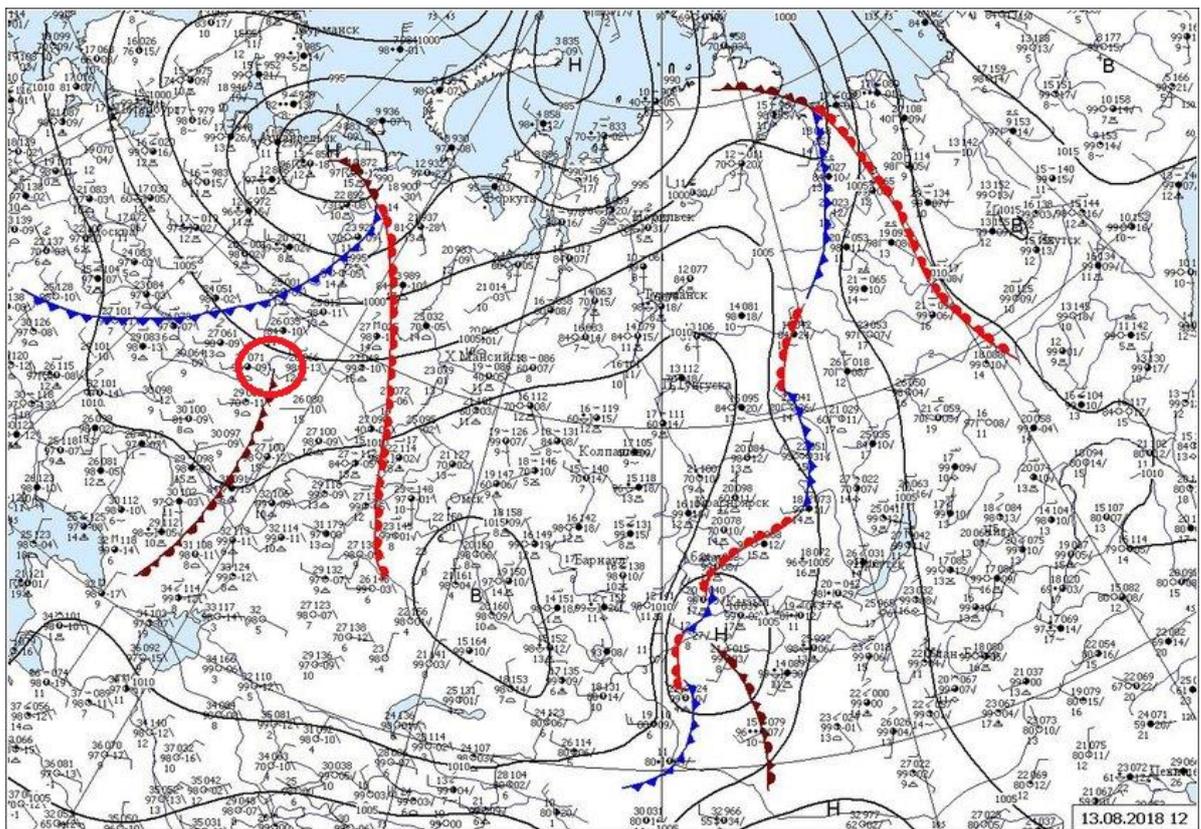


Рисунок 3.4.8 – Приземная карта за 13.08.2018 г. 12 UTC  
(Фронт окклюзии)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 13.08.2018 г. над территорией Башкирии наблюдалось прохождение фронта окклюзии. Исходя из этого, можно сказать, что над Республикой наблюдались фронтальные грозы.

Хотелось бы отметить, что на территории Республики наблюдались и нетипичные случаи грозовой деятельности. Это случаи грозы в октябре, а конкретными датами являются 5, 20 и 28 октября 2018 года. Такая ситуация может быть обусловлена высокими температурами воздуха не характерными для данного месяца. Так как поверхность земли остывает и не успевает прогреться, возникает разница температур в воздушных массах, что приводит к восходящим токам воздуха, насыщенным влагой, что в свою очередь является причиной образования гроз.

Рассмотрим пример данной ситуации на Рисунке 3.4.9

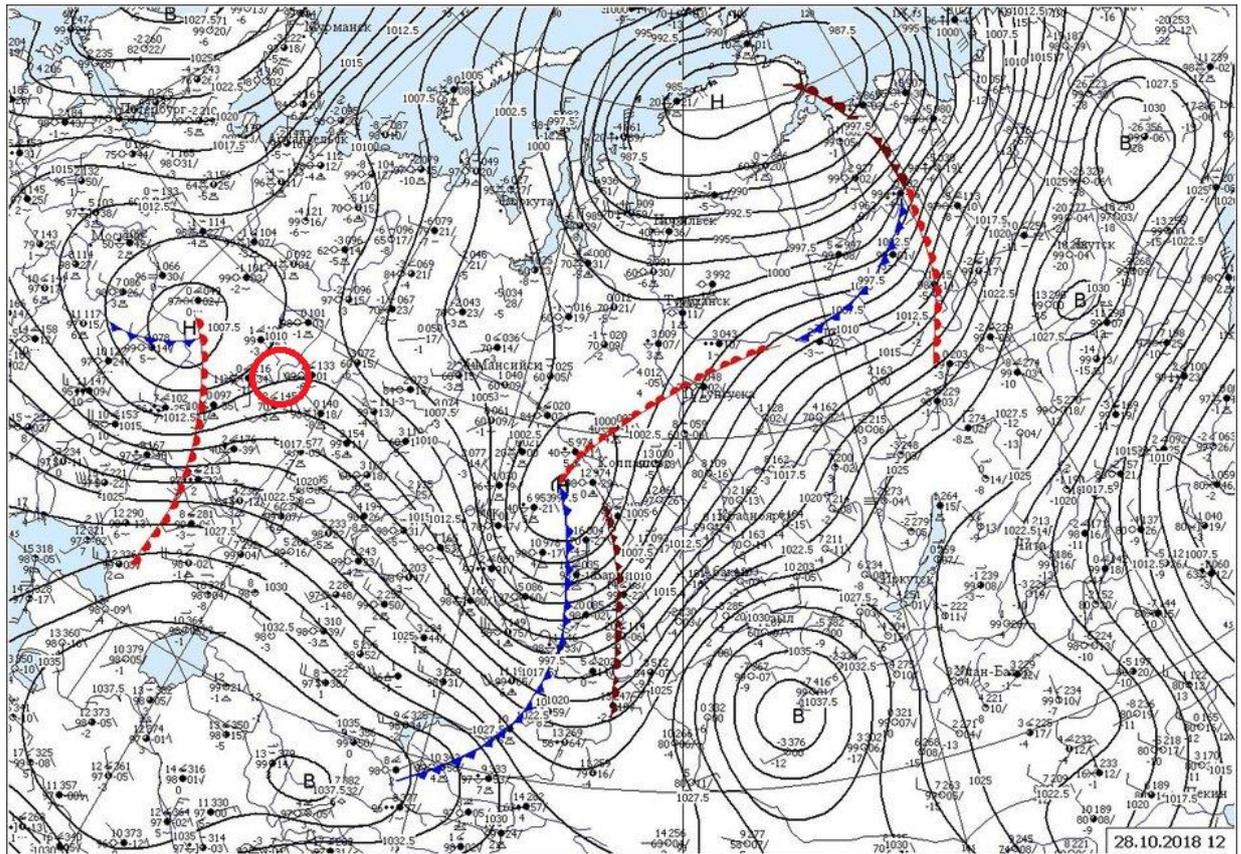


Рисунок 3.4.9 – Приземная карта за 28.10.2018 г. 12 UTC  
(Ось гребня)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 28.10.2018 г. территория Башкирии находилась в зоне повышенного давления, а конкретнее на оси гребня. Исходя из этого, можно сказать, что над Республикой наблюдались внутримассовые грозы.

Вышеприведенные информация является обобщенной по исследуемой территории. В дальнейшем хотелось бы более подробно рассмотреть случаи возникновения гроз по регионам республики на выбранных для исследования станциях.

Анализ будет осуществляться на ранее выбранных станциях, некоторые станции объединены по районам.

Так, Аскино и Янаул, располагающиеся на севере, будут записаны под номером 1;

Туймазы и Бакалы - запад, под номером 2;

Кумертау и Акъяр - юг, под номером 3;

Учалы и Дуван - восток, под номером 4;

Зилаир, находящийся в горах под номером 5;

Уфа - под номером 6;

Чишмы - под номером 7.

Таблица 3.4.3 – Количество фронтальных и внутримассовых гроз

Станции		Количество случаев	
		фронтальные	внутримассовые
1	север Аскино, Янаул	18	17
2	запад Туймазы, Бакалы	25	11
3	юг Кумертау, Акъяр	13	13
4	восток Учалы, Дуван	14	22
5	горы Зилаир	6	7
6	Уфа	16	11
7	Чишмы	19	6

Из Таблицы 3.4.3 видно, что наибольшее количество фронтальных гроз наблюдалось на западе (25 случаев), в то время как количество внутримассовых гроз там было не так велико (11 случаев). Наибольшее число внутримассовых гроз пришлось на восток (22 случая), где число фронтальных имело среднее значение (14 случаев). Наименьшее же значение фронтальных гроз было в горах на станции Зилаир (6 случаев), а внутримассовых на станции Чишмы (6 случаев). Более наглядно вышеприведенные данные можно рассмотреть на Рисунке 3.4.10

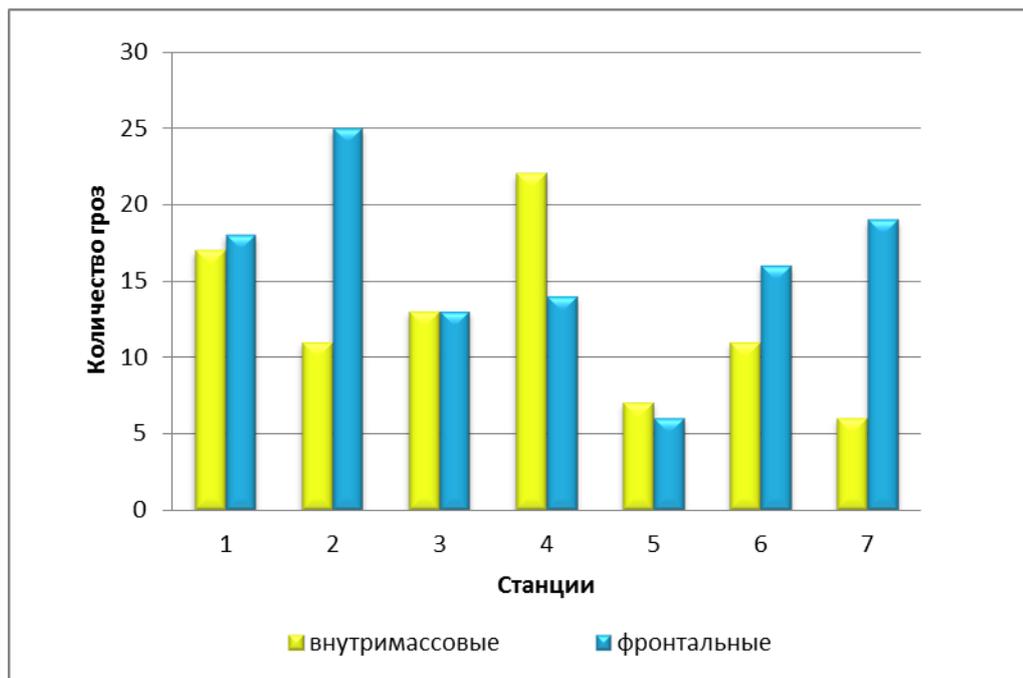


Рисунок 3.4.10 – Количество фронтальных и внутримассовых гроз

На рисунке можно заметить, что зачастую количество фронтальных гроз превышает количество внутримассовых. Это можно обосновать тем, что внутримассовые грозы имеют очаговый характер, а фронтальные подразумевают собой большую горизонтальную протяженность и, следовательно, одна и та же гроза может наблюдаться на нескольких станциях.

### 3.5 Прогноз гроз на территории Республики Башкортостан

На данном этапе работы было принято решение рассмотреть оправдываемость различных методов прогнозирования, а конкретнее расчет индексов неустойчивости и метода Вайтинга.

Для этого мной были использованы данные радиозондирования для каждого случая.

Пример проделанной работы можно увидеть на Рисунке 3.5.1.

## 28722 Ufa Observations at 00Z 26 Jun 2018

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	FRPT	RELH	RELI	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	C	%	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1004.0	104	17.2	15.6	15.6	90	90	11.22	0	0	290.0	321.7	292.0
1000.0	137	17.6	15.5	15.5	87	88	11.19	355	2	290.8	322.5	292.7
989.0	233	20.5	17.9	17.9	85	85	13.26	340	12	294.6	332.7	296.9
968.0	420	26.2	22.7	22.7	81	81	18.32	351	15	302.1	356.5	305.4
961.0	484	26.0	22.5	22.5	81	81	18.19	355	16	302.5	356.6	305.8
956.0	530	25.8	22.3	22.3	81	81	18.10	355	16	302.8	356.7	306.1
938.0	697	24.0	15.0	15.0	57	57	11.56	355	16	302.6	337.1	304.7
925.0	819	23.8	14.8	14.8	57	57	11.57	355	16	303.6	338.3	305.8
913.0	933	23.4	15.4	15.4	61	61	12.19	354	15	304.4	341.0	306.6
882.0	1234	19.0	13.0	13.0	68	68	10.78	351	14	302.8	335.1	304.8
871.0	1341	18.1	12.6	12.6	70	70	10.63	350	14	303.0	334.8	304.9
850.0	1551	16.4	11.8	11.8	74	74	10.33	5	14	303.3	334.3	305.2
820.0	1856	13.6	10.7	10.7	83	83	9.95	4	14	303.5	333.4	305.3
804.0	2022	13.6	10.7	10.7	83	83	10.15	3	15	305.2	335.9	307.1
800.0	2064	12.4	9.5	9.5	82	83	9.40	3	15	304.4	332.7	306.1
789.0	2180	11.2	7.1	7.1	76	76	8.08	3	15	304.3	328.8	305.8
738.0	2736	9.0	3.0	3.0	66	66	6.48	1	17	307.7	327.8	308.9
731.0	2814	7.4	1.4	1.4	66	66	5.83	1	17	306.8	324.9	307.9
715.0	2996	6.4	0.4	0.4	65	66	5.54	0	17	307.7	325.0	308.7
714.0	3008	6.5	0.5	0.5	65	66	5.59	0	17	307.9	325.4	308.9
711.0	3042	6.8	0.8	0.8	66	66	5.74	359	17	308.6	326.6	309.7
700.0	3170	5.4	-0.6	-0.5	65	65	5.26	355	17	308.4	324.9	309.4
629.0	4034	-1.9	-5.6	-5.0	76	77	4.02	345	21	309.7	322.5	310.4
623.0	4110	-1.9	-5.6	-5.0	76	77	4.06	344	22	310.5	323.5	311.3
598.0	4436	-2.3	-8.3	-7.4	63	65	3.44	340	23	313.7	325.0	314.4
595.0	4476	-2.6	-10.9	-9.7	53	54	2.82	340	23	313.9	323.2	314.4
589.0	4556	-3.1	-16.1	-14.4	36	37	1.86	343	24	314.1	320.4	314.5
562.0	4923	-5.9	-19.3	-17.3	34	36	1.48	355	25	315.0	320.2	315.3
521.0	5514	-10.5	-24.5	-22.1	31	34	1.01	352	24	316.4	320.0	316.6
500.0	5830	-12.5	-25.5	-23.0	33	37	0.97	350	23	317.7	321.2	317.9
460.0	6456	-17.0	-30.5	-27.6	30	36	0.66	0	25	319.7	322.2	319.9
435.0	6875	-20.1	-33.8	-30.7	28	35	0.51	10	25	321.0	322.9	321.1
410.0	7319	-23.3	-37.3	-34.0	27	33	0.38	6	24	322.3	323.8	322.4
400.0	7500	-24.1	-37.1	-33.8	29	37	0.40	5	23	323.6	325.1	323.7
389.0	7702	-25.4	-37.8	-34.5	30	39	0.38	0	23	324.4	325.9	324.5

Рисунок 3.5.1 – Данные зондирования за 26.06.2018 00 UTC

Из приведенных выше данных зондирования я выбрала данные для вычисления формул 2.1.1, 2.2.1, 2.2.2 и 2.2.3. То есть температуру на уровне 500 гПа и 850 гПа, а также дефицит точки росы на уровне 700 гПа и 850 гПа. Далее эти данные были записаны в таблицу Excel для расчета индексов неустойчивости и метода Вайтинга.

Пример проделанной работы можно увидеть на Рисунке 3.5.2.

3	станции	дата	время	T500	T850	D850	D700	K	VT	CT	TT	Формулы
4	Бакалы, Туймазы, Учалы, Аскино	28.04.2018	12	-20,1	10,6	1,6	-8,7	48,4	30,7	21,7	52,4	$K=2T850-T500-D850-D700$
5	Акъяр, Туймазы	03.05.2018	0	-21,3	10,6	4,6	-5	42,9	31,9	25,9	57,8	$VT = T850 - T500$
6	Туймазы, Бакалы	03.05.2018	12	-17,7	11	1	-4,7	43,4	28,7	18,7	47,4	$CT = D850 - T500$
7	Туймазы	04.05.2018	0	-20,7	8,8	3,8	-3,1	37,6	29,5	24,5	54	$TT = VT + CT$
8	Туймазы, Бакалы	18.05.2018	12	-16,7	10	4	-6,8	39,5	26,7	20,7	47,4	
9	Туймазы, Кумертау		0	-15,7	13,4	5,4	-3,1	40,2	29,1	21,1	50,2	
10	Туймазы, Бакалы, Аскино	19.05.2018	12	-15,9	13,8	5,8	-4,2	41,9	29,7	21,7	51,4	
11	Янаул, Туймазы, Дуван, Аскино		0	-18,1	13,8	7,8	-3,2	41,1	31,9	25,9	57,8	
12	Аскино, Дуван, Учалы	20.05.2018	12	-17,3	13,2	2,2	-4,8	46,3	30,5	19,5	50	
13	Кумертау, Зилаир	26.05.2018	0	-29,3	-4,1	-10,1	-20,9	52,1	25,2	19,2	44,4	
14	Бакалы		0	-20,7	6	0	-10,6	43,3	26,7	20,7	47,4	
15	Учалы, Бакалы, Туймазы, Янаул	04.06.2018	12	-18,9	13,4	3,4	-5,6	47,9	32,3	22,3	54,6	
16	Бакалы, Аскино, Акъяр	05.06.2018	12	-19,5	13,6	3,6	-4,3	47,4	33,1	23,1	56,2	
17	Кумертау	06.06.2018	12	-16,5	11,8	5,8	-7,4	41,7	28,3	22,3	50,6	
18	Акъяр, Аскино	07.06.2018	0	-19,7	4,4	-3,6	-12,1	44,2	24,1	16,1	40,2	
19	Бакалы	10.06.2018	12	-29,9	2	-5	-14,4	53,3	31,9	24,9	56,8	
20	Аскино	12.06.2018	12	-23,9	3,6	-4,4	-16,1	51,6	27,5	19,5	47	
21	Сибай, Аскино, Учалы, Дуван	19.06.2018	12	-15,5	14,6	1,6	-8,5	51,6	30,1	17,1	47,2	
22	Туймазы, Кумертау, Янаул, Бака	20.06.2018	12	-15,1	15,2	6,2	-3,2	42,5	30,3	21,3	51,6	
23	Дуван	21.06.2018	12	-24,5	8	-2	-12,9	55,4	32,5	22,5	55	
24	Аскино	25.06.2018	12	-11,7	16,4	6,4	-4,4	42,5	28,1	18,1	46,2	
25	Учалы		0	-12,5	16,4	11,8	-0,6	34,1	28,9	24,3	53,2	
26	Сибай, Акъяр, Кумертау, Зилаир	26.06.2018	12	-11,5	18,4	6,4	-9	50,9	29,9	17,9	47,8	
27	Зилаир, Янаул, Кумертау	27.06.2018	12	-11,5	17	6	-4,2	43,7	28,5	17,5	46	
28	Дуван		0	-13,1	15,8	8,8	0,1	35,8	28,9	21,9	50,8	
29	Кумертау, Дуван, Зилаир, Аскин	28.06.2018	12	-14,1	14,4	10,4	-1,1	33,6	28,5	24,5	53	
30	Учалы	29.06.2018	0	-15,9	12,2	4,2	-4	40,1	28,1	20,1	48,2	

Рисунок 3.5.2 – Данные обработки зондирования

На Рисунке 3.5.2 можно увидеть, что станции обобщены по дате и времени для большего удобства расчетов.

Для станций Уфа и Чишмы данные рассчитаны отдельно, так как зонд выпускается на метеостанции Уфа (станция Чишмы располагается в 40 км от Уфы), следовательно, для этих станций оправдываемость прогноза будет более точной.

Далее результаты расчетов вероятности образования гроз с помощью различных индексов будут представлены как по районам республики (Рисунок 3.5.1), так и по м/с Уфа (Рисунок 3.5.2) и м/с Чишмы (Рисунок 3.5.3).

Таблица 3.5.1 - Оправдываемость метода Вайтинга и индексов неустойчивости по районам республики

Индексы	Результаты расчетов	Оправдываемость, %
$K \geq 20$	от 29 до 63,1	100

VT > 28	от 22,9 до 35,1	47
СТ > 18	от 13,5 до 25,9	85
ТТ > 44	от 40,2 до 57,8	88

В таблице 3.5.1 представлены данные оправдываемости метода Вайтинга и индексов неустойчивости по районам республики.

Исходя из данных можно сказать, что коэффициент К имеет значения от 29 до 63,1, что соответствует результату «от многочисленных гроз до повсеместного развития».

Индекс VT имеет значения от 22,9 до 35,1 что означает, что не во всех случаях есть достаточное значение, соответствующее критерию  $VT > 28$ , при котором возможны грозы.

Индекс СТ имеет значения от 13,5 до 25,9 что соответствует результату от «низкого потенциала, недостаточного для гроз», до «очень сильных гроз».

Индекс ТТ имеет значения от 40,2 до 57,8 что соответствует результату от «отсутствия грозовой деятельности» до «многочисленных сильных гроз».

Также по данным таблицы следует отметить, что наибольшую оправдываемость имеет метод Вайтинга (100%), а наименьшую в данном случае индекс VT (47%).

Таблица 3.5.3 - Оправдываемость метода Вайтинга и индексов неустойчивости для м/с Уфа

Индексы	Результаты расчетов	Оправдываемость, %
$K \geq 20$	от 30,4 до 47,9	100
VT > 28	от 26,3 до 31,9	63
СТ > 18	от 19,3 до 25,9	100
ТТ > 44	от 46,6 до 57,8	100

В таблице 3.5.2 представлены данные оправдываемости метода Вайтинга и индексов неустойчивости для Уфы.

Исходя из данных можно сказать, что коэффициент К имеет значения от 30,4 до 47,9, что соответствует результату «повсеместного развития гроз».

Индекс VT имеет значения от 26,3 до 31,9 что означает, что не во всех случаях есть достаточное значение соответствующее критерию  $VT > 28$ , т.е. не во всех случаях фактически наблюдавшихся гроз индекс дал прогноз гроз.

Индекс СТ имеет значения от 19,3 до 25,9 что соответствует результату от «слабой грозовой деятельности» до «очень сильных гроз».

Индекс ТТ имеет значения от 46,6 до 57,8 что соответствует результату от «рассеянных грозových очагов» до «многочисленных сильных гроз».

Также, исходя из Таблицы 3.5.2 следует отметить, что наибольшую оправдываемость имеют сразу три метода: метод Вайтинга, индекс СТ и индекс ТТ (100%), а наименьшую в данном случае индекс VT (63%).

Таблица 3.5.3 - Оправдываемость метода Вайтинга и индексов неустойчивости для м/с Чишмы

Индексы	Результаты расчетов	Оправдываемость, %
$K \geq 20$	от 32,4 до 48,4	100
$VT > 28$	от 24,3 до 35,1	60
$СТ > 18$	от 18,7 до 25,9	100
$ТТ > 44$	от 44,6 до 57,8	100

В таблице 3.5.3 представлены данные оправдываемости метода Вайтинга и индексов неустойчивости для метеостанции Чишмы.

Исходя из результатов можно сказать, что коэффициент К имеет значения от 32,4 до 48,4, что соответствует результату «повсеместное развитие гроз».

Индекс VT имеет значения от 24,3 до 35,1 что означает, что не во всех случаях есть достаточное значение индекса для развития гроз, соответствующее критерию  $VT > 28$ .

Индекс СТ имеет значения от 18,7 до 25,9 что соответствует результату от «слабой грозовой деятельности» до «очень сильных гроз».

Индекс ТТ имеет значения от 46,6 до 57,8 что соответствует результату от «отдельной грозы или нескольких гроз» до «многочисленных сильных гроз».

Также по данным таблицы следует отметить, что наибольшую оправдываемость имеют сразу три метода прогноза: метод Вайтинга, СТ и ТТ (100%), а наименьшую в данном случае индекс VT (60%).

По результатам всех исследований можно сделать вывод, что метод Вайтинга оправдывается во всех случаях и является самым точным, а индекс VT имеет самую маленькую оправдываемость прогнозов. Расчеты по индексам СТ и ТТ являются более точными в Уфе, так как зонд выпускается именно там.

Это можно наглядно увидеть на Рисунке 3.5.3.

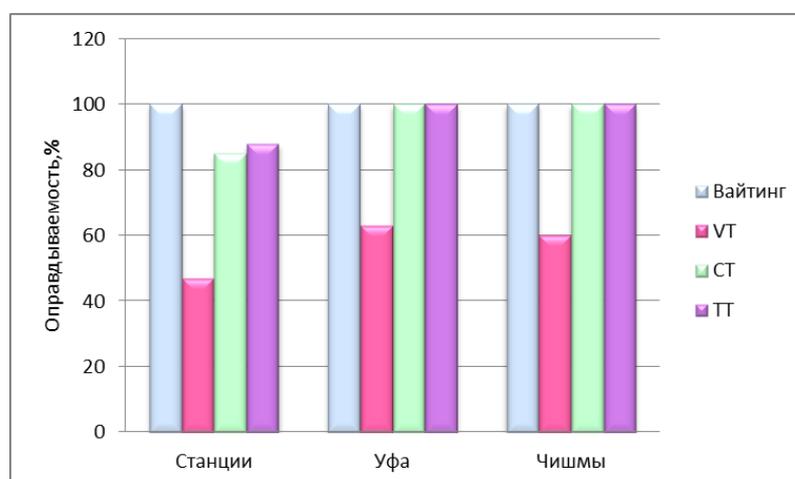


Рисунок 3.5.3 – Оправдываемость методов прогнозирования

## Заключение

В процессе моей выпускной квалификационной работы были выполнены все задачи.

Проанализировав все выбранные года, можно сделать вывод, что 2018 год обладал наибольшим количеством случаев грозовой деятельности (81 случай), а также единственный из всех имел случаи гроз в октябре (5,20 и 28 числа).

Наибольшее количество случаев грозовой деятельности пришлось на летний период. Самое большое число наблюдавшихся случаев гроз в 2018 году пришлось на июль (26 случаев), в августе наблюдалось 20 случаев гроз, в июне – 18.

Проанализировав синоптические ситуации за 2018 год, можно сказать, что наиболее частой синоптической ситуацией является ось гребня (30%). Второе место по повторяемости занимают фронтальные грозы теплого и холодного фронта (19%).

Соответственно можно сделать вывод, что самыми частыми являются внутримассовые грозы (56%).

Рассматривая методы прогнозирования грозовой деятельности, лучшую оправдываемость показал метод Вайтинга (100%) и СТ (85-100%), а метод VT показал худшую оправдываемость (от 47 до 63%), поэтому метод VT может использоваться при прогнозе гроз по территории Республики как дополнительный.

## Список использованных источников

1. Позднякова В.А. «Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для летного и диспетчерского состава ГА» учебник - Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. — 113 с.
2. Богаткин О.Г. «Основы авиационной метеорологии» учебник – СПб,: изд. РГГМУ, 2009. – 339 С.
3. В. И. Воробьев, «Синоптическая метеорология», учебник - ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ ЛЕНИНГРАД, 1991. – 612 С.
4. Зверев А.С. «Синоптическая метеорология», учебник – ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ ЛЕНИНГРАД, 1982 г. – 712С.
5. Flymeteo [Электронный ресурс]; Режим доступа: <https://flymeteo.org/stat/indexneust.php>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.